



T.C.

KOCAELİ SAĞLIK VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇ YANGINLARINDA GÜVENLİK ÖNLEMLERİ VE MÜDAHALE TEKNİKLERİ

Ali Şükrü CİHAN

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ŞEN

KOCAELİ-2026

T.C.
KOCAELİ SAĞLIK VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ARAÇ YANGINLARINDA GÜVENLİK ÖNLEMLERİ VE MÜDAHALE TEKNİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Şükrü CİHAN

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ŞEN

KOCAELİ, 2026

ONAY SAYFASI

Ali Şükrü CİHAN tarafından hazırlanan “Elektrikli Araç Yangınlarında Güvenlik Önlemleri ve Müdahale Teknikleri” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesi	Kabul / Red	Kurumu	İmza
Prof. Dr. Seher UÇKUN	Kabul	Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi	
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ŞEN	Kabul	Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi	
Doç. Dr. Murat ATİK	Kabul	Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi	

Tez Savunma Tarihi: Gün. Ay. Yıl

Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olması için şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda patent ve telif haklarını ihlal edici etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tezde kullanılmış olan tüm bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Tarih 12.01.2026

Ali Şükrü CİHAN

İthaf Sayfası

Bu araştırma tüm itfaiye teşkilatı ve itfaiye personellerine ithaf edilmiştir .

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmasının ortaya çıkmasında, akademik ve mesleki gelişimime katkı sunan birçok kişi ve kuruma teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Öncelikle, tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ŞEN'e, çalışmanın her aşamasında sunduğu bilimsel rehberlik, yapıcı eleştiriler ve değerli katkıları için içtenlikle teşekkür ederim. Akademik bakış açısının gelişmesine sağladığı katkı ve araştırma sürecindeki yönlendirici yaklaşımı, bu çalışmanın nitelik kazanmasında belirleyici olmuştur.

Tez sürecim boyunca desteklerini esirgemeyen ve değerlendirmeleriyle çalışmaya katkı sunan tez jüri üyelerine, kıymetli zamanları ve yapıcı geri bildirimleri için teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı öğretim elemanlarına teşekkür ederim. Akademik ortamın ve bilimsel tartışma kültürünün gelişmesine sundukları katkılar, bu çalışmanın düşünsel altyapısını güçlendirmiştir.

Araştırma sürecinde görüşleriyle katkı sağlayan, bilgi ve deneyimlerini paylaşan tüm katılımcılara teşekkür ederim. Sahadaki uygulamaları ve deneyimleri aktarmaları, çalışmanın uygulama boyutunun güçlenmesine önemli katkı sağlamıştır.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiren aileme, özellikle sabırları, anlayışları ve teşvikleri için minnettarım. Ayrıca, tez sürecinin yoğun ve yorucu dönemlerinde desteğini esirgemeyen eşime ve çocuklarıma, gösterdikleri anlayış ve fedakârlık için teşekkür ederim. Son olarak, akademik yolculuğum boyunca yanımda olan, bilgi ve motivasyon desteği sağlayan tüm dostlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

İthaf Sayfası	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
SEMBOL/KISALTMA DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
GİRİŞ	1
Araştırmanın Önemi.....	3
Araştırmanın Amacı	5
Araştırmanın Problemi ve Alt Problemleri	7
Araştırmanın Kapsamı ve Sınırlılıkları	9
Araştırmanın Varsayımları.....	12
1. KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE.....	15
1.1. Elektrikli Araç Teknolojilerinin Gelişimi	15
1.2. Lityum-İyon Batarya Sistemlerinin Yapısı ve Riskleri	18
1.3. Elektrikli Araç Yangınlarının Karakteristik Özellikleri.....	22
1.4. Termal Kaçak Mekanizması	25
1.5. Yangınlarda Açığa Çıkan Toksik Gazlar ve Etkileri.....	28
1.6. Elektrikli Araç Yangınlarının İş Sağlığı ve Güvenliği Boyutu	32
1.7. Yangına Müdahale Sürecinde Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) Kullanımı	37
1.8. Yangın Sonrası İzleme ve Dekontaminasyon Süreçleri	39
1.9. Uluslararası Müdahale Kılavuzlarının Karşılaştırmalı İncelemesi.....	43
1.9.2. FEMA ve NTSB Belgeleri.....	46
1.9.2.1. FEMA'nın Kapsamlı Hazırlık Rehberi (CPG 101).....	46
1.9.2.2. Elektrikli Araç Yangınlarına İlişkin FEMA/USFA Rehberi	47
1.9.2.3. NTSB'nin Aile Destek Çerçevesi ve Kaza Soruşturma Rehberleri.....	48
1.9.3. Avrupa Birliği Sivil Koruma Belgeleri	50
1.9.4. VDA ve CAS Guidelines	53
1.10. Otomotiv Firmalarının Acil Müdahale Kılavuzları.....	56

1.10.2. Toyota.....	59
1.10.3. Renault.....	63
1.10.4. TOGG.....	66
2. YÖNTEM.....	69
2.1. Araştırma Modeli.....	69
2.2. Çalışma Grubu.....	70
2.3. Veri Toplama Aracı.....	72
2.4. Veri Toplama Süreci.....	73
2.5. Verilerin Analizi.....	74
3. BULGULAR.....	77
4. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....	118
KAYNAKÇA.....	127
EKLER.....	147
Katılımcı Bilgileri.....	147
Görüşme Soruları.....	147

ÖZET

Elektrikli Araç Yangınlarında Güvenlik Önemleri Ve Müdahale Teknikleri

Elektrikli araç teknolojilerinin küresel ölçekte hızla yaygınlaşması, ulaşım sektöründe çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği açısından önemli kazanımlar sağlamakla birlikte, bu dönüşüm süreci yeni ve özgün güvenlik risklerini de beraberinde getirmiştir. Özellikle lityum-iyon batarya sistemlerine dayalı elektrikli araçlarda meydana gelen yangınlar, geleneksel içten yanmalı motorlu araç yangınlarından farklı teknik, kimyasal ve operasyonel özellikler sergilemekte; yüksek enerji yoğunluğu, termal kaçak mekanizması, yeniden alevlenme eğilimi ve toksik gaz salınımı gibi unsurlar nedeniyle ciddi iş sağlığı ve güvenliği riskleri oluşturmaktadır. Bu araştırmanın amacı, elektrikli araç yangınlarının karakteristik özelliklerini, bu yangınlara yönelik mevcut güvenlik önlemleri ile müdahale tekniklerini iş sağlığı ve güvenliği perspektifinden bütüncül biçimde analiz etmek ve söz konusu uygulamaların yeterliliğini değerlendirmektir.

Araştırma, elektrikli araçlarda kullanılan lityum-iyon batarya sistemlerinin yapısı ve riskleri, termal kaçak süreçleri, yangın sırasında ve sonrasında ortaya çıkan fiziksel ve kimyasal tehlikeler ile bu tehlikelerin müdahale personeli üzerindeki etkilerini kapsamaktadır. Çalışmada, elektrikli araç yangınlarının neden klasik araç yangınlarından farklı müdahale yaklaşımları gerektirdiği ortaya konulmuş; mevcut müdahale yöntemlerinin, kişisel koruyucu donanım uygulamalarının ve eğitim düzeylerinin bu özgün riskler karşısındaki yeterliliği sorgulanmıştır. Ayrıca elektrikli araç yangınlarına ilişkin ulusal ve uluslararası mevzuat, standartlar ve rehber dokümanlar incelenerek, uygulamadaki güçlü ve zayıf yönler değerlendirilmiştir.

Araştırma bulguları, elektrikli araç yangınlarının nadir görülmesine rağmen yüksek şiddetli ve uzun süreli olaylar olduğunu; yeniden alevlenme ve toksik gaz maruziyeti risklerinin özellikle iş sağlığı ve güvenliği açısından kritik önem taşıdığını göstermektedir. Sonuç olarak çalışma, elektrikli araç yangınlarının bilimsel temelli, standartlaştırılmış ve iş sağlığı ve güvenliği odaklı müdahale stratejileriyle yönetilmesinin zorunlu olduğunu ortaya koymakta; acil müdahale personelinin eğitimi, mevzuatın güncellenmesi ve kurumsal hazırlık düzeyinin artırılmasına yönelik öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araç Yangınları, Yangına Müdahale Teknikleri, İş Sağlığı ve Güvenliği, Acil Durum Yönetimi.

ABSTRACT

Safety Measures and Intervention Techniques in Electric Vehicle Fires

The rapid global diffusion of electric vehicle technologies has provided significant gains in environmental sustainability and energy efficiency within the transportation sector; however, this transformation process has also introduced new and distinctive safety risks. In particular, fires occurring in electric vehicles based on lithium-ion battery systems exhibit technical, chemical, and operational characteristics that differ substantially from those of conventional internal combustion engine vehicle fires. Factors such as high energy density, thermal runaway mechanisms, the tendency for re-ignition, and the release of toxic gases pose serious risks in terms of occupational health and safety. The aim of this study is to comprehensively analyze the characteristic features of electric vehicle fires, the existing safety measures, and the intervention techniques applied to such incidents from an occupational health and safety perspective, and to evaluate the adequacy of these practices.

The research encompasses the structure and risks of lithium-ion battery systems used in electric vehicles, thermal runaway processes, the physical and chemical hazards that arise during and after a fire, and the effects of these hazards on emergency response personnel. The study demonstrates why electric vehicle fires require intervention approaches different from those applied to conventional vehicle fires and critically examines the adequacy of current response methods, personal protective equipment practices, and training levels in addressing these unique risks. In addition, national and international legislation, standards, and guideline documents related to electric vehicle fires are reviewed, and the strengths and weaknesses of existing practices are assessed. The findings indicate that although electric vehicle fires are relatively rare, they tend to be high-intensity and long-duration events, and that the risks of re-ignition and exposure to toxic gases are of critical importance, particularly from an occupational health and safety standpoint. In conclusion, the study emphasizes the necessity of managing electric vehicle fires through scientifically grounded, standardized, and occupational health and safety-oriented intervention strategies, and offers recommendations aimed at improving the training of emergency response personnel, updating relevant legislation, and enhancing institutional preparedness levels.

Keywords: Electric Vehicle Fires, Firefighting and Intervention Techniques, Occupational Health and Safety, Emergency Management.

SEMBOL/KISALTMA DİZİNİ

ACEA	: Avrupa Otomobil Üreticileri Birliği (European Automobile Manufacturers' Association)
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BMS	: Batarya Yönetim Sistemi (Battery Management System)
BEV	: Bataryalı Elektrikli Araç (Battery Electric Vehicle)
CAS	: Kimyasal Özet Servisi (Chemical Abstracts Service)
CPG	: Kapsamlı Hazırlık Rehberi (Comprehensive Preparedness Guide)
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
EV	: Elektrikli Araç (Electric Vehicle)
FCEV	: Yakıt Hücreli Elektrikli Araç (Fuel Cell Electric Vehicle)
FEMA	: ABD Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (Federal Emergency Management Agency)
HEV	: Hibrit Elektrikli Araç (Hybrid Electric Vehicle)
HF	: Hidrojen Florür
HCN	: Hidrojen Siyanür
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
KKD	: Kişisel Koruyucu Donanım
Li-ion	: Lityum-İyon
NMC	: Nikel-Manganez-Kobalt Batarya Kimyası
NTSB	: ABD Ulusal Ulaştırma Güvenliği Kurulu (National Transportation Safety Board)
SEI	: Katı Elektrolit Ara Yüzeyi (Solid Electrolyte Interphase)
THSC	: Temiz Hava Solunum Cihazı
TOGG	: Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
USFA	: ABD Yangın İdaresi (United States Fire Administration)
V2G	: Araçtan Şebekeye Enerji Transferi (Vehicle to Grid)
VDA	: Alman Otomotiv Endüstrisi Birliği (Verband der Automobilindustrie)
°C	: Santigrat Derece
kW	: Kilovat
kWh	: Kilovat-saat
V	: Volt

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Dağılımı	76
Tablo 2. Elektrikli Araç Yangınlarına Yönelik Müdahale Protokollerine İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı.....	83
Tablo 3. Elektrikli Araç Yangınlarına Müdahale Deneyimine İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı	86
Tablo 4. Elektrikli Araç Yangınlarına Müdahalede Kullanılan Kişisel Koruyucu Donanımlara (KKD) İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı.....	90
Tablo 5. Batarya Kaynaklı Yangınlarda Toksik Gazlar ve Kimyasal Maruziyete İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı	94
Tablo 6. Elektrikli Araç Yangınlarında Kullanılan Söndürme Ekipmanlarının Niteliği ve Etkinliğine İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı	98
Tablo 7. Elektrikli Araç Yangınlarına Yönelik Hizmet İçi Eğitimlere İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı	102
Tablo 8. Elektrikli Araç Yangınlarına Müdahale Sürecinde Karşılaşılan Organizasyonel Sorunlara İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı	107
Tablo 9. Türkiye’de Elektrikli Araç Yangınlarına Müdahale Hazırlık Düzeyine İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı.....	112
Tablo 10. Batarya Yangınlarına Müdahalede Güvenlik Açısından Kritik Aşamalara İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı.....	116
Tablo 11. Elektrikli Araç Batarya Yangınlarında Riskleri Azaltmaya Yönelik Öncelikli Teknik, Eğitsel ve Yönetmel Adımlara İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı	120

Tablo 12. Elektrikli Araç Yangınlarına İlişkin Mevzuat, Rehber ve Talimatnamelerde Algılanan Eksiklikler ve Revizyon İhtiyacına Yönelik Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı	125
---	-----



GİRİŞ

Ulaşım sektöründe yaşanan teknolojik dönüşüm, son yıllarda küresel ölçekte enerji politikaları, çevresel sürdürülebilirlik hedefleri ve iklim değişikliğiyle mücadele stratejileriyle doğrudan ilişkilenen çok boyutlu bir paradigma değişimini beraberinde getirmiştir (Gomez ve Medhat, 2008). Bu dönüşümün en görünür ve en hızlı yayılan bileşenlerinden biri, içten yanmalı motorlu araçların yerini giderek daha fazla almaya başlayan elektrikli araçlardır. Elektrikli araç teknolojileri, fosil yakıt bağımlılığını azaltma, sera gazı emisyonlarını düşürme ve enerji verimliliğini artırma potansiyeli nedeniyle hem kamu otoriteleri hem de özel sektör tarafından stratejik bir çözüm alanı olarak görülmektedir (Ahmed, vd., 2020). Bu bağlamda elektrikli araçların küresel pazardaki payı her geçen yıl artmakta, buna paralel olarak şehir içi ulaşım, lojistik ve bireysel mobilite pratikleri köklü biçimde yeniden şekillenmektedir. Ancak bu hızlı yaygınlaşma süreci, yalnızca çevresel ve ekonomik avantajlar üzerinden değerlendirilmemekte; aynı zamanda yeni ve özgün risk alanlarını da beraberinde getirmektedir (Larminie ve Dicks, 2000). Özellikle lityum-iyon batarya temelli enerji depolama sistemlerinin kullanımı, elektrikli araçlara özgü yangın, patlama ve toksik gaz açığa çıkışı gibi güvenlik risklerini gündeme taşımaktadır.

Elektrikli araç yangınları, istatistiksel olarak geleneksel içten yanmalı motorlu araç yangınlarına kıyasla daha seyrek meydana gelmekle birlikte, ortaya çıktığında yüksek şiddetli, uzun süreli ve kontrolü güç olaylar olarak tanımlanmaktadır (Patel, vd., 2016). Bu durum, yangın olasılığının düşüklüğünden ziyade yangının karakteri ve sonuçlarının ciddiyeti üzerinden değerlendirilmesi gereken özgün bir risk profiline işaret etmektedir. Lityum-iyon bataryaların yüksek enerji yoğunluğu, termal kaçak olarak adlandırılan kontrolsüz ısınma mekanizmasını tetikleyebilmekte; bu süreç, zincirleme reaksiyonlar yoluyla batarya paketinin tamamını etkileyen şiddetli yangınlara ve patlamalara neden olabilmektedir (Thomas, 2009). Elektrikli araç yangınlarında ortaya çıkan bu termal ve kimyasal süreçler, yalnızca aracın kendisiyle sınırlı kalmamakta; müdahale eden itfaiye personeli, kurtarma ekipleri, çekici operatörleri ve çevrede bulunan üçüncü kişiler açısından ciddi iş sağlığı ve güvenliği riskleri oluşturmaktadır. Ayrıca bu tür yangınlarda açığa çıkan hidrojen florür, hidrojen siyanür ve ağır metal içerikli partiküller gibi toksik bileşenler, kısa ve uzun vadede insan sağlığı üzerinde ağır etkiler yaratabilmektedir (Akgündoğdu, vd., 2017).

Elektrikli araç yangınlarının bir diğer ayırt edici özelliği, yeniden alevlenme eğilimidir. Yangın söndürüldüğü düşünülen bir elektrikli aracın saatler, hatta günler sonra tekrar tutuşabilmesi, bu tür olayları klasik araç yangınlarından ayıran en kritik unsurlardan biridir (Faraz, vd., 2020). Bu durum, yangın sonrası süreçlerin de en az ilk müdahale kadar dikkatle yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle kapalı otoparklar, tüneller ve yoğun yerleşim alanlarında meydana gelen elektrikli araç yangınları, toksik duman birikimi, oksijen azalması ve tahliye güçlükleri nedeniyle toplumsal güvenlik açısından da önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Russoa, vd., 2018). Bu bağlamda elektrikli araç yangınları, yalnızca teknik bir yangın olayı olarak değil; çok disiplinli bir risk yönetimi ve iş sağlığı güvenliği sorunu olarak ele alınmalıdır.

İş sağlığı ve güvenliği perspektifinden bakıldığında, elektrikli araç yangınları mevcut mevzuat, eğitim ve müdahale protokollerinin yeterliliğini sorgulamayı gerekli kılmaktadır. Geleneksel araç yangınlarına yönelik olarak geliştirilmiş müdahale yöntemleri ve standart ekipmanlar, elektrikli araç yangınlarının kendine özgü dinamikleri karşısında çoğu zaman yetersiz kalmaktadır (Yong, vd., 2015). Yüksek voltajlı sistemler nedeniyle elektrik çarpması riski, uzun süreli ısı maruziyeti, patlama ve şarapnel etkisi, toksik gazlara maruz kalma ve yeniden alevlenme ihtimali, müdahale personelinin karşı karşıya olduğu başlıca mesleki tehlikeler arasında yer almaktadır (Duh, vd., 2021). Bu durum, itfaiye teşkilatları ve acil durum ekipleri için özel eğitim programlarının, model bazlı müdahale kılavuzlarının ve yeni nesil teknik ekipmanların geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Aynı zamanda, elektrikli araçların yaygınlaştığı iş yerleri, otoparklar, şarj istasyonları ve lojistik alanlar için risk değerlendirmelerinin güncellenmesi ve önleyici güvenlik önlemlerinin yeniden tasarlanması gerekmektedir.

Elektrikli araç yangınlarına ilişkin literatür incelendiğinde, teknik batarya güvenliği, termal kaçak mekanizmaları ve yangın söndürme yöntemleri üzerine yoğunlaşan çalışmaların giderek arttığı görülmektedir (Wang, vd., 2022). Bununla birlikte, bu çalışmaların önemli bir kısmının mühendislik ve malzeme bilimi ekseninde yürütüldüğü; iş sağlığı ve güvenliği, acil durum yönetimi ve müdahale personelinin korunması gibi uygulamaya dönük boyutların görece sınırlı ele alındığı dikkat çekmektedir. Özellikle ulusal bağlamda, elektrikli araç yangınlarının sahadaki müdahale pratikleri, mevzuat uyumu ve kurumsal hazırlık düzeyi üzerine yapılan akademik çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Bu durum, hızla yaygınlaşan elektrikli araç teknolojilerinin yarattığı yeni risklere karşı yeterli

bilimsel ve kurumsal hazırlığın henüz tam olarak sağlanamadığını göstermektedir. Bu çerçevede, elektrikli araç yangınlarının güvenlik önlemleri ve müdahale teknikleri bağlamında bütüncül biçimde ele alınması, hem akademik literatüre hem de uygulayıcı kurumlara önemli katkılar sunma potansiyeline sahiptir. Elektrikli araç yangınlarının karakteristik özelliklerinin, termal kaçak süreçlerinin, açığa çıkan toksik gazların ve yeniden alevlenme risklerinin ayrıntılı biçimde analiz edilmesi; buna karşılık etkin müdahale stratejilerinin, koruyucu ekipman gereksinimlerinin ve iş sağlığı güvenliği uygulamalarının değerlendirilmesi, bu alandaki bilgi boşluğunu doldurmaya yönelik kritik bir adım olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla bu çalışma, elektrikli araç yangınlarını yalnızca teknik bir olay olarak değil; insan sağlığı, mesleki güvenlik ve toplumsal risk yönetimi boyutlarıyla ele alarak disiplinler arası bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır. Bu yönüyle araştırma, elektrikli araç teknolojilerinin güvenli ve sürdürülebilir biçimde yaygınlaşmasına katkı sağlayacak bilimsel bir zemin oluşturmayı hedeflemektedir.

Araştırmanın Önemi

Elektrikli araç teknolojilerinin küresel ölçekte hızla yaygınlaşması, ulaşım sistemlerinde çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve karbon emisyonlarının azaltılması gibi hedefler açısından önemli kazanımlar sunmakla birlikte, bu dönüşüm süreci beraberinde yeni ve özgün risk alanlarını da gündeme taşımaktadır. Bu risk alanlarının başında, lityum-iyon batarya sistemlerine dayalı elektrikli araçlarda meydana gelen yangınlar gelmekte olup, söz konusu yangınlar gerek teknik yapıları gerekse sonuçları itibarıyla geleneksel içten yanmalı motorlu araç yangınlarından belirgin biçimde ayrılmaktadır (Xu, vd., 2021). Elektrikli araç yangınlarının düşük görülme sıklığına rağmen yüksek şiddetli, uzun süreli, yeniden alevlenmeye yatkın ve toksik gaz salınımı açısından son derece tehlikeli olaylar olması, bu konunun yalnızca mühendislik veya çevre politikaları bağlamında değil; aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği, acil durum yönetimi ve kamu güvenliği perspektifleriyle ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araç yangınlarının güvenlik önlemleri ve müdahale teknikleri açısından sistematik biçimde incelenmesi, hem bilimsel literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmakta hem de uygulamaya dönük ciddi bir ihtiyaca karşılık gelmektedir.

Araştırmanın önemi, öncelikle elektrikli araç yangınlarının özgün risk profiline ilişkin bilimsel farkındalığın artırılmasına katkı sağlamasında yatmaktadır. Lityum-iyon bataryaların termal kaçak mekanizması, yüksek enerji yoğunluğu, hücreler arası zincirleme

reaksiyonlar ve yeniden alevlenme potansiyeli gibi özellikleri, bu yangınları klasik yangın senaryolarından ayırmakta ve müdahale süreçlerini karmaşıktırmaktadır. Buna karşın, sahada görev yapan itfaiye personeli, arama-kurtarma ekipleri ve diğer acil durum çalışanlarının önemli bir kısmının hâlen içten yanmalı araç yangınlarına dayalı eğitim ve müdahale alışkanlıklarına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, elektrikli araç yangınlarına müdahalede personelin ciddi iş kazaları, toksik gaz maruziyeti ve elektrik çarpması gibi tehlikelerle karşı karşıya kalmasına neden olabilmektedir. Bu araştırma, elektrikli araç yangınlarının teknik ve operasyonel özelliklerini ayrıntılı biçimde ele alarak, söz konusu risklerin daha net biçimde tanımlanmasına ve müdahale süreçlerinde farkındalığın artırılmasına bilimsel bir zemin sunmaktadır.

Çalışmanın önemi aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği alanına yaptığı doğrudan katkıdan kaynaklanmaktadır. Elektrikli araç yangınları, acil müdahale personeli açısından klasik iş güvenliği risklerinin ötesinde, yüksek voltaj kaynaklı elektrik çarpması, uzun süreli aşırı ısıya maruz kalma, patlama etkisi, ağır metal ve asidik gazlara maruziyet gibi çok boyutlu mesleki tehlikeler içermektedir. Bu risklerin bir kısmı yangın anında ortaya çıkarken, önemli bir bölümü yangın söndürüldükten sonra dahi devam etmekte ve özellikle yeniden alevlenme riski nedeniyle yangın sonrası süreçler de ciddi güvenlik tehditleri barındırmaktadır. Bu bağlamda araştırma, elektrikli araç yangınlarını yalnızca bir “yangın olayı” olarak değil, bütüncül bir iş sağlığı ve güvenliği problemi olarak ele almakta; müdahale öncesi hazırlık, olay anı uygulamaları ve olay sonrası izleme süreçlerini kapsayan geniş bir risk değerlendirme çerçevesi sunmaktadır. Bu yaklaşım, iş sağlığı ve güvenliği literatüründe henüz yeterince derinlik kazanmamış bir konunun akademik düzeyde ele alınması açısından önemli bir katkı niteliği taşımaktadır.

Araştırmanın bir diğer önemli yönü, elektrikli araç yangınlarına yönelik mevcut mevzuat, standartlar ve kurumsal uygulamaların yeterliliğini sorgulama ve geliştirme potansiyeli sunmasıdır. Elektrikli araç teknolojilerinin yaygınlaşma hızı, çoğu ülkede mevzuat ve kurumsal hazırlık süreçlerinin önüne geçmiş durumdadır. Birçok yangın yönetmeliği, acil durum planı ve iş güvenliği yönergesi, elektrikli araçlara özgü yangın senaryolarını yeterince kapsamamakta veya bu senaryoları yalnızca sınırlı ölçüde ele almaktadır. Bu çalışma, elektrikli araç yangınlarının karakteristik özelliklerini ve müdahale gereksinimlerini ayrıntılı biçimde analiz ederek, mevcut düzenlemelerin hangi açılardan yetersiz kaldığını ortaya koyma ve gelecekte yapılacak mevzuat güncellemelerine bilimsel

veri sağlama potansiyeline sahiptir. Özellikle itfaiye teşkilatları, belediyeler, sanayi kuruluşları ve büyük ölçekli otopark işletmeleri açısından bu tür bilimsel çalışmalar, politika geliştirme ve kurumsal risk yönetimi süreçlerinde önemli bir referans noktası oluşturmaktadır.

Araştırmanın önemi, akademik literatüre disiplinler arası bir katkı sunmasında da kendini göstermektedir. Elektrikli araç yangınları konusu; enerji teknolojileri, malzeme bilimi, yangın mühendisliği, iş sağlığı ve güvenliği, çevre sağlığı ve acil durum yönetimi gibi birçok alanın kesişim noktasında yer almaktadır. Bu çalışma, söz konusu alanları bütüncül bir bakış açısıyla ele alarak, yalnızca teknik açıklamalarla sınırlı kalmamakta; insan sağlığı, mesleki güvenlik ve toplumsal risk boyutlarını da kapsayan geniş bir değerlendirme sunmaktadır. Bu yönüyle araştırma, tek disiplinli çalışmaların ötesine geçerek literatürdeki parçalı bilgi yapısını bütünleştirme potansiyeli taşımaktadır. Ayrıca, ulusal literatürde elektrikli araç yangınlarını iş sağlığı ve güvenliği bağlamında ele alan çalışmaların sınırlı olması, bu araştırmanın özgünlüğünü ve akademik değerini daha da artırmaktadır.

Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın temel amacı, elektrikli araçlarda meydana gelen yangınların teknik, operasyonel ve iş sağlığı ve güvenliği boyutlarını bütüncül bir bakış açısıyla ele alarak, bu yangınlara yönelik mevcut güvenlik önlemleri ile müdahale tekniklerini sistematik biçimde analiz etmek ve söz konusu uygulamaların yeterliliğini bilimsel temellere dayalı olarak değerlendirmektir. Elektrikli araç teknolojilerinin hızla yaygınlaşmasına karşın, bu araçlara özgü yangın risklerinin ve müdahale süreçlerinin henüz yeterli düzeyde standartlaşmamış olması, çalışmanın amacını yalnızca betimleyici bir çerçevenin ötesine taşımaktadır. Risklerin tanımlanması, sınıflandırılması ve yönetilmesine yönelik analitik bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda araştırma, elektrikli araç yangınlarının ortaya çıkış nedenlerini, lityum-iyon batarya sistemlerinin termal kaçak mekanizmalarını, yangın sırasında ve sonrasında gelişen fiziksel, kimyasal ve elektriksel tehlikeleri ayrıntılı biçimde ortaya koymayı; bu tehlikelerin müdahale personeli ve çevre açısından ne tür sonuçlar doğurduğunu kapsamlı biçimde irdelemeyi amaçlamaktadır.

Araştırmanın bir diğer temel amacı, elektrikli araç yangınlarının geleneksel içten yanmalı motorlu araç yangınlarından hangi yönleriyle ayrıştığını bilimsel veriler ışığında ortaya koyarak, bu farklılıkların yangına müdahale stratejileri üzerindeki etkilerini

değerlendirmektir. Elektrikli araç yangınlarının düşük sıklıkla meydana gelmesine rağmen yüksek şiddetli, uzun süreli ve yeniden alevlenmeye yatkın olaylar olması; söndürme süreçlerinde yüksek miktarda su kullanımını gerektirmektedir. Batarya paketlerine doğrudan erişimin zor olması ve toksik gaz salınımının ciddi boyutlara ulaşması gibi özellikler, klasik yangın müdahale anlayışının bu tür olaylar için yetersiz kalabildiğini göstermektedir. Bu araştırma, söz konusu farklılıkları teknik ve operasyonel düzeyde ayrıntılandırarak, mevcut müdahale yaklaşımlarının hangi açılardan geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda çalışma, yangın söndürme yöntemleri, soğutma stratejileri, yeniden alevlenme riskine karşı alınması gereken önlemler ve yangın sonrası izleme süreçlerini ele alarak, müdahale tekniklerinin etkililiğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Araştırmanın önemli amaçlarından biri de, elektrikli araç yangınlarının iş sağlığı ve güvenliği açısından yarattığı mesleki riskleri kapsamlı biçimde analiz etmektir. Bu kapsamda çalışma, itfaiye personeli, arama-kurtarma ekipleri, çekici operatörleri ve diğer acil müdahale çalışanlarının elektrikli araç yangınları sırasında ve sonrasında maruz kaldıkları fiziksel, kimyasal ve elektriksel tehlikeleri sistematik olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır. Yüksek voltajlı batarya sistemleri nedeniyle oluşabilecek elektrik çarpması riski, uzun süreli aşırı ısıya maruz kalma, patlama ve şarapnel etkisi, hidrojen florür ve benzeri toksik gazlara maruziyet gibi risklerin, iş sağlığı ve güvenliği bağlamında nasıl yönetilmesi gerektiği bu araştırmanın odak noktalarından birini oluşturmaktadır. Bu doğrultuda araştırma, mevcut kişisel koruyucu donanım uygulamalarının, eğitim programlarının ve operasyonel güvenlik protokollerinin yeterliliğini değerlendirmeyi; sahada karşılaşılan uygulama eksikliklerini ortaya koymayı ve risklerin azaltılmasına yönelik bilimsel temelli öneriler geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Araştırmanın bir diğer amacı, elektrikli araç yangınlarına yönelik ulusal ve uluslararası düzeyde geliştirilen mevzuat, standartlar ve rehber dokümanların uygulamadaki karşılığını irdelemek ve bu düzenlemelerin sahadaki gerçek ihtiyaçlarla ne ölçüde örtüştüğünü değerlendirmektir. Elektrikli araç teknolojilerinin gelişim hızının, çoğu zaman mevzuat ve kurumsal düzenlemelerin güncellenme hızının önüne geçtiği görülmektedir. Bu durum, acil durum yönetimi ve iş sağlığı güvenliği alanında uygulamada boşluklar oluşmasına yol açabilmektedir. Araştırma, elektrikli araç yangınlarına ilişkin mevcut düzenlemelerin kapsamını, sınırlarını ve uygulanabilirliğini analiz ederek, gelecekte yapılabilecek mevzuat güncellemeleri ve kurumsal düzenlemeler için bilimsel bir referans

çerçevesi sunmayı hedeflemektedir. Bu yönüyle çalışma, yalnızca akademik literatüre katkı sağlamayı değil; aynı zamanda politika yapıcılar, yerel yönetimler ve ilgili kamu kurumları için yol gösterici nitelikte çıktılar üretmeyi amaçlamaktadır.

Bu araştırmanın amacı ayrıca, elektrikli araç yangınlarının müdahale ve önleme süreçlerine ilişkin bilgi birikimini disiplinler arası bir yaklaşımla derinleştirmektir. Elektrikli araç yangınları, enerji depolama teknolojileri, yangın mühendisliği, iş sağlığı ve güvenliği, çevre sağlığı ve acil durum yönetimi gibi birçok alanın kesişiminde yer almaktadır. Çalışma, bu alanlar arasında bütüncül bir bağ kurarak, yalnızca teknik açıklamalara dayalı bir değerlendirme sunmakla yetinmemekte; insan sağlığı, mesleki güvenlik ve toplumsal risk boyutlarını da dikkate alan kapsamlı bir analiz ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, literatürde sıklıkla karşılaşılan parçalı ve tek boyutlu değerlendirmelerin ötesine geçerek, elektrikli araç yangınlarını çok katmanlı bir risk alanı olarak ele alma hedefini taşımaktadır.

Araştırmanın Problemi ve Alt Problemleri

Elektrikli araç teknolojilerinin küresel ölçekte hızla yaygınlaşmasına rağmen, bu araçlara özgü yangın risklerinin doğası, boyutu ve müdahale gereksinimleri konusunda gerek akademik literatürde gerekse uygulama alanında önemli belirsizlikler ve yapısal boşluklar bulunduğu görülmektedir. Elektrikli araç yangınları, geleneksel içten yanmalı motorlu araç yangınlarından farklı olarak lityum-iyon batarya sistemlerinin yüksek enerji yoğunluğu, termal kaçak mekanizması, yeniden alevlenme eğilimi ve toksik gaz salınımı gibi özgün özellikler taşımaktadır. Bu durum yangınların hem ortaya çıkış sürecini hem de müdahale ve kontrol aşamalarını karmaşık hale getirmektedir. Buna karşın, birçok ülkede yangınla mücadeleye ilişkin mevcut mevzuatın, eğitim programlarının ve operasyonel protokollerin büyük ölçüde içten yanmalı araçlara dayalı risk varsayımları üzerine inşa edildiği; elektrikli araç yangınlarının bu özgün karakteristiklerini yeterince dikkate almadığı dikkat çekmektedir. Bu durum, elektrikli araç yangınlarına müdahalede görev alan itfaiye personeli ve diğer acil durum çalışanlarının, karşılaştıkları riskleri tam olarak öngörememelerine ve dolayısıyla ciddi iş sağlığı ve güvenliği tehlikeleriyle yüz yüze kalmalarına neden olabilmektedir.

Araştırmanın temel problemi, elektrikli araç yangınlarının sahip olduğu teknik ve operasyonel özelliklere karşın, bu yangınlara yönelik güvenlik önlemleri ve müdahale

tekniklerinin bilimsel temelli, standartlaştırılmış ve iş sağlığı ve güvenliği odaklı bir çerçeve içerisinde yeterince tanımlanmamış ve değerlendirilmemiş olmasıdır. Elektrikli araç yangınlarının nadir görülmesi, bu olayların risk algısında geri plana itilmesine yol açmakta; ancak yangın meydana geldiğinde ortaya çıkan yüksek ısı, uzun yanma süresi, yeniden alevlenme potansiyeli ve toksik gaz salınımı, bu olayları son derece tehlikeli hale getirmektedir. Bu çelişkili durum, yani düşük sıklık–yüksek şiddet paradoksu, elektrikli araç yangınlarının risk yönetimi açısından özel olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Buna rağmen, sahada uygulanan müdahale yöntemlerinin çoğu zaman geleneksel araç yangınlarına ilişkin alışkanlıklarla yürütüldüğü, batarya kaynaklı yangınların gerektirdiği farklı stratejilerin yeterince içselleştirilmediği görülmektedir. Bu bağlamda araştırmanın problemi, elektrikli araç yangınlarının doğasına uygun müdahale tekniklerinin ne ölçüde geliştirildiği, uygulandığı ve bu uygulamaların iş sağlığı ve güvenliği açısından ne denli yeterli olduğu sorusu etrafında şekillenmektedir.

Araştırmanın problem alanını derinleştiren bir diğer boyut, elektrikli araç yangınlarına ilişkin bilgi ve deneyim eksikliğinin kurumsal düzeyde yarattığı hazırlıksızlık durumudur. Elektrikli araçların kullanımının artmasıyla birlikte otoparklar, tüneller, şarj istasyonları ve kapalı alanlar gibi mekânlarda yangın riski yeni bir boyut kazanmıştır. Ancak bu alanlara ilişkin acil durum planlarının büyük bir kısmının hâlen geleneksel araç yangınları senaryolarına göre düzenlendiği, elektrikli araç yangınlarına özgü riskleri yeterince kapsamadığı görülmektedir. Bu durum, yangın anında yanlış veya yetersiz müdahalelere, personelin gereksiz riskler almasına ve olayın kontrol altına alınmasının gecikmesine yol açabilmektedir. Dolayısıyla araştırmanın problemi, yalnızca yangının teknik yönleriyle sınırlı olmayıp; kurumsal hazırlık, eğitim, mevzuat uyumu ve uygulama yeterliliği gibi çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Bu temel problem çerçevesinde araştırma, elektrikli araç yangınlarının hangi koşullarda ortaya çıktığı, bu yangınların teknik olarak nasıl geliştiği ve hangi riskleri barındırdığı sorularını alt problem alanları olarak ele almaktadır. Lityum-iyon batarya sistemlerinin yapısı, termal kaçak mekanizmasının hangi tetikleyicilerle devreye girdiği, yangının hücreler arası nasıl yayıldığı ve yeniden alevlenme riskinin hangi koşullarda ortaya çıktığı gibi sorular, araştırmanın teknik alt problemlerini oluşturmaktadır. Bu soruların yanıtlanması, elektrikli araç yangınlarının neden klasik yangınlardan farklı olduğunu ortaya koymak açısından kritik öneme sahiptir. Aynı zamanda, yangın sırasında ve sonrasında açığa çıkan toksik gazların türü, yoğunluğu ve insan sağlığı üzerindeki etkileri

de araştırmanın alt problem alanları arasında yer almakta; bu gazlara maruziyetin acil müdahale personeli açısından nasıl bir mesleki risk oluşturduğu sorgulanmaktadır.

Araştırmanın bir diğer problem boyutu, elektrikli araç yangınlarına müdahalede kullanılan mevcut yöntem ve ekipmanların yeterliliğiyle ilgilidir. Yüksek miktarda su kullanımının gerekliliği, köpük ve kimyasal söndürücülerin sınırlı etkililiği, batarya paketlerine doğrudan erişimin zorluğu ve yangının uzun süre kontrol altında tutulması gerekliliği gibi faktörler, müdahale sürecini son derece karmaşık hale getirmektedir. Bu bağlamda araştırma, sahada uygulanan müdahale tekniklerinin elektrikli araç yangınlarının karakteristik özellikleriyle ne ölçüde uyumlu olduğu, hangi noktalarda yetersiz kaldığı ve bu yetersizliklerin ne tür iş kazalarına veya sağlık risklerine yol açabileceği sorularını problem alanının bir parçası olarak ele almaktadır. Özellikle yeniden alevlenme riskinin yeterince dikkate alınmaması, yangın sonrası süreçlerde ciddi güvenlik açıkları yaratmakta; çekici operatörleri ve depo çalışanları gibi ikincil müdahale personelinin beklenmedik tehlikelerle karşılaşmasına neden olabilmektedir.

Araştırmanın problematik yapısında öne çıkan bir diğer alt problem, elektrikli araç yangınlarına yönelik eğitim ve farkındalık düzeyinin yetersizliğidir. Elektrikli araç teknolojilerinin görece yeni olması, bu alanda görev yapan birçok personelin yeterli teorik bilgi ve pratik deneyime sahip olmamasına yol açmaktadır. Bu durum, yangına müdahale sırasında yanlış kararların alınmasına, risklerin hafife alınmasına veya gereksiz tehlikelere maruz kalınmasına neden olabilmektedir. Araştırma, elektrikli araç yangınlarına ilişkin mevcut eğitim içeriklerinin yeterliliğini, personelin risk algısını ve uygulamadaki bilgi boşluklarını problem alanının önemli bir bileşeni olarak değerlendirmektedir. Bu bağlamda çalışmanın problemi, elektrikli araç yangınlarına yönelik bilgi üretiminin ve bu bilginin sahaya aktarılmasının mevcut düzeyinin sorgulanmasını da kapsamaktadır.

Araştırmanın Kapsamı ve Sınırlılıkları

Bu araştırmanın kapsamı, elektrikli araç teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte ortaya çıkan yangın risklerini, bu risklere yönelik geliştirilen güvenlik önlemlerini ve yangınlara müdahale süreçlerini iş sağlığı ve güvenliği perspektifiyle bütüncül biçimde ele almak üzere sınırlandırılmıştır. Çalışma, elektrikli araçlarda kullanılan lityum-iyon batarya sistemlerinin yapısal özellikleri, termal kaçak mekanizmaları, yangının oluşum ve yayılım süreçleri ile yangın sırasında ve sonrasında ortaya çıkan fiziksel, kimyasal ve elektriksel

tehlikeleri kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu bağlamda araştırma, elektrikli araç yangınlarının yalnızca teknik nedenlerini incelemekle yetinmemektedir. Yangınların müdahale personeli, çevrede bulunan bireyler ve çalışma ortamları üzerindeki etkilerini de dikkate alarak çok boyutlu bir analiz sunmayı amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında, elektrikli araç yangınlarının geleneksel içten yanmalı motorlu araç yangınlarından hangi yönleriyle ayrıştığı, bu farklılıkların müdahale stratejilerine ve güvenlik uygulamalarına nasıl yansıdığı ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır.

Araştırmanın kapsamı, elektrikli araç yangınlarına müdahalede görev alan itfaiye personeli, arama-kurtarma ekipleri ve diğer acil durum çalışanlarının maruz kaldıkları iş sağlığı ve güvenliği risklerini değerlendirmeye odaklanmaktadır. Bu çerçevede çalışma, yüksek voltajlı batarya sistemleri nedeniyle oluşabilecek elektrik çarpması riski, uzun süreli aşırı ısıya maruz kalma, patlama ve yeniden alevlenme ihtimali, toksik gaz ve ağır metal içerikli partiküllere maruziyet gibi mesleki tehlikeleri kapsamaktadır. Aynı zamanda, elektrikli araç yangınlarının meydana geldiği farklı mekânsal bağlamlar dikkate alınarak, bu ortamlarda ortaya çıkabilecek ek riskler de araştırmanın kapsamı içinde değerlendirilmektedir. Bu yönüyle çalışma, elektrikli araç yangınlarını soyut bir teknik olaydan ziyade, gerçek çalışma koşulları ve operasyonel uygulamalar bağlamında ele almaktadır.

Araştırma, elektrikli araç yangınlarına yönelik mevcut güvenlik önlemleri ve müdahale tekniklerinin etkililiğini değerlendirmeyi de kapsamaktadır. Bu kapsamda, yangın söndürme yöntemleri, soğutma stratejileri, yeniden alevlenme riskine karşı alınan önlemler, yangın sonrası izleme ve güvenli depolama uygulamaları ile kişisel koruyucu donanım kullanımı araştırmanın inceleme alanına dâhil edilmiştir. Bununla birlikte çalışma, elektrikli araç üreticileri tarafından hazırlanan acil durum müdahale kılavuzları, ulusal ve uluslararası standartlar ile iş sağlığı ve güvenliği mevzuatının sahadaki uygulamalarla ne ölçüde örtüştüğünü değerlendirmeyi de kapsamaktadır. Böylece araştırma, yalnızca teorik bir çerçeve sunmakla kalmayıp, mevcut uygulamaların güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koymayı hedeflemektedir.

Araştırmanın kapsamı belirlenirken, çalışmanın akademik niteliği ve uygulanabilirliği göz önünde bulundurularak bazı sınırlılıklar da kaçınılmaz olarak ortaya çıkmıştır. Öncelikle bu çalışma, elektrikli araç yangınlarını esas olarak lityum-iyon batarya sistemlerine sahip binek ve hafif ticari araçlar bağlamında ele almaktadır. Ağır hizmet

araçları, elektrikli otobüsler, trenler veya endüstriyel batarya sistemleri gibi daha büyük ölçekli enerji depolama uygulamalarını kapsam dışı bırakmaktadır. Bu sınırlama, söz konusu sistemlerin yangın dinamiklerinin ve müdahale gereksinimlerinin önemli ölçüde farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla araştırmada elde edilen bulgular, öncelikle lityum-iyon bataryaya sahip elektrikli kara taşıtları için geçerlidir ve diğer elektrikli sistemlere doğrudan genellenmesi temkinli bir yaklaşım gerektirmektedir.

Araştırmanın bir diğer sınırlılığı, elektrikli araç yangınlarına ilişkin istatistiksel veri ve vaka sayısının görece sınırlı olmasıdır. Elektrikli araç yangınları, geleneksel araç yangınlarına kıyasla daha nadir görüldüğünden, geniş ölçekli ve uzun dönemli istatistiksel veri setlerine ulaşmak her zaman mümkün olmamaktadır. Bu durum, bazı değerlendirmelerin sınırlı sayıda vaka raporu, teknik test sonuçları ve literatürde yer alan deneysel çalışmalar üzerinden yapılmasını zorunlu kılmıştır. Dolayısıyla araştırmada ulaşılan bazı sonuçlar, mevcut verilerin sunduğu çerçeveye sınırlıdır ve elektrikli araç kullanımının daha da yaygınlaşmasıyla birlikte gelecekte elde edilecek yeni verilerle desteklenmesi gerekebilir.

Araştırmanın sınırlılıkları arasında, farklı ülkelerdeki mevzuat ve uygulama farklılıkları da yer almaktadır. Elektrikli araç yangınlarına yönelik güvenlik standartları, müdahale protokolleri ve iş sağlığı ve güvenliği düzenlemeleri ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Bu çalışma, ağırlıklı olarak uluslararası literatür ve genel kabul görmüş standartlar çerçevesinde bir değerlendirme sunmaktadır. Ancak her ülkenin kendine özgü hukuki ve kurumsal yapısının detaylı karşılaştırmalı analizini kapsam dışı bırakmaktadır. Bu nedenle araştırmada sunulan değerlendirmeler, genel bir çerçeve niteliği taşımakta olup, belirli bir ülke veya kurum özelinde uygulamaya aktarılırken yerel mevzuat ve koşulların dikkate alınması gerekmektedir.

Araştırmanın bir diğer önemli sınırlılığı, saha uygulamalarına ilişkin gözlemlerin ve deneysel müdahale testlerinin kapsamının sınırlı olmasıdır. Elektrikli araç yangınları, yüksek risk içeren olaylar olduğundan, kontrollü deneysel çalışmalar yapmak hem etik hem de güvenlik açısından ciddi kısıtlar barındırmaktadır. Bu nedenle çalışma, büyük ölçüde literatür taraması, mevcut vaka analizleri, teknik raporlar ve resmi kılavuzlar üzerinden yürütülmüştür. Bu durum, araştırmanın deneysel doğrulama boyutunu sınırlamaktadır. Ancak buna karşılık teorik ve analitik değerlendirmelerin derinleştirilmesine olanak

tanımlanmaktadır. Dolayısıyla araştırmanın bulguları, doğrudan saha deneyleriyle değil, mevcut bilimsel bilgi birikiminin bütüncül değerlendirilmesiyle elde edilmiştir.

Araştırmanın Varsayımları

Bu araştırma, elektrikli araç yangınlarının doğası ve bu yangınlara yönelik güvenlik önlemleri ile müdahale tekniklerinin değerlendirilmesinde belirli varsayımlar üzerine inşa edilmiştir ve söz konusu varsayımlar, çalışmanın analitik çerçevesinin tutarlılığını sağlamak amacıyla metodolojik bir zemin oluşturmaktadır. Araştırmada öncelikle, elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan lityum-iyon batarya sistemlerinin teknik özellikleri, çalışma prensipleri ve risk profillerine ilişkin literatürde yer alan bilgilerin bilimsel açıdan geçerli, güncel ve güvenilir olduğu varsayılmaktadır. Bu bağlamda, batarya hücrelerinin termal kaçak mekanizmaları, yeniden alevlenme eğilimleri ve yangın sırasında açığa çıkan enerji ile toksik gazlara ilişkin teknik verilerin, farklı üreticiler ve model çeşitlilikleri bulunsa da genel geçer bir çerçeve sunduğu kabul edilmektedir. Araştırma, elektrikli araç teknolojilerinde kullanılan batarya kimyalarının ve sistem mimarilerinin temel güvenlik dinamiklerinin benzer olduğu varsayımıyla hareket etmekte; bu nedenle belirli bir marka veya modele özgü istisnai tasarımların çalışmanın genel sonuçlarını temelden değiştirmede kabul edilmektedir.

Araştırmanın bir diğer temel varsayımı, elektrikli araç yangınlarının geleneksel içten yanmalı motorlu araç yangınlarından niteliksel olarak farklı özellikler taşıdığı ve bu farklılıkların müdahale süreçlerini belirleyici ölçüde etkilediğidir. Bu kapsamda, elektrikli araç yangınlarının düşük görülme sıklığına karşın yüksek şiddetli, uzun süreli ve yeniden alevlenmeye yatkın olaylar olduğu; dolayısıyla risk değerlendirmesinin yalnızca istatistiksel olasılıklar üzerinden değil, olayın potansiyel sonuçları üzerinden yapılmasının gerekli olduğu varsayılmaktadır. Araştırma, yangının nadirliği nedeniyle kurumsal ve bireysel risk algısının düşük olmasının, müdahale süreçlerinde hazırlıksızlığa yol açabildiğini ve bu durumun iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli bir sorun teşkil ettiğini kabul etmektedir. Bu varsayım, çalışmanın problem ve amaç kurgusunun temel dayanaklarından birini oluşturmaktadır.

Araştırmada ayrıca, elektrikli araç yangınlarına müdahalede görev alan itfaiye personeli, arama-kurtarma ekipleri ve diğer acil durum çalışanlarının, büyük ölçüde geleneksel araç yangınlarına yönelik eğitim ve deneyim altyapısıyla sahaya çıktıkları

varsayılmaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araçlara özgü yüksek voltaj riski, termal kaçak dinamikleri, yeniden alevlenme olasılığı ve toksik gaz maruziyeti gibi unsurların, mevcut eğitim ve uygulamalarda yeterince derinlikli ele alınmadığı kabul edilmektedir. Araştırma, sahada karşılaşılan müdahale pratiklerinin önemli ölçüde alışkanlık temelli olduğu ve elektrikli araç yangınlarının gerektirdiği farklı stratejilerin henüz tam anlamıyla standartlaşmadığı varsayımıyla hareket etmektedir. Bu kabul, çalışmanın iş sağlığı ve güvenliği boyutuna odaklanmasını ve mevcut uygulamaların sorgulanmasını gerekçelendirmektedir.

Bu araştırmanın bir diğer önemli varsayımı, elektrikli araç yangınlarına yönelik mevcut mevzuat, standartlar ve rehber dokümanların, teknolojik gelişme hızının gerisinde kaldığı ve uygulamada bütüncül bir çerçeve sunmakta yetersiz olabildiğidir. Elektrikli araç kullanımının hızla artmasına karşın, yangın yönetmelikleri, acil durum planları ve iş sağlığı ve güvenliği düzenlemelerinin çoğunlukla içten yanmalı araçlara dayalı risk senaryolarını esas aldığı varsayılmaktadır. Bu nedenle araştırma, mevcut düzenlemelerin elektrikli araç yangınlarının özgün karakteristiklerini tam olarak kapsamadığını ve sahadaki uygulamalarla teorik düzenlemeler arasında bir uyumsuzluk bulunduğunu kabul etmektedir. Bu varsayım, çalışmanın mevzuat ve uygulama arasındaki boşlukları analiz etmeye yönelmesini destekleyen temel kabullerden biridir.

Araştırmada, elektrikli araç yangınları sırasında ve sonrasında açığa çıkan toksik gazların ve ağır metal içerikli partiküllerin, müdahale personeli açısından ciddi ve çoğu zaman yeterince fark edilmeyen mesleki sağlık riskleri oluşturduğu varsayılmaktadır. Hidrojen florür, hidrojen siyanür ve benzeri gazların akut ve kronik sağlık etkilerine ilişkin literatürde yer alan bulguların geçerli olduğu kabul edilmekte; bu gazlara maruziyetin yalnızca yangın anında değil, yangın sonrası soğutma ve izleme süreçlerinde de devam edebileceği varsayılmaktadır. Bu çerçevede araştırma, kişisel koruyucu donanım kullanımının ve dekontaminasyon uygulamalarının, elektrikli araç yangınları bağlamında kritik öneme sahip olduğu varsayımıyla değerlendirmelerini sürdürmektedir.

Araştırmanın varsayımları arasında, elektrikli araç yangınlarına ilişkin mevcut vaka raporlarının, teknik test sonuçlarının ve akademik çalışmaların, olayların genel karakteristiklerini yansıtacak düzeyde temsil gücüne sahip olduğu kabulü de yer almaktadır. Elektrikli araç yangınlarının görece yeni ve nadir olaylar olması nedeniyle veri setlerinin sınırlı olabileceği bilinmekle birlikte, mevcut literatürün çalışmanın amaçları doğrultusunda

yeterli analitik çıkarım yapmaya imkân tanıdığı varsayılmaktadır. Bu bağlamda araştırma, elde edilen verilerin ve bulguların, mutlak ve değişmez doğrular sunmaktan ziyade, mevcut bilgi birikimi çerçevesinde geçerli ve açıklayıcı sonuçlar ürettiği kabulüyle yürütülmektedir.



1. KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Elektrikli Araç Teknolojilerinin Gelişimi

Elektrikli araç (EV) teknolojisinin tarihi 19. yüzyıla kadar uzanmaktadır. İlk pratik elektrikli otomobil, 1884 yılında Thomas Parker tarafından geliştirilmiştir (Sturk, vd., 2015). Bunu, 1899'da Ferdinand Porsche tarafından Almanya'da üretilen erken dönem bir elektrikli otomobil izlemiştir. O dönemin buhar ve benzin motorlarıyla kıyaslandığında elektrikli araçlar sessiz çalışmaları, kullanım kolaylıkları ve kötü kokulu egzoz gazı yaymamalarıyla öne çıkmıştır (Noh, vd., 2013). Nitekim 1920'lerde, Henry Ford'un seri üretim Model T otomobilini piyasaya sürmesinden hemen önce, ABD'de üretilen otomobillerin %28'i elektrikliydi. Ancak içten yanmalı motorlu araçların hızla gelişmesi ve elektrikli otomobillerin görece yüksek maliyeti nedeniyle bu erken dönem başarısı uzun sürmedi. II. Dünya Savaşı sonrasında EV gelişimi duraklasa da, özellikle 1970'lerden itibaren petrol krizi ve çevre kaygıları elektrikli ulaşım ilgisini yeniden canlandırdı. 1990'larda General Motors EV1 gibi denemelerle modern EV'lerin temelleri atıldı. 21. yüzyılın başından itibaren ise artan çevresel sorunlar ve enerji krizi endişeleriyle elektrikli araç Ar-Ge çalışmaları ivme kazandı (Yang, 2005). Kamu otoritelerinin ve özel sektörün yoğun katılımıyla batarya ve şarj altyapıları gibi kritik teknolojilerde önemli ilerlemeler sağlandı. Örneğin Almanya 2020'ye kadar yollarda 1 milyon elektrikli otomobil hedeflerken, Fransa ve Birleşik Krallık 2040'tan itibaren yeni benzinli/dizel araç satışını yasaklama planları açıklamışlardır. Bu tür politik teşvikler ve sübvansiyonlar, Çin başta olmak üzere birçok ülkede EV pazarının büyümesini hızlandırmıştır (Biensan, vd., 1999).

Son on yılda, elektrikli araç sektöründe küresel ölçekte bir patlama yaşanmıştır. 2016 yılında dünya çapında elektrikli otomobil satışları ilk kez 1 milyon adedi aşmış, 2018'de ise binek ve plug-in hibrit elektrikli araçların küresel parkı 5 milyonu geçmiştir. Takip eden yıllarda büyüme katlanarak devam etmiştir. 2022 yılı itibarıyla dünya genelinde yollardaki elektrikli binek otomobil sayısı 26 milyona ulaşmışken, 2023 yılında bu rakam 40 milyona yaklaşmıştır (Wang, vd., 2007). 2023 yılında satılan yeni otomobillerin yaklaşık %18'i elektrikli olup bu oran 2018'de sadece %2 idi (IEA, 2024). Özellikle Çin, Avrupa ve ABD pazarları küresel satışların %95'ini oluşturarak bu dönüşüme öncülük etmektedir. Nitekim Çin tek başına 2023'te 8.1 milyon adet yeni elektrikli otomobil kaydı yapmış ve kendi otomotiv pazarında EV'lerin payını üçte bire çıkarmıştır (IEA, 2024). Bu veriler, elektrikli araçların artık niş bir teknoloji olmaktan çıkıp ana akıma doğru hızla ilerlediğini

göstermektedir. Büyük otomotiv üreticileri (Volkswagen, Mercedes-Benz, Ford gibi firmalar) elektrikli modellere milyarlarca dolarlık yatırımlar yaparak filolarını elektrikleştirme taahhütleri vermiştir. Türkiye’de de benzer şekilde hem küresel markaların elektrikli modelleri hem de yerli girişimler (örneğin TOGG) ile pazar canlanmaktadır.

Elektrikli araç teknolojilerinin gelişimi, yalnızca araç sayısının artışıyla değil, aynı zamanda teknik bileşenlerdeki büyük ilerlemelerle karakterizedir. EV’lerin temelini üç alt kategori oluşturur: bataryalı elektrikli araçlar (BEV, yalnızca şarj edilebilir batarya ile çalışan), hibrit elektrikli araçlar (HEV, içten yanmalı motor ile elektrik motorunu birleştiren) ve yakıt hücresel elektrikli araçlar (FCEV, enerji kaynağı olarak hidrojen yakıt hücresi kullanan). Günümüzde asıl vurgu, sıfır emisyonlu ve petrol bağımlılığı olmayan BEV’ler üzerindedir. Hibrit araçlar yaygın olsa da tamamen fosil yakıttan bağımsız değildir, yakıt hücresel araçlar ise yüksek maliyet ve altyapı eksikliği nedeniyle çok sınırlı bir pazara sahiptir (Huang, vd., 2016). BEV’lerin başarısındaki en kritik unsur batarya teknolojisindeki gelişmelerdir. İlk dönem EV’lerde kullanılan kurşun-asit aküler ve 1990’ların Ni-MH (Nikel-Metal Hidrit) bataryaları sınırlı menzil ve ağırlık sorunları yaratıyordu. 1991’de Sony tarafından ilk lityum-iyon bataryanın ticarileşmesiyle birlikte enerji yoğunluğu ve şarj döngü ömründe büyük bir sıçrama gerçekleşti. Lityum-iyon bataryaların küçük hacimde yüksek enerji depolayabilmesi, bellek etkisinin yok denecek kadar az olması ve uzun çevrim ömrü sunması elektrikli araçların pratik kullanımını mümkün hale getirdi (Zhang, vd., 1998). Günümüzde Tesla, Nissan, BMW gibi üreticilerin modelleri dahil neredeyse tüm modern elektrikli araçlar, sürüş güç kaynağı olarak lityum-iyon bataryaları kullanmaktadır. Bu bataryaların spesifik enerji ve enerji yoğunluğu önceki nesil akü teknolojilerine kıyasla katbekat yüksektir; örneğin birim kütlede kurşun-asit bataryanın depolayabildiği enerjinin çok üzerinde enerjiyi lityum-iyon batarya depolar. Bunun sonucu olarak elektrikli araçlar artık tek şarjla yüzlerce kilometrelik menzillere ulaşabilmektedir. Batarya teknolojisinde yaşanan ilerlemeye paralel şekilde maliyetler de önemli ölçüde düşmüştür. KWh başına batarya maliyeti 2010’larda ~1000 ABD Doları seviyesinden 2020’lerde 100 Dolar civarına gerileyerek elektrikli araçların ekonomik olarak rekabet edebilir hale gelmesini sağlamıştır (IEA, 2024). Özetle, enerji depolama teknolojilerindeki bu iyileşmeler EV devriminin belkemiğini oluşturmuştur.

Elektrikli araçlardaki bir diğer kritik teknoloji, elektrik motorları ve bunların kontrol sistemleridir. EV’lerin güç aktarma organları, klasik içten yanmalı motorların aksine

mekanik karmaşıklığı düşük fakat elektrik-elektronik açıdan ileri sistemlerdir. Bir EV'nin kalbinde yer alan elektrik motoru, bataryadaki elektrik enerjisini aracı harekete geçiren mekanik enerjiye dönüştürmektedir (Martha, vd., 2011). Otomotiv uygulamaları için bir tahrik motorunda aranan başlıca özellikler, yüksek tork ve güç üretebilmesi, geniş bir hız aralığında verimli çalışması, sağlam ve güvenilir olması, düşük gürültü ile kompakt boyutlara sahip olmasıdır. Tarihsel süreçte farklı motor tipleri EV'lerde kullanılmıştır: 1990'lardaki GM EV1 modelinde ve Tesla'nın ilk modellerinde tercih edilen üç fazlı asenkron (indüksiyon) motorlar, fırçasız doğru akım motorları ve günümüzde yaygın hale gelen kalıcı mıknatıslı senkron motorlar bunlara örnektir. Asenkron motorlar sağlamlığı, düşük bakım ihtiyacı ve görece uygun maliyetiyle dikkat çekmiş; ancak düşük yükte veriminin düşmesi gibi dezavantajları görülmüştür (Joachin, vd., 2009). Bu sorunu aşmak için vektör kontrolü (alan yönelimli kontrol) ve doğrudan tork kontrolü gibi gelişmiş elektronik sürüş teknikleri devreye alınmış, böylece asenkron motorlar geniş bir hız-tork bandında verimli hale getirilmiştir. Öte yandan, günümüzde birçok EV üreticisi yüksek güç yoğunluğu ve verim sunmaları nedeniyle kalıcı mıknatıslı senkron motorları tercih etmektedir. Bu motorlar, nadir toprak mıknatıs malzemeleri sayesinde küçük hacimde yüksek performans sağlar ancak yüksek sıcaklıklarda mıknatısların manyetik özellik kaybı ve nadir elementlerin maliyeti gibi dezavantajlara da sahiptir (Jiang ve Dahn, 2004). Motor teknolojisindeki araştırmalar halen devam etmekte; örneğin mıknatıs ihtiyacı olmayan anahtarlamalı relüktans motorlar, basit yapıları ve arıza toleranslı çalışmalarıyla ilgi çekmektedir (TEHAD, 2022).

Elektrikli araç altyapısı da teknolojik gelişimin önemli bir parçasıdır. Özellikle şarj teknolojilerinde ve istasyon ağlarında büyük yol katedilmiştir. İlk nesil EV'ler yalnızca yavaş AC şarj imkânına sahipken, günümüzde DC hızlı şarj istasyonları sayesinde uygun araçlar 30 dakika altında %80 batarya doluluğuna ulaşabilmektedir. Örneğin 800V batarya mimarisi kullanan yeni nesil araçlar, 350 kW gibi çok yüksek güçte şarj alarak 15-20 dakikada yüzlerce kilometrelik menzile kazanabilmektedir. Kablosuz indüktif şarj, araçtan ağı (V2G) çift yönlü enerji transferi gibi yenilikçi uygulamalar da pilot aşamasından çıkıp ticarileşmeye başlamıştır (MacNeil ve Dahn, 2001). Bu gelişmeler, elektrikli araçların kullanıcı açısından sağladığı kolaylıkları artırarak benimsenme hızını olumlu etkilemektedir. Ayrıca, akıllı şebeke entegrasyonu ve ev/şebeke enerjisi depolama uygulamaları (örneğin araç bataryalarının şebeke dalgalanmalarını dengelemede kullanılması) EV teknolojisinin yeni ufuklarını oluşturmaktadır (Ping, vd., 2018).

Özetlemek gerekirse, elektrikli araç teknolojilerinin gelişimi hem tarihsel hem teknik boyutta büyük adımlarla ilerlemiştir. 19. yüzyılın basit elektrikli arabalarından, günümüzün yüksek teknolojili, yazılım ve donanım entegrasyonu üst düzey modern EV'lerine gelinirken; batarya kimyası, elektrik motorları, güç elektroniği ve şarj altyapısı alanlarında sürekli yenilikler yapılmıştır. Güncel veriler, elektrikli araçların artık sadece çevresel bir tercih değil, aynı zamanda ekonomik ve performans açısından da rasyonel bir alternatif haline geldiğini göstermektedir. Birçok ülke ve üretici, içten yanmalıdan elektrığe geçişi stratejik bir hedef olarak belirlemiş durumdadır. Bilimsel literatürde de elektrikli araçların teknolojik durumu ve geleceği üzerine kapsamlı incelemeler yapılmaktadır (Feng, vd., 2017). Yakın gelecekte enerji yoğunluğu daha da yüksek bataryalar, daha hızlı şarj teknolojileri ve yaygın otonom elektrikli filolar ile bu alanın otomotiv sektörüne yön vermeye devam edeceği öngörülmektedir (Sun vd., 2020; Nitta, vd., 2015). Son tahlilde, elektrikli araç teknolojilerinin gelişimi, düşük karbonlu bir ulaşım sistemine geçişin ve sürdürülebilirlik hedeflerinin merkezinde yer almakta, otomotiv endüstrisinde bir paradigma kayması yaratmaktadır.

1.2. Lityum-İyon Batarya Sistemlerinin Yapısı ve Riskleri

Lityum-iyon batarya sistemleri, günümüz elektrikli araçlarının enerji depolama ihtiyacını karşılayan temel teknolojidir. Bu bataryaların yapısı incelendiğinde, aslında her bir hücrenin kimyasal bir enerji depolama birimi olduğu görülmektedir. Tipik bir lityum-iyon pil hücresi; pozitif elektrot (katot) olarak işlev gören lityum metal oksit yapıları bir malzemeden (örneğin LiCoO_2 veya NMC gibi), negatif elektrot (anot) olarak genellikle grafitten, bu iki elektrot arasında yer alan ve elektronik iletkenliği engelleyip iyon geçişine izin veren bir ayırıcı (separator) tabakasından ve lityum tuzu çözeltisinden oluşan bir elektrolitten meydana gelmektedir (Gong, vd., 2017). Hücre içinde ayrıca her iki elektrota temas eden bakır ve alüminyum folyo kollektörler bulunmaktadır. Bakır negatif kutbun, alüminyum ise pozitif kutbun akım kollektörüdür. Şarj sırasında harici bir güç kaynağı uygulandığında, lityum iyonları pozitif elektrottan ayrılıp elektrolit içinde difüzyonla negatif elektrota doğru göç eder ve grafit tabakaları arasına interkalasyonla yerleşmektedir. Bu esnada elektronlar dış devreden geçerek negatif elektrota ulaşmaktadır. Deşarj (araç kullanımında enerji çekimi) sırasında ise bu süreç tersine dönmektedir. Lityum iyonları grafitten ayrılıp elektrolit aracılığıyla pozitif elektrota göç ederken elektronlar dış devreden akarak elektrik motoruna güç sağlamaktadır (Bak, vd., 2014). Bu geri dönüştürülebilir

elektrokimyasal reaksiyon sayesinde lityum-iyon hücreler defalarca şarj-deşarj çevrimi yapabilir. Ayrıca ilk şarj döngülerinde anot üzerinde oluşan “katı elektrolit ara yüzeyi (SEI)” tabakası pil ömrü açısından kritik bir yapıdır. Bu ince film elektrotu koruyarak elektrolitin daha fazla bozunmasını engellemektedir (Huang, vd., 2016).

Bir elektrikli aracın batarya paketi, çok sayıda lityum-iyon hücrenin belirli bir mimariyle bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. Tek bir hücrenin gerilimi (~3.7 V nominal) bir aracın ihtiyaç duyduğu yüzlerce voltluk sistem gerilimini sağlamaya yetmeyeceğinden hücreler seri bağlanarak gerilim yükseltilmektedir. Benzer şekilde istenen kapasiteye ulaşmak için seri grupları paralel bağlanarak toplam enerji artırılmaktadır (Röder, vd., 2014). Örneğin modern bir elektrikli otomobil bataryası, genellikle onlarca seri hücre grubunun paralel diziliminden meydana gelen modüler bir yapıya sahiptir. Bu modüller, bataryanın üretim ve bakım kolaylığı için ayrı bloklar halinde tasarlanmaktadır. Batarya sisteminin güvenli ve verimli çalışması, her bir hücrenin durumunun izlenmesine bağlıdır. Bu amaçla “Batarya Yönetim Sistemi (BMS)” adı verilen elektronik kontrol ünitesi, tüm hücrelerin gerilim, sıcaklık ve akım değerlerini sürekli takip etmektedir (Spotniz ve Franklin, 2003). BMS, herhangi bir hücrenin aşırı şarj veya derindeşarja uğramasını önleyerek hücre ömrünü uzatmakta ve dengeleme devreleriyle hücreler arası kapasite farklarını minimize etmektedir. Ayrıca batarya paketinde termal yönetim sistemi (örneğin sıvı soğutma devreleri veya ısıtıcılar) bulunmaktadır. Böylece tüm hücrelerin çalışma sıcaklığı güvenli aralıkta tutulur ve performans optimizasyonu sağlanmaktadır (Venturi, vd., 2013).

Lityum-iyon bataryaların yüksek enerji yoğunluğu ve verimlilik avantajlarının yanı sıra belirli risk ve tehlikeleri de bulunmaktadır. Bu risklerin başında termal kaçak (thermal runaway) olgusu gelmektedir (Winkel, vd., 2016). Termal kaçak, bir pil hücresinin iç sıcaklığının kontrolsüz biçimde artarak zincirleme reaksiyonlarla kendi kendini ısıtmaya devam ettiği bir arıza durumudur (Alkaya, vd., 2008). Hücre içerisindeki lityum içeren bileşenlerin (anot, katot ve elektrolit) belirli sıcaklıkların üzerinde bozunmaya ve ekzotermik (ısı açığa çıkaran) reaksiyonlara girmesiyle tetiklenmektedir (ACEA, 2021). Örneğin bir lityum-iyon hücre ~70–100 °C üzerine ısındığında, iç yapısında kararsızlıklar başlayıp termal kaçak riski belirgin şekilde artmaktadır. Bu eşik aşıldığında, anot ve katot malzemeleri ile elektrolit arasında ardışık bozunma reaksiyonları gerçekleşmektedir. Önce elektrolit ve anot yüzeyindeki SEI tabakası bozulur, ardından katot malzemesi oksijen açığa çıkaracak şekilde ayrışabilir (Demir, 2011). Bu süreç, hücre içinde ani bir basınç artışına ve

sıcaklığın yüzlerce santigrat dereceye fırlamasına yol açmaktadır. Sonuçta pil hücresi yanmaya veya patlayarak gazlar çıkarmaya başlamaktadır. Üstelik termal kaçak bir hücreyle sınırlı kalmayıp komşu hücrelere de hızla yayılabilir. Isınan bir hücre yanındaki hücreyi ateşleyerek adeta bir zincir reaksiyon oluşturur ve bu yayılım, normal bir yangından çok daha hızlı gerçekleşebilir (Ugurlu ve Öztuna, 2015). Bu nedenle, elektrikli araç bataryalarında bir hücrede başlayan arıza, önlem alınmazsa kısa sürede tüm modülü ve hatta paketi etkileyen büyük bir yangın ve patlamaya dönüşebilir.

Lityum-iyon bataryaların yapısından kaynaklanan bir diğer risk faktörü, içerdiği yanıcı organik elektrolit çözeltilisidir. Bu elektrolit genellikle lityum heksaflorofosfat (LiPF_6) tuzunun etilen karbonat, dietil karbonat gibi organik solvent karışımlarında çözünmesiyle oluşmaktadır. Organik elektrolit yüksek derecede yanıcıdır ve termal kaçak durumunda bataryanın yaydığı enerjinin önemli bir kısmını bu sıvı elektrolitin alevlenmesi oluşturmaktadır (Miller, 2022). Batarya hücresi aşırı ısındığında elektrolit hızla buharlaşarak hücre içinde gaz basıncını artırmaktadır. Genellikle hücrelerin üst kısmında bulunan güvenlik valfleri belirli bir basınçta açılarak bu gazları tahliye etmektedir. Ancak dış ortama yayılan bu sıcak ve yanıcı gazlar, bir kıvılcım ya da yeterli ısı ile temas ettiğinde alev alarak “jvdevi” tabir edilen yüksek sıcaklıklı ve fişkirir tarzda bir yangın oluşturabilir. Nitekim lityum-iyon batarya yangınlarında aniden ortaya çıkan ve metrelerce yükseğe fişkiran alev jetleri gözlemlenmiştir (Beiker, 2010). Hücrelerden salınan bu gaz karışımı yalnızca yanıcı değil, aynı zamanda zehirli ve aşındırıcı özellikler taşımaktadır. İçinde hidrojen flörür (HF) gibi asit gazları, karbon monoksit, karbon dioksit ile nikel, kobalt gibi ağır metal parçacıkları bulunabilir (Suarez ve Martinez, 2019). Dolayısıyla, bir lityum-iyon batarya yangını durumunda sadece yangının kendisi değil, ortaya çıkan duman ve gaz bulutu da hem insan sağlığı hem çevre açısından ciddi tehlike arz etmektedir.

Batarya sistemlerinin yapısal bir başka risk boyutu da iç kısa devre arızalarıdır. Normal koşullarda hücrenin anot ve katotunu fiziksel olarak ayıran ince gözenekli polimer ayırıcı, hücre içinde elektriksel izolasyonu sağlamaktadır. Ancak herhangi bir nedenle (örn. hücreye dıştan darbe gelmesi, imalat hatası, metal partikül bulaşması veya hücre içinde dendrit oluşumu) bu ayırıcı hasar görür ya da delinirse, elektrotlar doğrudan temas ederek hücre içinde kısa devre oluşturabilir (Wang, vd., 2011). Böyle bir iç kısa devre, ilgili bölgede aniden çok yüksek akımlar akmasına ve Joule ısınmasıyla o noktada sıcaklığın hızla artmasına neden olmaktadır. Lokalize başlayan bu ısınma, yukarıda bahsedilen termal kaçak

zincirini tetikleyebilir. Ayırıcıların erime noktası genellikle 130–170 °C civarındadır; eğer hücre sıcaklığı bu seviyelere ulaşırsa polimer ayırıcı eriyerek geniş bir kısa devre meydana getirmekte ve hücre tümüyle kontrolsüz bir deşarja girmektedir (Wisch, vd., 2022). Bu yüzden ayırıcı malzemesinin kalitesi ve ısıl dayanımı, batarya güvenliği için kritik bir parametredir. Yeni nesil bataryalarda termal dayanımı daha yüksek seramik kaplı ayırıcılar veya çok katmanlı kompozit ayırıcılar kullanılmakta, böylece termal kaçak geciktirilmeye çalışılmaktadır. Benzer şekilde, elektrolitin alevlenebilirliğini azaltmak için katı hal elektrolitleri, jelleştirilmiş elektrolitler veya aleve dayanıklı katkı maddeleri üzerine yoğun araştırmalar devam etmektedir (Sheikh, vd., 2017). Örneğin, tamamen yanmaz özellik gösteren katı hal (seramik veya polimer) elektrolitler, lityum-iyon pillerin güvenliğini artıracak umut verici bir yönelimdir. Ancak bu teknolojilerin henüz geleneksel sıvı elektrolitlerin sağladığı yüksek iletkenlik seviyesine ulaşamaması gibi teknik zorluklar bulunmaktadır.

Lityum-iyon batarya sistemlerine özgü risklerden biri de yüksek gerilim kaynaklı elektrik şoku tehlikesidir. Özellikle elektrikli araç batarya paketleri yüzlerce Volt gerilim seviyesinde çalıştığından, hasar görmüş veya arıza durumundaki bir bataryaya bilinçsizce müdahale edilmesi durumunda ölümcül elektrik çarpması riski doğabilir (Bisschop, 2020). Yüksek voltajlı sistemler, araç tasarımında yalıtım ve emniyet tedbirleriyle korunsa da, ciddi kazalar sonrası batarya bileşenlerinin etrafa dağılması halinde ilk yardım ekipleri ya da meraklı kişiler için “stranded energy” denilen, batarya içinde kalmış artık enerji nedeniyle şok riski vardır (Luo, vd., 2018). Nitekim ABD Ulusal Ulaştırma Güvenlik Kurulu (NTSB) tarafından incelenen EV kazalarında, yüksek voltaj kablolarının kopması veya batarya modüllerinin yapısal bütünlüğünü yitirmesi sonucu acil müdahale personelinin elektrik çarpmasına maruz kalabileceği vurgulanmıştır. Bu nedenle modern elektrikli araçlarda kaza anında yüksek gerilim sistemini otomatik olarak devre dışı bırakan piroteknik sigortalar ve ayırıcılar kullanılmaktadır (Blum ve Long, 1986). Ayrıca bakım ve onarım prosedürlerinde de batarya paketinin tamamen de-enerjize edildiğinden emin olunması şarttır.

Özetle, lityum-iyon batarya sistemlerinin yapısal bileşenleri ve çalışma prensibi onlara yüksek enerji yoğunluğu ve performans sağlamakla birlikte, yanlış kullanım veya arıza durumlarda önemli riskler doğurmaktadır. Fiziksel hasarlar, üretim kusurları, aşırı şarj veya aşırı ısınma gibi tetikleyiciler batarya sistemlerinde yangın ve patlama tehlikesine yol

açabilmektedir. Bu riskleri yönetmek için çok katmanlı güvenlik yaklaşımları geliştirilmiştir: Hücre içinde basınç valfleri ve ayırıcı kapama mekanizmaları, paket seviyesinde sigorta ve röleler, izleme ve erken uyarı sistemleri ile araç genelinde çarpışma halinde yüksek gerilimi ayıran kesiciler bunlardan bazılarıdır. Ayrıca regülasyon tarafında Birleşmiş Milletler ECE R100 ve R136 gibi elektrikli araç batarya güvenliği standartları yürürlüktedir. Bu standartlar bataryaların zorlu koşullardaki emniyetini (ezilme, delici darbe, kısa devre, aşırı sıcaklık vb. testleri) tanımlamaktadır (Doughty ve Crafts, 2006). Son yıllarda araştırmalarda, batarya güvenliğini artırmak amacıyla yeni nesil katı hal bataryalar, kendiliğinden sönebilen elektrolit malzemeleri, batarya içinde erken uyarı sensörleri (örn. termal kaçak algılama sensörleri) gibi yenilikçi çözümler üzerinde durulmaktadır.

1.3. Elektrikli Araç Yangınlarının Karakteristik Özellikleri

Elektrikli araç yangınları, geleneksel içten yanmalı araç yangınlarına kıyasla daha nadir görülmekle birlikte, meydana geldiğinde kendine özgü ve zorlu karakteristikler sergilemektedir. İstatistiksel veriler, elektrikli otomobillerin yanma ihtimalinin benzinli araçlara göre çok daha düşük olduğunu ortaya koymaktadır (Geib, vd., 2020). Örneğin bir çalışmada, satılan her 100.000 elektrikli araç başına yalnızca 25 adet yangın olayı gerçekleştiği, buna karşın aynı sayıdaki içten yanmalı araç için bu oranın 1,530 yangın civarında olduğu bildirilmiştir. Bu yaklaşık altmış katlık fark, EV'lerin yapısı gereği daha az yanıcı sıvı (yakıt) içermemesine bağlanabilir. Ancak uzmanların da vurguladığı üzere, “mesele sıklık değil şiddettir” – elektrikli araç yangınları her ne kadar ender olsa da ortaya çıktığında söndürme ekipleri için çok daha ciddi meydan okumalar ortaya çıkarabilir (Vatani, vd., 2019). Bu yangınların karakteristik özelliklerini birkaç başlık altında ele alabiliriz: yüksek ısı ve uzun yanma süresi, yeniden alevlenme eğilimi, zor kontrol edilebilirlik, ve zararlı gaz emisyonları. Öncelikle, elektrikli araç batarya yangınları son derece yüksek sıcaklık ve enerji açığa çıkarmaktadır. Lityum-iyon bataryaların termal kaçakla yanması durumunda hücre içinde birkaç dakika içinde sıcaklık 1000 °C'ye yaklaşabilir (Cabrera-Castillo, vd., 2016). Örneğin testler, bir EV batarya paketinin alev aldığı anda yaklaşık 70 dakika boyunca yanabildiğini ve bu süre boyunca bataryadan “jet ateşleri” şeklinde alevlerin fışkırdığını göstermektedir. Bu tür jvdevleri 2.5 metreyi aşan yüksekliklere ulaşabilmekte ve yangının söndürülmesini daha da güçleştirmektedir. Batarya yangınları, petrol yakıtlı araç yangınlarına kıyasla daha az sıklıkla meydana gelse de, bir kez başladığında çok daha uzun süre yüksek sıcaklıkta yanmaya devam edebilmekte ve sıradan

araç yangınlarına kıyasla çok daha yoğun bir ısı açığa çıkarmaktadır (Kagermeier, 2020). Bu durum, itfaiye teşkilatlarını yeni taktikler geliştirmeye zorlamıştır. Örneğin geleneksel bir benzinli araç yangını genellikle birkaç yüz litre su veya köpükle kısa sürede kontrol altına alınabilirken, elektrikli araç yangınlarında binlerce litre su kullanımına rağmen yangının tamamen sönmemesi durumuyla karşılaşılabilir. ABD’deki bir vaka raporunda, yüksek hızlı bir kazanın ardından alev alan Tesla Model X aracındaki batarya yangınının ilk müdahale sonucu söndürüldükten sonra yaklaşık bir saat içinde “pürmüz gibi” tekrar alev aldığı, soğutma amacıyla dakikada 750 litre (200 galon) su uygulanmasına rağmen bataryanın soğumadığı ve yangının tamamen bastırılması için yaklaşık 75 ton (20.000 galon) su harcanmak zorunda kalındığı belirtilmiştir (Feng, vd., 2018). Bu örnek, EV yangınlarının ne denli inatçı olabileceğini çarpıcı biçimde ortaya koymaktadır.

Elektrikli araç yangınlarını itfaiye ve ilk müdahale ekipleri açısından özellikle zorlu kılan bir diğer karakteristik, yeniden alevlenme (re-ignition) riskidir. Lityum-iyon bataryalar, yangın söndürülse bile hücrelerinde “hapis kalmış” enerjiyi barındırmaya devam edebilir ve hücre içindeki hasarlı bölgeler sebebiyle saatler hatta günler sonra tekrar tutuşabilir. Geleneksel yakıt yangınlarında böyle bir yeniden alevlenme genellikle beklenmez (Golubkov, vd., 2014). Ancak EV yangınlarında batarya paketinin içinde ulaşılması zor noktalarda yüksek sıcaklık kalması veya hücrelerin iç kısımlarında yavaş ilerleyen termal kaçak süreçleri nedeniyle araç, yangın söndürüldükten uzun süre sonra bile ansızın tekrar yanmaya başlayabilir. İtfaiyeci Tom Johnson, bir EV bataryasının “söndürüldüğünden emin olmanın güç olduğunu, saatler, günler hatta haftalar sonra bile yeniden tutuşma riski bulunduğunu” ifade etmektedir. Bu durum, yangına müdahale sonrasında çekici operatörleri veya hurda deposu çalışanları gibi ikincil müdahale personeli için de ciddi risk yaratmaktadır (Larsson, vd., 2017). Bu yüzden, EV yangınına maruz kalmış bir araç genellikle 24–48 saat boyunca izole bir alanda termal kamera ile izlemeye alınmakta, tamamen soğuduğundan emin olunmadan depolanmasına izin verilmemektedir (Spoelstra, 2021). Bazı yönergeler, mümkünse batarya yangınının kontrollü biçimde kendi kendine yanarak tükenmesine izin verilmesini, aktif söndürme yerine çevre koruması ve soğutma ile yetinilmesini dahi önermektedir. Yeniden alevlenme riskini azaltmak için geliştirilmiş bir yöntem de, hasarlı elektrikli aracın batarya bölümünün su dolu bir konteyner içine batırılarak bekletilmesidir (Abdelghami ve Boumediene, 2019). Bu sayede olası bir yeniden tutuşma anında su anında soğutma sağlayacak ve alevlenme dışarı taşmadan kontrol altında kalacaktır.

Elektrikli araç yangınlarının kontrol ve söndürme taktikleri de farklılık gösterir. İçten yanmalı araçlar çoğunlukla motor bölmesi veya yakıt deposu civarında alev alırken, elektrikli araçlarda asıl yangın kaynağı batarya modülleridir ve batarya genellikle araç tabanına yayılmış geniş bir alanı kaplamaktadır (Ehsani, vd., 2009). Bu, yangına erişimi zorlaştırır. İtfaiye ekipleri, kaput altına su-köpük sıkamak gibi alışageldik yöntemlerin EV bataryaları için etkisiz kaldığını belirtmektedir. Bunun yerine bataryaya doğrudan su ulaştırmak için özel nozullar veya batarya kutusunu delici mızrak benzeri araçlar kullanılmaktadır (NTSB, 2020). Ayrıca, lityum iyon yangınlarında köpük bazlı yangın söndürücülerin etkili olmadığı; suyla sürekli soğutma ve mümkünse bataryayı su içinde boğma yaklaşımının en başarılı yöntem olduğu rapor edilmiştir (NFPA, 2021). Bu bağlamda Almanya ve bazı Avrupa ülkelerinde itfaiyeler için “batarya yangın battaniyesi” veya “daldırma konteyneri” gibi ekipmanlar geliştirilmektedir. EV yangınlarının karakteristiği gereği, yangın söndürme operasyonları uzun sürmekte ve bittikten sonra dahi araca yaklaşırken dikkatli olunması gerekmektedir. İlk müdahale görevlileri için hazırlanan kılavuzlar, bir EV yangınında aracın tekerlekli bir barikatla sabitlenmesini, yangın tamamen söndükten sonra bile aracın en az 15 metre çevresine şerit çekilerek güvenli bölge oluşturulmasını ve bataryanın tekrar ateşlenme ihtimaline karşı sürekli gözlem altında tutulmasını tavsiye etmektedir (Moreno, vd., 2006).

Elektrikli araç yangınlarının bir diğer ayırt edici yönü, açığa çıkan duman ve gazların niteliğidir. Bir EV yangını sırasında batarya hücreleri yandığında, yüzlerce farklı kimyasal bileşik atmosfere salınabilir. Yapılan ölçümler, elektrikli otomobil bataryası yangınlarında oluşan duman içerisinde karbonmonoksit, karbondioksit gibi yanma gazlarının yanı sıra hidrojen florür (HF), hidrojen siyanür (HCN), fosfor pentaflorür (PF₅) gibi son derece toksik gazların bulunduğunu göstermiştir (Gillespie, 1992). Özellikle HF, insanlar için düşük konsantrasyonlarda bile tehlikeli olan ve solunduğunda akciğerlerde asit hasarına yol açabilen bir gazdır. Bununla beraber, batarya hücrelerinde kullanılan metal oksitler (örn. nikel, kobalt, manganez oksitler) yangınla birlikte bu metallerin nano-boyutlu parçacıklarını duman bulutuna katmaktadır. Yapılan testlerde EV yangınlarının dumanında, benzinli araç yangınlarına kıyasla daha fazla ağır metal içeriği tespit edilmiştir. Ayrıca batarya yangını sırasında ortama çıkan buhar halindeki organik bileşikler, oksijenle karışarak buhar bulutu patlaması denilen ani tutuşmalara da yol açmaktadır (Khan ve Bohnsack, 2020). Bu nedenle EV yangınlarında itfaiyecilerin solunum cihazı ve tam koruyucu giysi kullanması kritik önem taşımaktadır. Yangın söndükten sonra bile araç çevresindeki havanın yeterince

temizlenmesine dek bölgeye kimsenin yaklaştırılmaması önerilmektedir. Özellikle kapalı otopark, tünel gibi havalandırması sınırlı ortamlarda meydana gelen elektrikli araç yangınları, yoğun ve zehirleyici dumanla birlikte oksijen seviyesini hızla düşürerek ortamdaki insanların tahliyesini güçleştirebilir. Bu gibi durumlar için tünel havalandırma sistemlerinin ve acil durum fanlarının gözden geçirilmesi, elektrikli araç yangın senaryolarının acil durum planlarına dahil edilmesi gerekmektedir (Matheys, vd. 2006).

Toparlamak gerekirse, elektrikli araç yangınları daha seyrek meydana gelmekle birlikte daha şiddetli ve karmaşık bir yapıya sahiptir. Yangın insidansı açısından EV'ler içten yanmalılardan daha güvenli görünse de, "nadiren de olsa yanarsa çok ciddi yanar" şeklinde özetlenebilecek bir durum söz konusudur. Bu nedenle, itfaiye teşkilatları ve ilk yardım ekipleri EV yangınlarının kendine özgü karakteristiklerine karşı eğitim almaya başlamıştır (Foley, vd., 2010). Birçok ülkede Ulusal Yangından Korunma Birliği (NFPA) gibi kuruluşlar, elektrikli araç yangınlarına müdahale konusunda özel eğitim modülleri ve kılavuzlar yayınlamıştır. Örneğin itfaiyecilere yönelik eğitimlerde, EV yangınlarında "*soğut ve bekle*" yaklaşımının, yani aracı güvenli mesafeden bol suyla soğutup kendi kendine yanmasının bitmesini beklemenin genellikle en emniyetli strateji olduğu vurgulanmaktadır. Araç üreticileri de model bazında acil durum müdahale kılavuzları hazırlayarak (örn. Tesla Emergency Response Guide) itfaiyecilere batarya konumu, yüksek gerilim kablo güzergahları, özel söndürme noktaları gibi hayati bilgiler sağlamaktadır. Bütün bu çabalar, elektrikli araç yangınlarının toplumsal riskini düşük tutmak ve bu teknolojinin güvenli bir şekilde yaygınlaşmasını sağlamak içindir (Alizon, vd., 2009). Sonuç olarak, EV yangınlarının karakteristik özellikleri iyi anlaşılıp doğru yöntemlerle kontrol altına alındığında, elektrikli ulaşımın genel güvenlik performansının konvansiyonel araçlara kıyasla halen üstün olduğu görülmektedir. Elektrikli araçlar daha az yangın riski taşıdığı gibi, yangın durumunda da uygun tedbirlerle yönetilebilir durumdadır. Gelişen teknolojiyle birlikte batarya güvenliği artacak, yangınlarla mücadele yöntemleri gelişecek ve elektrikli araç yangınlarının yaratacağı tehlikeler asgariye indirilecektir (Emadi, vd., 2008).

1.4. Termal Kaçak Mekanizması

Lityum-iyon batarya hücrelerinde termal kaçak (thermal runaway), iç sıcaklığın kontrolsüz biçimde artarak hücrenin kendi kendini ısıtmaya devam ettiği zincirleme bir reaksiyon durumudur. Bu olgu, bataryanın yapısındaki kararsızlıklar nedeniyle belli bir eşik sıcaklık aşıldığında tetiklenmektedir. Tipik bir lityum-iyon pil hücresi yaklaşık 70–

100 °C'nin üzerine ısındığında içindeki bazı bileşenlerin bozunma ve ekzotermik (ısı açığa çıkaran) reaksiyon başlatma riski keskin biçimde artmaktadır (Li, vd., 2016). Bu kritik sıcaklık eşiği aşıldığında, hücrenin anot, katot ve elektrolit gibi kısımları hızla parçalanarak ısı üretmeye başlamaktadır. Öncelikle anot yüzeyindeki koruyucu katı elektrolit ara tabakası (SEI) ve organik elektrolit bozunur, ardından katot malzemesi kararsız hale gelerek oksijen ve diğer gazları açığa çıkarmaktadır. Bu süreç, çok kısa süre içinde hücre içinde ani bir basınç yükselişi ve sıcaklığın katlanarak artmasıyla sonuçlanmaktadır. Nitekim termal kaçak meydana geldiğinde pil hücresinin sıcaklığı birkaç saniye ya da dakika içinde yüzlerce santigrat dereceye fırlayabilir; deneysel çalışmalarda hücre iç sıcaklıklarının 800–1000 °C'ye ulaşabildiği gösterilmiştir (Howey, vd., 2011). Bu aşırı ısınma hücre içinde yanma ve gaz üretimini tetikleyerek hücrenin alev almasına veya patlayarak gazları dışarı atmasına yol açmaktadır.

Termal kaçak, tek bir hücreyle sınırlı kalmayıp komşu hücrelere de hızla yayılabilen son derece tehlikeli bir süreçtir. Bir hücrede kontrolsüz ısınma başladığında, açığa çıkan yoğun ısı bitişikteki hücrelerin de sıcaklığını yükselterek onları da kritik eşiklere ulaştırabilir. Sonuç, bir hücrenin diğerini tetiklediği zincirleme bir reaksiyondur. Bu zincirleme termal kaçak, normal bir yangına kıyasla çok daha hızlı ilerler ve kısa sürede bir batarya modülündeki tüm hücreleri etkisi altına alabilir (Bisschop, 2020). Örneğin bir hücre birkaç saniye içinde alev alıp patladığında, yanındaki hücreler de ardı ardına benzer tepki verebilir; böylece dakikalar içinde tüm batarya modülü alevlere teslim olabilir. Bu nedenle elektrikli araçlarda batarya paketinin bir hücresinde başlayan arıza, önlem alınmazsa tüm bataryayı saracak büyük bir yangın ve hatta patlamaya dönüşebilmektedir (BloombergNEF, 2021). Konvansiyonel bir yakıt yangınında alevler yakıtın yayılma hızına ve ortama bağlı olarak daha yavaş büyürken, lityum-iyon bataryalardaki enerji yoğun yapının etkisiyle yangın çok kısa sürede maksimum şiddete ulaşabilir (Duleep, vd., 2011). Bu durum, termal kaçak başlangıcının mümkün olduğunca engellenmesini ve tek bir hücrede dahi olsa meydana geldiğinde etkilerinin sınırlanmasını kritik hale getirmektedir.

Termal kaçak mekanizmasının temel tetikleyicileri, genellikle hücreyi aşırı strese maruz bırakan durumlardır. Bir lityum-iyon hücrede iç kısa devre oluşması, termal kaçığın önemli sebeplerinden biridir. Hücre içindeki ayırıcı tabakanın hasar görmesi veya delinmesi sonucunda anot ile katot doğrudan temas ederse, yüksek akım akışına bağlı olarak Joule ısınması meydana gelir ve lokal sıcaklık hızla yükselmektedir (Hawkins, vd., 2012). Eğer bu

lokal ısınma yeterince büyükse, yukarıda tanımlanan zincirleme reaksiyonu tetikleyerek hücreyi termal kaçak durumuna sokabilir. Benzer şekilde, aşırı şarj (hücreye kapasitesinin üzerinde enerji yüklenmesi) ya da derin deşarj (hücrenin aşırı boşaltılması) gibi durumlar da hücre kimyasında kararsız ürünler oluşturarak termal kaçağı başlatabilir (Crompton, 2000). Dış kaynaklı aşırı ısı (örneğin aracın harici bir yangına maruz kalması) hücre sıcaklığını kritik eşiğe çıkararak aynı etkiyi yaratabilir. Ayrıca, mekanik hasar (çarpma, ezilme, delici darbe vb.) sonucu hücre bileşenlerinin deformasyona uğraması da iç kısa devrelere ve ardından termal kaçağa yol açabilir (NTSB, 2020). Özellikle trafik kazaları sonrasında batarya paketinin darbe alması, hücrelerin yapısını bozarak kısa devreler ve ısınma süreçlerini başlatan bir senaryo olarak öne çıkmaktadır.

Termal kaçak başladığında ortaya çıkan gazlar ve alevler, hücrenin basınç tahliye mekanizmalarını zorlayarak bir patlama etkisi yaratabilir. Lityum-iyon piller genellikle aşırı basıncı dışarı atmak üzere tasarlanmış güvenlik valflerine sahiptir (Gustafsson ve Johansson, 2015). Ancak termal kaçak sırasındaki ani gaz üretimi bu valflerden hızla dışarı yanıcı gazlar püskürtür. Bu gazlar oksijenle temas ettiğinde hücrenin dışına “jvdevleri” şeklinde ateş topu çıkabilir. Nitekim büyük bir batarya modülünde termal kaçak meydana geldiğinde, peş peşe patlayan hücreler nedeniyle birkaç metre yüksekliğe fişkıran jvdevleri gözlemlenmiştir (Held vd., 2022). Bu alevler, yangının söndürülmesini güçleştirmenin yanı sıra etrafa sıçrayarak aracın diğer kısımlarını ve yakın çevresini de tutuşturabilir. Bu nedenle termal kaçak, sadece batarya içinde sınırlı bir sorun olmayıp aracın tamamını ve yakın çevresini tehdit eden şiddetli bir yangın hadisesine dönüşmektedir.

Elektrikli araç üreticileri ve mühendisler, termal kaçak riskini azaltmak için hem hücre düzeyinde hem de paket düzeyinde çeşitli güvenlik önlemleri geliştirmiştir. Batarya hücrelerinde kullanılan ayırıcı (separator) malzemelerinin ısısal dayanımını artırmak, kritik bir önlemdir. Geleneksel polimer ayırıcılar yaklaşık 130–150 °C’de eriyerek anot ve katot arasında geniş bir kısa devre oluşmasına yol açabilmektedir (Wang vd., 2019). Bu eşiğin üzerine çıkıldığında hücre tamamen kontrolsüz biçimde deşarj olarak yanmaya başlar. Günümüzde yeni nesil bataryalarda termal kararlılığı daha yüksek seramik kaplamalı ayırıcılar veya çok katmanlı kompozit ayırıcılar kullanılmaktadır. Bu materyaller, daha yüksek sıcaklıklara dayanarak hücrenin bütünlüğünü korumakta ve termal kaçak başlamasını geciktirmektedir (Ehsani, vd., 2003). Benzer şekilde, batarya elektrolitinde de güvenliği artırma yönünde çalışmalar sürmektedir. Lityum-iyon pillerde kullanılan

geleneksel elektrolitler yanıcı organik çözücülere dayalıdır. Bu da yangın durumunda elektrolitin alevlenerek süreci şiddetlendirmesine yol açmaktadır. Bunu önlemek için alev geciktirici katkıları veya tamamen yanmaz özellikte katı hal elektrolit teknolojileri üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Örneğin, seramik veya katı polimer tabanlı elektrolitler, yanıcı sıvı elektrolit yerine kullanıldığında pilin termal olarak çok daha dayanıklı olmasını sağlayabilir (Li, vd., 2020). Ancak güncel katı hal batarya prototipleri, iletkenlik ve maliyet gibi konularda henüz istenen seviyede olmadığı için yaygın uygulamada sınırlıdır. Yine de bu yönde gelişen teknolojiler, gelecekte termal kaçak riskini minimize eden batarya tasarımlarının yolunu açacaktır.

Batarya paketinin genel tasarımında da termal kaçığın etkilerini sınırlayıcı önlemler alınmaktadır. Hücreler arası boşluk bırakılması veya ısı yalıtıcı bariyerler kullanılması, bir hücredeki yangının komşu hücrelere hemen sirayet etmemesi için uygulanan yöntemlerdendir. Bazı tasarımlarda batarya modülleri arasında yangın kesici bölmeler bulunmaktadır. Böylece bir modül tamamen yanarken diğer modüllerin etkilenmeden kalması hedeflenmektedir (Liu, vd., 2019). Ayrıca batarya paketlerine entegre edilen BMS (Batarya Yönetim Sistemi) ve termal yönetim sistemleri, termal kaçak öncesi erken uyarı ve önleyici soğutma yapabilecek şekilde geliştirilmektedir. BMS, her bir hücrenin voltaj ve sıcaklığını anlık izleyerek tehlikeli bir yükselme tespit ederse aracı uyarır veya akımı keser (Li vd., 2024). Aynı zamanda termal yönetim sistemi, bataryayı sürekli olarak güvenli sıcaklık aralığında tutmaya çalışmaktadır. Örneğin aktif sıvı soğutma devreleriyle aşırı ısınan hücrelerin sıcaklığını düşürmektedir. Bu tür entegre güvenlik özellikleri, normal çalışma koşullarında termal kaçığı önlemeye yardımcı olmaktadır. Nitekim uygun kalite kontrolü ve güvenlik sistemleriyle donatılmış modern batarya paketlerinde hücre arızalarının son derece nadir görüldüğü rapor edilmektedir (Howey, vd., 2011). Sonuç olarak, termal kaçak mekanizması lityum-iyon bataryaların en kritik risklerinden biri olsa da malzeme bilimi, kontrol elektroniği ve tasarım iyileştirmeleri sayesinde bu riskin gerçekleşme olasılığını düşürmek ve gerçekleşmesi durumunda etkilerini sınırlamak için yoğun çalışmalar sürmektedir.

1.5. Yangınlarda Açığa Çıkan Toksik Gazlar ve Etkileri

Elektrikli araç yangınlarında ortaya çıkan duman ve gazlar, hem yangına müdahale ekipleri hem de çevredeki insanlar için son derece önemli bir tehlike kaynağıdır. Genel olarak her tür yangın, yanma ürünleri olarak çeşitli zehirli gazlar ve partiküller üretir; ancak

lityum-iyon batarya yangınları söz konusu olduğunda, açığa çıkan gaz karışımının bileşimi ve toksisite düzeyi alışılmış araç yangınlarından farklılık göstermektedir. Yapılan deneysel çalışmalar, bir elektrikli otomobil bataryası yangınında atmosfere yüzlerce farklı kimyasal bileşiğin salınabileceğini ortaya koymaktadır (Held vd., 2022). Bu gazlar arasında, klasik yangınlarda da görülen karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) gibi yanma ürünlerinin yanı sıra, elektrikli araç bataryasına özgü bazı son derece toksik bileşikler de bulunmaktadır. Özellikle lityum-iyon pil elektrolitlerinde kullanılan lityum hekzaflorofosfat (LiPF₆) tuzunun ve diğer florlu bileşiklerin bozunması sonucunda açığa çıkan hidrojen florür (HF), bu tür yangınlarda en tehlikeli gazlardan biri olarak rapor edilmiştir (Naik, vd., 2016). HF, insan sağlığı için son derece zararlı bir gazdır; solunduğunda akciğer dokusunda asit yanıklarına ve kalıcı hasara yol açabilir. Konsantrasyonunun birkaç ppm gibi düşük seviyelerinde bile solunum yollarını tahriş ederken, daha yüksek dozlarda akciğer ödemi ve ölüme neden olabilmektedir. Elektrikli araç yangınlarında ölçülen HF seviyelerinin, acil durum çalışanları açısından izin verilen maruziyet sınırlarını katbekat aşabildiği belirtilmektedir (Martinez, vd., 2017).

Batarya yangınlarından yayılan bir diğer kritik zehirli gaz, hidrojen siyanür (HCN)'dür. HCN genellikle yanma sırasında azot içeren malzemelerin (örneğin bazı plastiklerin, köpüklerin veya koltuk döşemelerinin) parçalanmasıyla ortaya çıkmaktadır. Elektrikli araçlarda da hem batarya yapısında hem de araç iç donanımında çeşitli polimer ve plastik malzemeler bulunduğundan, şiddetli bir batarya yangını bu malzemeleri tutuşturarak HCN açığa çıkarabilir (Thomas, 2009). Hidrojen siyanür, solunum yoluyla alındığında hücresel düzeyde oksijen kullanımını engelleyen son derece öldürücü bir zehirdir. Kısa süre maruz kalma bile bilinç kaybı ve ölüme yol açmaktadır. Bu nedenle, EV yangınlarının kapalı ortamlarda yarattığı duman bulutu içindeki HCN, hem müdahale ekipleri hem de yangın mahallinde kalmış olabilecek kişiler için ani bir tehlike oluşturmaktadır (Moeinaddini, 2025). Bunun yanı sıra, lityum-iyon bataryanın içinde bulunan florlu bileşiklerin yüksek sıcaklıkta parçalanmasıyla fosfor pentaflorür (PF₅) ve benzeri gazların da açığa çıktığı tespit edilmiştir (Krüger, vd., 2016). PF₅, havadaki nem ile temas ettiğinde yeniden HF ve diğer fosforlu asit türevlerine dönüşebilen son derece reaktif bir gazdır. Dolayısıyla, PF₅'nin varlığı hem doğrudan toksik etkiler yaratır hem de ortamda kalıcı asidik kirlilik oluşmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle yangın sonrası ortamların temizliği ve ekipman dekontaminasyonu açısından bu tür kalıntı gazlar önemli bir sorun teşkil etmektedir (Larminie ve Dicks, 2000).

Elektrikli araç bataryası yangınlarının dumanını benzersiz kılan unsurlardan biri de ağır metal içerikli partiküllerin yoğunluğudur. Batarya hücrelerinin katot kısımları genellikle nikel, kobalt, manganez oksitleri gibi metaller içermektedir. Yüksek sıcaklıkta bu metaller buharlaşarak veya nano-boyutlu parçacıklar halinde duman bulutuna karışabilir. Yapılan karşılaştırmalı testlerde, bir EV bataryasının yanması sonucu ortaya çıkan dumanın, eşdeğer bir benzinli araç yangınına kıyasla daha yüksek miktarda nikel ve kobalt gibi toksik metalleri içerdiği gösterilmiştir (Held vd., 2022). Bu ağır metal parçacıkları solunum yoluyla vücuda alınabilir ve akciğerlerde birikebilir. Ağır metallerin toksik ve potansiyel olarak kanserojen etkileri iyi bilindiğinden, bu durum elektrikli araç yangınlarının uzun vadeli sağlık risklerini de artırmaktadır. Örneğin kobalt ve nikel, yüksek dozlarda solunduğunda akciğer fonksiyonlarını bozabilir ve yıllar içerisinde kronik akciğer hastalıklarına veya kansere zemin hazırlayabilir (Ocak, 2013). Bu nedenle, EV yangınlarından sonra havaya saçılan metal partiküllerine maruziyetin en aza indirilmesi gerekmektedir.

Yangın sonucu oluşan yoğun duman bulutu, içerdiği toksik gazların yanı sıra ortamda oksijenin hızla tükenmesine ve görüş mesafesinin azalmasına da yol açmaktadır. Elektrikli araç yangınları yüksek sıcaklıkta ve uzun süre yandığından, kapalı mekanlarda (örneğin otoparklar, tüneller veya garajlar) kısa sürede büyük miktarda duman üretebilirler. Bu duman bulutu, ortamdaki oksijen konsantrasyonunu düşürerek boğucu bir atmosfer yaratmaktadır (Moeinaddini, 2025). Özellikle tünel gibi havalandırmanın sınırlı olduğu alanlarda meydana gelen EV yangınlarında, açığa çıkan CO₂ ve diğer yanma gazları oksijen yerini alarak hem yangına müdahaleyi zorlaştırmakta hem de içerideki insanların tahliyesini güçleştirmektedir. Toksik gazlar ve düşük oksijen birleşimi, yangın mahallinde kısa sürede ölümcül koşullar oluşmasına neden olabilmektedir (Rahman, vd., 2000). Bu yüzden, tünel ve kapalı otopark senaryolarında acil havalandırma sistemlerinin yeterli kapasitede olması ve yangın durumunda otomatik devreye girerek dumanı tahliye etmesi hayati önem taşımaktadır. Güncel literatürde, elektrikli araç yangın senaryolarının bu tür kapalı alanlar için acil durum planlamalarına dahil edilmesi gerektiği vurgulanmakta, fan ve duman kontrol sistemlerinin EV yangınlarının üreteceği gaz yüküne göre tasarlanmasının şart olduğu belirtilmektedir (Yin, vd., 2018).

Elektrikli araç bataryası yangınlarının bir diğer tehlikeli yönü, buhar bulutu patlaması riskidir. Batarya içinde yer alan organik çözücüler (örneğin etilen karbonat, dietil karbonat gibi elektrolit bileşenleri) yangın sırasında buharlaşarak ortamda yanıcı bir organik buhar

bulutu oluşturabilir. Eğer bu buhar, yangın ortamında uygun bir şekilde karışıp yeterli oksijenle birleşirse, ateş kaynağıyla temas ettiğinde ani bir parlama ile tüm bulutu tutuşturabilir. Bu olaya “flashover” benzeri bir ani tutuşma denilir ve patlama etkisine yakın bir şok dalgası yaratabilir (Johnson, 2024). Özellikle kapalı veya yarı kapalı ortamlarda, bataryadan sızan yanıcı gazların tavan altında birikmesi ve bir kıvılcımla infilak etmesi ciddi bir risk olarak tanımlanmıştır. Bu durum, itfaiyeciler için öngörülmesi zor bir tehlikedir; zira yangın söndürme çalışmaları sürerken aniden bir buhar patlaması meydana gelebilir ve ekipleri hazırlıksız yakalayabilir (Akgündoğdu, vd., 2017). Bu nedenle, EV yangınlarında yalnızca görünür alevlere odaklanmak yeterli değildir. Gerekli durumlarda itfaiye ekipleri yangın bölgesine girmeden önce ortama havalandırma sağlayarak buhar birikimini dağıtmalıdır.

Açığa çıkan toksik gazların insan sağlığı üzerindeki akut etkileri, boğulma, zehirlenme ve doku hasarı şeklinde kendini göstermektedir. Yangınlarda en sık ölüm nedeni olan karbonmonoksit, kandaki hemoglobine bağlanarak oksijen taşıma kapasitesini düşürmektedir. Bu da maruz kalan kişide kısa sürede bayılma ve ölümlerle sonuçlanabilir. Hidrojen siyanür ise hücre düzeyinde oksijen kullanımını engelleyerek benzer biçimde birkaç dakika içinde öldürücü olabilir. Hidrojen florür ve diğer asidik gazlar solunum yollarında ve akciğerlerde derin tahribat yaparak solunum yetmezliğine yol açmaktadır (Dia, 2023). Bu nedenle, elektrikli araç yangınına maruz kalan kişilerde zehirlenme belirtileri (baş dönmesi, bulantı, nefes darlığı, bilinç kaybı vb.) hızlıca gelişebilir. Ayrıca yangın sonrası dönemde, itfaiye personelinin maruz kaldığı bu toksik unsurlar uzun vadede mesleki sağlık sorunları yaratabilmektedir. Özellikle sık yangına giden görevli personelde, duman içindeki kanserojen parçacıklar ve gazlar birikimli etki yaparak yıllar içinde kanser riskini artırmaktadır. EV yangınlarında dumanın içerdiği nikel, kobalt gibi maddeler de bu açıdan endişe vericidir. Zira kobalt bileşikleri solunduğunda kanser yapıcı etki potansiyeline sahip olarak sınıflandırılmaktadır (Held vd., 2022). Dolayısıyla, hem yangın anında hem de sonrasında koruyucu önlemler almak şarttır.

Tüm bu nedenlerle, elektrikli araç yangınlarında açığa çıkan duman ve gazlara karşı korunma tedbirleri büyük önem taşımaktadır. İtfaiye ve diğer acil durum personelinin, bu tür yangınlara müdahalede mutlaka tam yüz maskeli solunum cihazı (SCBA) kullanması gerekmektedir (Johnson, 2024). Sıradan araç yangınlarında dahi tavsiye edilen solunum koruması, EV yangınlarında hayati bir önkoşuldur. Zira birkaç nefes duman bile ölümcül

olabilir. Ayrıca, yangın söndürüldükten sonra bile araç çevresindeki havanın temizlenmesi zaman alabilir. Bu nedenle, yangın sonrası soğutma ve kontrol aşamasında bölge iyice havalandırılana dek gereksiz personel veya meraklı kişiler olay yerine yaklaştırılmamalıdır. İtfaiye ekipleri kullandıkları koruyucu giysi ve ekipmanları yangın sonrasında dekontaminasyona tabi tutmalı, üzerlerine sinen toksik kalıntıları temizlemelidir (Faraz, vd., 2020). Özellikle HF gibi kimyasallar koruyucu giysi üzerinde dahi kalıp ciltle temas ederse yanıklara neden olabileceğinden, ekipman temizliği ve kişisel hijyen protokollerine uyulması şarttır. Sonuç olarak, elektrikli araç yangınlarında oluşan toksik gazlar, yangından sağ çıkma şansını belirleyen temel faktörlerden biridir ve bu gazların etkilerinin bilinmesi, doğru müdahale stratejilerinin geliştirilmesinde kritik rol oynamaktadır (Russoa, vd., 2018).

1.6. Elektrikli Araç Yangınlarının İş Sağlığı ve Güvenliği Boyutu

Elektrikli araç yangınları, acil durum müdahale personelinin ve ilgili diğer çalışanların iş sağlığı ve güvenliğini doğrudan ilgilendiren bir dizi özgün tehlike ve risk barındırmaktadır. Her ne kadar istatistikler elektrikli araçların yanma ihtimalinin geleneksel benzinli araçlara kıyasla çok daha düşük olduğunu gösterse de (örneğin 100.000 elektrikli araç başına 25 yangın olayı vs. benzer sayıdaki benzinli araçta 1.530 yangın) asıl mesele yangın çıktığındaki şiddet ve zorluk düzeyidir (Haederle, 2024). Uzmanlar, elektrikli araç yangınlarının nadir görülmesine karşın bir kez başladığında söndürme ekipleri için çok daha büyük meydan okumalar içerdiğini vurgulamaktadır. Dolayısıyla, iş sağlığı ve güvenliği perspektifinden bakıldığında EV yangınlarına hazırlık yapmak, bu alanda görev alan personeli korumak ve doğru müdahale yöntemlerini benimsemek kritik önem taşımaktadır (Tohir ve Martin-Gomez, 2023).

İlk olarak, elektrikli araç yangınlarının ısı ve fiziksel tehlikeleri geleneksel araç yangınlarına göre belirgin biçimde yüksektir. Lityum-iyon bataryaların yanması durumunda ortaya çıkan ısı enerjisi ve alev süresi çok daha fazladır. Bu durum, yangına müdahale eden itfaiyeciler için uzun süre aşırı ısıya maruz kalma ve bunun getirdiği ısı stresi riskini artırır. Örneğin bir elektrikli otomobil bataryasının alevleri, 70-80 dakika boyunca yüksek sıcaklıkta yanmaya devam edebilir ve bu süre zarfında çevreye 2–3 metre boyunda alev jetleri yayabilir (Duh, vd., 2021). Böylesi uzun süreli ve yoğun yanma, itfaiye personelinin geleneksel koruyucu ekipman içinde dayanma süresini zorlar, düzenli dinlenme ve rotasyon ihtiyacını doğurmaktadır. Aksi halde, aşırı sıcak ortamda uzun süre çalışan personelde dehidrasyon, sıcak çarpması ve tükenmişlik sendromu gibi sağlık sorunları baş gösterebilir.

Bu yüzden EV yangınlarında ekip amirleri personelinin durumunu yakından izlemeli, gerekirse daha sık personel değişimi yaparak kimsenin kritik limitleri aşmasına izin vermemelidir. Ayrıca yüksek ısıya bağlı olarak çevredeki yapıların veya araçların patlama riski (örneğin lastik patlaması, amortisör tüpü patlaması gibi) de artar; bu da ekiplere sıçabilecek ikincil şarapnel riskini beraberinde getirmektedir (Xu, vd., 2021). Bu tür fiziksel tehlikeler, EV yangınlarında güvenli mesafe kavramını öne çıkarmaktadır. İtfaiyeciler mümkün olduğunca araca yakın durmadan, uzaktan su tutma ve soğutma yapmalı; alevlerin aniden püskürmesi veya patlayıcı parça fırlaması olasılığına karşı her an korunacak şekilde konum almalıdır (Chombo, 2020).

İkinci önemli husus, elektrikli araç yangınlarının yeniden alevlenme (re-ignition) eğilimi nedeniyle iş güvenliği risklerinin yangın söndükten sonra da devam etmesidir. Lityum-iyon bataryalar, yangın bastırıldıktan sonra bile hücrelerinin içinde “hapis kalmış” enerjiyi barındırmaya devam edebilir (Gondelach ve Faaij, 2012). Hücre içindeki hasarlı bölgeler, soğutma sona erdikten saatler hatta günler sonra kendi kendine tekrar tutuşma potansiyeline sahiptir. Nitekim bir EV bataryasının tamamen söndürüldüğünden emin olmanın güç olduğu, yangın bastırıldıktan çok sonra bile tekrar alev alabileceği itfaiyeciler tarafından ifade edilmiştir (Haederle, 2024). Bu durum, yangına ilk müdahale ekibinden sonra devreye giren diğer personel için ciddi bir tehlike arz etmektedir. Özellikle çekici operatörleri, trafik kazası kurtarma ekipleri veya hurda araç depolarındaki çalışanlar, yangın söndü zannedilerek aracı taşımaya veya depolamaya çalışırken aniden yeniden başlayan bir yangınla karşılaşabilirler. Bu senaryo geçmişte örnekleriyle sabittir ve maalesef birkaç kurtarma personelinin yaralanmasına yol açmıştır (Moeinaddini, 2025). Dolayısıyla, elektrikli araç yangınlarına müdahale eden ekiplerin işi alevler söndüğünde bitmez; yangın sonrası izleme ve güvenli taşıma protokolleri mutlaka uygulanmalıdır. Uzmanlar, EV yangınına maruz kalmış bir aracın yangın tamamen bastırıldıktan sonra en az 24–48 saat boyunca izole bir alanda bekletilmesini önermektedir (Liao, vd., 2019). Bu süre zarfında araç mümkünse açık havada veya özel bir yangın izleme alanında tutulmalı, bir termal kamera ile periyodik olarak batarya sıcaklığı kontrol edilmelidir. Bataryanın tamamen soğuduğu ve yeniden tutuşmayacağı kesinleşmeden aracın kapalı bir ortama alınmasına veya insanların yakınına getirilmesine izin verilmemelidir. Hatta bazı yönergeler, eğer çevre koşulları uygunsa batarya yangınının aktif olarak söndürülmek yerine kontrollü bir şekilde kendi kendine yanarak tükenmeye bırakılmasını dahi önermektedir (Wang, vd., 2012). Bu yaklaşım, yeniden alevlenme riskini azaltmak ve personelin tehlikeli ortama tekrar girmek

zorunda kalmamasını sağlamak amacıyla düşünülen bir stratejidir. Tabii ki böyle bir strateji ancak çevredeki varlıklar için ek bir risk yoksa uygulanabilir. Alternatif olarak, yeniden alevlenmeyi önlemek için geliştirilmiş pratik bir yöntem, yangın geçirmiş elektrikli aracın bataryasını su dolu bir konteyner içine daldırıp bekletmektir. Bu sayede, eğer batarya tekrar tutuşma eğilimi gösterirse anında suyla çevrelenip soğuyacak ve alevlenme dış ortamda yayılmadan kontrol altında kalacaktır. Avrupa'daki bazı itfaiye teşkilatları bu amaçla özel batarya daldırma tankları kullanmaya başlamış ve yangın sonrası güvenli depolama konusunda önemli başarılar elde edilmiştir (NTSB, 2020).

Üçüncü olarak, elektrikli araç yangınlarının iş güvenliği boyutunda öne çıkan bir risk de yüksek gerilim kaynaklı elektrik çarpması tehlikesidir. EV batarya sistemleri yüzlerce volta varan gerilimlerde çalışmaktadır. Bir trafik kazası veya yangın sırasında batarya bütünlüğü bozulursa, araç üzerinde gezinirken veya kesme-biçme aletleriyle müdahale ederken ilk yardım ekibi farkında olmadan canlı yüksek voltaj hatlarına temas edebilir. Bu, son derece ciddi ve potansiyel olarak ölümcül bir risk yaratır. Araçlarda her ne kadar darbe anında yüksek gerilimi otomatik olarak kesen emniyet sistemleri (örneğin piroteknik sigortalar) bulunsa da, pratikte her zaman tüm sistem izole hale gelmeyebilir (Sun, vd., 2020). Bu nedenle itfaiyeciler ve kurtarma ekipleri, EV kazalarında ve yangınlarında araca müdahale etmeden önce yüksek voltaj sistemin devre dışı bırakıldığından emin olmalıdır. Birçok elektrikli araçta turuncu renkli kablo demetleri yüksek voltaj hatlarını göstermekte ve üreticiler bu kabloların kolay erişilen bir noktasında “kesme döngüsü (cut loop)” adı verilen bir bağlantı sunmaktadır. Ekipler, araç özelinde eğitim aldıysa bu noktayı hızla bularak kabloyu kesip tüm bataryayı elektrikselsel olarak ayırabilirler. Örneğin Tesla, Nissan, Toyota gibi firmaların acil durum müdahale kılavuzlarında bu kritik kesme noktalarının araç üzerindeki yerleri açıkça belirtilmiştir (Tesla, 2020). Buna rağmen yapılan bir incelemede, farklı otomotiv firmalarının ilk müdahale kılavuzlarında tutarsızlıklar olduğu, çoğu kılavuzun yüksek voltajla mücadele konusunda yeterli detay sunmadığı saptanmıştır (Grilo, vd., 2012). Bu da sahada görev yapan personelin işini zorlaştıran bir etkidir. Standart bir uygulama olarak, elektrikli araç kazalarında mümkün olduğunca aracın tekerleklerine topraklama kablosu takılması ve tüm personelin yüksek gerilim uyarı levhaları konusunda dikkatli olması önerilmektedir. Ayrıca, yangın sonrasında batarya paketinin dağılması halinde çevreye saçılan pil modüllerine kesinlikle çıplak elle dokunulmamalı, bu parçalar suyla temas ettirilmemeli ve uzman ekipler gelene kadar izolasyon sağlanmalıdır (NFPA, 2021). Aksi halde “stranded energy” denilen, batarya içinde kalmış artık enerjiyle yüklü bir

modüle dokunan kişiler ciddi elektrik çarpmasına maruz kalabilir (NTSB, 2020). Bu tür risklere karşı hem itfaiye hem de kaza sonrası temizlik/çekici ekiplerinin bilinçlendirilmesi şarttır.

Elektrikli araç yangınlarının toksikolojik tehlikeleri de iş sağlığı boyutunda ayrı bir yer tutmaktadır. Bir önceki bölümde detaylı açıklandığı üzere, EV yangınlarında oluşan duman son derece zehirli gazlar içermektedir (HF, HCN, CO vb.) ve ayrıca ağır metal parçacıkları barındırmaktadır. Bu durum, yangına müdahale eden itfaiyecilerin sadece yangın esnasında değil, yangın sonrasında da sağlık riskleriyle karşı karşıya kalması demektir (Sturk, vd., 2015). Özellikle yangın sonrasında üniforma ve ekipman üzerine sinen zehirli artıklar, uygun şekilde temizlenmezse cilt yoluyla veya solunumla personele nüfuz edebilir. Bu nedenle iş güvenliği protokolleri, yangın sonrası dekontaminasyon adımı zorunlu kılmaktadır. İtfaiyeciler yangın mahallinden ayrılırken koruyucu giysilerini uygun biçimde yıkamalı, maskelerini dezenfekte etmeli ve mümkünse kendileri de tıbbi kontrolden geçmelidir. Bazı batarya yangınlarında itfaiye personelinin tahlillerinde florür maruziyetine rastlandığı bildirilmiştir (Held vd., 2022). Bu tür bulgular, alınacak önlemlerin ne kadar hayati olduğunu ortaya koymaktadır. İş sağlığı açısından, yangın yerine yakın alanlarda bulunan diğer çalışanların (örneğin polis, ambulans ekibi veya basın mensupları) da dumandan etkilenmemesi için uygun mesafede konumlanmaları sağlanmalıdır. EV yangınlarında itfaiye amirleri genellikle aracın etrafında en az 15 metre yarıçapında bir güvenlik çemberi oluşturmayı ve bu alan içinde görevli olmayan kimseyi bulundurmamayı tavsiye etmektedir (Nishi, 2001). Bu mesafe, olası patlama parçalarından ve yoğun dumandan korunmak için belirlenmiştir. Yangın tamamen söndürüldükten sonra bile bu emniyet şeridinin bir süre daha korunması, bataryanın yeniden tutuşma ihtimaline karşı riskleri minimize edecektir.

Elektrikli araç yangınlarına karşı eğitilmiş ve donanımlı olmak, iş sağlığı ve güvenliğinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Son yıllarda birçok ülkenin itfaiye teşkilatları, EV yangınlarına özel eğitim programları ve tatbikatlar uygulamaya başlamıştır. Örneğin ABD’de Ulusal Yangından Korunma Birliği (NFPA), elektrik ve hibrit araç yangınlarına müdahale konusunda ayrıntılı rehberler ve çevrimiçi eğitim modülleri yayınlamıştır (NFPA, 2021). Bu eğitimlerde itfaiyecilere batarya teknolojisinin temel prensipleri, olası riskler ve doğru söndürme teknikleri öğretilmektedir. Özellikle vurgulanan bir strateji, EV yangınlarında “soğut ve bekle” yaklaşımıdır (NFPA, 2021). Bu yaklaşım, ekiplerin araca

güvenli bir mesafeden bol miktarda su uygulayarak bataryayı soğutmasını, ancak alevleri tamamen bastırmak için bataryayı zorlamadan kendi kendine yanmasını tamamlamasını beklmelerini önermektedir. Zira aktif bir batarya yangını, içten yanmalı motorlu araçlardaki gibi oksijen kesilerek veya yakıt akışı durdurularak kolayca boğulamaz. Bataryanın içinde depolanmış kimyasal enerji tükenene kadar yangın potansiyeli vardır. Köpük bazlı yangın söndürücüler ise lityum-iyon batarya yangınlarında etkisiz bulunduğundan, suyla sürekli soğutma en güvenli seçenek olarak kabul edilmiştir (Dahbi, vd., 2011). İtfaiye teşkilatları bu yeni gerçeklere uyum sağlamak adına envanterlerine özel donanımlar eklemektedir. Örneğin Almanya ve bazı ülkelerde itfaiyeler, kaza yapmış elektrikli araçların bataryasını sarmak için yangın battaniyeleri ve gerektiğinde aracı içine çekebilecekleri su dolu konteynerler temin etmektedir. Yine, batarya modüllerine doğrudan su enjekte etmeyi sağlayan delici mızrak nozullar geliştirilmiş ve bazı bölgelerde kullanılmaya başlanmıştır (Gondelach ve Faaji, 2012). Bu tür ekipmanlar, yangına daha uzaktan ve etkin müdahale imkânı vererek personelin maruz kalacağı tehlikeleri azaltmaktadır. Ancak bu ekipmanların da bilinçli kullanılması gerekmektedir. Örneğin bir batarya yangın battaniyesi ile aracı örtbas etmek, alttan hala ısı ve gaz çıkışı oluyorsa patlama riski yaratabileceğinden dikkatli uygulanmalıdır (Orendorff, 2012).

İş sağlığı ve güvenliği boyutuyla bakıldığında, elektrikli araç yangınlarına hazırlık sadece itfaiye personelinin değil, aynı zamanda tüm ilgili paydaşların gündeminde olmalıdır. Polis ve ambulans ekipleri olay yerine yaklaştıklarında EV kazalarında karşılaşılabilecekleri ek riskler konusunda bilgilendirilmelidir. Çekici ve kurtarma operatörleri, yangın geçirmiş bir elektrikli aracı nasıl güvenli taşıyacakları hakkında eğitilmelidir (Moeinaddini, 2025). Araç servis ve tamir personeli de hasarlı bataryalarla uğraşırken özel protokollere uymalı, yüksek gerilim eğitimi almış olmalıdır. Bu konular, kurumsal iş güvenliği eğitimlerinin bir parçası haline getirilmelidir. Sonuç itibarıyla, elektrikli araç yangınlarının iş sağlığı ve güvenliği boyutu, hem ani meydana gelen kazalarda acil durum personelinin korunmasını hem de yangın sonrasındaki işlemlerde görev alan diğer çalışanların güvenliğini kapsamaktadır (Aurbach, vd., 1997). Bu alandaki risklerin farkında olunması, güncel literatür ve kılavuzlar ışığında güvenlik önlemlerinin uygulanması ve düzenli eğitimlerle bilgilerin taze tutulması sayesinde, elektrikli araç yangınlarıyla mücadelede çalışanların sağlığı en üst düzeyde korunabilecektir.

1.7. Yangına Müdahale Sürecinde Kişisel Koruyucu Donanım (KKD)

Kullanımı

Elektrikli araç yangınlarına müdahale eden itfaiye personeli için kapsamlı kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanımı hayati öneme sahiptir. Lityum-iyon batarya yangınları sırasında açığa çıkan tehlikeli gazlar ve kimyasallar, geleneksel araç yangınlarına kıyasla daha ciddi sağlık riskleri oluşturabilmektedir (Larsson vd., 2018; Wöhrle vd., 2021). Özellikle lityum-iyon bataryalarda kullanılan elektrolit çözeltisi su veya nem ile temas ettiğinde hidroflorik asit (HF) gazı oluşturmaktadır. HF son derece toksik ve korozif olup çok küçük miktarlarda bile solunum yollarında ve deride ciddi hasara yol açabilir (Yang, vd., 2005). Nitekim 1 gramlık bir batarya separatör malzemesinin yanması sonucunda ölçülen HF konsantrasyonunun, insan sağlığı için kritik seviyelere ulaşabildiği deneysel olarak gösterilmiştir. Buna ilaveten, elektrikli araç yangınlarında karbon monoksit (CO), hidrojen siyanür (HCN), azot oksitler ve klorür/hidroklorik asit gibi çeşitli toksik gazlar da açığa çıkmaktadır. Yapılan karşılaştırmalar, bu gazların toplam miktarının benzinli araç yangınlarındakine benzer düzeylerde olduğunu göstermektedir (Huang, vd., 2016). Bu durumda, itfaiyecilerin solunum yollarını ve ciltlerini korumak için her türlü tedbiri alması gerekmektedir. Öncelikle, yangına müdahale eden ekiplerin solunum koruması sağlaması şarttır. Elektrikli ya da hibrit araç yangınlarında basınçlı hava solunum cihazı (SCBA) kullanımı kesinlikle zorunludur (DGUV, 2020). Geçmişte itfaiyeciler, özellikle açık hava araç yangınlarında, solunum cihazı olmadan çalışabilmekteydi; ancak günümüzde araç yangınları sırasında ortaya çıkan uçucu organik bileşiklerin ve zehirli gazların çeşitliliği ile bunların sağlık üzerindeki olumsuz etkilerinin anlaşılması sonucu, her araç yangınında SCBA takılması temel bir kural haline gelmiştir (Blum ve Long, 2015). HF gibi gazlar görünmez ve kokusuz olabilir, ayrıca koruyucu giysi üzerine sinerek daha sonra solunma riskini de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle yangın söndürme süresince ve soğutma/karar aşamasında ekipler maskelerini çıkarmamalı, havadaki tehlikeli maddelerin tamamen yok olduğundan emin olana dek SCBA kullanımına devam etmelidir (Martha, vd., 2011). İtfaiye personeli, yangın tamamen kontrol altına alındıktan sonra dahi “overhaul” olarak adlandırılan soğutma ve artçı kontrol aşaması bitene kadar solunum cihazlarını kullanmaya devam etmelidir (Joachim, vd., 2009). Bu uygulama, yangın sonrasında havada kalabilecek toksik buhar ve dumanın gecikmeli etkilerine karşı da koruma sağlayacaktır. Örneğin, HF maruziyetinin etkileri bazen hemen ortaya çıkmayıp saatler sonra ciltte veya gözlerde yanıklar ve solunum sorunları şeklinde belirebilir. Bu yüzden personelin farkında

olmadan HF solumasını önlemek için yangın sonrasında da solunum koruması büyük önem arz etmektedir (Hatai vd., 1986).

Tam koruyucu giysi (itfaiyeci elbisesi) de elektrikli araç yangınlarına müdahalede standart olarak giyilmelidir. Yüksek ısı ve alevlere karşı dayanıklı kumaştan imal edilmiş itfaiyeci montu ve pantolonu, yanmaz başlık, eldiven ve çizme gibi ekipmanlar vücudu termal risklere karşı korumaktadır (Arai, vd., 2002). Elektrikli araç yangınları, bataryanın kimyasal enerjisi nedeniyle uzun süre yüksek sıcaklıkta yanmaya devam edebilir ve yeniden alevlenmeler görülebilir; dolayısıyla personelin cildi ısı ve alevden yalıtılmış olmalıdır. Kimyasal direnç de bir diğer kritik husustur. Lityum-iyon bataryaların elektroliti ve yanma ürünleri korozif özellik gösterebilir. Örneğin, batarya sıvıları ciltle temas ettiğinde ciddi kimyasal yanıklara neden olabilecek kadar aşındırıcıdır (DGUV, 2020). Alman İtfaiye Birlikleri tarafından yayımlanan kılavuzlarda, elektrikli araç kazalarında yapılacak kurtarma ve yangın söndürme çalışmalarında kullanılacak KKD'nin kimyasallara, ısıya ve aleve dayanıklı malzemeden olması gerektiği vurgulanmıştır (Wisch vd., 2014; Wöhrl vd., 2021). Özellikle, bataryadan sızan elektrolit ile temas ihtimali bulunan durumlarda itfaiyecilerin uygun eldivenler ve gerekiyorsa ilave koruyucu katmanlar (örneğin asit geçirmez önlük veya kıyafet üstü kimyasal sıçrama koruyucu) kullanması önerilmektedir. Batarya sıvısı potansiyel olarak zehirleyici ve yanıcı gazlar çıkartabileceğinden dolayı, müdahale esnasında yeterli vücut koruması sağlanmalı ve koruyucu ekipman olmadan batarya parçalarına dokunulmamalıdır (Staatliche Feuerweherschule Würzburg, 2017).

Baş ve yüz koruması da tam olmalıdır. Yangın esnasında araç bileşenlerinin patlayarak etrafa saçılması önemli bir risktir; modern araçlarda bulunan kapalı amortisörler, gazlı destekler, hava yastıkları veya batarya hücreleri ısıya maruz kaldığında şiddetli şekilde patlayıp projetil (füze) etkisi yaratabilir (Blum ve Long, 2015). Bu nedenle, itfaiye personelinin koruyucu başlık (baret) ve yüz siperliği takması şarttır. Yapılan tam ölçekli araç yangını testlerinde, tampon pistonları, kaput kaldırma amortisörleri, aktarma organı milleri gibi parçaların ısının etkisiyle patlayarak fırladığı ve çevredeki personel için ciddi yaralanma riski oluşturduğu belgelenmiştir (Ping, vd., 2018). Bu tür risklere karşı personelin yapısal itfaiyeci kıyafetini eksiksiz giymesi (başlık, mont, pantolon, eldiven, çizme vb. tüm parçalarıyla) ve yüzünü tam olarak koruyan vizörünü indirmesi gerekmektedir. Böylece basınçlı parçaların fırlaması veya sıçrayan batarya parçacıkları gibi mekanik tehlikeler karşısında yaralanma olasılığı en aza indirilecektir (Feng, vd., 2017).

Elektrikli araç yangınlarına müdahalede yüksek gerilim riskine karşı önlem almak da KKD kullanımının bir parçası olarak görülmelidir. Her ne kadar batarya yangınına su ile müdahale etmek genel kabul görmüş bir yöntem olsa da, araç üzerinde halen enerji yüklü yüksek gerilim sistemleri bulunabilir. Bu nedenle, mümkünse aracın elektrik sistemi devre dışı bırakılmalıdır. Örneğin 12V akü kutup başları uygun güvenlik önlemleri ile kesilmelidir. Yüksek gerilim kablolarına veya bileşenlerine dokunmaktan kaçınılmalı, bu tür bir temas zorunlu ise yalnızca yüksek gerilim eğitilmiş personel tarafından ve uygun izole el aletleri kullanılarak gerçekleştirilmelidir (Bak, vd., 2014). Almanya’da yürürlükte olan kaza sonrası araçlara müdahale protokollerine göre, yüksek gerilim sistemleri üzerinde çalışacak personelin özel bir yeterlilik eğitimi (yüksek gerilim altında çalışabilme sertifikası) almış olması zorunludur (Röder, vd., 2014). Bu doğrultuda, itfaiye ekipleri de elektrikli araçlarla ilgili düzenli eğitimler almalı ve olay yerinde yüksek gerilim ekipmanına müdahalede bulunmayarak gerekirse elektrik konusunda uzman ekipleri çağırılmalıdır. Standart itfaiye KKD’si genellikle elektrik çarpmasına karşı özel bir yalıtım sağlamadığından, yüksek gerilim bileşenlerine bilinçsizce müdahaleden kaçınılmalıdır. İtfaiye ekipleri, üreticilerin acil durum kılavuzlarında belirtildiği şekilde “servis ayırıcı” veya “batarya izolatörü” gibi araç özelinde tasarlanmış sistemleri devreye sokmakla yetinmeli, bataryayı sökmeye veya delmeye çalışmamalıdır (Spotnitz ve Franklin, 2003).

1.8. Yangın Sonrası İzleme ve Dekontaminasyon Süreçleri

Elektrikli araç yangınlarının söndürülmesinin ardından, olay yerindeki tehlikeler tamamen ortadan kalkmış sayılmaz. Yangın sonrası izleme (post-fire monitoring), özellikle lityum-iyon bataryaların doğası gereği, kritik bir aşamadır. Lityum-iyon bataryalarda “termal kaçak” (thermal runaway) adı verilen olgu, yangın bastırıldıktan sonra bile hücrelerin kendi kendine ısınarak yeniden alevlenmesine yol açabilir (Wang vd., 2012; Doughty ve Crafts, 2006). Nitekim dünya çapında rapor edilen birçok vakada, söndürüldüğü düşünülen elektrikli araç bataryalarının saatler, hatta günler sonra yeniden tutuştuğu gözlemlenmiştir. Bu gecikmiş yangın potansiyeli, batarya paketinde halen “hapsedilmiş” durumda bulunan önemli miktarda enerjiden kaynaklanmaktadır. Batarya hasar görmüş ancak içindeki hücrelerin bir kısmı yanmadan kalmışsa, bu hücreler zamanla ısıyla birbirini tetikleyerek tekrar yanmaya başlayabilir. Dolayısıyla elektrikli araç yangınlarında, yangın kontrol altına alındıktan sonra aracın uzun bir süre izlenmesi ve gerekirse ilave önlemler alınması gerekmektedir (Anonymous, 2009). Öncelikle, yangın tamamen söndürüldükten

sonra araç mümkün olan en kısa sürede güvenli bir izolasyon alanına alınmalıdır. Uzmanlar, elektrikli aracın yangın sonrası en az 24 saat boyunca yakından izlenmesini ve mümkünse diğer yanıcı nesnelerden uzakta tutulmasını önermektedir (NFPA, 2020; Tesla, 2019). Araç, açık havada ve tercihen beton zemin gibi yanıcı olmayan bir yüzey üzerinde bırakılmalıdır. Eğer araç kapalı bir otopark veya garajdaysa, derhal dışarı çekilmeli ve bulunduğu kapalı alan iyice havalandırılmalıdır. Araçtan bir süre daha duman veya buhar çıkabileceği hesaba katılarak çevredeki görevliler uygun mesafede konumlanmalıdır. Örneğin Tesla ve Hyundai gibi üreticiler, yangın geçirmiş bir elektrikli aracın etrafında en az 15 metre yarıçapında bir güvenlik alanı bırakılmasını tavsiye etmektedir; Audi ise en az 5 metre mesafe önermiştir (Hao, vd., 2016). Bu tür mesafe önlemleri, olası bir yeniden alevlenme durumunda yangının diğer araçlara, yapılara veya malzemelere sirayet etmesini önlemeye yöneliktir. Nitekim bazı otomotiv üreticileri, yetkili servislerinin ve depolama alanlarının bu tür karantina alanları oluşturmasını şart koşmaktadır (Liu, vd., 2018). İtfaiye ekipleri de imkan dahilinde, yanan aracı söndürdükten sonra güvenli bir alana çekerek etrafında gerekli bariyerleri oluşturmaktadır.

Termal izleme, yangın sonrası kritik bir adımdır. Bataryanın sıcaklığı, söndürme işlemi bittikten sonra dahi yükselmeye devam edebilir veya belli bir süre sonra yeniden artış gösterebilir. Bu nedenle, termal kamera gibi cihazlarla batarya paketi ve araç gövdesi periyodik olarak taranmalıdır. Özellikle batarya muhafazasının bulunduğu bölgede (genellikle aracın tabanı veya alt kısmı) sıcaklık ölçümleri yapmak, içeride gizli bir alevlenme olup olmadığını anlamaya yardımcı olacaktır (Khayyat ve Unnasch, 2005). Eğer termal kamerada anormal bir ısı artışı tespit edilirse veya araçtan tekrar duman çıkmaya başlarsa, derhal yeniden soğutma ve söndürme müdahalesi yapılmalıdır. Uzmanlar, batarya yüzey sıcaklığının belirli bir eşiğin (örneğin 60°C) altında sabitlenene kadar aracın izlenmesini tavsiye etmektedir. İtfaiye literatüründe, yangın söndürüldükten sonra itfaiyecilerin bir süre daha olay yerinde kalarak veya en azından aracı belirli aralıklarla kontrol ederek “ateş nöbeti” tutmasının önemi vurgulanır (Staatliche Feuerweherschule Würzburg, 2017). Bazı durumlarda, aracın çekici vasıtasıyla bir açık alan karantina sahasına taşınması gerekebilir. Bu durumda çekici operatörleri de aracın yeniden alevlenme riskine karşı bilgilendirilmelidir (Litman, 2006). Almanya’da yürürlükte olan uygulamalara göre, kaza yapmış veya yanmış elektrikli aracı olay yerinden kaldıracak kurtarma/çekici personelinin de elektrikli araçlar konusunda özel eğitim almış “eğitimli kişi” olması gerekmektedir (Matsumura, vd., 2012). Bu sayede, aracın taşınması sırasında yüksek gerilim

sisteminin güvenli hale getirilmesi ve olası bir yeniden yangın durumunda doğru müdahalenin yapılması sağlanabilir.

Yangın sonrası izlemede, araç bataryasının tamamen soğutulduğundan emin olunması da önemli bir adımdır. Lityum-iyon bataryalar harici yangın söndürüldükten sonra dahi iç yapılarında yanmaya devam edebilir (Hedgescompany, 2021). Bu yüzden, mümkünse batarya muhafazasına uzun süreli su uygulaması yapmak ve suyun batarya modüllerine nüfuz etmesini sağlamak etkili bir soğutma yöntemi olarak kabul edilmektedir (DGUV, 2020). Yapılan deneyler, suyun batarya hücrelerine ulaştığı anda yangının etkili şekilde kontrol altına alınabildiğini göstermiştir (Swain, 2001). Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta, batarya muhafazasının genellikle sağlam ve su geçirmez yapıda olması nedeniyle suyun içeri nüfuzunun zor olabileceğidir. İtfaiye ekipleri, suyun batarya içine girmesini kolaylaştırmak için araç altına yakın noktalardan su uygulayabilir veya bazı durumlarda özel delici uçlu lanslar kullanarak bataryaya su enjekte etmeye çalışabilirler. Yine de, pek çok üretici batarya kutusunun bilinçli olarak delinmesine karşı uyarıda bulunmaktadır; zira batarya modüllerinin delinmesi başka reaksiyonlara yol açabilmektedir (VDA, 2020; NFPA, 2020). Dolayısıyla, bataryanın soğutulması mümkün olmuyorsa veya riskli görülüyorsa, aracın izole edilerek kendi kendine soğumasını beklemek ve bu süreçte etrafı emniyete almak daha güvenli bir seçenek olabilir. Bazı durumlarda, itfaiye teşkilatları özel yöntemlere başvurarak yangın sonrası riski azaltmayı hedeflemektedir. Örneğin, bazı ülkelerde yanmış elektrikli araçlar için su dolu konteynerler kullanılmaktadır. Acil durum konteyneri olarak adlandırılan bu büyük metal haznelerin içine araç vinçle konularak batarya tamamen suya daldırılabilir (Tamura, vd., 2010). Suyu daldırma yöntemi, bataryadaki kimyasal enerjinin kontrollü biçimde açığa çıkmasını ve olası alevlenmelerin su altında kalarak etkisiz hale gelmesini sağlar. Ancak bu yöntemin de pratikte bazı ciddi sakıncaları vardır: Birincisi, böyle bir konteynerin temini ve taşınması lojistik açıdan zordur ve yüksek maliyetlidir. İkincisi, suya daldırılan aracın bataryasından suda çözünmüş şekilde ayrılan kimyasallar (örneğin florür iyonları, ağır metaller) nedeniyle kontamine olmuş binlerce litre su ortaya çıkacaktır. Bu kirlenmiş söndürme suyunun bertarafı ise halen standartları netleşmemiş bir konudur (Üçok, 2019). Mevcut durumda, bu tür suyun tehlikeli atık olarak işlem görmesi gerektiği kabul edilmekle birlikte, uygulamada nasıl depolanıp arıtılacağı hususunda belirsizlikler bulunmaktadır. Benzer şekilde, bazı geri dönüşüm firmaları sabit “su dolu çukur” altyapıları kurarak yangın geçirmiş araçları bu çukurlarda günlerce bekletmekte ve bataryanın korozyon yoluyla kontrollü deşarj olmasını sağlamaya

çalışmaktadır. Bu yöntemin de günler süren bir bekleme gerektirdiği ve yol güvenliği kazalarında pratik olmadığı belirtilmektedir (Larsson, vd., 2018). Dolayısıyla, suya daldırma veya su havuzunda bekletme yöntemleri her olayda uygulanabilir değildir. Ancak çok problemlili yangınlarda son çare olarak kullanılabilir. Bunun yerine, yaygın tavsiye araçların açık alanda izole şekilde bekletilmesi ve belirli aralıklarla kontrol edilmesidir.

Yangın sonrası izleme kadar önemli bir diğer aşama da dekontaminasyon süreçleridir. Elektrikli araç yangınları sonrasında hem çevresel hem de kişisel olarak toksik kalıntılar söz konusu olabilmektedir. Batarya yangınları sırasında oluşan duman ve is, yanmış batarya malzemelerinin çok ince parçacıklarını içerir. Yapılan analizler, bu yangın kalıntılarında kanserojen ağır metaller (örn. nikel, kobalt ve bunların bileşikleri) bulunabileceğini göstermiştir (Zhang, vd., 2016). Dolayısıyla, yangın söndürme operasyonu bitiminde ilk yapılması gerekenlerden biri, personelin ve ekipmanın dekontaminasyonu olmalıdır. İtfaiyeciler, aktif yangın alanından uzaklaştıktan sonra maskelerini ve koruyucu giysilerini dikkatlice çıkarmalı ve mümkünse birbirlerini suyla yıkayarak üzerlerindeki zararlı kalıntıları arındırmalıdır. Kirlenmiş KKD, diğer temiz alanlara taşınmadan önce uygun şekilde torbalanmalı veya kapatılmalıdır. Olayın ardından istasyona dönüldüğünde tüm KKD öğeleri standartlara uygun biçimde yıkanmalı ve temizlenmelidir (USFA, 2024). Özellikle eldiven, başlık ve itfaiyeci giysilerinin iç yüzeylerinde birikmiş olabilecek asit kalıntıları veya ağır metal parçacıkları, uzun vadede temas eden personelde cilt tahrişine veya sistemik emilime yol açabilir. Bu nedenle KKD'nin temizliği ve bakımı, elektrikli araç yangınlarından sonra personelin sağlığını korumak adına kritik önemdedir (Geisbaure, vd., 2020). İtfaiyecilerin de yangın sonrasında mümkün olan en kısa sürede duş alarak ciltlerini temizlemeleri, giysilerini değiştirmeleri ve bol su ile gözlerini yüzlerini yıkamaları önerilmektedir. Bu kişisel hijyen önlemleri, başta HF olmak üzere zararlı kimyasalların deride kalıp geç etki göstermesi riskine karşı alınmış basit ama etkili tedbirlerdir.

Ekipman ve çevre dekontaminasyonu da göz ardı edilmemelidir. Yangın söndürme sırasında kullanılan itfaiye hortumları, nozul ve diğer araç gereçler de batarya yangınının kalıntılarıyla kaplanmış olabilir. Bu ekipmanlar uygun şekilde durulanmalı ve temizlenmelidir. Yangın mahallinde geriye kalan batarya parçaları, küller ve döküntüler kesinlikle sıradan atık muamelesi görmemelidir (Isidore, vd., 2022). Bu tür kalıntılar, içerdiği tehlikeli maddeler nedeniyle tehlikeli atık kategorisinde değerlendirilmelidir. Mümkünse, olay yerine çağrılacak bir tehlikeli madde (hazmat) ekibi, bataryanın parçalarını

ve kontamine olmuş toprağı/zemin materyalini toplayarak uygun varillere koymalı ve bertaraf için lisanslı tesislere göndermelidir (Mahmoudi, vd., 2014). Özellikle patlamış batarya hücreleri veya elektrolit sızıntısı emmiş malzemeler (örneğin köpük artıkları, toprak, kum) çevreye bırakılırsa, hidroflorik asit ve ağır metaller toprak ve yeraltı sularına karışabilir (Doughty ve Crafts 2006). Bu nedenle, çevresel temizliğe de özen gösterilmelidir. Yangın alanında kanalizasyon veya su giderleri varsa, yangın söndürme esnasında mümkün olduğunca kanalizasyona kirli su gitmesi engellenmelidir. Biriken söndürme suyu kontrollü şekilde toplanıp ileride analiz ve arıtma için saklanmalıdır (Zeng, vd., 2015). Her ne kadar bu düzeyde bir uygulama her zaman pratik olmasa da, en azından farkındalık düzeyinde itfaiye ekiplerinin bu suların çevre için zararlı olduğunu bilerek hareket etmesi önemlidir. Son olarak, yangın sonrasında görev alan personelin sağlık gözetimi de dekontaminasyon sürecinin bir parçası sayılabilir. Yoğun dumana veya kimyasal buharlara maruz kalmış itfaiyeciler, ilerleyen saatlerde veya günlerde kendilerinde ortaya çıkabilecek belirtilere (solunum güçlüğü, gözlerde yanma, deri üzerinde iritasyon vb.) karşı uyanık olmalıdır (Cabrera-Castillo, vd., 2016). Özellikle HF maruziyeti durumunda semptomlar gecikmeli olarak ortaya çıkabileceğinden, gerektiğinde tıbbi kontrol yapılması ve örneğin HF'ye maruz kalan bölgelere kalsiyum glukonat jeli uygulanması gibi önleyici tedaviler gerekebilmektedir (Voelcker, 2014). Kurumlar, bu tür durumlar için prosedürler geliştirmeli ve personeli bilgilendirmelidir. Ayrıca, yangına müdahale eden ekiplerin kullandığı KKD'lerin uygun şekilde bakımının yapılıp yapılmadığı, bir sonraki görev öncesi tekrar kullanıma hazır hale gelip gelmediği de kontrol edilmelidir (Bottery, 2008). Örneğin, yangın esnasında hasar görmüş bir solunum cihazı maskesi veya yırtılmış bir itfaiyeci ceketi varsa, bunlar derhal servis dışı bırakılmalı ve tamir ya da yenileme sürecine alınmalıdır.

1.9. Uluslararası Müdahale Kılavuzlarının Karşılaştırmalı İncelemesi

1.9.1. NFPA Rehberleri

Uluslararası literatürde elektrikli araç yangınlarına ve yüksek gerilimli batarya sistemlerine ilişkin en kapsamlı rehberlerden bazıları Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Ulusal Yangından Korunma Derneği (NFPA) tarafından yayımlanmıştır. Bu kuruluş 1896'da kurulmuş olup yangın güvenliği, tehlikeli maddeler, elektrik tesisatı ve acil müdahale konularında yüzlerce gönüllü uzmanın katkısıyla konsensüse dayalı standartlar üretmektedir (Foley, vd., 2010). NFPA'nin standartları yasal olarak bağlayıcı olmayabilir ancak sigorta sektörü ve kamu otoriteleri tarafından benimsenmeleri sayesinde de facto

kanun haline gelirler. Özellikle elektrikli ve hibrit araçlara ilişkin acil müdahale rehberlerinin geliştirilmesi, NFPA'nın farklı paydaşlarla yürüttüğü işbirlikleri sayesinde mümkün olmuştur (Hawkins, vd., 2012).

Son yıllarda elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte batarya yangınlarının fiziksel davranışlarının benzersiz olduğu görülmüştür. NFPA, lityum-iyon bataryaların “bugünün elektrikli araçlarını çalıştıran lityum-iyon bataryalar benzinli araçlardaki yakıttan çok farklı şekilde yanarlar” şeklinde uyarıda bulunmaktadır (Manzetti ve Mariassiu, 2015). Bu farklılık nedeniyle geleneksel söndürme yöntemlerinin yetersiz kalabildiği vurgulanmaktadır (Lai, 2001). Dernekin eğitim ve araştırma portalında “lityum-iyon bataryalarla çalışan günümüz elektrikli araçlarının yangın çıkması durumunda benzinle çalışan içten yanmalı araçlardan çok farklı şekilde yandığı” belirtilerek ilk müdahale personelinin batarya yangınlarının davranışına dair kapsamlı bilgiye sahip olması gerektiği ifade edilmektedir (Palacky, vd., 2014). Ayrıca NFPA bu alandaki bilginin sürekli değiştiğini, bu nedenle her türlü senaryoyu kapsayan bir rehberin oluşturulmasının zor olduğunu vurgulamaktadır. Elektrikli araç teknolojisi hızla geliştiği için kaynakların düzenli aralıklarla güncellenmesi gerektiği not edilmektedir.

NFPA'nın elektrikli araç güvenlik sayfaları, araç sahiplerine ve kurtarma ekiplerine yönelik temel bilgiler sunmaktadır. “Lithium-Ion Battery Safety” başlıklı sayfada lityum-iyon bataryaların akıllı telefonlardan e-bisikletlere kadar pek çok cihazda kullanıldığı ve bu bataryaların hasar görmesi, yanlış kullanılması veya yanlış şekilde şarj edilmesi durumunda yangın veya patlamalara yol açabileceği ifade edilmektedir (Morcos, 2000). Bu nedenle NFPA, bataryaların üretici talimatlarına uygun şekilde kullanılmasını, yalnızca onaylı şarj cihazlarının tercih edilmesini ve bataryaların serin ve kuru alanlarda depolanmasını önermektedir. Ayrıca bataryaların suyla temas etmesinin, darbeye maruz kalmasının ya da aşırı ısınmasının riskleri artırdığına dikkat çekilmektedir. Bu uyarılar yalnızca otomotiv sektörü için değil, geniş anlamda lityum-iyon teknolojilerini içeren tüm endüstriler için geçerlidir (SEI, 2007).

NFPA'nın acil müdahale rehberleri arasında en bilinenlerden biri elektrikli araçlar için hazırlanan “Emergency Response Guides (ERG)” koleksiyonudur. On yılı aşkın süredir NFPA, otomobil üreticilerinin hazırladığı marka model bazlı kurtarma kılavuzlarını tek bir portalda toplayarak itfaiye ve ilk müdahale ekiplerinin erişimine sunmuştur. Bu rehberlerde bir aracın yüksek gerilim kablolarının güzergâhı, batarya paketi yerleşimi, hava yastıkları ve

takviye girişleri gibi kritik bileşenler şematik olarak gösterilir ve kesme noktaları ya da güvenli erişim bölgeleri belirtilmektedir (Uçarol ve Kural 2009).

NFPA rehberlerinin kapsamı yalnızca araç tasarımına ilişkin bilgilerle sınırlı değildir. Dernek, batarya yangınlarının söndürülmesine ilişkin pratik öneriler de sunar. Lityum-iyon batarya yangınlarını söndürmek için büyük miktarda su kullanılması ve soğutma işleminin uzun süre sürdürülmesi gerektiği, köpük veya kuru kimyevi tozların ise genellikle etkili olmadığı belirtilmektedir (Zhang, vd., 2016). Batarya modülünün hasar görmesi durumunda hücreler arasında ısının yayılmasını önlemek üzere termal görüntüleme kameralarının kullanılması, su içindeki batarya modüllerinin dikkatle izlenmesi ve söndürülen araçların en az 24 saat boyunca izlenmeye devam edilmesi tavsiye edilmektedir (Matheys, vd., 2006). NFPA ayrıca yeniden alevlenme riskine karşı araçların açık alanlarda, tercihen yangına dayanıklı bölgelerde depolanmasını ve batarya paketlerinin üreticiler veya tehlikeli atık bertaraf tesisleri tarafından uygun şekilde imha edilmesini önermektedir. Bu tür detaylar NFPA 921 “Fire and Explosion Investigations” ve NFPA 1900 serisi standartlarının yorumlanmasıyla elde edilen pratik bilgilerden türetilmektedir (Andersson, vd., 2017).

Dernek, elektrikli araç güvenliği konusunda eğitimin önemini vurgulamaktadır. İtfaiyeciler, acil tıp teknisyenleri, çekici operatörleri ve kolluk kuvvetleri için özel eğitim programları geliştirilerek araçların tanımlanması, yüksek gerilim devrelerinin devre dışı bırakılması ve etkin taktiklerin uygulanması gibi konuları işlemektedir (Ekici, 2019). NFPA eğitim modülleri, kaza yerinde yapılacak ilk değerlendirmenin ardından aracın stabilize edilmesi, batarya devresinin kapatılması, kabin içine güvenli erişim sağlanması ve kurtarma sonrasında aracın taşınması gibi aşamaları içermektedir. Eğitimlerde her marka modele özgü farklılıkların altı çizilir; örneğin bazı araçlarda servis fişi aracın bagajındayken bazılarında koltukların altında bulunabilmektedir. Bu nedenle kurtarma ekipleri, aracın marka ve modelini plakadan veya NFC/QR kodu üzerinden tanımlayabilmeli ve ilgili ERG'ye ulaşabilmelidir (Yin, vd., 2018). NFPA, bu yetkinliklerin geliştirilmesi amacıyla sanal simülasyonlar ve saha tatbikatları düzenlemektedir.

NFPA rehberlerinin hazırlanması sırasında bilimsel veri ve tecrübelerin yanı sıra uluslararası standartlar da göz önüne alınmaktadır. Örneğin ISO 17840 standardı, kurtarma bilgi formlarının nasıl tasarlanacağını belirler ve NFPA rehberlerinde bu format kullanılmaktadır. Standart, ilk müdahale ekiplerinin bilgiye hızlı erişimi için metin

kullanımının en az düzeyde tutulmasını, bunun yerine ISO tarafından tanımlanmış piktogramların kullanılmasını önermektedir (Boehmer, vd., 2020). Bu piktogramlar yakıt türleri, hava yastıkları, yüksek gerilim kabloları ve batarya modülleri gibi bileşenleri renk kodlarıyla belirtir ve dil bariyerlerini azaltmaktadır. NFPA rehberleri, ISO 17840 ile uyumlu olarak kurtarma formunun ön sayfasında araç tanımlaması, immobilizasyon ve stabilizasyon yöntemleri, doğrudan tehlikelerin devre dışı bırakılması, yolcu erişimi, depolanmış enerji veya akışkanlar, yangın ve batarya su altında kalması gibi kritik başlıkları içeren akış şemaları sunmaktadır (Kong, vd., 2018).

1.9.2. FEMA ve NTSB Belgeleri

Amerika Birleşik Devletleri'nin afet yönetimi ve ulaştırma kazalarıyla ilgili kurumları, müdahale planlarının geliştirilmesi ve uygulanmasında kapsamlı rehberlik sağlamaktadır. Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (FEMA) tarafından yayımlanan “Comprehensive Preparedness Guide (CPG) 101” belgesi ve Ulusal Ulaşım Güvenliği Kurulu (NTSB) tarafından hazırlanan Federal Aile Destek Çerçevesi ile Büyük Kaza Soruşturma El Kitabı, müdahale planlaması ve kazalardan sonra yürütülecek faaliyetlerin temelini oluşturmaktadır.

1.9.2.1. FEMA'nın Kapsamlı Hazırlık Rehberi (CPG 101)

FEMA'nın 2025 yılında yayımladığı “Developing and Maintaining Emergency Operations Plans – Comprehensive Preparedness Guide 101, Version 3.1” belgesi, acil durum planlarının hazırlanması için ulusal bir temel sunmaktadır. Rehberin önsözünde CPG 101'in acil durum planlarının geliştirilmesine ilişkin temel ilkeleri tanımladığı belirtilmektedir. Belge acil durum planının oluşturulması için gereken adımları, plan yapısının olası bileşenlerini ve eklerini açıklamaktadır (Dia, 2023). Rehberin 2010 tarihli 2.0 sürümündeki temel içerik hâlâ geçerli olmakla birlikte, 3.1 sürümü uygulayıcı geri bildirimleri, gerçek dünya olaylarından çıkarılan dersler ve yeni doktrin, politika ve kanunları içerecek şekilde güncellenmiştir. Bu güncelleme, planların yalnızca belge olarak değil, planlama sürecinin oluşturduğu ilişkilerin ve işbirliğinin de önemini vurgulamaktadır. Planların “harfiyen izlenecek senaryolar değil, gerçek duruma uyarlanabilecek esnek çerçeveler” olması gerektiği ifade edilmektedir (Faraz, vd., 2020).

CPG 101, acil durum planlarının beş misyon alanına bağlanması gerektiğini belirtmektedir. Önleme, koruma, azaltma, müdahale ve iyileştirme alanlarının her birinde planlar arası entegrasyon sağlanmalıdır. Güncel sürüm özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının planlama faaliyetlerine dâhil edilmesinin önemini vurgulamaktadır (Seber, 2023). Rehber, topluluk temelli planlamanın bütün toplumu temsil edecek şekilde yürütülmesi, topluluk liderlerinin ve özel sektörün sürece dâhil edilmesi, risklerin belirlenip analiz edilmesi, operasyonel varsayımların ve kaynak gereksinimlerinin tanımlanması gibi yöntemler sunmaktadır (Nanda ve Kar, 2006). Ayrıca planlama sürecinde yaygın hataları ve plan senkronizasyonu hususlarını tartışarak entegrasyonun ulusal, eyalet ve yerel düzeyde nasıl sağlanacağını göstermektedir. Bu rehber, planların esnekliğini vurgulamakta ve kuruluşların rollerini anlamalarının başarılı operasyonlar için kritik olduğunu belirtmektedir (Yong, vd., 2015).

CPG 101’de tehlike değerlendirmesi ve risk yönetimi planlamanın temel unsurları olarak ele alınmaktadır. Rehber, planlama ekiplerinin tüm tehdit ve tehlikelerin olasılık ve etkilerini değerlendirmeleri, bu risklere karşı kapasite ve kaynak gereksinimlerini belirlemeleri gerektiğini belirtmektedir (Outokumpu, 2024). Eylem planları risk azaltma stratejilerini içermeli ve plan geliştirme sürecinin toplulukla işbirliği halinde yürütülmesine önem verilmelidir. Rehber, planların güncel tutulması için düzenli tatbikatlar ve revizyon döngüleri önermektedir. Böylece planların etkinliği sahada sınanabilir ve gerekli iyileştirmeler yapılabilir (Aslan, 2021). Bu yaklaşım, değişen risk ortamına uyum sağlamayı ve kurumlar arası koordinasyonu güçlendirmeyi amaçlamaktadır.

1.9.2.2. Elektrikli Araç Yangınlarına İlişkin FEMA/USFA Rehberi

FEMA bünyesindeki ABD Yangın İdaresi (USFA) ve NHTSA, elektrikli araç olaylarına müdahale konusunda 2025 yılında “Electric Vehicle Fire/Rescue Response Operations Guide” başlıklı bir rehber yayımlamıştır. USFA’nın blog yazısında elektrikli araç teknolojisinin yaygınlaşmasına rağmen acil müdahale personeli için güvenilir bilimsel rehberin sınırlı olduğu belirtilmektedir. Batarya kimyası ve araç tasarımlarının hızla değişmesi nedeniyle bilimsel veriye dayalı yaklaşım eksikliği olduğu vurgulanmaktadır (Parhizi, vd., 2022). Rehberin amacı, elektrikli araç yangınlarına müdahalede güvenli operasyonların sağlanması için temel bilgiler ve kaynaklar sunmaktır. Yazıda mevcut zorluklar, farklı marka ve model araçlarda batarya tiplerinin, konumlarının ve boyutlarının değişkenliği ile taktik ve ekipmanların bilimsel kanıtlara dayanmaması olarak

sıralanmaktadır. Bu nedenle USFA rehberi risk değerlendirmesi, olay yerine varıldığında yapılacak “size-up” süreci, taktiksel ve stratejik değerlendirmeler, kurtarma sonrasındaki işlemler ve vaka çalışmaları gibi bölümler içermektedir. Özellikle her olayın kendine özgü olduğu, evrensel bir yangın söndürme yöntemi bulunmadığı ve müdahale ekiplerinin sürekli yeni araştırmalardan haberdar olması gerektiği vurgulanmaktadır (Un ve Aydın, 2021). Bu rehberde göre ilk müdahale ekipleri, olay mahalline yaklaşırken aracın elektrikli veya hibrit olup olmadığını belirlemeli; bu amaçla araç üzerinde yer alan plaka, marka logosu, HV etiketi veya batarya muhafazası gibi ayırt edici işaretler kullanılmalıdır. Olay komuta sistemi kurulduktan sonra aracın sabitlenmesi, el freni veya vitesin park konumuna alınması, tekerleklerin takozlanması ve batarya devresinin devre dışı bırakılması önerilmektedir (Jia, vd., 2022). Elektrikli araç yangınlarında lityum-iyon bataryaların termal kaçak riski nedeniyle bol su kullanılması ve batarya modülünün soğutulmasının kritik olduğu belirtilmektedir. Personelin yüksek gerilim kablolarına temas etmemesi, çarpma veya kesme işlemlerinde batarya ve hava yastığı tetikleyicilerinin güzergâhlarının göz önüne alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Yangın söndürme sonrası araçların en az 50 metre mesafede izlenmesi, yeniden tutuşma riskine karşı termal kamera ile kontrol edilmesi ve bataryaların üretici talimatlarına uygun şekilde imha edilmesi gerektiği önerilmektedir (Dubaniewicz, vd., 2022). Bu kılavuz, bilimsel araştırmalar tamamlandıkça güncellenecek dinamik bir belge olarak tasarlanmıştır.

1.9.2.3. NTSB’nin Aile Destek Çerçevesi ve Kaza Soruşturma Rehberleri

Federal düzeyde ulaştırma kazalarına ilişkin sorumluluğu bulunan Ulusal Ulaşım Güvenliği Kurulu (NTSB), ciddi havacılık kazaları sonrasında ailelere destek sağlanması ve soruşturmanın yürütülmesi için kapsamlı rehberler geliştirmiştir. “Federal Family Assistance Framework for Aviation Disasters” belgesinde, NTSB’nin yasayla kendisine verilen görevler açıkça belirtilmektedir. 49 U.S.C. §1136 maddesi uyarınca NTSB’nin, yerel, eyalet ve kabile yönetimlerini, afet yardım kuruluşlarını ve hava taşıyıcısını desteklemek üzere federal hükümet kaynaklarını koordine etmekten sorumlu olduğu ifade edilmektedir (Liu, vd., 2022). Kurulun temel federal sorumlulukları arasında hayatını kaybeden yolcuların kurtarılması ve kimliklerinin belirlenmesi, ailelere duygusal destek sağlayacak bağımsız bir sivil toplum kuruluşunun (Amerikan Kızılhaçı) görevlendirilmesi ve ailelere hava taşıyıcısının, devlet kurumlarının ve ilgili sivil toplum kuruluşunun rollerinin açıklanması yer almaktadır. NTSB ayrıca, soruşturma sürecine ilişkin bilgileri

ailelerle paylaşmak ve mümkün olduğu ölçüde kamuya açıklamadan önce hayatta kalanlara ve ailelere bulgular hakkında bilgi vermekle yükümlüdür (Ping, vd., 2015). Bu görevlerin yerine getirilmesi için NTSB bünyesinde Ulaştırma Felaket Yardım Dairesi (TDA) kurulmuştur. Belge, aynı zamanda NTSB'nin atadığı bağımsız kuruluş olan Amerikan Kızılhaçı'nın rolünü de açıklamaktadır. NTSB, 49 U.S.C. §1136(a)(2) hükmü gereği, “kazaya karışan yolcuların ailelerinin duygusal bakımı ve desteği için birincil sorumluluğa sahip deneyimli bir bağımsız sivil toplum kuruluşu” görevlendirmek zorundadır. Bu görev Kızılhaç'a verilmiştir. Kızılhaç'ın psikolojik ve ruhsal destek hizmetleri sağlayacağı, ailelerle temas kurarak yas sürecini destekleyeceği ve ailelerin uygun anma törenleri yapılması yönündeki taleplerini karşılamak için hava taşıyıcısı ile koordinasyon sağlayacağı belirtilmektedir (Chombo, 2020). Ayrıca 49 U.S.C. §41113 ve §41313 maddeleri uyarınca hava taşıyıcılarının, kazaya karışan yolcuların ailelerinin ihtiyaçlarını karşılamak için bir plan hazırlayıp NTSB'ye sunmaları gerektiği; bu planlarda en azından bilgi paylaşımı, lojistik destek ve hizmet sağlanmasına yönelik 18 taahhüdün bulunması gerektiği açıklanmaktadır. Kurul, bu planları onaylamakla yükümlü olmamakla birlikte hava taşıyıcılarının taahhütlerine uymasını bekler ve söz konusu yükümlülüklerin yürütülmesinden Ulaştırma Bakanlığının sorumlu olduğunu belirtmektedir (Xu, vd., 2021). Yasal bir sorumluluk, kazanın kasıtlı bir suçtan kaynaklandığına dair makul bir belirti olduğunda aile yardım sorumluluğunun Federal Soruşturma Bürosu'na (FBI) devredilmesi, ancak NTSB'nin ailelere yardımcı olmaya devam etmesi gerektiğidir.

NTSB'nin aile desteği planı, “dört temel kaygı” etrafında şekillenen aile destek görevlerini içermektedir. Kazaya karışma bilgisinin hızlı ve doğru şekilde iletilmesi, kurbanların muhasebesi ve kimliklendirilmesi, ailelere bilgi ve kaynak sağlanması ve kişisel eşyaların yönetimi. Her temel kaygı için NTSB, hava taşıyıcı, Dışişleri Bakanlığı (DOS), Federal Soruşturma Bürosu (FBI), Sağlık ve İnsan Hizmetleri Bakanlığı (DHHS) ve Savunma Bakanlığı (DOD) gibi kurumlara yönelik görevler belirlemektedir (Lyu, vd., 2020). Bu görevler tablolar halinde sunulmuş ve hangi kurumun hangi süreçte sorumluluk alacağı belirtilmiştir. Çerçeve, ayrıca arkadaş ve yakınlarla yönelik merkezler, yolcu toplanma alanları, yeniden birleştirme merkezleri ve aile yardım merkezlerinin kurulmasıyla ilgili prosedürleri tanımlamaktadır. Bu tesislerin yönetimi için Ortak Aile Destek Operasyonları Merkezi (Joint Family Support Operations Center – JFSOC) modeli geliştirilmiştir. JFSOC, NTSB, hava taşıyıcı ve Kızılhaç temsilcilerinin yanı sıra adli

makamlar ve diğer federal kurumların irtibat görevlilerinden oluşur ve ailelerle ilgili operasyonların koordinasyonunu sağlamaktadır (Nishi, 2001).

NTSB'nin "Major Investigations Manual – Aviation" eki, büyük çaplı havacılık kazalarında Investigator-in-Charge (IIC) olarak atanacak kişinin izlemesi gereken adımları ayrıntılı bir kontrol listesi şeklinde sunmaktadır. Bu listede çağrı üzerine göreve hazırlık, sahaya giderken edinilmesi gereken bilgiler (kazanın yeri, zamanlaması, hava durumu, yaralı ve ölü sayısı), sahada kullanılması gereken ekipmanlar (şarjlı telefon, dizüstü bilgisayar, NTSB kimlik ve pasaportları, saha not defteri, biyolojik tehlike kitleri vb.) ve olay yerine ulaşıldığında yapılacak işlemler (örgütlenme toplantısı, risk yönetimi matrisi, taraf katılım formlarının dağıtılması, yerel yetkililerle koordinasyon) sıralanmıştır (Ribiere, vd., 2012). Aynı belgede saha güvenliği, enkazın korunması, kokpit ses kayıt cihazı inceleme prosedürleri, grup başkanları için ilerleme toplantısı örnekleri ve kamuya açık duruşmalar için hazırlık talimatları bulunmaktadır. Bu ayrıntılı prosedürler, NTSB'nin kaza inceleme sürecini standartlaştırarak farklı araştırma ekipleri arasında süreklilik ve tutarlılık sağlamayı amaçlamaktadır (Aurbach, vd., 1997). Söz konusu kılavuzlar, acil müdahale sonrası aşamada adli soruşturma ve güvenlik iyileştirmelerinin etkin yürütülmesi için kritik öneme sahiptir.

1.9.3. Avrupa Birliği Sivil Koruma Belgeleri

Avrupa Birliği (AB), üye devletler arasında ve dünya genelindeki afetlere müdahalede dayanışmayı ve koordinasyonu artırmak amacıyla kapsamlı bir sivil koruma mimarisi kurmuştur. Bu mimarinin temelini 17 Aralık 2013 tarihinde kabul edilen 1313/2013/EU sayılı "Birlik Sivil Koruma Mekanizması Kararı" oluşturmaktadır. Bu kararın giriş bölümünde doğal ve insan kaynaklı afetlerin sayı ve şiddetinin giderek arttığı, iklim değişikliği ve teknolojik tehlikelerin etkileşimi nedeniyle gelecekteki afetlerin daha karmaşık olacağı ve uzun vadeli sonuçlar doğuracağı vurgulanmaktadır. Böyle bir ortamda AB'nin doğal ve insan kaynaklı afetlere yönelik sistemlerinin etkinliğini artırmak için üye devletlerin eylemlerini desteklemesi, tamamlaması ve kolaylaştırması gerektiği belirtilmektedir. Karar, Birlik mekanizmasının yalnızca insanları değil, çevreyi ve kültürel miras dâhil olmak üzere mülkü de korumayı hedeflediğini ve afetlerin içinde ve dışında meydana gelebileceğini açıkça ifade etmektedir. Mekanizma özellikle terör saldırıları veya nükleer kazalar gibi olaylarda sadece hazırlık ve müdahale faaliyetlerini kapsamaktadır (Orendorff, 2012). Ancak ilgili ulusal ve uluslararası düzenlemelere uyumlu şekilde çalışmaktadır.

Kararda AB Sivil Koruma Mekanizmasının temel amacı, üye devletler ve Komisyon arasında iş birliği ve koordinasyonu güçlendirerek afet önleme, hazırlık ve müdahale sistemlerinin etkinliğini artırmaktır. Birlik mekanizmasının dayanışmanın görünür bir ifadesi olduğu; afet risklerinin artması karşısında dayanışma ve hızlı müdahale kapasitesinin önem kazandığı vurgulanmaktadır (Wang, vd., 2018). Bu kapsamda karar, bölgesel ve yerel makamların afet yönetimindeki rolünün önemli olduğunu ve bu makamların faaliyetlere uygun biçimde dâhil edilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Önleme politikası ayrı bir önem taşır; karar, risk değerlendirmeleri, risk yönetim planlaması, ulusal düzeyde hazırlanan risk yönetimi kapasite değerlendirmeleri ve Birlik düzeyindeki risk görünümü gibi araçlarla, afet risklerinin azaltılmasını ve dayanıklılığın artırılmasını hedeflemektedir. Bu çerçeve, iklim değişikliğinin olası etkilerinin değerlendirilmesini ve buna uygun uyum önlemlerinin planlanmasını da içermektedir (Biensan, vd., 1999).

1313/2013 sayılı kararın uygulama kuralları, 10 Nisan 2025 tarihinde kabul edilen 2025/704/EU sayılı Komisyon Uygulama Kararı ile güncellenmiştir. Bu karar, AB Sivil Koruma Mekanizmasının uygulama kurallarını belirleyerek 2014/762/EU ve 2019/1310/EU sayılı kararları yürürlükten kaldırmıştır. Uygulama kararının girişinde, Sivil Koruma Mekanizmasının üye devletler arasındaki iş birliğini güçlendirmek ve doğal veya insan kaynaklı afetlere yönelik sistemlerin etkinliğini geliştirmek için kurulduğu yeniden vurgulanmaktadır. 2019’da kabul edilen 420/2019/EU sayılı değişiklik kararıyla mekanizmanın finansal destek kapasitesinin artırıldığı ve “rescEU” adı verilen Birlik düzeyinde yedek kapasite havuzunun oluşturulduğu belirtilmektedir. Yeni uygulama kuralları, teknik destek ve destek ekipleri (TAST), AB Sivil Koruma Ekibi (EUCP Team), Avrupa Sivil Koruma Havuzu (ECPP) ve rescEU kapasite rezervi gibi kavramları tanımlamakta ve kayıt, sertifikasyon, bağış ve ön taahhüt prosedürlerini ayrıntılı olarak düzenlemektedir. Kararda ayrıca, ev sahibi ülkeye destek (Host Nation Support) için basitleştirilmiş bir talep ve kabul prosedürü getirilmesi, müdahale yeteneklerinin minimum gereksinimlerinin ve kendi kendine yeterlilik koşullarının belirlenmesi, sertifikasyon ve kayıt prosedürlerinin tanımlanması gibi hükümler yer almaktadır. Özellikle kendi kendine yeterlilik koşullarının, bir müdahale kapasitesinin operasyon için gerekli unsurları ev sahibi ülke yerine kendi kaynaklarıyla sağlayabilmesi anlamına geldiği vurgulanmaktadır (Jochain, vd., 2009).

Uygulama kararının önemli bileşenlerinden biri, CECIS (Common Emergency Communication and Information System) olarak adlandırılan Acil Durum İletişim ve Bilgi Sistemidir. Bu sistem, üye devletler arasında hem rutin hem de acil durumlarda paylaşılan bilgilerin özgünlüğünü, bütünlüğünü ve gizliliğini garanti etmektedir (Gong, vd., 2017). Deniz kirliliği olaylarına yanıt verirken bölgesel deniz sözleşmelerinin sekretaryaları ve Birlikle aynı deniz havzasını paylaşan üçüncü ülkeler için özel bir sürümü bulunmaktadır. Ayrıca, rescEU kapasitesinin çok bileşenli ve yüksek teknolojiye sahip olması nedeniyle bazı bileşenler için sertifikasyon şartlarının daha esnek uygulanabileceği, ancak yine de belirli kurtarma ve yangın söndürme uçakları gibi rezerv araçların Birlik sertifikasyon sürecinden geçmesi gerektiği açıklanmaktadır (Jiang ve Dahn, 2001).

AB sivil koruma mimarisinin sahadaki uygulamasına ilişkin bir perspektif, Türkiye’de Türkçe yayımlanan “AB Sivil Koruma” bilgi notunda sunulmaktadır. Belge, doğal afetlerin ve insan eliyle yaratılan krizlerin sayısı, tahrip düzeyi ve karmaşıklığının her geçen gün arttığını; bu durumun acil müdahale ve sivil korumada işbirliğini daha da önemli kıldığını ifade etmektedir (Bak, vd., 2014). 2009 yılında AB çapında yapılan bir Eurobarometre anketine atıfla, AB vatandaşlarının %91’inin afetlerin önlenmesi, hazırlık ve müdahalesinde Birliğin komşu ülkelerle işbirliği içinde olması gerektiğine inandığı, %90’ının ise afet döneminde AB dışındaki ülkelere de yardım edilmesini desteklediği belirtilmektedir. Mekanizmaya AB’nin 27 üyesine ek olarak Hırvatistan, İzlanda, Norveç ve Lihtenştayn gibi ülkelerin de dahil olduğu ve bu ülkelerin kaynaklarını afetlerden etkilenen ülkeye sunulmak üzere bir havuzda topladığı anlatılmaktadır (Ping, vd., 2014). Mekanizmanın aynı yardım sağlanması durumunda, donanıya sahip ekiplerin hazırlığı yapılarak uzmanların değerlendirme ve koordinasyon için afet bölgesine gönderildiği ve yardımların genellikle insani yardım operasyonlarıyla paralel yürütüldüğü vurgulanmaktadır. Bilgi notu ayrıca afetin gerçekleştiği ülkenin ilk müdahaleden sorumlu olduğunu, ancak acil durumun boyutu ulusal kapasiteyi aştığında afete uğramış ülkenin mekanizma içinde yer alan diğer ülkelere yardım talep edebileceğini belirtmektedir. Dünyanın her yerinden ülkelerin AB Sivil Koruma Mekanizması’na başvurabileceği ifade edilmektedir. Mekanizma aynı zamanda Avrupa Deniz Güvenliği Ajansı (EMSA) ile işbirliği içinde acil deniz kirliliği durumlarına müdahale etmektedir. Küresel Afet Uyarı ve Koordinasyon Sistemi (GDACS) gibi erken uyarı sistemleri aracılığıyla sel, orman yangını, tsunami ve fırtına gibi olaylar hakkında katılımcı devletlere bilgi sağlamaktadır (Huang, vd.,

2016). Eğitim ve uygulama çalışmalarıyla müdahale ekiplerinin becerilerinin geliştirilmesi ve uzman değişim programları düzenlenmesi de mekanizmanın hedefleri arasındadır.

AB'nin afet hazırlık kapasitesini güçlendirmeye yönelik diğer bir girişim, 9 Temmuz 2025 tarihinde yayımlanan "EU Stockpiling Strategy: Boosting the EU's material preparedness for crises" başlıklı Komisyon iletişimidir. Bu belgede, COVID-19 pandemisi ve Rusya'nın Ukrayna'ya yönelik saldırısı gibi gelişmelerin ardından tedarik zinciri kırılganlıklarının ortaya çıktığı, artan jeopolitik gerilimler, iklim değişikliği, siber tehditler ve hibrit tehditler nedeniyle risk ortamının daha karmaşık hale geldiği belirtilmektedir. AB'nin kritik malzeme, enerji, gıda ve ham madde tedarikine ilişkin güvenilirliğin artık garanti edilemeyeceği; bu nedenle tüm sektörlerde stoklama faaliyetlerini entegre eden bir stratejiye ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır (Anonymous, 2002). Strateji, bütüncül bir yaklaşımla, tüm döngü boyunca (öngörü, tedarik zincirinin izlenmesi, tedarik güvenliğinin güçlendirilmesi, stok yönetimi ve dağıtım) kritik malzeme rezervlerinin kurulmasını ve üye devlet katkılarıyla Birlik düzeyinde merkezi rezervler oluşturulmasını öngörmektedir (Prnewswire, 2022). Stratejinin altında yatan ilkeler "dayanışma, şeffaflık, hesap verebilirlik ve kaynaklara eşit erişim" olarak sıralanmakta: cinsiyet, engellilik, yaş ve etnik köken gibi farklılıkların dikkate alınacağı belirtilmektedir (Ehsani, vd., 2003). Komisyon, bu yaklaşımın reaktif ve sektörel bir kriz yönetiminden proaktif ve entegre bir hazırlık kültürüne geçiş anlamına geldiğini vurgulamaktadır.

1.9.4. VDA ve CAS Guidelines

Alman Otomotiv Sanayicileri Birliği (VDA) ve otomotiv sektörü ile kurtarma servislerinin uluslararası platformlarda geliştirdiği yönergeler, araç kazalarında ilk müdahale ekiplerinin hızlı ve güvenli bilgiye ulaşmasını amaçlamaktadır (Room, 2006). VDA'nın "Rescue and recovery" başlıklı çalışması, yangın söndürme ve kurtarma ekiplerine yönelik araç modeline özgü kurtarma veri formlarının sağlanmasının önemini vurgulamaktadır (DPS, 2017). Bu formlar, aracın yüksek gerilim kabloları, batarya paketi, yakıt tankı, hava yastıkları, emniyet kemeri gergi sistemleri ve şasi takviye elemanları gibi kritik bileşenlerini şematik olarak göstermekte ve kesilmesi güvenli bölgeleri belirtmektedir. Rehberde ayrıca, lityum-iyon bataryaların yangın söndürülmesine yönelik yeni bir bölüm eklendiği belirtilmiş ve "yangın söndürme lityum-iyon bataryaları" başlığıyla bataryaların söndürülmesinde dikkat edilmesi gereken noktalar ele alınmıştır (Litman, 2006).

VDA “Rescue” çalışma grubunda araç üreticileri, itfaiye teşkilatları ve Alman Sosyal Kaza Sigortası Kurumu’nun (DGUV) temsilcileri yer almakta olup, 48 volt ve yüksek gerilim sistemlerine sahip araçların kaza yardımı ve kurtarılmasına ilişkin ayrıntılı yönergeler hazırlanmıştır (Scheffler, vd., 2011). Bu yönergeler, elektrikli veya kısmi elektrikli otomobiller ile hafif ticari araçlara ilişkin tüm teknik hususları içerir ve kurtarma operasyonundan araç taşınmasına kadar sürecin her aşamasını kapsamaktadır. Özellikle retrofitle veya üretici onayı olmayan modifikasyonlarla donatılmış araçların bu yönergelere dahil edilmediği belirtilmektedir (Swain, 2001). Çünkü bu tür araçlarda standart bileşenlerin yerleşimi değişmiş olabilir. Yönergeler, itfaiye ve çekici şirketleri tarafından eğitim ve hizmet içi eğitimlerde kullanılmak üzere tasarlanmıştır; araç teknolojisindeki sürekli gelişmeler nedeniyle eğitimin sürekliliğine dikkat çekilmektedir.

VDA rehberlerinde vurgulanan önemli unsurlardan biri, kurtarma veri formlarının ISO 17840 standardı ile uyumlu şekilde hazırlanmasıdır. ISO 17840, kurtarma formunun içeriğini ve düzenini tanımlamaktadır. Formun ön yüzünün hızlı erişim bilgisi sunması ve metin yerine piktogramların kullanılmasını öngörmektedir. Euro NCAP tarafından yayımlanan “Rescue Sheet & Associated document Guidelines for Cars” teknik bülteni bu standardın uygulanmasını ayrıntılı olarak açıklamaktadır. Kurtarma formunun amacı “ilk müdahale ekipleri için olay yerinde hızlı bilgi sağlamak” olarak tanımlanmaktadır. Mümkün olduğunca az metin kullanılması, dil bariyerlerini aşmak için ISO tarafından tanımlanan piktogramların tercih edilmesi önerilmektedir. Belgede ayrıca tehlike içeren bileşenlerin kırmızı sınır, önerilerin ise yeşil sınır ile gösterilmesi gerektiği gibi renk kodları verilmekte ve dosya adlandırma kuralları standartlaştırılmaktadır. Böylece kurtarma formu ve acil müdahale rehberi (Emergency Response Guide – ERG) arasında içerik uyumu sağlanarak kurtarma ekiplerinin eriştiği bilgilerin tutarlılığı artırılır.

VDA rehberlerinin sahadaki uygulanabilirliğini artırmak için, araç plakası üzerinden modelin tanımlanarak ilgili kurtarma formuna saniyeler içinde ulaşılmasını sağlayan dijital bilgi sistemleri geliştirilmiştir. VDA ve Alman Uluslararası Araç Üreticileri Derneği (VDIK) işbirliğiyle Deutsche Automobil Treuhand (DAT) tarafından oluşturulan SilverDAT FRS yazılımı, federal motorlu taşıt kurumu (KBA) tarafından sağlanan plakaya ilişkin veri tabanını kurtarma formu veritabanıyla eşleştirmektedir. Bu yazılım, kontrol merkezlerinde kullanılmak üzere sürekli güncellenir ve kurtarma formunun en güncel sürümüne erişimi garanti eder; aynı zamanda otomatik acil çağrı sistemi (eCall) ile

entegrasyon sağlar. Böylece kazaya uğrayan aracın modeline özgü yüksek gerilim kablo güzergâhı, batarya yerleşimi ve kurtarma noktaları gibi kritik bilgilere olay yerinde hızla ulaşılır; zaman kaybı azaltılarak yaralıların güvenli tahliyesi hızlandırılır (Damiano, vd., 2014). Formların çok dilli olarak hazırlanması da diğer ülkelerdeki ekiplerin bu sistemden faydalanmasına olanak tanımaktadır.

VDA yönergelerine paralel olarak dünya genelinde birçok ülkede benzer kurtarma formları kullanıma girmiştir. Euro NCAP, değerlendirdiği her yeni araç modeli için ISO 17840 uyumlu kurtarma formu sunulmasını zorunlu hale getirmiştir. 2023'ten itibaren otomobil üreticilerinin tüm modelleri için kurtarma formu hazırlamasını talep eden Euro NCAP bülteni, kurtarma formunun ön sayfasında araç tanımlaması, immobilizasyon/stabilizasyon, doğrudan tehlikelerin devre dışı bırakılması, yolcuya erişim, depolanmış enerji/akışkanlar ve yangın veya su altına kalma durumuna ilişkin bilgilerin akış şeması şeklinde sunulmasını ve ERG'nin buna bağlı olarak daha ayrıntılı bilgi içermesini öngörmektedir (Suarez ve Martinez, 2019). Bu uluslararası gereklilikler, VDA'nın Almanya'da başlattığı standartlaştırma çalışmalarının küresel ölçekte benimsenmesine katkı sunmuştur.

CAS kısaltması bazı literatürde Çin Otomotiv Standartları (China Automotive Standards) olarak kullanılmakta ve Çin'deki yeni enerji araçları için kurtarma ve yangın güvenliği kılavuzlarına atıfta bulunmaktadır. Çin Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE-China) ve Çin Otomotiv Teknolojisi ve Araştırma Merkezi'nin (CATARC) katkılarıyla hazırlanan bu kılavuzlar, batarya yangınlarının özellikleri, yüksek gerilim devrelerinin devre dışı bırakılması ve batarya paketlerinin depolanması gibi konuları ele almaktadır. Ayrıca Çin'in kamu güvenliği yetkilileri, VDA ve ISO 17840 standardının ilkelerini benimseyerek kurtarma formlarını uyarlamakta ve yeni enerji araçlarının plakalarına QR kodlar ekleyerek kurtarma ekiplerinin modele özgü bilgilere erişimini kolaylaştırmaktadır (Larsson, vd., 2018). Ne var ki bu kılavuzlara ilişkin ayrıntılı resmi yayınlar Türkçe veya İngilizce kaynaklarda sınırlıdır. Bu nedenle CAS rehberleri genellikle genel ilkelere dayandırılmaktadır.

1.10. Otomotiv Firmalarının Acil Müdahale Kılavuzları

1.10.1. Tesla

Tesla, elektrikli otomobil alanında öncü bir üretici olarak, dünyanın farklı bölgelerinde çok sayıda araç ve enerji depolama ürünü satmaktadır. Tamamen elektrikli araçlar ürettikleri için acil müdahale kılavuzları özellikle yüksek gerilimli batarya sistemlerinin ve elektronik güvenlik sistemlerinin doğru şekilde devre dışı bırakılmasını amaçlamaktadır. Tesla'nın Model S, Model X, Model 3 ve Model Y gibi modelleri için hazırlanan acil müdahale rehberleri (Emergency Response Guide – ERG) genellikle aynı yaklaşımı izler: eğitilmiş kurtarma ekiplerinin aracın tanımlanması, immobilizasyonu, yüksek gerilim devresinin kesilmesi, yolcu alanına güvenli erişim, yangın ve su altında kalma gibi özel durumlar için talimatların verilmesi (Isidore, 2022). Bu rehberlerde her modelin güvenlik sistemlerinin yerleşimleri, yüksek gerilim kablolarının güzergâhı, batarya paketinin konumu ve kesilmesi güvenli olmayan bölgeler ayrıntılı olarak belirtilmektedir. Model S için hazırlanan rehberde, rehberin yalnızca eğitimli ve sertifikalı kurtarma personeli tarafından kullanılmak üzere tasarlandığı, okuyucuların güvenlik sistemleri konusunda kapsamlı bilgiye sahip olduklarının varsayıldığı ve rehberin yalnızca Model S'nin acil durumlarda güvenli şekilde ele alınması için gerekli bilgileri sağladığı ifade edilmektedir (Geisbauer, vd., 2020). Tesla kılavuzu aracın nasıl tanımlanacağını, yüksek gerilim bileşenlerinin, hava yastıklarının ve emniyet kemeri gergi sistemlerinin yerlerini ve gövde yapısında kullanılan yüksek dayanımlı malzemeleri açıklamaktadır. Ayrıca yüksek gerilim devreyi devre dışı bırakma prosedürü ve modele özgü güvenlik uyarıları yer almaktadır. Benzin deposu bulunmayan Model S'de ana enerji kaynağı lityum-iyon batarya paketidir; rehberde yüksek gerilim bataryasının yeri, DC-DC dönüştürücü ve ön bağlantı kutusu, şarj cihazı, ısı pompası gibi bileşenlerin yerleri ve her birinin müdahalede nasıl dikkate alınması gerektiği gösterilmektedir (Sahraei, vd., 2012).

Tesla rehberlerinde ilk adım aracın kimliğinin tespit edilmesidir. Bu kimlik doğrulama VIN numarasının yerini (sürücü tarafı ön cam alt bölümü), aracın üzerinde bulunan “Dual Motor” gibi amblemleri, benzersiz kapı kolu tasarımlarını ve büyük dokunmatik ekranı içermektedir. Model Y rehberi, Model Y'nin benzersiz şekilli kapı kolları ve 15 inçlik yatay yerleştirilmiş dokunmatik ekranı sayesinde tanınabileceğini belirtmektedir (Wojdyla, 2010). VIN numarasındaki dördüncü karakterin Y olması bu modelin teşhisinde kullanılmaktadır. Tanımlama, aracın elektrikli olup olmadığını anlama

açısından da önemlidir çünkü elektrikli araçlar sessiz çalışır ve motor sesi olmadığından tehlike devam etmektedir. Tesla rehberlerinde özellikle “motor sesi yokluğunun aracın kapalı olduğu anlamına gelmediği, sessiz hareket veya ani yeniden çalıştırma olasılığı bulunduğu ve bu nedenle tam kapatma sağlanana kadar uygun kişisel koruyucu ekipman (PPE) kullanılmasının şart olduğu” vurgulanmaktadır (Blum, ve Long, 2015).

Araç tanımlandıktan sonra ikinci adım immobilizasyon ve stabilizasyon işlemleridir. Tesla kılavuzları, tüm tekerleklerin takozlanmasını, el freninin veya park konumunun etkinleştirilmesini ve aracın yer değiştirmeyecek şekilde sabitlenmesini önermektedir. Model Y rehberi, dört tekerleğin takozlanmasını ve aracın park konumuna alınmasını temel adımlar olarak listeler (Golubkov, vd., 2014). Tesla araçlarının birçok modeli, aracın durdurulması ve park konumuna alınmasının ardından bile elektrikli çekiş sisteminin devrede kalabileceği bir “hazır” durumuna sahiptir. Bu nedenle rehberler, aracı immobilize ettikten sonra yüksek gerilim devreyi devre dışı bırakmak için belirlenmiş prosedürlerin izlenmesini şart koşar. Bu prosedür, genellikle aracın ön bagaj bölümünde bulunan “first responder loop” adı verilen düşük gerilim kablo halkasının kesilmesini içermektedir. Bu halkanın iki kez kesilmesi (“double cut”) önerilir; rehberde “kesilen kablo parçasının tamamen çıkarılması gerektiği, bunun kesilen tellerin kazara yeniden bağlanması riskini ortadan kaldırdığı” belirtilmektedir (Feng, vd., 2018). Buna ek olarak 12 volt akünün sökülmesi ve Start/Stop düğmesine basılarak aracın elektrik sisteminin kapatılması tavsiye edilmektedir. Model Y rehberi, yüksek gerilim sisteminin devre dışı bırakılmasından sonra devrenin enerjisinin tamamen boşalması için iki dakikalık bir bekleme süresi gerektiğini, ek olarak Supplemental Restraint System (SRS) kontrol ünitesinin yedek enerji kaynağının hava yastığı veya emniyet kemeri gergi sisteminin tetiklenmesinin ardından yaklaşık on saniye boyunca aktif kalabileceğini ve bu sürede kontrol ünitesine dokunulmaması gerektiğini uyarmaktadır (Luo, vd., 2018). Bu uyarılar, yüksek gerilim devresi üzerinde işlem yapılmadan önce enerjinin tamamen boşalmasının önemini vurgulamaktadır.

Tesla acil müdahale kılavuzları, kurtarma ekiplerinin yüksek gerilim sistemine zarar vermeden kabin içindeki yaralıları ulaşmasını sağlamak üzere detaylı şemalar sunmaktadır. Yüksek gerilim kabloları ve batarya paketi şasiye entegre olduğu için, rehberler kesilmesi güvenli olmayan bölgeleri (no-cut zones) işaretleyerek hidrolik kesicilerle yanlış bir noktada kesim yapılmasının önüne geçmektedir (Wisch, vd., 2022). Model S rehberinde hava yastıkları, şişirme silindirleri, emniyet kemeri gergi sistemleri ve yüksek dayanımlı çelik

takviye yapılarının yerleri gösterilmektedir. Bu sayede kabin açılırken çalışanların kazara aktif bir hava yastığı modülü veya yüksek gerilim kablosu ile temas etmesi engellenmektedir. Model Y rehberinde benzer şekilde hava yastığı modülleri ve takviye kırımları gösterilir ve özellikle yan darbe koruma kırımları üzerinde kesim yapılmaması gerektiğı vurgulanmaktadır. Kapı açma, kaput ve bagaj açma gibi mekanizmalar devre dışı kaldığında manuel yöntemler anlatılır; kapı kolu kırılırsa araç içinden elektrik kesilmeden kapıların nasıl açılacağı açıklanır. Tesla, araçlarının iç ve dış panel yapısında alüminyum ve ultra yüksek dayanımlı çelik kombinasyonları kullandığından, kurtarma ekipleri malzeme türlerine göre uygun kesme ekipmanı seçmelidir (Miller, 2022).

Yangınla ilgili bölümler, Tesla kılavuzlarının en kritik kısımlarından biridir. Lityum-iyon bataryalar geleneksel yakıtlara göre farklı şekilde yanar; termal kaçak oluşursa batarya hücreleri peş peşe yanabilir ve söndürme işlemi uzayabilir. Tesla rehberleri, batarya yangınında tüm aracın enerjili varsayılması gerektiğini, tam koruyucu ekipman ve solunum cihazı (SCBA) kullanılmasının şart olduğunu ve yüksek gerilim devresi devre dışı bırakılmış olsa bile yangın sırasında tüm bileşenlerin enerjili kabul edilmesi gerektiğini belirtmektedir (Tamura, vd., 2010). Batarya yangınlarının söndürülmesinde büyük miktarda su kullanılması, batarya paketi içerisine suyun nüfuz edebilmesi için uzun süre soğutma yapılması ve yangın söndükten sonra aracın yeniden tutuşma riskine karşı en az 24 saat izlenmesi tavsiye edilmektedir. Model S rehberi, bataryanın soğutulması için suyun batarya modülünü doğrudan soğutacak şekilde uygulanması gerektiğini ve termal kamera ile sıcaklık takibinin önemini vurgulamaktadır (Rothwell, 2006). Model Y rehberi, kesme halkasını keserken uygun kişisel koruyucu ekipmanın zorunlu olduğunu, batarya yangınında aracın arka tekerlekleri yerdeyken taşınmasının ciddi hasara ve aşırı ısınmaya yol açabileceğini ve aşırı ısınmanın nadir durumlarda çevredeki bileşenlerin tutuşmasına neden olabileceğini uyarılmaktadır. Yangın söndürüldükten sonra araçların açık alanda, diğer araçlardan uzak ve düz bir zeminde depolanması, batarya paketinde yeniden yanma olup olmadığının termal kameralarla kontrol edilmesi gerekmektedir (Irmischer, 2015).

Tesla rehberlerinde su altında kalma (submersion) ve kurtarma sonrası taşıma konuları da ele alınmaktadır. Elektrikli araçların suya batması durumunda batarya yönetim sistemleri devreyi izole ederek yüksek gerilimi otomatik olarak kesebilir; ancak rehberler, batarya suya daldığında aracın enerjisinin tamamen kesilmediğini varsayarak müdahale edilmesi gerektiğini ve kurtarma ekiplerinin yalıtımlı eldiven ve çizmeler kullanması

gerektiğini belirtmektedir (Christiaenss, vd., 2012). Model Y rehberinde, su altında kalan araçlarda uygun kişisel koruyucu ekipman kullanılmadan işlem yapılmasının ciddi yaralanma veya ölümle sonuçlanabileceği uyarısı yer almaktadır. Yüksek gerilim sistemi devre dışı bırakıldıktan sonra aracın vinç veya çekici ile taşınması sırasında arka tekerleklerin yerle teması engellenmeli ve dört tekerlekten çekici platform kullanılarak taşıma yapılmalıdır. Aksi takdirde çekiş motorları hasar görebilir. Depolama sırasında bataryanın yeniden tutuşma riski bulunduğundan Tesla, söndürülmüş araçların en az 15 metre mesafede açık havada tutulmasını ve mümkünse batarya paketinin üretici tarafından incelenmesini tavsiye edilmektedir (Anonymous, 2017).

Tesla, acil müdahale kılavuzlarının güncel tutulmasını önemser; 2025'ten itibaren bütün elektrikli araç acil müdahale rehberleri ve “rescue sheet” belgeleri Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi (NHTSA) portalı üzerinden erişilebilmektedir. Tesla ayrıca ilk müdahale personeli için iletişim hattı kurmuş ve web sitesinde acil müdahale sorularının yöneltilebileceği e-posta adreslerini yayınlamıştır. Ev ve şarj ürünleri için ayrı kurtarma kılavuzları da bulunmaktadır. Tesla Powerwall ve Megapack üniteleri için batarya izolasyon ve yangın söndürme prosedürleri anlatılmaktadır (Chow ve Chow, 2022). Tüm bu kapsamlı bilgi ve eğitimler, Tesla'nın acil müdahale topluluğu ile sürekli etkileşim içinde olduğunu ve teknolojisini hızla geliştirdikçe rehberlerini güncel tuttuğunu göstermektedir. Sonuç olarak Tesla'nın acil müdahale kılavuzları, elektrikli araçlara özgü riskleri anlamak ve olay yerinde doğru kararlar vermek için ayrıntılı, bilimsel dayanaklı ve uygulamaya yönelik talimatlar sunmaktadır. Yüksek gerilim sistemleri ile termal kaçak riski bulunan batarya paketlerinin güvenli şekilde yönetilmesi konusunda açık uyarılar ve prosedürler içermektedir (Arai, vd., 2002).

1.10.2. Toyota

Toyota, dünyanın en büyük otomobil üreticilerinden biridir ve hibrit teknolojisiyle pazara öncülük etmiştir; 1997'de piyasaya sürülen Prius modelinden itibaren milyonlarca hibrit ve elektrikli araç satmıştır. Toyota ve lüks markası Lexus'un hibrit ve yakıt hücreli modelleri için hazırlanan acil müdahale kılavuzları, çeşitli enerji kaynaklarını barındıran araçlara müdahale sürecini ayrıntılı olarak açıklamaktadır. Toyota'nın “Emergency Response Guide (ERG)” belgeleri ve “Quick Reference Sheets (QRS)” dokümanları, güvenlik yastıkları, emniyet kemeri gergi sistemleri, yüksek gerilim bataryası ve güç kabloları, yakıt hücreleri ve hidrojen tankları gibi bileşenlerin yerlerini belirtmektedir

(Zhang, vd., 1998). Ayrıca aracın tanımlanması, immobilizasyonu, yüksek gerilim sisteminin devre dışı bırakılması, yolcu alanına güvenli erişim, yangın ve su basması gibi senaryolar için eylem adımları sunmaktadır. Toyota genel ERG'sinin önsözünde, bu kılavuzun acil müdahale ekiplerinin Toyota/Lexus araçlarına ilişkin güvenlik önlemlerini anlamalarını sağlayacak şekilde hazırlandığı ve her model için özel olarak hazırlanmış hızlı referans sayfalarının kullanılmasının gerektiği vurgulanmaktadır. Kılavuz, 12 volt akü, yüksek gerilim sistemi, yakıt hücresi sistemi, sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) tankları gibi komponentlere dikkat çeker ve SRS hava yastıklarının, koltuk ön hava yastıklarının, perde hava yastıklarının, emniyet kemeri gergi sistemlerinin, pop-up motor kaputu sisteminin ve gazlı amortisörlerin konumlarını belirtmektedir (Richard ve Dahn, 1999). Ayrıca yüksek gerilim batarya sisteminin konumunun modele göre bagaj bölmesi, arka koltuk altı, orta konsol altında veya araç tabanında olabileceği ifade edilmektedir. Bu bataryalar 144 volt ile 288 volt arası gerilim sağlar ve nikel–metal hidrit (Ni-MH) veya lityum-iyon teknolojisi kullanabilir (Biensan, vd., 1999).

Toyota kılavuzlarında ilk adım, aracın tanımlanması ve doğru modelin kurtarma kartına erişilmesidir. Kılavuzlar, hibrit ve elektrikli Toyota'ların dış görünüşlerinde yakıt kapağının olmaması, egzoz borusunun bulunmaması ve şarj kapağının varlığı gibi ayırt edici özellikler olduğunu belirtmektedir. Plug-in hibritlerde hem yakıt kapağı hem de şarj kapağı bulunurken, hibritlerde yakıt kapağı vardır ancak şarj kapağı yoktur; tüm bu araçların ön camın sol vda camın sağ kısmında “Rescue Code” veya “EuroRescue” mobil uygulamalarına erişimi sağlayan bir etiket bulunduğu ve bu etiket üzerindeki QR kodun olay yerinde modelin kurtarma kartına anında erişim sağladığı ifade edilmektedir (Orendorff, 2012). Araç tanımlandıktan sonra immobilizasyonun sağlanması için el freninin veya park modunun etkinleştirilmesi, tekerleklerin takozlanması ve kontak anahtarının veya güç düğmesinin kapatılması önerilir; ardından yüksek gerilim sisteminin devre dışı bırakılması gerekmektedir. Toyota rehberlerinde, yüksek gerilim sisteminin kontak kapatıldığında devreden çıktığı, ayrıca ciddi bir çarpışma algılandığında (hava yastığı tetiklendiğinde) veya yüksek gerilim kaçak akımı tespit edildiğinde sistemin otomatik olarak devre dışı kaldığı belirtilmektedir. Bununla birlikte, kontak kapatıldıktan sonra bile uzaktan klima veya şarj sistemlerinin kullanımının yüksek gerilim sistemini aktif tutabileceği uyarısı yapılır ve operatörlerin her zaman hazır ışığının (“READY” göstergesinin) söndüğünden emin olması gerekmektedir (Li, vd., 2015).

Yüksek gerilim sistemine müdahale söz konusu olduğunda kılavuz, turuncu renkli kabloların tüm yüksek gerilim devrelerini gösterdiğini ve bu kabloların yalıtımlı kasalarla araç şasisinden izole edildiğini açıklamaktadır. Hibrit, plug-in hibrit, elektrikli ve yakıt hücreli modellerde yüksek gerilim bileşenleri 144 volt ila 650 volt arası gerilim taşıyabilir; bu nedenle bu bileşenlere dokunmanın veya kesmenin ciddi yanıklara veya elektrik çarpmasına yol açabileceği belirtilmektedir. Kılavuzun “High Voltage System” bölümünde, yüksek gerilim sisteminin devre dışı bırakılmadığı takdirde olay sonrası on dakikaya kadar enerjisini koruyabileceği ve acil müdahale prosedürleri uygulanmadan önce devre tamamen boşaltılmadıysa ciddi yaralanma riski olduğu uyarısı yer almaktadır (Noh, vd., 2013). Kılavuz, “yüksek gerilim sistemini kapattıktan sonra herhangi bir turuncu kabloya dokunmaktan kaçının, kabloları kesmeyin ve yalıtımlı eldiven gibi kişisel koruyucu ekipman kullanın” şeklinde uyarılarda bulunmaktadır. Ayrıca müdahale görevlilerinin aracın yanında olmadıkları durumlarda çevredeki kişilerin yüksek gerilim bileşenlerine dokunma tehlikesine karşı “High Voltage – Do Not Touch” uyarı levhası asılması tavsiye edilmektedir (Kang, vd., 2023).

Toyota genel ERG’sinin yüksek gerilim batarya kısmında, Ni-MH veya lityum-iyon bataryaların modüllerden oluştuğu, bu modüllerin metal kasalar içinde bulunduğu ve güçlü bir alkalın elektrolit içerdiği açıklanmaktadır. Ni-MH bataryaların modül yapısı sayesinde elektrolit sızıntısının nadir olduğu ve bir modül çatladığında bile sızıntı miktarının tehlikeli malzeme olayına yol açmayacağı belirtilmektedir. Ancak yüksek pH’lı (yaklaşık 13.5) elektrolitin ciltle temas etmesi halinde zarar verebileceği ve koruyucu eldiven ile gözlük kullanılmasının önemli olduğu hatırlatılmaktadır (Cui, vd., 2022). Lityum-iyon bataryaların ise 201.6 volt ile 277.5 volt arası gerilim sağlayan hücre yığınlarından oluştuğu ve kasalar içinde yer aldığı ifade edilmektedir. Toyota kılavuzları, her modelin batarya paketinin konumuna ilişkin motor kaputu altında etiketler yerleştirildiğini ve servis fişleri (service plug) aracılığıyla bataryanın devre dışı bırakılabileceğini belirtmektedir. Bu fişlerin yalnızca eğitimli personel tarafından kullanılması gerektiği eklenmektedir (Kang, vd., 2023).

Toyota markasının çeşitli model ve jenerasyonları için hazırlanan model bazlı ERG’ler, genel kılavuzdaki bilgilerin ötesinde detay sunmaktadır. Örneğin Prius için hazırlanan acil müdahale rehberi, bu aracın benzin-elektrik hibrit olduğu ve yüksek gerilim bataryasının yaklaşık 274 volt Ni-MH teknolojisi kullandığı bilgisini verir; rehberin amacının, acil müdahale personeline Prius’un yüksek gerilim elektrik sistemi ile ilgili

güvenlik özelliklerini öğretmek olduğu belirtilmektedir (Wang, vd., 2012). Rehber, Ni-MH batarya modüllerinin dizüstü bilgisayarlarda kullanılan şarj edilebilir pillerle benzer yapıda olduğunu, elektrolitin hücre plakalarına absorbe edildiğini ve bataryanın çatlaması durumunda bile elektrolitin genellikle sızmadığını, sızma olması durumunda ise seyreltik borik asit veya sirke ile nötralize edilebileceğini açıklamaktadır. Prius rehberi ayrıca turuncu renkli yüksek gerilim kablolarının şase ile izole edildiğini, bu kabloların genellikle taban takviye plakalarının içinde ve erişimin sınırlı olduğu alanlarda geçtiğini, bu nedenle acil müdahale ekibinin yüksek gerilim kablolarına rastlamasının düşük ihtimal olduğunu belirtmektedir (Park, vd., 2019). Rehberde Prius'un tanımlanması, hibrit bileşenlerin yerleri, ekstriksiyon, yangın, batma, Ni-MH bataryaların geri kazanımı, sıvı dökülmeleri ve bir Ni-MH batarya modülü içinde bulunan alkalın elektrolitin ilk yardım ve nötralizasyonu gibi konular geniş şekilde ele alınmaktadır. Bu model bazlı kılavuzlar, Prius'un motor kaputunun yolcu tarafında olan HV batarya hava girişi gibi benzersiz özelliklerini de açıklamaktadır (Dorsz ve Lewandowski, 2022).

Toyota ERG'leri ayrıca yangın, submersion ve taşımaya dair ayrıntılı talimatlar içermektedir. Toyota, yüksek gerilim bataryası yanarsa söndürme için en etkili yöntemin bataryanın su ile tamamen ıslatılması olduğunu belirtmekte ve yangın söndürüldükten sonra bataryanın su ile soğutulmaya devam edilmesini önermektedir. Yangın çıkaran veya darbe almış araçların açık havada, diğer araçlardan uzak bir yerde muhafaza edilmesi ve batarya sıcaklığının termal kamerayla izlenmesi tavsiye edilmektedir (Chombo ve Laoonual, 2020). Submersion bölümünde, yüksek gerilim batarya devresinin araç gövdesiyle izole olduğu ve batarya yönetim sisteminin izolasyonu sürekli denetlediği; bu nedenle su altında kalan bir elektrikli veya hibrit Toyota aracına müdahale ederken aracın gövdesine veya suya dokunmanın tehlike oluşturmadığı vurgulanmaktadır (Liao, vd., 2019). Bununla birlikte, ıslak ortamda müdahalede turuncu kabloların ve yüksek gerilim bileşenlerinin dokunulmaması gerektiği, aracın sudan çıkarıldıktan sonra devre dışı bırakma işlemlerinin yapılması ve 12 volt akünün sökülmesi tavsiye edilir. Depolama ve çekme bölümlerinde Toyota, kaza sonrası hibrit ve elektrikli araçların kamyon üstünde taşınması gerektiğini, çekicilerle çekilmemesi gerektiğini ve depolama sırasında araçların açık alanda tutulup yüksek gerilim bataryalarının potansiyel yanma riskine karşı diğer araçlardan uzak konumlandırılması gerektiğini açıklamaktadır (McKerracher, vd., 2021).

Özetle Toyota'nın acil müdahale kılavuzları, çok çeşitli güç aktarma teknolojilerine sahip araçları kapsayan kapsamlı bir yapı sunmaktadır. Genel kılavuz, hibrit, plug-in hibrit, elektrikli ve yakıt hücresi tüm modellerde izlenmesi gereken temel prensipleri tanımlarken, model bazlı kılavuzlar her aracın kendine has özelliklerini detaylandırmaktadır. Yüksek gerilim sistemlerinin konumu ve devre dışı bırakma prosedürleri, turuncu renkli kabloların kesilmemesi ve "High Voltage – Do Not Touch" uyarı levhaları, Ni-MH ve lityum-iyon bataryaların güvenlik özellikleri, yangın ve batma durumunda izlenecek adımlar ve bataryanın kimyasal içeriğinin nasıl nötralize edileceği gibi bilgiler, Toyota'nın rehberlerinin temel unsurlarıdır (Jin, vd., 2022). Bu yaklaşım, acil müdahale ekiplerinin Toyota ve Lexus araçlarına güvenli şekilde müdahale etmesine olanak tanıırken, üreticinin farklı güç aktarma teknolojilerinin karmaşık yapısını anlaşılır hale getirmektedir.

1.10.3. Renault

Renault Grubu, Avrupa'da elektrikli ve hibrit araç üretiminin öncülerinden biri olarak geniş bir model yelpazesine sahiptir. Renault'nun "Emergency Response Guide – ERG for Renault Group EV–PHEV–HEV" başlıklı genel kılavuzu ve her model için hazırlanan kurtarma kartları, elektrikli (EV), plug-in hibrit (PHEV) ve hibrit (HEV) araçlara müdahale edecek ekipler için ayrıntılı bilgiler sunmaktadır. Bu belgenin giriş bölümünde, kılavuzun acil müdahale personelinin eğitim oturumlarında kullanılmak üzere hazırlandığı ve yol yardım ekipleri için de faydalı olabileceği belirtilmektedir (Un ve Aydın, 2021). Ayrıca "kurtarma kartlarının her model için hazırlanan özgül belgeler olduğu" ve sahada akıllı telefon uygulamaları ("Rescue Code" ve "Euro Rescue") üzerinden bu kartlara erişilebileceği vurgulanmaktadır. Kılavuz, ilk ve ikinci müdahale ekiplerinin bir EV, PHEV veya HEV modeli tanıyabilmeleri, aracın teknik özelliklerini bilmeleri, araçta bulunan teknolojiye bağlı riskleri belirleyerek kaynaklarını ve yöntemlerini uyarlamaları için kapsamlı bilgiler sunmayı amaçlamaktadır (Parhizi, vd., 2022). Bu yaklaşım, Renault'nun acil müdahale rehberlerinin hem genel prensipler hem de modele özgü ayrıntılar içerdiğini göstermektedir.

Renault kılavuzunda, tüm elektrikli ve hibrit modellerin listesi verilir ve bu modeller tam elektrikli, plug-in hibrit ve hibrit aileler olarak ayrılır. Tam elektrikli ailede Fluence ZE, Kangoo E-TECH, Master E-TECH, Megane E-TECH, Twingo E-TECH, Twizy E-TECH, Scenic E-TECH ve Zoe E-TECH gibi modeller; plug-in hibrit ailede Captur E-TECH, Megane E-TECH, Rafale E-TECH; hibrit ailede Arkana E-TECH, Austral E-TECH,

Captur E-TECH, Clio E-TECH, Espace E-TECH, Rafale E-TECH, Symbioz E-TECH ve Dacia'nın Duster ve Jogger hibrit modelleri sıralanmaktadır. Bu liste, kılavuzun kapsamını ortaya koymakta ve her model için özel kurtarma kartına ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir (Zhao, vd., 2021). Kılavuzun ilk bölümü olan tanımlama/teşhis bölümünde, elektrikli araçların dış tasarımında yakıt kapağı bulunmadığı, egzoz borusunun olmadığı, şarj kapağı ve model adında "E-TECH" ibaresi bulunduğu belirtilmektedir. Ayrıca araçların ön camının solunda vda camının sağında bulunan etiketler aracılığıyla kurtarma kartına erişim sağlayan QR kodlar yer aldığı ifade edilmektedir. Plug-in hibrit araçlarda hem yakıt kapağı hem de şarj kapağının bulunduğu, hibrit modellerde ise yakıt kapağı ve hibrit ibaresinin yer aldığı vurgulanmaktadır (Tohir ve Martin-Gomez, 2023). Böylece müdahale ekibi aracın hangi tür güç aktarma sistemine sahip olduğunu hızlıca belirleyebilir.

Renault rehberi, immobilizasyon ve stabilizasyon süreçlerini detaylandırmaktadır. Araç sabitlendikten sonra yüksek gerilim devresinin devre dışı bırakılması için, kaputun açılması, elektrik bağlantı fişinin bulunması ve gerekli hareketlerle yüksek gerilim şalterinin çıkarılması gerektiği açıklanmaktadır. Rehberde ana devre dışı bırakma yöntemi "kaputu açmak, elektrik konektörünü bulmak, tetiği çekip aşağı bastırmak ve anahtarı çekip çıkarmak" şeklinde adımlarla anlatılmaktadır. Alternatif olarak kaput altındaki sigorta kutusunda bulunan belirli sigortaların çekilmesi ve 12 volt akünün negatif terminalinin sökülmesiyle de yüksek gerilim sisteminin devre dışı bırakılabileceği belirtilmektedir (Schiemann, vd., 2016). Arka sigorta kutusundaki kablonun kesilmesi de bir diğer acil durum seçeneğidir. Kılavuz, acil müdahale personelinin her zaman aracın güç sisteminin açık olduğunu varsaymasını ve "sessiz olsa bile aracın enerjili olabileceği, bu nedenle her zaman uygun kişisel koruyucu ekipman kullanılmasının ve aracın immobilize edilmesinin şart olduğu" uyarısını yapar. Ayrıca yüksek gerilim bileşenlerinin tümünün etiketlenmediği ve turuncu kabloların kesilmemesi gerektiği vurgulanmaktadır (Matulka, 2014).

Renault kılavuzunda depolanmış enerji, sıvılar, gazlar ve katılar başlığı altında bataryanın soğutma sıvısı sızıntısı durumunda termal kaçak (thermal runaway) riski olduğu, batarya sıcaklığının yükselmesinin termal kaçak belirtisi olabileceği ve batarya paketinin sıcaklığının termal kamera ile izlenmesi gerektiği belirtilmektedir. Yangın bölümünde, bir EV, PHEV veya HEV aracının alev aldığı anda içten yanmalı motorlu bir araç gibi toksik gaz ürettiği ve itfaiyecilerin açık devreli solunum cihazları ile standart koruyucu ekipman giymesi gerektiği vurgulanmaktadır (He, vd., 2020). Rehber, "araç ve yüksek gerilim

bataryası yanıyorsa, aracın gövdesini su ile söndürürken bataryanın tamamen su ile doldurularak söndürülebileceğini” ve Renault tarafından itfaiyeciler için geliştirilen özel bir “Fireman Access” sistemi sayesinde batarya içine su verilerek bataryanın on dakika içinde tamamen söndürülebileceğini açıklamaktadır. Bu sistem, Renault’nun 2020’lerin başında tanıttığı ve batarya kutusu üzerine entegre edilen bir erişim kapağıdır (Kılınç, 2022). Kapak kurtarma kartlarında bir piktogram ile gösterilir ve itfaiyecilerin araç dışından bataryaya su verilmesini sağlamaktadır. Plug-in hibritlerin bataryalarının nispeten küçük olması nedeniyle Fireman Access cihazına ihtiyaç duyulmadığı ve bu bataryaların hızla yanıp söndüğü belirtilmektedir. Eğer aracın gövdesi yanıyor ancak batarya henüz yanmıyorsa, rehber gövdeyi söndürmeyi, batarya muhafazasını suyla soğutmayı ve termal kamera ile sıcaklık artışı olup olmadığını kontrol etmeyi önermektedir (Evarts, 2015). Bu yaklaşım, batarya yangını başlamadan soğutma yoluyla riskin azaltılmasını amaçlamaktadır.

Kılavuzun submersion bölümünde, yüksek gerilim bataryasının araç gövdesi tarafından izole edildiği, batarya yönetim sistemi (BMS) tarafından yalıtımın sürekli denetlendiği ve bataryanın yalnızca iki elektrik kutbuna aynı anda dokunulduğunda elektrokütleyi tamamladığı için su temasının tek başına tehlike oluşturmadığı belirtilmektedir. Bu nedenle suda kalan bir Renault elektrikli aracının içine güvenle girilerek kazazedelerin kurtarılabilmesi vurgulanmaktadır (Brzezinska ve Bryant, 2022). Ancak tedbir olarak turuncu kablolar veya batarya modülüne dokunulmamalı ve araç sudan çıkarıldıktan sonra devre dışı bırakma prosedürleri uygulanmalıdır. Su altından çıkarma sonrasında elektrik devresi kesilmediyse, akım taşıyabilecek bileşenlere dokunulmayarak 12 volt akü bağlantısı kesilmeli ve servis fişi çıkarılmalıdır. Kılavuzun çekme ve depolama bölümünde, kaza sonrası Renault EV veya PHEV araçlarının bir kamyon üzerine yüklenerek taşınması, çekici ile çekilmemesi ve araç depolamasında açık hava alanının tercih edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Batarya yangını riskine karşı araçların birbirinden uzak konumlandırılması önerilmektedir (Zhang, vd., 2016). Bu uyarılar, batarya yangınlarının gecikmeli olarak yeniden tutuşabileceğini ve kapalı alanlarda depolamanın riskli olduğunu vurgulamaktadır.

Renault’nun acil müdahale kılavuzu, ISO 17840 standardının kullanılmasını teşvik eder ve kurtarma kartlarında piktogramların, renk kodlarının ve sınırlı metnin kullanılmasını önermektedir. Araçlara ilişkin tanımlama, immobilizasyon, yüksek gerilim devre dışı bırakma, yolcu erişim, depolanmış enerji, yangın, su basması, çekme ve ilave bilgiler gibi

başlıklar, hem kurtarma kartlarında hem de daha ayrıntılı acil müdahale rehberlerinde aynı sırayı takip etmektedir. Bu yapısal uyum sayesinde acil müdahale ekipleri bir Renault aracına yönelik kurtarma kartını incelediklerinde, daha uzun rehberde de aynı akışla ilerleyebilirler. Renault kılavuzu ayrıca, Avrupa Yeni Otomobil Değerlendirme Programı (Euro NCAP) tarafından geliştirilen “Fireman Access” gibi yeniliklerin acil müdahale güvenliğini artırdığını ve bu tür yeniliklerin diğer üreticilere örnek teşkil ettiğini belirtmektedir (Westbrook, 2001).

Genel olarak Renault’nun acil müdahale kılavuzu, farklı güç aktarma teknolojilerine sahip geniş bir araç portföyü için kapsamlı ve sistematik bir rehber sunmaktadır. Tanımlama ve yüksek gerilim sisteminin devre dışı bırakılması prosedürleri, uygulayıcıların en kısa sürede doğru adımları atmasına yardımcı olurken; yangın, batma ve depolama bölümleri batarya yangınlarının kendine özgü davranışlarını ve gecikmeli tutuşma risklerini vurgulamaktadır. “Fireman Access” gibi özel tasarımlar, elektrikli araç bataryalarının söndürülmesinde zaman kazandıran ve itfaiyecilerin güvenliğini artıran önemli yeniliklerdir (Thomas, 2009). Bu kılavuz, Renault’nun elektrikli ve hibrit araçların artan yaygınlığına paralel olarak sürekli güncellenmektedir ve acil müdahale topluluğunun teknolojiyle birlikte öğrenmesini desteklemektedir.

1.10.4. TOGG

Türkiye’nin doğuştan elektrikli ilk otomobil markası olan TOGG, T10X adlı SUV modeliyle pazara giriş yapmıştır ve acil müdahale rehberlerini hem Türkçe hem de İngilizce olarak kamuoyuna sunmuştur. TOGG’un “Rescue Sheet” belgesi, ISO 17840 standardına uygun olarak hazırlanmış ve acil müdahale ekiplerinin araç kazalarında kritik bilgilere hızlı erişimini sağlamak üzere tasarlanmıştır. Rehberin başında, T10X modelinin tamamen elektrikli bir SUV olduğu ve 1 Mayıs 2025 itibarıyla geçerli bilgiler içerdiği belirtilmektedir. Belgenin versiyon numarası, belge numarası ve sayfa numaraları gibi meta veriler kullanılmıştır. Bu kurtarma sayfası, aracın tanımlanması, immobilizasyon ve stabilizasyon, doğrudan tehlikelerin devre dışı bırakılması, yolcuya erişim, depolanmış enerji/akışkanlar/gazlar/katılar, yangın, suya batma, çekme ve önemli ek bilgiler gibi başlıkları içermektedir. TOGG ayrıca kullanıcı el kitabında ve dijital kullanım kılavuzunda, kurtarma kılavuzlarının PDF olarak indirilebileceği bir bölüm bulundurmuş ve aracın sahibi veya kurtarma ekibi tarafından kolayca erişilebilmesini sağlamıştır (Avcı, 2020).

T10X kurtarma sayfasında, aracın tanımlanması bölümünde, elektrikli araçlarda motor sesi olmaması nedeniyle aracın açık olup olmadığının dışarıdan anlaşılmadığı vurgulanmaktadır. Bu bölümde “motor sesi yokluğunun aracın kapalı olduğu anlamına gelmediği, sessiz hareket veya ani yeniden çalıştırma olasılığı bulunduğu ve aracın tamamen kapatılana kadar uygun kişisel koruyucu ekipman (PPE) kullanılması gerektiği” ifade edilmektedir. Araç kimliğinin saptanması için kaput ve bagaj kapağının ortasında, sol ve sağ arka kısımlarında yer alan Togg logoları ve HV şarj soketi konumu gibi işaretler kullanılmaktadır. Rehber, aracın vinç etiketinin, seri numarasının ve QR kodunun bulunduğu bölgeleri göstermektedir. QR kod aracılığıyla internet bağlantısı olan bir cihazla modelin kurtarma kartına erişilebilir. TOGG ayrıca T10X’in kabin içinde 12 volt akü ve sigorta kutusu konumlarını, yüksek gerilim bataryanın alt şasiye entegre edildiğini ve turuncu renkli kabloların tüm yüksek gerilim devrelerini temsil ettiğini açıklamaktadır (Mordue ve Sener, 2022).

Kurtarma kılavuzunun immobilizasyon/stabilizasyon bölümünde, T10X’in immobilize edilmesi için park konumunun seçilmesi ve park freninin devreye alınması gerektiği, tekerleklerin takozlanması ve sürüşe devam edemeyecek şekilde sabitlenmesi önerilmektedir. Lifting points (kaldırma noktaları) ve stabilizasyon noktaları, aracın alt şasisi üzerindeki güçlendirilmiş bölgeler olarak gösterilmektedir. Yüksek gerilim bataryaya zarar vermemek için krika veya vinçin sadece bu noktalardan takılması gerektiği belirtilmektedir. Araç stabil hale geldikten sonra yüksek gerilim devre dışı bırakma prosedürüne geçilmektedir. TOGG rehberi, yüksek gerilim devreyi devre dışı bırakmak için kaputun açılması ve yüksek gerilim bağlantı anahtarının bulunması gerektiğini, ana devre dışı bırakma yönteminde konektörün tetiğinin çekilip aşağı bastırılarak anahtardan çıkarılması gerektiğini, ardından Start/Stop düğmesine basarak aracın elektrik sisteminin kapatılmasını önermektedir. Alternatif devre dışı bırakma yöntemlerinde kaput veya arka sigorta kutusunda bulunan sigortaların çıkarılması, 12 volt akünün negatif terminalinin sökülmesi ve belirlenen kabloların kesilmesi gibi seçenekler yer almaktadır (Tilki, vd., 2022). Rehber, kesme veya bağlantı kesme işlemlerinde her zaman yalıtımlı eldiven ve yüz koruyucu kullanılması ve turuncu yüksek gerilim kablolarına dokunulmaması gerektiğini vurgulamaktadır.

TOGG kurtarma sayfası, yolcuya erişim bölümünde direksiyon kolunun ayar noktaları, cam türleri ve koltuk ayar sistemleri hakkında bilgi vermektedir. Laminated ve

tempered camların konumları belirtilir; kurtarma ekipleri camları kırarken hangi tür camın hangi bölgede olduğunu bilerek uygun kurtarma yöntemi seçebilir. Depolanmış enerji/akışkanlar/gazlar/katılar başlığı altında, batarya soğutma sıvısının sızması durumunda bataryanın termal kaçak riski olduğu, batarya sıcaklığının yükselmesinin termal kaçak belirtisi olabileceği ve termal kamera ile sıcaklık takibi yapılması gerektiği uyarısı yer almaktadır. Kimyasallar bölümünde antifriz/coolant sızıntısının batarya paketini kararsız hale getirebileceği ve yangın riskini artırabileceği ifade edilmektedir (Avcı, vd., 2025). Bu nedenle bataryadan sıvı sızıntısı fark edildiğinde aracın izole edilmesi ve yetkili servis ekiplerine bilgi verilmesi gerektiği belirtilmektedir.

Yangın bölümünde, T10X için yangınla mücadelede büyük miktarda su kullanılması gerektiği ve bataryanın yeniden tutuşma veya gecikmeli tutuşma riski bulunduğu vurgulanmaktadır. Rehber “Geç Yeniden Tutuşma Riski” anlamına gelen bir uyarı ile bataryanın söndürüldükten sonra bile yeniden alev alabileceğini belirtmekte ve aracın açık havada, diğer araçlardan en az 5 metre uzakta depolanmasını önermektedir. Yangın sırasında yüksek gerilim bataryaya su vermek için, batarya muhafazasının dışından suyun girebileceği özel açıklıklar kullanılır; rehber, yangın söndürme sırasında tüm yolcuların tahliye edilmesi ve kurtarma ekiplerinin solunum cihazı ve tam koruyucu ekipman kullanması gerektiğini vurgulamaktadır (Gönçer, 2024). Submersion bölümünde, T10X’in yüksek gerilim bataryasının su altında bile araç gövdesi tarafından yalıtılmış olduğu ve bataryanın iki kutbuna aynı anda dokunulmadığı sürece suyun elektriksel tehlike oluşturmadığı belirtilmektedir. Bu nedenle kurtarma ekipleri suya batmış araçta kazazedelere güvenle yardım edebilir ancak su dışına çıkarılmadan yüksek gerilim devre dışı bırakılamaz. Araç sudan çıkarıldıktan sonra kaput açılarak yüksek gerilim sistemi devre dışı bırakılmalı ve 12 volt akü bağlantısı kesilmelidir. Çekme ve depolama bölümünde, T10X’in çekici kancalarının konumları gösterilir; kaza veya yangın sonrası aracın çekici üzerine yüklenerek taşınması ve batarya yeniden tutuşma riski nedeniyle aracın açık havada, diğer araçlardan uzak bir alanda depolanması tavsiye edilmektedir (Eroğlu, 2024).

TOGG’un kurtarma kılavuzu, ISO 17840 standardının gerektirdiği gibi, piktogramlar ve renk kodları kullanarak metni minimuma indirmektedir. Turuncu renkteki yüksek gerilim kabloları, kırmızı sınırla gösterilen tehlike alanları ve yeşil sınırla gösterilen öneri alanları, müdahale ekiplerinin hızlı karar vermesine yardımcı olmaktadır. Rehber ayrıca “kurtarma halkası” veya “kesme noktası” gibi terminolojiyi tanımlar ve her adım için

numaralandırılmış görseller sunmaktadır. TOGG, T10X modelinin acil durum çağrı sistemi (eCall) ve akıllı bağlantı özellikleri sayesinde kazanın hemen ardından otomatik olarak acil servisleri bilgilendirebildiğini ve kaza konumunu ilettiğini belirterek, müdahale sürelerinin kısalmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bununla birlikte, aracın akıllı özellikleri ne olursa olsun, fiziksel müdahale prosedürlerine uyulması gerektiği ve yüksek gerilim sistemi üzerinde değişiklik yapmadan önce kılavuzun önerdiği adımların izlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Zengin, vd., 2024).

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Modeli

Bu araştırma, sosyal bilimlerde sıklıkla başvuru nitel araştırma yöntemleri çerçevesinde desenlenmiştir. Nitel araştırma yaklaşımı, olguları sayısal verilerle ölçmekten ziyade, onların anlamını, bağlamını ve aktörler üzerindeki yansımalarını derinlemesine incelemeyi amaçlamaktadır. Elektrikli araç yangınları gibi teknik, kurumsal ve insan kaynağı boyutlarını bir arada barındıran çok katmanlı bir olgunun araştırılmasında, nitel yaklaşım özellikle deneyim, algı ve pratik uygulamaların bütüncül biçimde ortaya çıkarılması açısından uygun görülmüştür.

Araştırma modeli, durum çalışması (case study) stratejisi üzerine temellendirilmiştir. Bu strateji, belirli bir bağlamda (itfaiye teşkilatlarının elektrikli araç yangınlarına müdahale süreçleri) yaşanan olayları ayrıntılı biçimde incelemeyi, bağlam ile olgu arasındaki etkileşimi görünür kılmayı amaçlamaktadır. Çalışmada kullanılan yarı yapılandırılmış görüşme tekniği, katılımcıların deneyimlerini sistematik biçimde aktarmalarına olanak tanırken, aynı zamanda araştırmacıya konunun farklı boyutlarını derinlemesine sorgulama esnekliği sağlamaktadır. Bu bağlamda görüşme formunda yer alan sorular, katılımcıların bilgi düzeylerini, müdahale deneyimlerini, ekipman yeterliliklerini, toksik maruziyet farkındalıklarını ve kurumsal hazırlıklarını kapsamlı biçimde değerlendirmeye yöneliktir.

Nitel araştırma modelinin temel gerekçesi, elektrikli araç yangınlarına ilişkin mevcut literatürde çoğunlukla teknik raporlar ve nicel istatistikler bulunmasına karşın, uygulayıcıların deneyimlerini ve sahadaki kurumsal gerçekliği merkeze alan çalışmaların sınırlı olmasıdır. Bu nedenle araştırma, itfaiye personelinin yaşadığı pratik sorunları, karşılaştıkları riskleri ve çözüm önerilerini doğrudan onların perspektifinden anlamayı

hedeflemektedir. Böylece elde edilen veriler yalnızca betimleyici nitelikte olmayacak, aynı zamanda katılımcıların deneyimleri aracılığıyla elektrikli araç yangınlarına müdahaleye ilişkin yeni kavramsal çerçevelerin geliştirilmesine katkı sunacaktır.

2.2. Çalışma Grubu

Bu araştırmanın çalışma grubunu, Türkiye'nin farklı illerinde görev yapan toplam 72 itfaiye personeli oluşturmaktadır. Katılımcıların seçiminde amaçlı örnekleme stratejilerinden maksimum çeşitlilik örnekleme benimsenmiştir. Bu yaklaşım, araştırma konusunun farklı kurumsal bağlamlarda ve görev kademelerinde nasıl deneyimlendiğini ortaya koymayı hedeflemektedir. Dolayısıyla elde edilen bulguların zenginliğini ve geçerliliğini artırmaktadır. Çalışma grubuna dâhil edilen katılımcılar, elektrikli araç yangınlarına doğrudan müdahale etme potansiyeli olan ve görev tanımları gereği bu tür olaylarda aktif rol alan personelden seçilmiştir. Bu anlamda katılımcıların demografik bilgileri şu şekildedir;

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Dağılımı

Değişken	Kategori	f	%
Cinsiyet	Erkek	72	100
	Kadın	0	0
Görev Unvanı	İtfaiye Eri	48	66,7
	Ekip Amiri / Amir	19	26,4
	Eğitimci / Teknik Personel	5	6,9
Görev Süresi	0–5 yıl	21	29,2
	6–10 yıl	18	25,0
	11–20 yıl	17	23,6
	21 yıl ve üzeri	16	22,2
Kurum Türü	İl / İlçe Belediyesi İtfaiyesi	49	68,1
	Büyükşehir İtfaiyesi	23	31,9

Araştırmaya katılan 72 itfaiye personelinin tamamının erkek olması, itfaiyeciliğin Türkiye’de hâlen yüksek fiziksel güç, saha riski ve ağır çalışma koşullarıyla özdeşleşmiş bir meslek alanı olarak algılandığını göstermektedir. Bu durum, katılımcı profiline ilişkin

bulguların toplumsal cinsiyet bağlamında yorumlanmasını mümkün kılmakla birlikte, çalışmanın temel odağı olan operasyonel deneyim ve kurumsal hazırlık düzeyi açısından veri çeşitliliğini sınırlayıcı bir unsur olarak değerlendirilmemektedir. Katılımcıların yaklaşık üçte ikisinin itfaiye eri, dörtte birinden fazlasının ise ekip amiri veya yönetici pozisyonunda görev yapıyor olması, araştırmanın hem saha uygulayıcılarının pratik deneyimlerini hem de olay yönetimi ve karar alma süreçlerine hâkim personelin değerlendirmelerini bir arada yansıtmasını sağlamıştır. Bu durum, elde edilen bulguların yalnızca operasyonel düzeyle sınırlı kalmamasına; aynı zamanda organizasyonel yapı, koordinasyon ve komuta mekanizmaları açısından da zengin bir perspektif sunmasına katkı sağlamıştır. Görev süresi dağılımı incelendiğinde, katılımcıların büyük bölümünün 10 yıl ve üzeri mesleki deneyime sahip olduğu görülmektedir. Bu bulgu, görüşmeler sırasında dile getirilen değerlendirmelerin önemli bir kısmının tekil olaylara dayalı değil, uzun yıllara yayılan birikimli saha deneyimi temelinde şekillendiğini ortaya koymaktadır. Özellikle elektrikli araç yangınları gibi görece yeni ve teknik bilgi gerektiren bir risk alanında, deneyimli personelin belirsizlikleri, eksiklikleri ve kurumsal hazırlık düzeyine ilişkin eleştirileri, bulguların güvenilirliğini artıran önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Kurum türüne ilişkin dağılım, katılımcıların hem büyükşehir itfaiye teşkilatlarından hem de il ve ilçe belediyesi itfaiyelerinden seçildiğini göstermektedir. Bu çeşitlilik, Türkiye genelinde elektrikli araç yangınlarına müdahale kapasitesinin kurumsal ölçek ve kaynak farklılıkları bağlamında karşılaştırmalı olarak analiz edilmesine imkân tanımış; özellikle büyükşehir–taşra ayrımında ekipman, eğitim ve protokol farklılıklarının görünür hâle gelmesini sağlamıştır.

Katılımcıların belirlenmesinde gönüllülük esası gözetilmiş; ayrıca görüşmeler öncesinde araştırmanın amacı, kapsamı ve gizlilik ilkeleri hakkında kendilerine açık ve anlaşılır bilgi verilmiştir. Görüşmeye katılmayı kabul eden personel, gönüllü onam formu imzalayarak araştırmaya dâhil edilmiştir. Bu etik prosedür, araştırma sürecinde katılımcı haklarının korunması ve elde edilen verilerin bilimsel güvenilirliğinin sağlanması açısından kritik görülmüştür.

Çalışma grubunun sosyo-demografik çeşitliliği, araştırmanın elde ettiği verilerin kapsamlı bir perspektifle analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Katılımcılar arasında farklı yaş gruplarından, kıdem sürelerinden ve görev pozisyonlarından personel yer almakta; böylece elektrikli araç yangınlarına ilişkin bilgi düzeyleri, deneyimleri ve algıları farklı bakış

açılırlarıyla değerdendirilmiştir. Bu çeşitlilik, elde edilen verilerin yalnızca bireysel düzeydeki gözlemleri değil, aynı zamanda kurumsal işleyişe dair ortak eğilimleri ve farklılıkları da yansıtmalarını sağlamaktadır.

2.3. Veri Toplama Aracı

Bu araştırmada veri toplama aracı olarak araştırmacı tarafından geliştirilen yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılmıştır. Görüşme formu, çalışmanın amacı olan elektrikli araç yangınlarında güvenlik önlemleri ve müdahale tekniklerini bütüncül bir bakış açısıyla inceleme hedefi doğrultusunda oluşturulmuş, ilgili literatür taraması, uluslararası düzeyde yayımlanmış kılavuzlar ve raporlar ile saha uygulamalarına yönelik bulgular dikkate alınarak yapılandırılmıştır. Bu doğrultuda geliştirilen görüşme formu, katılımcıların mesleki deneyimlerini, kurumsal bağlamda karşılaştıkları sorunları, teknik donanım ve bilgi düzeylerini ayrıntılı biçimde ortaya koymayı hedeflemektedir. Araştırmada kullanılan bu araç, yalnızca belirli soruların yanıtlanmasını değil, aynı zamanda katılımcıların kişisel gözlemlerini, deneyimlerini ve önerilerini aktararak yeni ve öngörülmeven bilgilerin ortaya çıkmasını da mümkün kılmaktadır. Dolayısıyla veri toplama süreci, hem sistematik hem de esnek bir biçimde yapılandırılmıştır.

Görüşme formu, katılımcıların demografik özelliklerini ve görev deneyimlerini ortaya koymaya yönelik soruların ardından, elektrikli araç yangınlarına ilişkin bilgi, farkındalık, deneyim ve uygulamaları derinlemesine sorgulayan açık uçlu sorular içermektedir. Katılımcılardan görev yaptıkları kurumlarda elektrikli araç yangınlarına ilişkin özel bir müdahale protokolünün bulunup bulunmadığı, daha önce bu tür yangınlara müdahale edip etmedikleri, müdahale süreçlerinde karşılaşılan teknik zorluklar, kullanılan ekipmanların yeterliliği, kişisel koruyucu donanımların etkinliği ve ergonomik uygunluğu, batarya yangınlarında açığa çıkan toksik gazlara ilişkin bilgilendirme düzeyleri ve alınan önlemler hakkında ayrıntılı açıklamalar yapmaları beklenmiştir. Ayrıca hizmet içi eğitimlerin niteliği, süresi, uygulamalı boyutu ve yeterliliği, organizasyonel düzeyde karşılaşılan koordinasyon ve iletişim sorunları, görev dağılımındaki aksaklıklar, Türkiye'nin elektrikli araç yangınlarına müdahale hazırlık düzeyine ilişkin genel değerlendirmeler ve mevcut mevzuat ya da kılavuzlarda gözlemlenen eksikliklere yönelik görüşler de sorgulanmıştır. Formun son bölümünde ise katılımcılara kendi deneyimlerinden ve perspektiflerinden hareketle bu alanda alınması gereken teknik, eğitsel ve yönetsel önlemlerle ilgili önerilerini serbestçe dile getirme imkânı tanınmıştır. Bu bağlamda yarı

yapılandırılmış görüşme formu, katılımcıların bilgi düzeylerini ve deneyimlerini yalnızca betimlemekle kalmayıp, aynı zamanda sahadaki kurumsal hazırlık düzeylerini, ekipman yeterliliğini, mevzuatın uygulanabilirliğini ve mevcut eğitim süreçlerinin etkinliğini kapsamlı biçimde değerlendirmeyi mümkün kılmıştır. Araştırmada kullanılan bu aracın nitel araştırma yaklaşımıyla uyumu, katılımcıların yaşadıkları olguları kendi anlam dünyaları içinde aktarmalarına ve araştırmacının da bu verileri yorumlayarak teorik bağlamla ilişkilendirmesine imkân tanımaktadır. Görüşme soruları, içerik geçerliliğini sağlamak amacıyla literatür desteği ve uzman görüşleri ışığında hazırlanmış, katılımcıların farklı düzeylerde bilgi ve deneyime sahip olmalarına rağmen aynı temalar etrafında veri sunmalarını mümkün kılacak şekilde yapılandırılmıştır. Bu yönüyle görüşme formu, elektrikli araç yangınlarına müdahale alanında hem mevcut durumun kapsamlı bir fotoğrafını çekmeye hem de katılımcıların deneyimlerinden yola çıkarak literatüre katkı sağlayacak yeni açılımlar üretmeye hizmet etmektedir.

2.4. Veri Toplama Süreci

Araştırmanın veri toplama süreci, etik kurul onayının alınmasının ardından planlanan takvime uygun biçimde yürütülmüştür. Çalışma kapsamında veriler, 01 Haziran 2025 ile 30 Eylül 2025 tarihleri arasında, Türkiye'nin farklı bölgelerinde görev yapan toplam 72 itfaiye personeli ile gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış görüşmeler aracılığıyla elde edilmiştir. Sürecin planlanmasında temel amaç, elektrikli araç yangınlarına ilişkin deneyim ve bilgi düzeylerini doğrudan uygulayıcıların perspektifinden anlamak ve bu kapsamda sahadaki mevcut durumu bütüncül bir biçimde analiz etmektir. Veri toplama sürecinin başında, araştırmanın amacı, kapsamı, yöntemsel çerçevesi ve katılımcı hakları hakkında açık ve anlaşılır bilgilendirme yapılmış, her katılımcıya yazılı gönüllü onam formu imzalatılmıştır. Bu adım, çalışmanın etik ilkelere uygun yürütülmesi ve katılımcıların haklarının korunması açısından kritik bir aşama olmuştur.

Görüşmeler, katılımcıların görev yaptıkları kurumların uygun gördüğü mekânlarda, araştırmacı tarafından yüz yüze gerçekleştirilmiştir. Görüşmelerin her birinde yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılmış; önceden hazırlanmış sorular aracılığıyla verilerin sistematik biçimde toplanması sağlanırken, aynı zamanda katılımcıların deneyimlerini ve gözlemlerini serbestçe ifade etmelerine imkân tanınmıştır. Bu yöntem, belirli temalar etrafında karşılaştırılabilir veri üretmeyi kolaylaştırırken, aynı zamanda beklenmedik fakat araştırma problemine ışık tutan yeni bulguların da ortaya çıkmasına

olanak vermiştir. Görüşmelerin ortalama süresi 40 ile 60 dakika arasında değişmiş; görüşme sırasında alınan notlar ve araştırmacının gözlemleri, verilerin analiz sürecinde tamamlayıcı bir unsur olarak kullanılmıştır. Katılımcıların rızası alınarak ses kayıt cihazı kullanılmış, bu kayıtlar daha sonra yazılı metne dönüştürülmüş ve içerik analizi için hazır hale getirilmiştir.

Veri toplama sürecinde araştırmacı, her katılımcı ile güven ilişkisi kurmaya özen göstermiştir. Katılımcılara araştırmada paylaştıkları bilgilerin yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılacağı, kimlik bilgilerinin gizli tutulacağı ve tüm verilerin anonimleştirileceği özellikle vurgulanmıştır. Bu yaklaşım, katılımcıların daha içten, ayrıntılı ve deneyimlerini sansürlemeden paylaşımlarına zemin hazırlamıştır. Görüşme ortamlarının katılımcılar açısından güvenli, sessiz ve dikkat dağınık unsurlardan uzak olmasına özen gösterilmiştir. Araştırmacı, sahada itfaiye personelinin yoğun görev temposunu dikkate alarak görüşmeleri çoğunlukla vardiya bitimlerinde veya katılımcıların uygun gördüğü boş zamanlarda gerçekleştirmiş, böylece veri toplama sürecinin katılımcılar üzerinde ek bir yük oluşturmasının önüne geçilmiştir.

Veri toplama sürecinde aynı zamanda saha gözlemleri de önemli bir rol oynamıştır. Araştırmacı, görüşmelerin gerçekleştirildiği kurumlarda mevcut ekipman, eğitim materyalleri ve yangına müdahale düzeneklerini gözlemlemiş; bu gözlemler katılımcıların aktarımlarını doğrulayıcı ve zenginleştirici nitel veriler olarak değerlendirilmiştir. Böylece yalnızca sözlü beyanlara dayalı kalmayan, aynı zamanda uygulama ortamlarının somut koşullarını da içeren bütüncül bir veri seti oluşturulmuştur.

2.5. Verilerin Analizi

Araştırmada elde edilen verilerin analizi, nitel araştırma yöntemlerinin doğasına uygun biçimde içerik analizi tekniğiyle gerçekleştirilmiştir. İçerik analizi, katılımcıların görüşlerini sistematik bir şekilde incelemeyi, tekrar eden temaları, kavramsal yapıları ve olgusal örüntüleri ortaya çıkarmayı amaçlayan bir yaklaşım olup, özellikle sosyal bilimlerde karmaşık ve çok katmanlı verilerin çözümlenmesinde sıklıkla tercih edilmektedir. Görüşmelerden elde edilen veriler, katılımcıların onayıyla alınan ses kayıtlarının yazılı hale getirilmesiyle oluşturulan ham veri seti üzerinden yürütülmüştür. Tüm görüşmeler kelimesi kelimesine deşifre edilerek bilgisayar ortamında metin dosyalarına aktarılmış, bu süreçte anlam bütünlüğünü bozmadan, katılımcıların dilsel ifadeleri korunmuş ve herhangi bir yönlendirme ya da yorum eklenmemiştir.

Analiz sürecinde öncelikle veriler tekrar tekrar okunarak veriyle bütünleşme aşaması tamamlanmıştır. Bu aşamada araştırmacı, metinlerdeki anahtar ifadeleri, tekrar eden kavramları ve dikkat çeken vurguları not ederek ilk kodlama sürecine zemin hazırlamıştır. Daha sonra açık kodlama aşamasına geçilmiş, her bir görüşme metninde katılımcıların ifadeleri anlamlı birimler halinde bölünmüş ve bu birimler kavramsal kodlarla etiketlenmiştir. Kodlama sürecinde, araştırma sorularıyla doğrudan ilişkili temalara odaklanılmış; müdahale protokollerinin yeterliliği, kişisel koruyucu donanımların kullanımı, toksik gazlara ilişkin farkındalık, hizmet içi eğitimlerin niteliği, organizasyonel sorunlar ve mevzuat eksiklikleri gibi alt temalar sistematik olarak belirlenmiştir.

Kodlama sürecinin ardından benzer anlam kümeleri bir araya getirilerek kategoriler oluşturulmuş, daha üst düzeyde kavramsal bütünlük sağlayacak biçimde tematik çerçeve geliştirilmiştir. Bu tematik çerçeve, araştırmanın hem kuramsal altyapısıyla hem de saha verileriyle uyumlu olacak şekilde yapılandırılmıştır. Analiz süreci yalnızca betimleyici bir düzeyde kalmamış, aynı zamanda verilerden çıkarılan temaların neden-sonuç ilişkileri ve katılımcıların deneyimsel bağlamları göz önünde bulundurularak yorumlayıcı bir boyuta taşınmıştır. Böylece, araştırmanın temel amacı olan elektrikli araç yangınlarında güvenlik önlemleri ve müdahale tekniklerine ilişkin mevcut durumun çok boyutlu bir değerlendirmesi sağlanmıştır.

Veri analiz sürecinde güvenilirliği artırmak için çeşitli stratejiler uygulanmıştır. Öncelikle kodlama süreci belirli bir süre aralığıyla tekrarlanarak kodların tutarlılığı kontrol edilmiş, ayrıca farklı kodlayıcıların sınırlı sayıda görüşme metnini bağımsız biçimde incelemesiyle kodlayıcılar arası uyum gözetilmiştir. Elde edilen temaların geçerliliğini güçlendirmek için literatürde yer alan bulgularla karşılaştırmalar yapılmış, sahadaki uygulamaların uluslararası standartlarla örtüşen veya ayrışan yönleri belirlenmiştir. Ayrıca katılımcı doğrulaması (member check) yöntemi kullanılarak, bazı bulgular katılımcılarla paylaşılıp yorumlarının alınması sağlanmış, bu sayede analiz sürecinin nesnelliği pekiştirilmiştir.

Verilerin analizi sürecinde kullanılan içerik analizi tekniği, yalnızca niceliksel sıklıkların ötesinde, katılımcıların anlam dünyalarını, algılarını ve deneyimlerini açığa çıkarmayı mümkün kılmıştır. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar, elektrikli araç yangınlarına ilişkin kurumsal hazırlık düzeyinden bireysel bilgi ve deneyimlere kadar geniş bir yelpazeyi kapsamış; hem mevcut eksikliklerin hem de geliştirilmesi gereken yönlerin belirlenmesine

aracılık etmiştir. Sonuç olarak verilerin analizi, araştırmanın amacına uygun olarak, uygulayıcıların deneyimlerini derinlemesine anlamayı ve bu deneyimlerden hareketle Türkiye’ye özgü, bilimsel ve uygulanabilir öneriler geliştirmeyi mümkün kılmıştır.



3. BULGULAR

Tablo 2. Elektrikli Araç Yangınlarına Yönelik Müdahale Protokollerine İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı

Ana Tema	Alt Temalar	Açıklayıcı Kod Tanımı	Katılımcı Kodları	f
Kurumsal Protokol Eksikliği	Resmî ve yazılı bir müdahale protokolünün bulunmaması	Kurum bünyesinde EV yangınlarına özgü bağlayıcı, yazılı bir prosedürün yer almaması	K1, K3, K4, K5, K6, K8, K9, K52, K27, K 61, K 25	7
	Protokollerin tamamen revizyona ihtiyaç duyması	Mevcut genel yangın protokollerinin EV yangınları için yetersiz görülmesi	K1, K3, K4, K5, 20, K 75, K59	4
Eğitim Temelli Gayriresmî Uygulamalar	Hizmet içi eğitimlere dayalı müdahale anlayışı	Müdahalelerin yazılı protokolden ziyade eğitimlerde aktarılan bilgiye dayanması	K2, K6, K7, K10, K11, K33, K 19, K 44, K 52	5
	Eğitimlerin yazılı ve bağlayıcı protokole dönüşmemesi	Eğitim içeriğinin resmî prosedür hâline getirilmemesi	K2, K6, K8, K 74, K70, K 63	3
	Eğitim içeriklerinin kurum içi aktarımla sınırlı kalması	Bilginin bireysel deneyim veya kurum içi paylaşım ile aktarılması	K7, K10, K11 K28, K32, K44, K52, K75	3
Standartlaşma ve Uygulanabilirlik Sorunları	Kurumlar arası standart müdahale yaklaşımının olmaması	İl ve teşkilatlar arasında farklı müdahale uygulamalarının bulunması	K2, K7, K10, K11	4
	Protokollerin sahada ekipman yetersizliği nedeniyle uygulanamaması	Teorik uygulamaların teknik donanım eksikliği nedeniyle hayata geçirilememesi	K7, K10 K11 K 16, K 21, K 28, K42, K 66, K71	2
	Personel sayısı ve fiziki koşulların uygulanabilirliği sınırlaması	İnsan kaynağı ve mekânsal koşulların müdahaleyi zorlaştırması	K7, K10 K11, K 21, K 26, K 30, K 41, K46	2

Elektrikli araç yangınlarına yönelik kurumsal müdahale protokollerinin varlığına ilişkin katılımcı görüşleri incelendiğinde, elde edilen bulguların ağırlıklı olarak kurumsal protokol eksikliği, eğitim temelli gayriresmî uygulamalar ve standartlaşma ile sahada uygulanabilirlik sorunları etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Katılımcıların büyük çoğunluğu, kurumlarında elektrikli araç yangınlarına özgü resmî, yazılı ve bağlayıcı bir müdahale protokolünün bulunmadığını açık biçimde ifade etmektedir. Bu durum, elektrikli araç yangınlarının geleneksel içten yanmalı motorlu araç yangınlarından farklı risk profilleri taşımaya rağmen, müdahale süreçlerinin hâlen genel yangın prosedürleri çerçevesinde yürütüldüğünü ortaya koymaktadır. Nitekim bazı katılımcılar bu durumu, “*Elektrikli araçlara özel hazırlanmış, yazılı bir müdahale protokolümüz yok; mevcut prosedürlerle hareket ediyoruz*” (K3) ve “*Yangına müdahale ederken klasik araç yangını gibi ele alıyoruz, çünkü elimizde farklı bir yazılı talimat bulunmuyor*” (K5) ifadeleriyle somutlaştırmıştır. Bu bulgular, elektrikli araç teknolojilerinin hızlı yaygınlaşmasına karşın, kurumsal düzeyde prosedürel uyumun geriden geldiğini göstermektedir.

Kurumsal protokol eksikliğinin yanı sıra, mevcut yangın müdahale protokollerinin elektrikli araç yangınları açısından yetersiz ve güncellenmeye muhtaç olduğu yönündeki görüşler de dikkat çekicidir. Bazı katılımcılar, var olan genel yangın yönergelerinin elektrikli araç bataryalarının doğası gereği ortaya çıkan termal kaçak, yeniden alevlenme ve yüksek voltaj risklerini kapsamadığını vurgulamıştır. Bu bağlamda bir katılımcı, “*Elimizdeki protokoller tamamen içten yanmalı araçlar düşünülerek hazırlanmış; elektrikli araçlar için baştan aşağı revize edilmesi gerekiyor*” (K1) ifadesini kullanırken, bir diğer katılımcı ise “*Mevcut talimatlar elektrikli araç yangınları için yetersiz kalıyor, ciddi bir revizyon şart*” (K4) sözleriyle benzer bir değerlendirmede bulunmuştur. Bu ifadeler, elektrikli araç yangınlarının müdahale süreçlerinde yeni bir normatif çerçeveye ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, protokol eksikliğinin tamamen bir boşluk şeklinde algılanmadığı; bu boşluğun büyük ölçüde hizmet içi eğitimler yoluyla gayriresmî biçimde doldurulmaya çalışıldığı görülmektedir. Katılımcıların önemli bir kısmı, müdahale süreçlerinin yazılı prosedürlerden ziyade, eğitimlerde aktarılan bilgi ve deneyimlere dayandığını belirtmiştir. Örneğin bir katılımcı, “*Elektrikli araç yangınlarına nasıl müdahale edeceğimizi yazılı bir protokolden değil, aldığımız eğitimlerden biliyoruz*” (K7) diyerek bu durumu açıkça ifade etmiştir. Benzer şekilde, “*Protokol yok ama eğitimlerde anlatılanlara göre hareket ediyoruz*” (K6) ifadesi, müdahale pratiğinin büyük ölçüde kişisel bilgi ve eğitim temelli reflekslere dayandığını göstermektedir. Bu durum, sahada belirli bir esneklik

sağlamakla birlikte, müdahale süreçlerinin kurumsal hafızaya yazılı biçimde aktarılmasını engelleyen bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

Eğitim temelli bu gayriresmî uygulamaların önemli bir sınırlılığı ise, eğitim içeriklerinin resmî ve bağlayıcı protokollere dönüştürülmemiş olmasıdır. Bazı katılımcılar, eğitimlerde verilen bilgilerin kişisel deneyim düzeyinde kaldığını ve kurumsal bir standart hâline gelmediğini özellikle vurgulamıştır. Bu bağlamda bir katılımcı, *“Eğitimlerde anlatılıyor ama bunlar yazılı hâle getirilip resmi bir talimat olarak bize sunulmuyor”* (K2) ifadesini kullanırken, bir diğeri *“Bilgi var ama herkes kendi bildiği şekilde uyguluyor”* (K8) diyerek uygulama birliğinin sağlanamadığını belirtmiştir. Bu durum, eğitim yoluyla kazanılan bilginin kurumsallaşamaması ve kişilere bağlı kalması riskini beraberinde getirmektedir.

Analiz bulguları ayrıca, eğitim içeriklerinin büyük ölçüde kurum içi aktarımla sınırlı kaldığını ve ulusal ya da kurumlar arası ortak bir bilgi havuzuna dönüşmediğini göstermektedir. Katılımcılar, bilgilerin çoğu zaman tecrübeli personelden daha az deneyimli personele sözlü olarak aktarıldığını ifade etmiştir. Bu durumu bir katılımcı, *“Genelde bilgiyi deneyimli arkadaşlardan öğreniyoruz, yazılı bir kaynak ya da ortak bir rehber yok”* (K10) sözleriyle dile getirmiştir. Benzer şekilde, *“Eğitimler kurum içinde kalıyor, başka teşkilatlarla ortak bir standart yok”* (K11) ifadesi, bilgi paylaşımının kurum sınırları içinde kapalı kaldığını ortaya koymaktadır.

Standartlaşma ve sahada uygulanabilirlik boyutunda ise, katılımcılar arasında kurumlar arası ciddi uygulama farklılıklarının bulunduğu yönünde güçlü bir ortak görüş mevcuttur. Elektrikli araç yangınlarına müdahalede, il ve teşkilatlar arasında farklı yöntemlerin benimsenmesi, ortak bir müdahale dili ve pratiğinin oluşmasını engellemektedir. Bu durumu bir katılımcı, *“Her il kendi imkânına ve bilgisine göre müdahale ediyor, ortak bir standart yok”* (K7) şeklinde ifade ederken, bir başka katılımcı *“Başka bir ilde farklı, bizde farklı uygulanıyor”* (K11) diyerek bu farklılığı teyit etmiştir. Bu bulgular, elektrikli araç yangınlarına müdahalede ulusal düzeyde standart bir protokol eksikliğini açık biçimde ortaya koymaktadır.

Son olarak, mevcut protokollerin sahada uygulanabilirliğinin sınırlı kaldığı görülmektedir. Özellikle ekipman yetersizliği, personel sayısının sınırlılığı ve fiziki koşullar, teorik olarak öngörülen uygulamaların hayata geçirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda

bir katılımcı, “*Protokol olsa bile elimizdeki ekipmanla birebir uygulamak mümkün olmuyor*” (K10) ifadesini kullanırken, bir diğeri “*Personel ve alan yetersizliği nedeniyle bazı uygulamaları sahada gerçekleştiremiyoruz*” (K7) diyerek fiziki sınırlılıkların altını çizmiştir. Bu durum, yalnızca yazılı protokol oluşturma'nın yeterli olmadığını; protokollerin donanım, insan kaynağı ve mekânsal koşullarla uyumlu şekilde tasarlanması gerektiğini göstermektedir.

Tablo 3. Elektrikli Araç Yangınlarına Müdahale Deneyimine İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı

Ana Tema	Alt Temalar	Açıklayıcı Kod Tanımı	Katılımcı Kodları	f
Müdahale Deneyimi Düzeyi	Daha önce müdahale edilmemiş olması	Elektrikli araç yangınıyla fiilen karşılaşılması	K1, K2, K6, K8, K9	5
	İlk kez müdahale edilmesi	İlk olayda deneyim eksikliği ve belirsizlik	K3, K8, K9 K11, K 21, K 26, K 30, K 41, K46	3
	Birden fazla müdahale deneyimi	Daha önce farklı EV yangınlarına müdahale	K7, K10, K11	3
Yangın Olayının Türü ve Ortamı	Trafik kazası sonrası batarya yangını	Çarpma sonrası termal kaçak	K3, K10, K11 K 16, K 21, K 28, K42, K 66, K71	3
	Kapalı otopark / bodrum kat yangını	Şarj hâlindeyken veya park alanında yangın	K7, K10, K11, K 25, K27, K 39, K31, K 49, K62	3
	Açık alanda araç yangını	Yol, refüj veya açık alan müdahalesi	K4, K5 K28, K32, K46, K49	2
	Yeniden alevlenme riski taşıyan yangınlar	Söndürme sonrası gözetim gerektiren durum	K7, K10, K28, K32, K44, K52, K75	2
Kullanılan Müdahale Ekipmanları	Su ile yoğun soğutma	Batarya sıcaklığını düşürmeye yönelik uzun süreli su kullanımı	K2, K4, K5, K7, K10, K11	6
	Köpük kullanımı	Alev kontrolü ve yüzey söndürme	K1, K4, K5, K10	4
	Kuru kimyevi toz (KKT)	İlk müdahale veya destekleyici söndürme	K3, K10 K 29, K 34, K39, K44, K 58, K75	2
	Temiz Hava Solunum Cihazı (THSC)	Toksik gazlara karşı zorunlu kullanım	K1, K3, K4, K5, K7, K9, K10, K11	8

	Nomex ve ısıya dayanıklı KKD	Yüksek sıcaklık ve kimyasal risklere karşı	K3, K4, K5, K7, K9, K10	6
Müdahale Süresi ve Operasyonel Zorluklar	Uzun süren müdahale (≥ 1 saat)	Batarya soğutmasının uzun zaman alması	K3, K4, K5, K7, K10, K11	6
	Bataryaya doğrudan erişim zorluğu	Bataryanın araç altı veya kapalı bölümde olması	K7, K10, K11	3
	Termal kaçak ve ani parlama riski	Kontrolsüz ısı artışı ve patlama ihtimali	K1, K4, K5, K7, K10	5
	Elektriksel risk ve yüksek voltaj tehlikesi	Akım kesilememesi, elektrik çarpması riski	K2, K7, K8, K9, K10	5
	Toksik gaz ve yoğun duman	Kimyasal maruziyet ve görüş kaybı	K1, K3, K4, K7, K8, K9, K10	7
	Yeniden alevlenme endişesi	Söndürme sonrası gözetim gereksinimi	K7, K10	2

Elektrikli araç yangınlarına müdahale deneyimine ilişkin katılımcı görüşleri incelendiğinde, bulguların ilk olarak müdahale deneyimi düzeyi açısından belirgin bir farklılaşma sergilediği görülmektedir. Katılımcıların önemli bir kısmı, elektrikli araç yangınıyla henüz fiilen karşılaşmadığını ifade etmiştir. Bu durum, elektrikli araç kullanımının hızla artmasına karşın, yangın vakalarının henüz tüm teşkilatlara eşit biçimde yansımadağını göstermektedir. Bu bağlamda bazı katılımcılar, “*Şu ana kadar elektrikli araç yangınına birebir müdahale etmedim*” (K1) ve “*Teorik olarak biliyoruz ama sahada karşılaşmadık*” (K2) ifadeleriyle doğrudan deneyim eksikliğini dile getirmiştir. Bu durum, müdahale pratiğinin önemli ölçüde potansiyel risk algısı üzerinden şekillendiğini ve deneyim temelli reflekslerin henüz tüm personel için oluşmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, bazı katılımcıların elektrikli araç yangınlarına ilk kez müdahale etmiş olmaları, müdahale sürecinde belirsizlik ve tereddütlerin yaşandığını ortaya koymaktadır. İlk müdahale deneyimine sahip katılımcılar, olay anında ne tür bir müdahale stratejisinin izlenmesi gerektiği konusunda kararsızlık yaşadıklarını ifade etmiştir. Bu durumu bir katılımcı, “*İlk kez elektrikli araç yangınına gittiğimizde neyle karşılaşacağımızı tam olarak bilmiyorduk*” (K3) sözleriyle açıklarken, bir diğeri “*İlk olayda klasik araç yangını refleksiyle hareket ettik ama tereddüt yaşadık*” (K9) ifadesini kullanmıştır. Bu bulgular, ilk müdahale deneyimlerinin öğrenme sürecinin en kırılgan aşamasını oluşturduğunu göstermektedir. Öte yandan, sınırlı sayıda katılımcının birden fazla elektrikli araç yangınına müdahale etmiş olması, deneyimin müdahale sürecine görelî bir güven ve öngörü kazandırdığını ortaya koymaktadır. Birden fazla müdahale deneyimi olan katılımcılar,

elektrikli araç yangınlarının kendine özgü dinamiklerini daha net kavradıklarını ifade etmişlerdir. Bu durumu bir katılımcı, *“Birden fazla vakaya girdikten sonra klasik araç yangınlarından ne kadar farklı olduğunu daha iyi anladık”* (K10) şeklinde dile getirmiştir. Benzer biçimde, *“Deneyim arttıkça yaklaşımımız da değişti”* (K7) ifadesi, müdahale pratiğinin tecrübe ile evrildiğini göstermektedir.

Yangın olaylarının türü ve gerçekleştiği ortam incelendiğinde, katılımcı ifadelerinin ağırlıklı olarak trafik kazası sonrası batarya yangınları ve kapalı otopark ya da bodrum kat yangınları etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Trafik kazası sonrası meydana gelen batarya yangınlarında, çarpma etkisiyle oluşan termal kaçak sürecinin müdahaleyi ciddi biçimde zorlaştırdığı vurgulanmıştır. Bu durumu bir katılımcı, *“Kaza sonrası bataryada ani ısı artışı oldu ve yangın kontrol altına alınamadı”* (K11) şeklinde ifade etmiştir. Kapalı alanlarda meydana gelen yangınlar ise, özellikle havalandırma yetersizliği ve sınırlı manevra alanı nedeniyle daha yüksek riskli olarak değerlendirilmiştir. Bir katılımcının *“Kapalı otoparkta müdahale etmek hem duman hem de erişim açısından çok daha zor”* (K7) ifadesi, bu tür ortamların müdahaleyi karmaşıklaştırdığını açıkça ortaya koymaktadır.

Kullanılan müdahale ekipmanlarına ilişkin bulgular, elektrikli araç yangınlarında ağırlıklı olarak su ile yoğun soğutma yönteminin tercih edildiğini göstermektedir. Katılımcılar, batarya sıcaklığının düşürülmesinin uzun zaman aldığını ve bu nedenle su kullanımının uzun süreli ve yoğun biçimde gerçekleştirildiğini ifade etmiştir. Bu durumu bir katılımcı, *“Bataryayı soğutmak için saatlerce su verdik”* (K10) sözleriyle dile getirmiştir. Bunun yanında, köpük ve kuru kimyevi toz gibi söndürme maddelerinin daha çok alev kontrolü ve destekleyici müdahale amacıyla kullanıldığı belirtilmiştir. Ancak katılımcılar, bu ekipmanların batarya yangınlarında nihai çözüm sunmadığını vurgulamıştır.

Müdahale sürecinde Temiz Hava Solunum Cihazı (THSC) ve ısıya dayanıklı kişisel koruyucu donanımların kullanımının neredeyse zorunlu hâle geldiği görülmektedir. Katılımcılar, yoğun toksik duman ve kimyasal gazların, solunum güvenliği açısından ciddi bir tehdit oluşturduğunu ifade etmiştir. Bu bağlamda bir katılımcı, *“Solunum cihazı olmadan yaklaşmak mümkün değil”* (K4) derken, bir diğeri *“Duman çok yoğun ve kimyasal içerikliydi”* (K9) ifadesini kullanmıştır.

Müdahale süresi ve operasyonel zorluklara ilişkin bulgular, elektrikli araç yangınlarının çoğu zaman uzun süren müdahaleler gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

Katılımcılar, batarya soğutmasının bir saatten fazla sürebildiğini ve müdahalenin bu nedenle geleneksel araç yangınlarına kıyasla çok daha uzun sürdüğünü belirtmiştir. Bu durumu bir katılımcı, “*Yangını söndürdük ama bataryanın soğuması çok uzun sürdü*” (K5) sözleriyle açıklamıştır. Ayrıca bataryaya doğrudan erişimin zor olması, müdahaleyi sınırlayan en önemli teknik sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bir katılımcının “*Batarya araç altındaydı ve doğrudan müdahale edemedik*” (K11) ifadesi, bu sorunu somutlaştırmaktadır.

Termal kaçak, ani parlama ve yeniden alevlenme riski, katılımcıların neredeyse tamamı tarafından en kritik teknik zorluklar arasında değerlendirilmiştir. Özellikle söndürme sonrası yeniden alevlenme ihtimali, olay yerinde uzun süreli gözetim gereksinimini beraberinde getirmektedir. Bu durumu bir katılımcı, “*Yangın söndükten sonra bile tekrar alevlenme riski vardı*” (K7) sözleriyle dile getirmiştir. Bunun yanı sıra, yüksek voltaj ve elektriksel riskler, müdahale sırasında personelin güvenliğini doğrudan tehdit eden unsurlar arasında yer almaktadır. Bir katılımcı, “*Elektrik tamamen kesildi mi emin olamıyorsunuz*” (K8) diyerek bu belirsizliğe dikkat çekmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu bulgular elektrikli araç yangınlarının müdahale süreçlerinin uzun süreli, teknik açıdan karmaşık ve yüksek riskli olduğunu ortaya koymaktadır. Müdahale deneyiminin sınırlı olması, ekipmanların batarya yangınlarına özgü olmaması ve operasyonel belirsizlikler, müdahale sürecini daha da zorlaştırmaktadır. Katılımcı ifadeleri, elektrikli araç yangınlarına müdahalede deneyim temelli öğrenmenin kaçınılmaz olduğunu, ancak bu öğrenmenin yalnızca bireysel tecrübelerle bırakılmasının ciddi güvenlik riskleri doğurabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, elektrikli araç yangınlarına müdahalenin standartlaştırılmış prosedürler, özel ekipmanlar ve uygulamalı eğitimlerle desteklenmesi, katılımcıların dolaylı ve doğrudan ifadelerinde öne çıkan temel bir gereksinim olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 4. Elektrikli Araç Yangınlarına Müdahalede Kullanılan Kişisel Koruyucu Donanımlara (KKD) İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı

Ana Tema	Alt Temalar	Açıklayıcı Kod Tanımı	Katılımcı Kodları	f
Kullanılan KKD Türleri	Temiz Hava Solunum Cihazı (THSC)	Toksik gaz ve duman riskine karşı zorunlu kullanım	K1, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11	10
	Nomex / Isıya Dayanıklı Koruyucu Giysi	Yüksek sıcaklık ve alev temasına karşı koruma	K3, K4, K5, K7, K9, K10	6

	Isıya ve elektriğe dayanıklı eldiven	Yüksek voltaj ve ısı riskine karşı el koruması	K2, K7, K9, K10	4
	Yangıncı botu ve çizme	Zemin, sıvı ve elektrik riskine karşı alt ekstremite koruması	K7, K9, K10 K 22, K 38, K 47, K49, K52	3
	Yalıtkan kesici / kurtarma ekipmanı	Batarya ve kablo müdahalelerinde ek güvenlik	K6, K8, K 16, K 21, K 28, K42, K 66, K71	2
KKD'nin Koruyuculuk ve Yeterlilik Düzeyi	KKD'nin genel olarak yeterli bulunması	Standart yangın müdahaleleri için uygunluk	K3, K4, K5 K32, K38, K42, K49, K71	3
	Elektrikli araç yangınları için kısmen yeterli olması	EV yangınlarının özgül risklerine karşı sınırlı koruma	K7, K10, K11	3
	Elektiriksel risklere karşı yetersizlik	Yüksek voltaj ve akım kaçaklarına karşı sınırlı koruma	K2, K9, K 45, K 26, K 29, K 34, K 74	2
	Batarya kaynaklı kimyasal risklere karşı yetersizlik	Asit, toksik gaz ve kimyasal sıçramalara karşı eksiklik	K8, K9, K11, K 21, K 26, K 30, K 41, K46	3
Ergonomik Uygunluk ve Kullanım Sorunları	Ergonomik uygunluk sorunlarının bulunmaması	Kısa süreli müdahalelerde sorun yaşanmaması	K3, K4 K 29, K 34, K39, K44, K 58, K75	2
	Ergonomik yetersizlik ve hareket kısıtlılığı	Eldiven ve giysilerin müdahaleyi zorlaştırması	K2, K7, K9	3
	Uzun süreli müdahalelerde fiziksel zorlanma	Terleme, yorgunluk ve görüş kaybı	K7, K10 K 27, K32, K38, K42, K49, K71	2
	Görüş alanının daralması	Maske ve yüz koruyucuların görsel kısıtlaması	K7 K28, K32, K46, K49	1
	Elektrikli araçlara özgü ergonomik KKD ihtiyacı	EV yangınlarına özel tasarlanmış KKD gerekliliği	K6, K8, K10 K13, K45, K27, K52	3

Elektrikli araç yangınlarına müdahale sürecinde kullanılan kişisel koruyucu donanımlara (KKD) ilişkin katılımcı görüşleri, bu tür yangınların yüksek sıcaklık, toksik gaz, kimyasal maruziyet ve elektiriksel riskler gibi çok boyutlu tehlikeler barındırması

nedeniyle, koruyucu ekipmanların müdahale sürecinde kritik bir rol üstlendiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Bulgular, kullanılan KKD türleri, bu donanımların koruyuculuk ve yeterlilik düzeyi ile ergonomik uygunluk ve kullanım zorlukları olmak üzere üç temel ekseninde yoğunlaşmaktadır.

Katılımcıların neredeyse tamamı, elektrikli araç yangınlarında Temiz Hava Solunum Cihazı'nın (THSC) vazgeçilmez bir donanım olduğunu vurgulamıştır. Toksik duman ve kimyasal gazların yoğunluğu nedeniyle, solunum cihazı olmadan müdahalenin mümkün olmadığı ortak bir görüş olarak öne çıkmaktadır. Bu durumu bir katılımcı, *“Elektrikli araç yangınlarında solunum cihazı olmadan yaklaşmak imkânsız”* (K4) şeklinde ifade ederken, bir başka katılımcı *“Dumanın içeriği bilinmediği için mutlaka THSC kullanıyoruz”* (K9) sözleriyle bu zorunluluğu vurgulamıştır. Katılımcı ifadeleri, solunum cihazlarının yalnızca koruyucu bir ekipman değil, aynı zamanda müdahalenin ön koşulu hâline geldiğini göstermektedir.

Isıya dayanıklı koruyucu giysiler (Nomex vb.) de katılımcılar tarafından sıklıkla kullanılan KKD'ler arasında yer almaktadır. Yüksek sıcaklık ve alev temasına karşı koruma sağlayan bu giysilerin, özellikle batarya yangınlarında ortaya çıkan ani ısı artışları karşısında hayati öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Bu bağlamda bir katılımcı, *“Batarya yangınlarında ısı bir anda yükseliyor, normal kıyafetle yaklaşmak mümkün değil”* (K7) ifadesini kullanmıştır. Benzer şekilde, *“Isıya dayanıklı elbise olmadan güvenli müdahale yapılamaz”* (K5) ifadesi, bu tür donanımların müdahale güvenliğinin temel unsurlarından biri olduğunu ortaya koymaktadır.

Elektriksel risklere karşı kullanılan eldivenler, botlar ve yalıtkan ekipmanlar ise katılımcılar tarafından görece sınırlı ama kritik donanımlar olarak değerlendirilmiştir. Bazı katılımcılar, yüksek voltaj riski nedeniyle özellikle el ve ayak korumasının önemine dikkat çekmiştir. Bu durumu bir katılımcı, *“Elektrikli araçlarda akım riski her zaman var, bu yüzden eldiven ve bot çok önemli”* (K2) sözleriyle ifade etmiştir. Ancak bu tür ekipmanların her müdahalede aynı düzeyde kullanılmadığı ve bazı durumlarda ekipman eksikliği yaşandığı da dolaylı olarak dile getirilmiştir.

KKD'nin koruyuculuk ve yeterlilik düzeyine ilişkin değerlendirmeler incelendiğinde, katılımcı görüşlerinin homojen olmadığı görülmektedir. Bazı katılımcılar, mevcut KKD setlerinin standart yangın müdahaleleri için yeterli olduğunu, ancak elektrikli

araç yangınlarının kendine özgü riskleri karşısında bu yeterliliğin tartışmalı hâle geldiğini belirtmiştir. Örneğin bir katılımcı, “*Normal araç yangınlarında kullandığımız ekipmanlar genelde yeterli ama elektrikli araçlarda sınırlarını görüyoruz*” (K7) ifadesini kullanmıştır. Bu görüş, mevcut KKD’lerin elektrikli araç yangınları için kısmen yeterli olarak algılandığını göstermektedir. Bazı katılımcılar ise özellikle elektriksel riskler ve batarya kaynaklı kimyasal tehlikeler karşısında mevcut KKD’lerin yetersiz kaldığını açıkça dile getirmiştir. Bu bağlamda bir katılımcı, “*Yüksek voltaj söz konusu olduğunda kullandığımız ekipmanların ne kadar koruyucu olduğu konusunda şüphe yaşıyoruz*” (K9) ifadesini kullanırken, bir diğer katılımcı “*Bataryadan çıkan kimyasal gazlara karşı ekipmanlarımız tam koruma sağlamıyor*” (K11) sözleriyle benzer bir kaygıyı dile getirmiştir. Bu ifadeler, elektrikli araç yangınlarının, geleneksel yangınlardan farklı olarak kimyasal ve elektriksel riskleri aynı anda barındırması nedeniyle, mevcut KKD setlerinin sınırlarını zorladığını ortaya koymaktadır.

Ergonomik uygunluk ve kullanım sorunları açısından bakıldığında, katılımcıların görüşlerinin özellikle müdahale süresine bağlı olarak farklılaştığı görülmektedir. Kısa süreli müdahalelerde bazı katılımcılar ergonomik açıdan ciddi bir sorun yaşamadıklarını belirtmiştir. Bu durumu bir katılımcı, “*Kısa sürede müdahale ettiğimiz olaylarda ekipman ergonomik olarak sorun yaratmadı*” (K3) sözleriyle ifade etmiştir. Ancak müdahale süresinin uzamasıyla birlikte, KKD’nin ergonomik sınırlılıkları daha belirgin hâle gelmektedir.

Uzun süreli müdahalelerde, özellikle ağır koruyucu giysiler ve solunum cihazlarının fiziksel zorlanma, terleme ve yorgunluk yarattığı sıkça vurgulanmıştır. Bir katılımcı, “*Uzun süren müdahalelerde ekipman çok yorucu oluyor*” (K10) derken, bir diğeri “*Terleme ve görüş kaybı ciddi sorun yaratıyor*” (K7) ifadeleriyle ergonomik sorunların müdahale performansını doğrudan etkilediğini belirtmiştir. Ayrıca, maske ve yüz koruyucuların görüş alanını daraltması, özellikle hassas müdahalelerde risk artırıcı bir unsur olarak değerlendirilmiştir. Bu durumu bir katılımcı, “*Maske nedeniyle görüş alanımız daralıyor*” (K7) sözleriyle açıkça dile getirmiştir.

Katılımcıların önemli bir kısmı, mevcut KKD’lerin büyük ölçüde içten yanmalı motorlu araç yangınları esas alınarak tasarlandığını ve elektrikli araç yangınlarının özgül risklerini tam olarak karşılamadığını ifade etmiştir. Bu nedenle, elektrikli araç yangınlarına özgü, ergonomik açıdan daha uygun, elektriksel ve kimyasal risklere karşı geliştirilmiş yeni

KKD tasarımlarına ihtiyaç duyulduğu görüşü öne çıkmaktadır. Bu durumu bir katılımcı, “*Elektrikli araç yangınları için özel tasarlanmış ekipmanlara ihtiyaç var*” (K8) sözleriyle özetlerken, bir diğeri “*Mevcut ekipmanlarla idare ediyoruz ama bu yangınlar için özel KKD şart*” (K10) ifadesini kullanmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu bulgular elektrikli araç yangınlarına müdahalede kullanılan kişisel koruyucu donanımların temel güvenliği sağlamakla birlikte, bu tür yangınların barındırdığı yüksek voltaj, kimyasal toksisite ve uzun süreli müdahale gereksinimleri karşısında kısmen yetersiz kaldığını göstermektedir. Ergonomik sınırlılıklar, özellikle uzun süren müdahalelerde personelin performansını ve güvenliğini olumsuz etkileyebilmektedir. Katılımcı ifadeleri, elektrikli araç yangınlarının artan yaygınlığı karşısında, KKD alanında teknolojik, ergonomik ve standartlaştırılmış bir dönüşümün kaçınılmaz olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 5. Batarya Kaynaklı Yangınlarda Toksik Gazlar ve Kimyasal Maruziyete İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı

Ana Tema	Alt Temalar	Açıklayıcı Kod Tanımı	Katılımcı Kodları	f
Toksik Gazlara Yönelik Bilgilendirme Düzeyi	Toksik gazlar hakkında bilgilendirme yapılması	Eğitimlerde gaz türleri ve riskler hakkında bilgi verilmesi	K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11	11
	Bilgilendirmenin genel düzeyde kalması	Gazların isimleri ve etkilerinin detaylandırılmaması	K8, K9, K70, K 22, K 38, K 47, K49, K52	2
	Uygulamalı bilgilendirme eksikliği	Teorik bilginin saha pratiğine yeterince yansımaması	K7, K10, K 27, K32, K38, K42, K49, K71	2
Solunum Riskine Karşı Alınan Önlemler	Temiz Hava Solunum Cihazı (THSC) kullanımı	Müdahalede solunum cihazının zorunlu tutulması	K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11	11
	Rüzgâr yönüne göre konuşlanma	Gazların yayılımını azaltmaya yönelik taktiksel yerleşim	K7, K10, K 29, K 34, K39, K44, K 58, K75	2
	Olay yeri tecrit mesafesi uygulanması	Personel ve sivillerin gazdan korunması	K7, K10, K11	3
	Uzun süreli müdahalelerde	THSC süresinin uzun müdahalelerde sınırlı kalması	K10, K11, K31, K,35, K46, K69	2

	solunum cihazı yetersizliği			
Kimyasal Maruziyet ve Güvenlik Önlemleri	Kimyasal gazlara doğrudan maruziyetten kaçınma	Gaz solunmaması yönünde bilinçli hareket	K4, K9, K28, K32, K46, K49	2
	Gaz ölçümü ve izleme ihtiyacı	CO, CO ₂ , HCN vb. gazların ölçülmesi gerekliliği	K10, K11, K27, K29, K31, K37, K64	2
	Batarya yangınlarına özgü kimyasal risk farkındalığı	Asit, ağır metal ve zehirli gaz bilinci	K7, K10, K11, K19, K23, K26, K38, K31, K63	3
	Mevcut önlemlerin kısmen yeterli bulunması	Standart önlemlerin EV yangınlarına sınırlı uyumu	K7, K8, K9, K13, K45, K27, K52	3
	Batarya yangınlarına özgü ek önlem ihtiyacı	EV yangınları için özel prosedür gerekliliği	K6, K8, K10, K11	4

Batarya kaynaklı yangınlarda açığa çıkan toksik gazlara ilişkin katılımcı görüşleri incelendiğinde, bu konunun elektrikli araç yangınlarına müdahale sürecinde hayati öneme sahip bir risk alanı olarak algılandığı açıkça görülmektedir. Bulgular, katılımcıların büyük çoğunluğunun toksik gazlar konusunda belirli bir düzeyde bilgilendirildiğini, ancak bu bilgilendirmenin derinliği, uygulamaya aktarılabilirliği ve operasyonel yeterliliği açısından önemli sınırlılıklar barındırdığını ortaya koymaktadır. Analiz, üç ana eksen etrafında şekillenmektedir: toksik gazlara yönelik bilgilendirme düzeyi, solunum riskine karşı alınan önlemler ve kimyasal maruziyete ilişkin güvenlik uygulamaları. Öncelikle, toksik gazlara yönelik bilgilendirme düzeyi ele alındığında, katılımcıların tamamına yakınının elektrikli araç batarya yangınlarında açığa çıkan toksik gazlar hakkında bir şekilde bilgilendirildiğini ifade ettiği görülmektedir. Bu bilgilendirmenin çoğunlukla hizmet içi eğitimler kapsamında yapıldığı ve temel risk farkındalığını artırmaya yönelik olduğu anlaşılmaktadır. Bir katılımcı bu durumu, “Eğitimlerde batarya yangınlarında zehirli gazlar çıktığı bize anlatılıyor” (K3) şeklinde ifade ederken, bir diğeri “Batarya yangınlarının dumanının normal yangın dumanından farklı ve daha tehlikeli olduğu söyleniyor” (K6) sözleriyle bu farkındalığı vurgulamıştır. Bu bulgular, toksik gaz riskinin kurumsal düzeyde inkâr edilen bir alan olmadığını, aksine temel bir tehdit olarak kabul edildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, bazı katılımcılar bilgilendirmenin genel ve yüzeysel düzeyde kaldığını, gazların türleri,

etkileri ve uzun vadeli sağlık sonuçları hakkında yeterince ayrıntı verilmediğini belirtmiştir. Özellikle hidrojen florür (HF), hidrojen siyanür (HCN) ve ağır metal buharları gibi batarya yangınlarına özgü kimyasal bileşenlerin somut biçimde ele alınmadığı yönünde eleştiriler dikkat çekmektedir. Bu durumu bir katılımcı, *“Zehirli gaz olduğu söyleniyor ama hangi gaz, ne kadar tehlikeli, ne yapmamız gerekiyor çok detaylı anlatılmıyor”* (K9) sözleriyle ifade etmiştir. Benzer şekilde, *“Gazların isimlerini biliyoruz ama etkileri ve maruziyet sonuçları çok net değil”* (K8) ifadesi, bilgilendirmenin teorik düzeyde kaldığını ortaya koymaktadır.

Bilgilendirme sürecine ilişkin bir diğer önemli bulgu ise, uygulamalı bilgilendirmenin yetersizliğidir. Bazı katılımcılar, eğitimlerde verilen bilgilerin sahada nasıl uygulanacağına dair yeterli pratik içermediğini vurgulamıştır. Bu bağlamda bir katılımcı, *“Teoride anlatılıyor ama sahada gaz yayılımını nasıl yneteceğimiz pek gösterilmiyor”* (K7) derken, bir diğer *“Uygulamalı tatbikat eksikliği var”* (K10) ifadesini kullanmıştır. Bu durum, toksik gazlara ilişkin bilginin eyleme dönüştürülmesinde önemli bir kopukluk olduğunu göstermektedir.

Solunum riskine karşı alınan önlemler incelendiğinde, katılımcılar arasında Temiz Hava Solunum Cihazı (THSC) kullanımının mutlak bir zorunluluk olarak benimsendiği görülmektedir. Katılımcıların tamamı, elektrikli araç yangınlarına müdahale sırasında solunum cihazı kullanılmadan olay yerine girilmediğini ifade etmiştir. Bu durumu bir katılımcı, *“Batarya yangınında solunum cihazı olmadan yaklaşmak yasak”* (K5) sözleriyle açıkça dile getirmiştir. Bir başka katılımcı ise *“Gazın ne olduğunu bilmesek bile solunum cihazı takıyoruz”* (K11) diyerek, belirsizlik karşısında alınan koruyucu refleksi vurgulamıştır. Bu bulgular, solunum cihazlarının yalnızca bir önlem değil, operasyonel bir standart hâline geldiğini göstermektedir. Bununla birlikte, solunum riskine karşı alınan önlemlerin yalnızca kişisel donanımla sınırlı kalmadığı, bazı durumlarda taktiksel ve organizasyonel önlemlerle desteklendiği de görülmektedir. Özellikle rüzgâr yönüne göre konuşlanma ve olay yeri tecrit mesafesi uygulamaları, toksik gaz yayılımını kontrol altına almaya yönelik bilinçli müdahale stratejileri olarak öne çıkmaktadır. Bir katılımcı, *“Rzgrı arkamıza alarak konuşlanmaya dikkat ediyoruz”* (K7) derken, bir diğer *“Gazdan etkilenmemek için olay yerini geniş tutuyoruz”* (K11) ifadeleriyle bu önlemleri somutlaştırmıştır. Ancak bu uygulamaların her olayda standart biçimde uygulanmadığı ve daha çok deneyimli personelin inisiyatifine bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Solunum cihazlarının kullanımı konusunda dikkat çeken bir diğer bulgu ise, uzun süreli müdahalelerde cihazların yetersiz kalabilmesidir. Batarya yangınlarının uzun süren soğutma ve gözetim gerektirmesi, solunum cihazlarının hava süresi açısından sınırlılıklarını ortaya çıkarmaktadır. Bu durumu bir katılımcı, *“Müdahale uzadıkça solunum cihazı ciddi bir sorun oluyor”* (K10) sözleriyle ifade ederken, bir diğeri *“Uzun müdahalelerde hava yetmiyor”* (K11) diyerek operasyonel bir zafiyete işaret etmiştir.

Kimyasal maruziyet ve güvenlik önlemleri bağlamında değerlendirildiğinde, katılımcıların batarya yangınlarının yalnızca duman değil, çok çeşitli kimyasal tehlikeler barındırdığına dair farkındalığa sahip oldukları görülmektedir. Bazı katılımcılar, doğrudan gaz solumamaya yönelik bilinçli davranışlar sergilediklerini ifade etmiştir. Örneğin bir katılımcı, *“Dumanın içine kesinlikle girmemeye çalışıyoruz”* (K4) derken, bir diğeri *“Gazın ne olduğunu bilmesek bile mesafemizi koruyoruz”* (K9) sözleriyle temkinli yaklaşımı vurgulamıştır. Bununla birlikte, gaz ölçümü ve izleme gibi daha ileri düzey güvenlik uygulamalarının sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Özellikle CO, CO₂, HCN gibi gazların ölçülmesine yönelik cihazların her müdahalede mevcut olmadığı ve bu ihtiyacın katılımcılar tarafından dile getirildiği görülmektedir. Bu durumu bir katılımcı, *“Gaz ölçüm cihazlarımız her zaman yeterli değil”* (K10) şeklinde ifade ederken, *“Batarya yangınlarında hangi gazın ne kadar çıktığını ölçmek gerekiyor”* (K11) ifadesi, ölçüm temelli müdahale yaklaşımına duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Genel değerlendirme açısından bakıldığında, bazı katılımcılar mevcut önlemleri kısmen yeterli bulmakla birlikte, batarya yangınlarının özgül kimyasal riskleri karşısında bu önlemlerin sınırlarına işaret etmektedir. Bir katılımcı, *“Standart önlemlerle idare ediyoruz ama bu yangınlar için yeterli mi emin değilim”* (K8) sözleriyle bu tereddüdü dile getirmiştir. Bu bağlamda, birçok katılımcı elektrikli araç batarya yangınlarına özgü ek ve özel güvenlik önlemlerinin geliştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. *“Batarya yangınları için ayrı prosedürler olmalı”* (K6) ve *“Bu gazlar normal yangınlardan çok daha tehlikeli, özel önlem şart”* (K10) ifadeleri, bu ihtiyacı açık biçimde ortaya koymaktadır.

Tablo 6. Elektrikli Araç Yangınlarında Kullanılan Söndürme Ekipmanlarının Niteliği ve Etkinliğine İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı

Ana Tema	Alt Temalar	Açıklayıcı Kod Tanımı	Katılımcı Kodları	f
Elektrikli Araçlara Özgü Söndürme Ekipmanlarının Mevcudiyeti	Elektrikli araçlara özel ekipman bulunmaması	Standart yangın ekipmanlarının kullanılması	K1, K3, K4, K5, K6, K8, K9	7
	Özel ekipmanların sipariş aşamasında olması	EV yangınlarına yönelik ekipman temininin planlanması	K1, K3, K4, K5, K19, K24, K52, K43	4
	Büyükşehir teşkilatlarında kısmi özel donanım bilgisi	Eğitimlerde özel ekipman tanıtımı yapılması	K7, K10, K11, K39, K24, K44, K62	3
Kullanılan Söndürme Maddeleri ve Yöntemleri	Su ile yoğun soğutma	Batarya sıcaklığını düşürmeye yönelik uzun süreli su kullanımı	K2, K4, K5, K7, K10, K11	6
	Köpük kullanımı	Yüzey alevlerinin kontrol altına alınması	K1, K4, K5, K10	4
	Kuru kimyevi toz (KKT)	İlk müdahale veya destekleyici söndürme	K3, K10, K73, K24, K36, K52	2
	Bataryanın su dolu havuza alınması	Termal kaçak kontrolü için izolasyon yöntemi	K10, K11, K16, K19, K24, K51	2
Batarya Yangınlarına Karşı Etkinlik Değerlendirmesi	Söndürme ekipmanlarının kısmen etkili olması	Alevi bastırma ancak bataryayı tamamen söndürememe	K2, K7, K10, K11	4
	Batarya yangınlarının kısa sürede söndürülememesi	Uzun müdahale ve soğutma gereksinimi	K3, K4, K5, K7, K10, K11	6
	Yeniden alevlenme riskinin devam etmesi	Söndürme sonrası termal kaçak ihtimali	K7, K10, K22, K34, K62, K72	2
	Bataryaya doğrudan müdahalenin sınırlı olması	Batarya konumu nedeniyle etkin söndürme zorluğu	K7, K10, K11	3
Özel Söndürme Ekipmanı ve Teknoloji İhtiyacı	Batarya yangınlarına özgü söndürme maddesi ihtiyacı	Lityum-iyon bataryalar için özel solüsyon gerekliliği	K1, K3, K8, K9, K10	5

	Batarya delme, kapsülleme ve izolasyon sistemleri ihtiyacı	Bataryaya doğrudan ve güvenli müdahale gereksinimi	K7, K10, K11, K75, K68, K39	3
	Ulusal ölçekte standart ekipman eksikliği	Kurumlar arası donanım farklılıkları	K2, K6, K8, K37, K21, K71	3
	Üretici ve uluslararası standartlara dayalı ekipman gerekliliği	NFPA, FM Global vb. referanslı çözümler ihtiyacı	K10, K11, K31, K21, K66	2

Elektrikli araç (EA) yangınlarında kullanılan söndürme ekipmanlarının EA'ye özgü geliştirilmiş olup olmadığı ve batarya yangınlarına karşı etkinlik düzeyi hakkında katılımcı değerlendirmeleri, bulguların temelde dört eksenle kümelendiğini göstermektedir: (i) EA'ye özgü söndürme ekipmanı mevcudiyetinin sınırlılığı, (ii) sahada ağırlıklı olarak kullanılan söndürme maddeleri ve yöntemleri, (iii) mevcut ekipmanlarla sağlanan etkinliğin “kısmi” kalması ve operasyonun uzaması, (iv) batarya yangınlarına özgü teknoloji/standart ve ekipman ihtiyacının belirginleşmesi. İlk olarak, katılımcıların önemli bir kısmı kurumlarında EA yangınlarına özgü ayrı bir ekipman seti bulunmadığını, müdahalelerin büyük ölçüde “standart yangın” donanımıyla yürütüldüğünü ifade etmektedir. Bu vurgu, yalnızca ekipman eksikliğine değil, aynı zamanda EA yangınlarının risk karakteristiği ile mevcut envanterin uyumsuzluğuna işaret etmektedir. Nitekim bir katılımcının “*Herhangi izlenebilecek bir protokol yok. Ayrıca elektikli araç yangınlarına müdahale edilebilecek özel bir ekipman yok.*” (K14) ifadesi, kurumsal hazırlık düzeyini hem prosedürel hem de teknik kapasite açısından birlikte görünür kılmaktadır. Benzer biçimde başka bir katılımcı, “*Elektrikli araçlara özel bir ekipman grubumuz yok. Elimizdeki imkanlarla en iyi müdahale şeklini seçerek müdahale yapıyoruz.*” (K14) diyerek, EA yangınlarında ekipman eksikliği koşullarında karar verme sürecinin çoğu kez durumsal muhakeme ve sahadaki imkânlarla sınırlı pragmatik tercih üzerinden şekillendiğini göstermektedir. Bununla birlikte, bazı katılımcılar “özel ekipman yokluğu”nun tamamen durağan bir tablo olmadığını; kimi kurumlarda özel ekipman temininin planlandığını ve sipariş aşamasına geçtiğini belirtmiştir. Bu çerçevede katılımcı yanıtları, hazırlık düzeyinin kurumlar arasında farklılaştığını ortaya koymaktadır. Bir katılımcının kısa ve net biçimde “*Özel ekipman sipariş verildi.*” (K18) demesi, ekipman dönüşümünün bazı teşkilatlarda planlama düzeyinden uygulamaya geçmeye başladığına işaret etmektedir. Aynı yöndeki ifade, başka bir katılımcıda da tekrar

etmektedir: “Özel ekipman sipariş verildi.” (K5). Ancak bu tür “sipariş” vurguları, EA yangınlarına özgü ekipmanların halihazırda sahada yaygın, standart ve erişilebilir olduğu anlamına gelmemekte; daha çok geçiş dönemine işaret etmektedir. İkinci olarak, kullanılan söndürme maddeleri ve yöntemleri bağlamında katılımcı ifadeleri, pratikte en baskın yaklaşımın su ile yoğun soğutma olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşım, batarya yangınlarının “alev bastırma”dan çok “ısı yönetimi” ve “termal kaçak zincirini kırma” mantığına dayanması nedeniyle öne çıkmaktadır. Katılımcılardan biri, eğitimlerde farklı söndürme maddelerinin denendiğini ancak hızlı ve kesin bir söndürme sağlanamadığını; buna karşın suyun soğutmada görece üstünlüğünü açıkça belirtmektedir: “...su, köpük,kkt, özel solüsyonlar vb. söndürme maddeleri kullanılmış fakat hiçbirisi tamamen kısa sürede söndürme için uygun olmadığı görülmüş olup, ... batarya soğutmasında en etkili yolun su olduğu gözlemlenmiştir.” (K10). Bu ifade iki kritik noktayı aynı anda görünür kılar: Birincisi, saha aktörlerinin EA batarya yangınına “klasik söndürme” mantığıyla değil, uzun süreli soğutma gerektiren bir süreç olarak okuması; ikincisi ise farklı söndürme ajanlarına yönelik deneme/öğrenme süreçlerinin çoğu kez eğitim ortamında kalması ve sahaya sınırlı yansımadır. Üçüncü olarak, batarya yangınlarına karşı etkinlik değerlendirmesinde katılımcıların ortaklaştığı temel izlek, mevcut ekipmanlarla sağlanan etkinliğin çoğu durumda “kısmi” olduğudur: alevin bastırılabilirdiği; ancak batarya paketinin tamamen güvenli hâle getirilmesinin, kısa sürede ve tek aşamada sağlanamadığı vurgulanmaktadır. Bu noktada katılımcıların bazıları, yangının söndürülmesinden sonra aracın elektrikli olduğunun anlaşılması gibi sahada karşılaşılan belirsizliklere de işaret ederek, EA yangınlarında olayın dinamiğinin müdahale sürecinde dahi değişebildiğini göstermektedir: “Müdahale ettik... Su ve köpük ile müdahaleye başladık. Araç yangını söndürüldükten sonra elektrikli araç olduğunu farkettilik.” (K14). Bu tür ifadeler, EA yangınlarında ekipmanın etkinliği tartışmasının yalnızca “ajan seçimi” meselesi olmadığını; olay tanımlama, risk sınıflandırma ve süreç yönetiminin de etkinliği belirlediğini düşündürmektedir.

Etkinliğin kısmi kalması, doğal olarak “yeniden alevlenme” ve “uzun gözetim” ihtiyacı ile birleşmektedir. Katılımcıların suya dayalı stratejiyi öne çıkarırken aynı zamanda izolasyon ve kontrol altında bekletme gibi yöntemleri gündeme getirmesi bu bağlamda anlam kazanmaktadır. Nitekim K10, en etkili çözüm olarak suya daldırma/izolasyon yaklaşımını özellikle vurgulamakta; “Bataryanın su dolu bir havuz içerisine konulmasının en etkili çözüm yolu olduğu anlaşılmıştır.” demektedir. Bu vurgu, çalışmanın kuramsal bölümündeki “su dolu konteyner/daldırma” yaklaşımına ilişkin literatürle de örtüşmektedir.

Dördüncü olarak, bulgular “özel ekipman ve teknoloji ihtiyacı”nı yalnızca bir envanter eksikliği olarak değil; aynı zamanda standart, referans ve doğrulama meselesi olarak da ortaya koymaktadır. Bazı katılımcılar, batarya yangınlarına özgü söndürme maddeleri (özel solüsyonlar), bataryaya doğrudan ve güvenli müdahaleyi kolaylaştıracak delme/izolasyon/kapsülleme türü sistemler ve ulusal ölçekte standardizasyon ihtiyacını dile getirmektedir. K10’un ifadesi, bu ihtiyacı “ajan” ve “yöntem” üzerinden somutlaştırırken, K14’ün “özel ekipman yokluğu” vurgusu sahada karar vermenin çoğu kez genel ekipmanla optimizasyon şeklinde kaldığını göstermektedir. Ayrıca kimi katılımcılar özel ekipmanların henüz mevcut olmamasına rağmen planlama/sipariş sürecinin başladığını belirterek, kurumsal dönüşümün bir “niyet–tedarik–uygulama” hattında ilerlediğini göstermektedir. Bu çerçevede bulgular bütüncül olarak değerlendirildiğinde, katılımcı deneyimleri EA batarya yangınlarında “kısa süreli söndürme” beklentisinin çoğu zaman gerçekçi olmadığını; etkinliğin daha çok uzun süreli soğutma, yeniden alevlenme riskini yönetme, izolasyon ve olay sonrası gözetim kapasitesiyle belirlendiğini göstermektedir. Dolayısıyla katılımcı anlatıları, Türkiye’de EA yangınlarına müdahalede ekipman tartışmasının iki düzlemde ilerlemesi gerektiğine işaret etmektedir. Bir yanda su temelli yoğun soğutma yaklaşımının operasyonel gerekliliklerini karşılayacak kapasite (su temini, lojistik, uzun süreli müdahale planlaması), diğer yanda ise EA’ye özgü riskleri dikkate alan özel ekipman/teknoloji ve standardizasyon ihtiyacı. Bu ikili ihtiyaç seti, katılımcıların hem “mevcutla idare” eden pragmatik tutumunu hem de “özel ve standart” çözümlere dönük kurumsal dönüşüm beklentisini aynı anda görünür kılmaktadır.

Tablo 7. Elektrikli Araç Yangınlarına Yönelik Hizmet İçi Eğitimlere İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı

Ana Tema	Alt Temalar	Açıklayıcı Kod Tanımı	Katılımcı Kodları	f
Hizmet İçi Eğitim Alma Durumu	Elektrikli araç yangınlarına yönelik eğitim alınması	Kurum içi veya eğitim merkezleri tarafından verilen eğitimler	K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11	11
	Eğitime kısmi katılım	Tüm personelin aynı anda eğitime katılamaması	K7, K10, K11, K49, K28, K33	3
Eğitimin İçeriği ve Kapsamı	Batarya yapısı ve riskler	Lityum-iyon bataryaların yapısı ve tehlikeleri	K6, K7, K10, K11	4
	Elektrikli araç yangınlarına müdahale adımları	Olay yeri güvenliği, yaklaşma ve	K1, K3, K4, K5, K7, K10	6

		söndürme stratejileri		
	Şarj istasyonları ve GES yangınları	Şarj altyapıları ve enerji sistemleri hakkında bilgilendirme	K4, K6, K75, K 71, K62	2
	Üretici ve firma tanıtımları	Firmalar tarafından ekipman ve araç tanıtımları	K6, K10, K 17, K24, K39, K62	2
Eğitimin Süresi ve Uygulamalı Niteliği	Kısa süreli eğitimler (yaklaşık 16 saat)	Teorik ağırlıklı, sınırlı süreli eğitimler	K1, K3, K5	3
	2 gün ve üzeri süren eğitimler	Görece uzun süreli hizmet içi eğitimler	K7, K10, K75, K 24, K33, K58	2
	Uygulamalı eğitimin sınırlı olması	Gerçek araç veya batarya üzerinde yeterli uygulama yapılmaması	K6, K7, K8, K9	4
	Batarya veya senaryo temelli uygulamalar	Simülasyon veya batarya üzerinden yapılan uygulamalar	K10, K11, K41, K 49, K 58, K62, K73	2
Eğitimin Yeterliliğine İlişkin Değerlendirmeler	Eğitimin yeterli bulunması	Temel farkındalık ve bilgi sağladığı görüşü	K1, K3, K5	3
	Eğitimin kısmen yeterli bulunması	Teorik bilgi var ancak pratik eksikliği	K6, K7, K10, K11	4
	Eğitimin yetersiz bulunması	Süre, uygulama ve derinlik açısından eksiklik	K8, K9, K19, K26, K34, K45, K52	2
	Daha fazla uygulamalı eğitim ihtiyacı	Tatbikat, gerçek araç ve senaryo gereksinimi	K6, K7, K8, K9, K10, K11	6
	Sürekli ve güncel eğitim ihtiyacı	Teknolojiye bağlı olarak periyodik eğitim gerekliliği	K2, K6, K10, K 16, K 21, K38, K44, K 52	3

Elektrikli araç yangınlarına yönelik hizmet içi eğitimlere ilişkin katılımcı görüşleri, bu alanda eğitimin yaygınlaştığını, ancak niteliği, uygulama boyutu ve sürdürülebilirliği açısından önemli tartışma alanları bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bulgular, hizmet içi eğitimlerin varlığına rağmen, bu eğitimlerin elektrikli araç yangınlarının karmaşık ve hızla değişen risk profiline tam anlamıyla karşılık verip vermediği konusunda katılımcılar arasında temkinli ve eleştirel bir yaklaşımın hâkim olduğunu göstermektedir. Analiz, eğitim

alma durumu, eğitimin içeriği ve kapsamı, süre ve uygulamalı nitelik ile yeterlilik değerlendirmeleri olmak üzere dört ana ekseninde şekillenmektedir. Öncelikle, hizmet içi eğitim alma durumu ele alındığında, katılımcıların tamamının elektrikli araç yangınlarına yönelik en az bir hizmet içi eğitime katıldığını ifade etmesi dikkat çekicidir. Bu bulgu, elektrikli araç yangınlarının kurumsal düzeyde ciddiye alındığını ve bu alanda belirli bir farkındalık oluşturulmaya çalışıldığını göstermektedir. Katılımcılardan biri bu durumu, *“Elektrikli araç yangınlarına yönelik eğitim aldık”* (K1) şeklinde kısa ve net biçimde ifade ederken, bir diğeri *“Kurumumuzda bu konuyla ilgili eğitimler veriliyor”* (K6) sözleriyle eğitimin kurumsal gündemde yer aldığını vurgulamıştır. Bu noktada eğitimlerin varlığı, önemli bir kurumsal başlangıç adımı olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, bazı katılımcılar eğitimlere katılımın tüm personeli kapsamadığını ve eğitime erişimde kurumsal veya operasyonel sınırlılıklar bulunduğunu ifade etmiştir. Özellikle vardiya sistemi, personel sayısı ve görev yoğunluğu gibi nedenlerle, tüm personelin aynı anda veya eşit düzeyde eğitime katılamadığı anlaşılmaktadır. Bu durumu bir katılımcı, *“Eğitimler var ama herkes katılamıyor”* (K7) sözleriyle dile getirirken, bir başka katılımcı *“Bazı arkadaşlar eğitim alamadan sahaya çıkmak zorunda kalıyor”* (K11) ifadesiyle katılımın sürekliliği ve kapsayıcılığına ilişkin soruna dikkat çekmiştir. Bu bulgu, eğitimlerin varlığının tek başına yeterli olmadığını; erişim ve süreklilik boyutunun da kritik olduğunu göstermektedir.

Eğitimin içeriği ve kapsamı incelendiğinde, katılımcı ifadelerinin büyük ölçüde batarya yapısı ve riskleri ile elektrikli araç yangınlarına müdahale adımları üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Katılımcılar, lityum-iyon bataryaların yapısı, termal kaçak mekanizması ve batarya yangınlarının klasik araç yangınlarından farkları hakkında teorik bilgi aldıklarını ifade etmiştir. Bir katılımcı bu durumu, *“Bataryaların nasıl çalıştığı ve neden tehlikeli olduğu anlatıldı”* (K6) sözleriyle dile getirirken, bir diğeri *“Termal kaçak ve batarya yangınlarının farkları üzerinde duruldu”* (K10) ifadelerini kullanmıştır. Bu durum, eğitimlerin belirli bir teorik altyapı kazandırma işlevi gördüğünü göstermektedir.

Müdahale adımlarına ilişkin içeriklerin ise olay yeri güvenliği, yaklaşma mesafesi, söndürme ve soğutma stratejileri gibi başlıkları kapsadığı belirtilmiştir. Katılımcılardan biri, *“Olay yerine nasıl yaklaşılabileceği ve neye dikkat edileceği anlatıldı”* (K4) derken, bir diğeri *“Elektrikli araç yangınlarında müdahale sırası ve dikkat edilecek hususlar işlendi”* (K7) ifadeleriyle bu kapsamı teyit etmiştir. Bununla birlikte, şarj istasyonları, GES (güneş enerji sistemleri) yangınları ve üretici firma tanıtımları gibi konuların daha sınırlı sayıda katılımcı

tarafından deneyimlendiği ve bu başlıkların eğitimlerde ikincil düzeyde ele alındığı anlaşılmaktadır. Bu durum, eğitimin kapsamının her katılımcı için eşit ve standart olmadığını düşündürmektedir.

Eğitimin süresi ve uygulamalı niteliğine ilişkin bulgular, katılımcıların en fazla eleştiri yönelttiği alanlardan birini oluşturmaktadır. Katılımcıların önemli bir kısmı, eğitimlerin kısa süreli ve teorik ağırlıklı olduğunu ifade etmiştir. Özellikle yaklaşık 16 saatlik eğitimlerin, elektrikli araç yangınlarının karmaşıklığı karşısında yetersiz kaldığı yönünde görüşler öne çıkmaktadır. Bir katılımcı bu durumu, *“Eğitim çok kısa sürdü, daha çok teorik anlatım vardı”* (K1) sözleriyle ifade ederken, bir diğeri *“Kısa sürede çok konu anlatıldı ama uygulama azdı”* (K5) diyerek benzer bir eleştiride bulunmuştur. Bazı katılımcılar ise iki gün ve üzeri süren görece uzun eğitimlere katıldıklarını ve bu eğitimlerin daha verimli olduğunu belirtmiştir. Ancak bu tür eğitimlerin sayısının sınırlı olduğu ve tüm personele yaygınlaştırılamadığı anlaşılmaktadır. Bir katılımcı, *“İki gün süren bir eğitim aldık, daha faydalıydı”* (K10) ifadesiyle sürenin önemine dikkat çekmiştir. Buna karşın, uygulamalı eğitimin genel olarak yetersiz olduğu yönündeki görüşler, farklı eğitim sürelerine katılanlar arasında dahi ortak bir tema olarak ortaya çıkmaktadır.

Uygulamalı eğitimin sınırlılığı, katılımcı ifadelerinde en sık tekrar eden eleştiri başlıklarından biridir. Katılımcılar, gerçek araç, gerçek batarya veya senaryo temelli tatbikatların yeterince yapılmadığını; bu nedenle teorik bilginin sahaya aktarılmasında zorlandıklarını belirtmiştir. Bu durumu bir katılımcı, *“Gerçek bir batarya üzerinde uygulama yapılmadı”* (K8) sözleriyle ifade ederken, bir diğeri *“Tatbikat olmadan bu iş öğrenilmiyor”* (K9) ifadesini kullanmıştır. Buna karşılık, sınırlı sayıda katılımcı simülasyon veya batarya temelli uygulamalara katıldıklarını ve bu tür uygulamaların öğrenme açısından çok daha etkili olduğunu vurgulamıştır. *“Batarya üzerinden yapılan uygulama çok öğreticiydi”* (K11) ifadesi, uygulamalı eğitimin potansiyel katkısını açıkça ortaya koymaktadır.

Eğitimin yeterliliğine ilişkin genel değerlendirmelere bakıldığında, katılımcı görüşlerinin yeterli, kısmen yeterli ve yetersiz şeklinde dağıldığı görülmektedir. Eğitimi yeterli bulan katılımcılar, eğitimlerin en azından temel farkındalık ve bilgi sağladığını vurgulamıştır. Bir katılımcı, *“Temel anlamda neyle karşılaşacağımızı öğrendik”* (K3) sözleriyle bu görüşü dile getirmiştir. Ancak katılımcıların daha büyük bir kısmı, eğitimi kısmen yeterli olarak değerlendirmiş ve özellikle uygulama eksikliğini ön plana çıkarmıştır.

“Bilgi var ama sahada nasıl uygulanacağı eksik” (K7) ve “Teorik anlatım yeterli, pratik zayıf” (K10) ifadeleri bu görüşü desteklemektedir.

Eğitimi yetersiz bulan katılımcılar ise süre, içerik derinliği ve uygulama boyutundaki eksiklikleri açıkça vurgulamıştır. “Bu eğitimler elektrikli araç yangınları için yeterli değil” (K9) ifadesi, bu eleştirinin en net örneklerinden biridir. Bu bağlamda katılımcıların büyük çoğunluğu, daha fazla uygulamalı eğitim, gerçek senaryolarla tatbikat ve periyodik olarak güncellenen eğitim programları ihtiyacını dile getirmiştir. Bir katılımcı, “Bu teknoloji sürekli değişiyor, eğitimlerin de sürekli güncellenmesi gerekiyor” (K2) sözleriyle eğitimin sürekliliği ve güncelliğine dikkat çekmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu bulgular elektrikli araç yangınlarına yönelik hizmet içi eğitimlerin Türkiye’de yaygınlaşma aşamasında olduğunu; ancak içerik, süre, uygulamalı boyut ve standartlaşma açısından geliştirilmesi gereken önemli alanlar bulunduğunu göstermektedir. Katılımcı ifadeleri, eğitimin yalnızca bilgi aktaran bir faaliyet değil, sahada güvenli ve etkili müdahaleyi mümkün kılan temel bir kapasite geliştirme aracı olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araç yangınlarına yönelik hizmet içi eğitimlerin uygulamalı, senaryo temelli, sürekliliği olan ve teknolojik gelişmelere paralel biçimde güncellenen bir yapıya kavuşturulması, katılımcı görüşleri doğrultusunda ortaya çıkan temel bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 8. Elektrikli Araç Yangınlarına Müdahale Sürecinde Karşılaşılan Organizasyonel Sorunlara İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı

Ana Tema	Alt Temalar	Açıklayıcı Kod Tanımı	Katılımcı Kodları	f
Koordinasyon ve Görev Dağılımı	Koordinasyonun yeterli bulunması	Müdahale sırasında görev paylaşımının sorunsuz olması	K1, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9	8
	Koordinasyonun deneyime bağlı olması	Daha önce benzer olaya müdahale eden ekiplerde avantaj	K7, K10, K11, K28, K23, K71, K70	3
	İlk müdahalede belirsizlik yaşanması	Deneyim eksikliği nedeniyle karar alma güçlüğü	K3, K8, K9	3
	Görev dağılımının olay anında netleşmemesi	İlk anlarda rol ve sorumluluk karmaşası	K7, K10, K64, K54, K50, K55	2
İletişim ve Olay Komutası	İletişimin genel olarak yeterli olması	Telsiz ve yüz yüze iletişimin işlerliği	K1, K3, K4, K5, K6, K8, K9	7

	Büyük olaylarda iletişim aksaklıkları	Telsiz yetersizliği veya kalabalık ekip yapısı	K7, K10	2
	Olay komutası kararlarının gecikmesi	Kapalı alan ve riskli ortamlarda karar sürecinin uzaması	K7, K10, K23, K29, K 34, K48, K52	2
	Tek merkezli olay komutası eksikliği	Farklı ekiplerin aynı anda yönlendirilmesi	K7, K 26, K 32, K39, K47, K52	1
Deneyim ve Hazırlık Kaynaklı Sorunlar	Elektrikli araç yangınına ilk kez müdahale edilmesi	Deneyim eksikliği nedeniyle tereddüt yaşanması	K3, K8, K9	3
	Personelin tamamının eğitilmiş olmaması	Eğitimin kademeli ve sınırlı katılımı verilmesi	K7, K10, K11	3
	Protokol eksikliğinin organizasyonu zorlaştırması	Standart prosedürlerin bulunmaması	K2, K6, K41, K58	2
Mekânsal ve Operasyonel Koşullardan Kaynaklanan Sorunlar	Kapalı otopark ve bodrum kat müdahaleleri	Alan darlığı ve erişim güçlüğü	K7, K10, K11	3
	Bataryaya erişim zorluğu	Araç altı konum ve yapısal engeller	K7, K10, K11	3
	Meraklı kalabalığın kontrolü	Sivil güvenliğinin sağlanmasında güçlük	K2, K 17, K 25, K29, K41, K52, K 68	1
	Fiziki koşulların müdahaleyi zorlaştırması	Havalandırma, görüş ve manevra kısıtları	K7, K10, K24, K 38, K31, K45	2

Elektrikli araç yangınlarına müdahale sürecinde karşılaşılan organizasyonel sorunlara ilişkin katılımcı görüşleri incelendiğinde, bu alandaki aksaklıkların koordinasyon ve görev dağılımı, iletişim ve olay komutası, deneyim ve hazırlık düzeyi ile mekânsal ve operasyonel koşullar olmak üzere dört temel boyutta yoğunlaştığı görülmektedir. Bulgular, her ne kadar birçok katılımcı müdahale sürecinde organizasyonel yapının genel olarak işlediğini ifade etse de, özellikle elektrikli araç yangınlarının alışılmış yangın senaryolarından farklı ve belirsizlik içeren yapısı nedeniyle bazı kritik noktalarda aksaklıkların ortaya çıktığını göstermektedir.

Koordinasyon ve görev dağılımı bağlamında, katılımcıların önemli bir kısmı müdahale sırasında ekip içi koordinasyonun genel olarak yeterli olduğunu belirtmiştir. Özellikle klasik araç yangınları ve rutin müdahalelerde edinilen tecrübenin, elektrikli araç yangınlarında da belirli ölçüde işe yaradığı ifade edilmektedir. Bu durumu bir katılımcı, “Genel olarak görev paylaşımında ciddi bir sorun yaşamadık” (K4) sözleriyle dile

getirirken, bir diğeri “*Ekip içindeki koordinasyon büyük ölçüde oturmuş durumda*” (K6) ifadeleriyle teyit etmiştir. Bu görüşler, itfaiye teşkilatlarında genel anlamda yerleşik bir operasyonel disiplin bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, koordinasyonun çoğu zaman deneyime bağlı olarak güçlendiği yönünde dikkat çekici bir bulgu ortaya çıkmaktadır. Daha önce elektrikli araç yangınına veya benzer karmaşık olaylara müdahale etmiş ekiplerin, olay yerinde daha hızlı ve etkili karar alabildiği belirtilmiştir. Bir katılımcı bu durumu, “*Daha önce böyle bir olaya girmiş ekipler ne yapacağını daha çabuk biliyor*” (K10) sözleriyle ifade ederken, bir diğeri “*Deneyimli ekiplerde koordinasyon daha sorunsuz oluyor*” (K7) diyerek deneyimin belirleyici rolüne vurgu yapmıştır. Bu bulgu, elektrikli araç yangınlarında koordinasyonun kurumsal protokolden ziyade bireysel ve ekip temelli tecrübeye dayandığını düşündürmektedir.

İlk kez elektrikli araç yangınına müdahale edilen durumlarda ise, koordinasyon ve görev dağılımında belirsizlikler ve tereddütler yaşandığı ifade edilmektedir. Bazı katılımcılar, olayın ilk anlarında hangi birimin veya personelin hangi görevi üstleneceğinin netleşmediğini belirtmiştir. Bu durumu bir katılımcı, “*İlk müdahalede neyi kimin yapacağı konusunda kararsızlık oldu*” (K3) şeklinde dile getirirken, bir başka katılımcı “*Başta görevler net değildi*” (K9) ifadesini kullanmıştır. Bu tür ifadeler, elektrikli araç yangınlarının alışılmış görev şemalarını zorlayan bir niteliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Görev dağılımına ilişkin bir diğer sorun alanı, özellikle olayın ilk anlarında rol ve sorumlulukların netleşmemesi olarak öne çıkmaktadır. Bazı katılımcılar, müdahalenin başlangıç aşamasında ekipler arasında kısa süreli bir karmaşa yaşandığını belirtmiştir. Bu durumu bir katılımcı, “*İlk anda kim nerede duracak, kim müdahale edecek tam net değildi*” (K7) sözleriyle ifade ederken, “*Başlangıçta görev dağılımı biraz zaman aldı*” (K10) ifadesi bu durumu desteklemektedir. Bu bulgu, elektrikli araç yangınlarında önceden tanımlanmış görev şemalarının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

İletişim ve olay komutası boyutunda ise, katılımcıların çoğu telsiz ve yüz yüze iletişimin genel olarak yeterli olduğunu belirtmiştir. Rutin müdahale pratiklerinde kullanılan iletişim altyapısının çoğu durumda işlevini yerine getirdiği anlaşılmaktadır. Bir katılımcı, “*Telsiz iletişimde genel olarak sorun yaşamadık*” (K5) derken, bir diğeri “*İletişim büyük ölçüde sağlıklıydı*” (K8) ifadelerini kullanmıştır. Bu durum, temel iletişim altyapısının elektrikli araç yangınlarında da belirli ölçüde yeterli olduğunu göstermektedir. Ancak özellikle büyük ölçekli veya kapalı alanlarda gerçekleşen olaylarda, iletişimde aksaklıklar

yaşandığı yönünde görüşler de bulunmaktadır. Telsiz trafiğinin yoğunlaşması, ekip sayısının artması ve mekânsal sınırlılıklar, iletişimi zorlaştıran etkenler olarak öne çıkmaktadır. Bu durumu bir katılımcı, *“Kalabalık ekip olunca telsiz iletişimi zorlaştı”* (K7) sözleriyle ifade ederken, *“Büyük olaylarda iletişim zaman zaman aksıyor”* (K10) ifadesi bu bulguyu desteklemektedir.

Olay komutası bağlamında ise, bazı katılımcılar özellikle kapalı ve yüksek riskli ortamlarda karar alma sürecinin uzadığını belirtmiştir. Elektrikli araç yangınlarının barındırdığı belirsizlikler, olay komutasının temkinli davranmasına ve kararların gecikmesine yol açabilmektedir. Bir katılımcı bu durumu, *“Kapalı alanda risk çok olduğu için karar almak zaman aldı”* (K7) sözleriyle ifade ederken, bir başka katılımcı *“Olay komutası bazen tereddüt yaşayabiliyor”* (K10) diyerek benzer bir değerlendirmede bulunmuştur. Ayrıca, tek merkezli bir olay komutası yapısının her zaman net biçimde işletilemediği ve farklı ekiplerin eş zamanlı yönlendirilmesinde zorluklar yaşandığı da dile getirilmiştir.

Deneyim ve hazırlık kaynaklı sorunlar incelendiğinde, elektrikli araç yangınına ilk kez müdahale eden personelin organizasyonel süreçlerde daha fazla zorlandığı görülmektedir. Deneyim eksikliği, yalnızca teknik müdahaleyi değil, aynı zamanda organizasyonel karar alma süreçlerini de etkilemektedir. Bu durumu bir katılımcı, *“İlk kez böyle bir yangına girdiğimiz için tereddüt yaşadık”* (K8) sözleriyle ifade ederken, *“Deneyim olmayınca herkes daha temkinli davranıyor”* (K9) ifadesi bu durumu desteklemektedir. Ayrıca, personelin tamamının elektrikli araç yangınları konusunda eğitilmiş olmaması da organizasyonu zorlaştıran bir diğer unsur olarak öne çıkmaktadır. Eğitimlerin kademeli ve sınırlı katılımı ile verilmesi, olay yerinde bilgi düzeyi farklılıklarına yol açabilmektedir. Bir katılımcı, *“Herkes aynı eğitimi almadığı için müdahalede farklar oluyor”* (K11) sözleriyle bu soruna dikkat çekmiştir. Bunun yanında, yazılı ve standart bir protokol eksikliğinin, organizasyonel belirsizlikleri artırdığı da ifade edilmektedir. *“Standart bir prosedür olmadığı için herkes kendi bildiği şekilde hareket ediyor”* (K6) ifadesi, bu durumu açıkça ortaya koymaktadır.

Mekânsal ve operasyonel koşullardan kaynaklanan sorunlar ise, özellikle kapalı otoparklar ve bodrum katlarda gerçekleşen müdahalelerde belirginleşmektedir. Alan darlığı, havalandırma yetersizliği ve erişim güçlüğü, organizasyonel koordinasyonu doğrudan etkileyen faktörler olarak öne çıkmaktadır. Bir katılımcı, *“Kapalı otoparkta manevra alanı*

çok kısıtlı” (K10) derken, *“Bataryaya erişim çok zor oluyor”* (K11) ifadesi bu mekânsal sınırlılıkları somutlaştırmaktadır. Ayrıca, bazı durumlarda olay yerinde oluşan meraklı kalabalığın kontrol edilmesinin de organizasyonel bir yük oluşturduğu belirtilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu bulgular elektrikli araç yangınlarına müdahale sürecinde organizasyonel yapının tamamen işlevsiz olmadığını, ancak bu tür olayların barındırdığı belirsizlikler nedeniyle mevcut organizasyonel reflekslerin zaman zaman zorlandığını göstermektedir. Koordinasyon ve iletişim çoğu durumda sağlanabilmekle birlikte, deneyim eksikliği, eğitim farklılıkları, protokol boşlukları ve mekânsal kısıtlar, müdahalenin ilk aşamalarında aksaklıklara ve gecikmelere yol açabilmektedir. Katılımcı ifadeleri, elektrikli araç yangınlarına müdahalede organizasyonel başarının, yalnızca bireysel tecrübe ve iyi niyete değil; önceden tanımlanmış görev şemalarına, standart olay komutası yapılarına ve kapsamlı eğitimlere dayandırılması gerektiğini açık biçimde ortaya koymaktadır.

Tablo 9. Türkiye’de Elektrikli Araç Yangınlarına Müdahale Hazırlık Düzeyine İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı

Ana Tema	Alt Temalar	Açıklayıcı Kod Tanımı	Katılımcı Kodları	f
Genel Hazırlık Düzeyine İlişkin Algı	Hazırlık düzeyinin yetersiz bulunması	Türkiye genelinde EV yangınlarına yeterince hazır olunmadığı görüşü	K1, K3, K4, K5, K8, K9	6
	Hazırlık düzeyinin çok zayıf bulunması	Mevcut durumun ciddi riskler barındırdığı değerlendirilmesi	K2, K8, K73, K69, K 39, K 22, K 19	2
	Hazırlık düzeyinin orta seviyede görülmesi	Kısmi farkındalık olmakla birlikte eksiklerin fazla olması	K7, K10, K11, K 56, K37, K62	3
Mevcut Uygulamaların Güçlü Yönleri	Tecrübeli ve disiplinli itfaiye personeli	Geleneksel yangınlarda yüksek operasyonel deneyim	K7, K10, K11, K 21, K27, K 33	3
	Temel yangın müdahale altyapısının varlığı	Standart araç, personel ve müdahale kapasitesi	K2, K6, K 41, K49, K55	2
	Büyükşehir teşkilatlarında farkındalık ve eğitim	Eğitim merkezleri ve kurumsal bilgi birikimi	K7, K10, K11	3
	Sahaya dayalı öğrenme ve deneyim kazanımı	İlk müdahalelerle bilgi ve refleks gelişimi	K3, K8, K 28, K 34, K49, K 51, K75	2

Mevcut Uygulamaların Zayıf Yönleri	Elektrikli araçlara özgü ekipman eksikliği	Batarya yangınlarına özel ekipmanların bulunmaması	K1, K2, K3, K4, K5, K6, K8, K9	8
	Ulusal standart ve protokol eksikliği	Kurumlar arası uygulama farklılıkları	K2, K6, K7, K10, K11	5
	Mevzuatın içten yanmalı araçlara göre düzenlenmiş olması	EV yangınlarını kapsayan özel düzenlemelerin yokluğu	K7, K10, K11	3
	Şarj istasyonları ve otopark riskleri	Kapalı alanlarda EV yangınlarına yönelik önlem yetersizliği	K7, K10, K11, K 62, K55, K 49, K30	3
	Eğitimlerin uygulama ağırlıklı olmaması	Teorik bilginin sahaya yeterince yansımaması	K6, K8, K9	3
Ulusal Düzeyde İyileştirme ve Bütünleşme İhtiyacı	Tek çatı altında örgütlenme ihtiyacı	İtfaiye teşkilatlarının merkezi bir yapı altında toplanması	K2, K 16, K26, K 21, K32, K38, K66	1
	Ulusal müdahale standardı geliştirilmesi	Tüm illerde geçerli ortak prosedür ihtiyacı	K7, K10, K11	3
	Kamu, üretici ve yerel yönetim iş birliği ihtiyacı	Çok paydaşlı yaklaşım gerekliliği	K8, K10, K11	3
	Halkın bilinçlendirilmesi gerekliliği	EV kullanıcılarının riskler konusunda eğitilmesi	K8, K9, K 21, K 27, K35, K 42,	2

Türkiye’de elektrikli araç yangınlarına müdahale hazırlık düzeyine ilişkin katılımcı değerlendirmeleri incelendiğinde, genel algının ağırlıklı olarak yetersizlik ve kırılganlık vurgusu etrafında şekillendiği görülmektedir. Katılımcıların büyük bir kısmı, elektrikli araç teknolojilerinin sahada hızla yaygınlaşmasına karşın, yangınlara müdahale kapasitesinin bu dönüşüme eş zamanlı ve sistematik biçimde uyum sağlayamadığını ifade etmektedir. Bu bağlamda hazırlık düzeyi, “yetersiz”, “çok zayıf” ve “orta” gibi farklı kategorilerde değerlendirilmiş olsa da, bu kategorilerin tamamında ortak noktanın ciddi yapısal eksiklikler olduğu dikkat çekmektedir.

Genel hazırlık düzeyini yetersiz bulan katılımcılar, Türkiye genelinde elektrikli araç yangınlarına müdahale konusunda kurumsal ve teknik hazırlığın henüz istenen seviyede olmadığını vurgulamıştır. Bu görüşü dile getiren katılımcılardan biri, “*Türkiye genelinde elektrikli araç yangınlarına yeterince hazır olduğumuzu düşünmüyorum*” (K4) ifadesini kullanırken, bir diğeri “*Hazırlık düzeyi mevcut risklere göre çok geride*” (K8) diyerek

mevcut durumu eleştirel biçimde değerlendirmiştir. Bu ifadeler, elektrikli araç yangınlarının artık istisnai değil, öngörülebilir bir risk hâline gelmesine rağmen, hazırlık düzeyinin hâlen reaktif bir anlayışla şekillendiğini göstermektedir. Bazı katılımcılar ise hazırlık düzeyini çok zayıf olarak nitelendirmiş ve mevcut durumun ciddi güvenlik riskleri barındırdığına dikkat çekmiştir. Bu gruptaki katılımcılar, özellikle batarya yangınlarının doğası gereği uzun süren, yeniden alevlenme riski taşıyan ve kimyasal tehlikeler barındıran olaylar olduğunu; buna karşın mevcut hazırlığın bu riskleri karşılayacak düzeyde olmadığını ifade etmiştir. Bir katılımcının “*Mevcut durum ciddi riskler barındırıyor*” (K2) ifadesi, bu kaygının en net yansımalarından biridir. Bu tür değerlendirmeler, hazırlık eksikliğinin yalnızca teknik değil, insan sağlığı ve kamu güvenliği açısından da kritik sonuçlar doğurabileceğini düşündürmektedir.

Hazırlık düzeyini orta seviyede değerlendiren katılımcılar ise, Türkiye’de belirli bir farkındalık oluştuğunu kabul etmekle birlikte, eksiklerin güçlü yönlerle kıyasla daha baskın olduğunu belirtmiştir. Bu görüşü savunan katılımcılar, özellikle büyükşehir teşkilatlarında eğitim ve farkındalık çalışmalarının başladığını, ancak bu durumun ülke geneline homojen biçimde yayılmadığını ifade etmiştir. Bir katılımcı, “*Bir farkındalık var ama hazırlık tam değil*” (K7) sözleriyle bu durumu özetlerken, bir diğeri “*Bazı yerlerde ilerleme var ama genel tablo yeterli değil*” (K11) ifadesini kullanmıştır. Bu bulgular, hazırlık düzeyinin parçalı ve eşitsiz bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Mevcut uygulamaların güçlü yönleri incelendiğinde, katılımcıların öncelikle Türkiye’deki itfaiye teşkilatlarının tecrübeli ve disiplinli personeline vurgu yaptığı görülmektedir. Geleneksel yangınlara müdahalede yüksek operasyonel deneyime sahip olan personelin, elektrikli araç yangınlarında da belirli bir adaptasyon kapasitesine sahip olduğu ifade edilmektedir. Bu durumu bir katılımcı, “*İtfaiye personelimiz tecrübeli ve disiplinli*” (K10) sözleriyle dile getirirken, “*Yangın müdahalesi konusunda ciddi bir tecrübemiz var*” (K7) ifadesi bu görüşü desteklemektedir. Bu bulgular, insan kaynağının Türkiye’deki en önemli güçlü yönlerden biri olduğunu göstermektedir. Bir diğer güçlü yön olarak, temel yangın müdahale altyapısının varlığı öne çıkmaktadır. Standart araçlar, personel kapasitesi ve genel müdahale organizasyonu, elektrikli araç yangınlarına müdahalede tamamen sıfırdan bir yapı kurulmadığını göstermektedir. Bir katılımcı, “*Araç ve personel açısından temel altyapımız mevcut*” (K6) ifadesiyle bu durumu belirtmiştir. Bununla birlikte, büyükşehir teşkilatlarında farkındalık ve eğitim çalışmalarının daha ileri düzeyde olduğu, bu kurumlarda

kurumsal bilgi birikiminin görece daha fazla olduğu da katılımcılar tarafından dile getirilmiştir. “*Büyükşehirlerde bu konu daha fazla gündemde*” (K11) ifadesi, hazırlık düzeyindeki bölgesel farklılıkları ortaya koymaktadır. Ayrıca, bazı katılımcılar sahaya dayalı öğrenme ve deneyim kazanımını güçlü bir yön olarak değerlendirmiştir. İlk müdahalelerle birlikte personelin bilgi ve refleks geliştirdiği, her olayın bir öğrenme fırsatı sunduğu ifade edilmiştir. Ancak bu durum, güçlü bir yön olarak görülmekle birlikte, aynı zamanda kurumsal eksikliklerin deneyim yoluyla telafi edilmeye çalışıldığını da göstermektedir.

Mevcut uygulamaların zayıf yönleri ise katılımcı ifadelerinde çok daha yoğun ve ayrıntılı biçimde dile getirilmiştir. En baskın zayıflık alanı, elektrikli araçlara özgü ekipman eksikliği olarak öne çıkmaktadır. Katılımcıların büyük çoğunluğu, batarya yangınlarına özel söndürme ekipmanlarının bulunmadığını veya çok sınırlı olduğunu ifade etmiştir. Bu durumu bir katılımcı, “*Elektrikli araç yangınlarına özel ekipmanımız yok*” (K1) sözleriyle dile getirirken, bir diğeri “*Batarya yangınları için özel bir donanım bulunmuyor*” (K9) ifadesini kullanmıştır. Bu bulgu, önceki sorularda ortaya konan ekipman eksikliği temasını ulusal hazırlık düzeyine taşımaktadır.

Ulusal standart ve protokol eksikliği de önemli bir zayıf yön olarak dikkat çekmektedir. Kurumlar arası uygulama farklılıkları, elektrikli araç yangınlarına müdahalede uygulama birliğini zorlaştırmaktadır. Bir katılımcı, “*Her il kendi imkânına göre hareket ediyor*” (K7) diyerek bu sorunu dile getirirken, “*Ortak bir prosedür yok*” (K10) ifadesi bu görüşü pekiştirmektedir. Ayrıca mevcut mevzuatın büyük ölçüde içten yanmalı araçlara göre düzenlenmiş olması, elektrikli araç yangınlarını kapsayan özel düzenlemelerin eksikliğini beraberinde getirmektedir.

Şarj istasyonları ve kapalı otoparklar, katılımcılar tarafından yüksek riskli alanlar olarak değerlendirilmiş; bu alanlara yönelik önlemlerin yetersiz olduğu belirtilmiştir. “*Kapalı otoparklar büyük risk*” (K11) ve “*Şarj istasyonları için özel bir önlem yok*” (K10) ifadeleri, mekânsal risklerin ulusal hazırlık düzeyinde yeterince ele alınmadığını göstermektedir. Ayrıca eğitimlerin çoğunlukla teorik düzeyde kalması ve uygulama ağırlığının düşük olması da zayıf yönler arasında sıklıkla vurgulanmıştır.

Son olarak, katılımcı ifadeleri ulusal düzeyde iyileştirme ve bütünleşme ihtiyacını açık biçimde ortaya koymaktadır. Bazı katılımcılar, itfaiye teşkilatlarının daha merkezi bir

yapı altında örgütlenmesi gerektiğini savunurken, diğerleri ulusal ölçekte geçerli ortak müdahale standartlarının geliştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. “Ulusal bir standart olmadan bu iş yürümez” (K11) ifadesi bu ihtiyacı açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca kamu kurumları, araç üreticileri ve yerel yönetimler arasında iş birliği ile halkın bilinçlendirilmesi gerekliliği de katılımcılar tarafından dile getirilmiştir.

Tablo 10. Batarya Yangınlarına Müdahalede Güvenlik Açısından Kritik Aşamalara İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı

Ana Tema	Alt Temalar	Açıklayıcı Kod Tanımı	Katılımcı Kodları	f
Bataryaya İlk Yaklaşma ve Müdahale Anı	Bataryaya ilk temasın en riskli aşama olması	Müdahalenin ilk anında belirsizlik ve yüksek tehlike	K7, K9, K10, K11	4
	Bataryanın konumunun net olmaması	Araçtan araca değişen batarya yerleşimi	K7, K10, K11	3
	Kapalı alanlarda ilk müdahalenin riskli olması	Otopark ve bodrum katlarda güvenlik zafiyeti	K7, K10, K11, K33, K 48	3
Termal Kaçak, Ani Parlama ve Patlama Riski	Termal kaçak sürecinin kontrol edilememesi	Isının zincirleme hücrelere yayılması	K1, K4, K5, K7, K10	5
	Ani parlama (flash) riski	Aniden yükselen alev ve sıcaklık	K1, K4, K5	3
	Batarya patlama ihtimali	Hücre patlamaları ve parça savrulması	K2, K7, K10	3
Toksik Gaz ve Kimyasal Maruziyet	Yoğun toksik duman oluşumu	Zehirli gazların görüş ve solunumu tehdit etmesi	K1, K3, K4, K7, K8, K9, K10	7
	Kimyasal gazların bilinmeyen etkileri	Gaz türlerinin ve etkilerinin tam öngörülememesi	K8, K9, K75, K69, K74, K60	2
	Solunum cihazı olmadan yaklaşmanın tehlikesi	THSC kullanılmadığında yüksek risk	K4, K10, K11	3
Elektriksel Riskler ve Yeniden Alevlenme	Yüksek voltaj ve elektrik kaçağı riski	Akımın tamamen kesilememesi	K2, K8, K9, K10	4
	Söndürme sonrası yeniden alevlenme	Bataryanın içten içe aktif kalması	K7, K10, K39, K 47, K55, K 59, K62	2
	Uzun süreli gözetim gerekliliği	Söndürme sonrası izleme ihtiyacı	K7, K10, K11	3

Batarya yangınlarına müdahale sürecinde güvenlik açısından en kritik görülen aşamalara ilişkin katılımcı değerlendirmeleri, bu tür yangınların klasik araç yangınlarından

farklı olarak tek bir “kritik an”dan ziyade, müdahale sürecinin tamamına yayılan çoklu risk eşikleri barındırdığını ortaya koymaktadır. Ancak katılımcı ifadeleri incelendiğinde, riskin en yoğun biçimde algılandığı aşamaların özellikle bataryaya ilk yaklaşma ve ilk müdahale anı, termal kaçak ve ani parlama süreçleri, toksik gaz ve kimyasal maruziyet ile elektriksel riskler ve yeniden alevlenme ihtimali etrafında yoğunlaştığı görülmektedir.

Bataryaya ilk yaklaşma ve müdahale anı, katılımcıların önemli bir bölümü tarafından en kritik ve en belirsiz aşama olarak tanımlanmaktadır. Müdahalenin ilk anlarında, bataryanın durumu, hasar seviyesi ve termal kaçak sürecinin başlayıp başlamadığına ilişkin net bir bilgiye sahip olunmaması, güvenlik riskini en üst düzeye çıkarmaktadır. Bu durumu bir katılımcı, *“En riskli an, bataryaya ilk yaklaştığımız an”* (K10) sözleriyle ifade ederken, bir diğeri *“İlk müdahalede neyle karşılaşacağınızı bilmiyorsunuz”* (K7) diyerek belirsizlik vurgusunu öne çıkarmıştır. Bu ifadeler, batarya yangınlarında ilk yaklaşmanın yalnızca teknik değil, aynı zamanda karar verme ve risk değerlendirme açısından da kritik bir eşik olduğunu göstermektedir. Bu aşamayı daha da riskli hâle getiren unsurlardan biri, bataryanın araçtan araca değişen konumunun net olmamasıdır. Katılımcılar, farklı marka ve modellerde batarya yerleşiminin değişiklik göstermesinin, müdahale sırasında hangi noktaya yaklaşılabileceği konusunda belirsizlik yarattığını ifade etmiştir. Bu durumu bir katılımcı, *“Bataryanın tam olarak nerede olduğunu her araçta bilmiyorsunuz”* (K11) sözleriyle dile getirirken, bir diğeri *“Araçtan araca batarya yerleri değişiyor, bu da ilk müdahaleyi riskli yapıyor”* (K7) ifadesini kullanmıştır. Bu bulgu, standart dışı batarya yerleşimlerinin güvenlik açısından önemli bir risk faktörü olduğunu ortaya koymaktadır.

Katılımcılar ayrıca, kapalı alanlarda yapılan ilk müdahalelerin güvenlik açısından çok daha yüksek risk taşıdığını vurgulamıştır. Özellikle kapalı otoparklar ve bodrum katlarda, sınırlı alan, havalandırma yetersizliği ve kaçış yollarının kısıtlı olması, ilk yaklaşma anındaki riski katlayarak artırmaktadır. Bu durumu bir katılımcı, *“Kapalı otoparkta ilk müdahale çok daha tehlikeli”* (K10) sözleriyle ifade ederken, *“Bodrum katlarda hem duman hem de patlama riski çok yüksek”* (K11) ifadesi bu görüşü desteklemektedir.

Termal kaçak, ani parlama ve patlama riski, katılımcıların neredeyse tamamı tarafından müdahale sürecinin en tehlikeli teknik boyutu olarak değerlendirilmiştir. Termal kaçak sürecinin kontrol altına alınamaması durumunda, batarya hücreleri arasında zincirleme bir ısı artışı meydana gelmekte ve bu durum ani alevlenmelere yol açabilmektedir. Bu durumu bir katılımcı, *“Termal kaçak başladığında kontrol etmek çok*

zor” (K7) sözleriyle dile getirirken, “*Isı bir hücreden diğerine geçiyor ve yangın büyüyor*” (K5) ifadesi, zincirleme etkiyi açıkça ortaya koymaktadır. Bu süreç, müdahale eden personel için öngörülemez ve ani tehlikeler barındırmaktadır.

Ani parlama (flash) riski, özellikle ilk müdahale ve soğutma aşamalarında ortaya çıkan bir diğer kritik tehlike olarak vurgulanmıştır. Katılımcılar, alevlerin bir anda yükselmesi ve sıcaklığın ani şekilde artmasının, personelin güvenliğini doğrudan tehdit ettiğini belirtmiştir. Bu durumu bir katılımcı, “*Bir anda parlama oluyor, mesafe çok önemli*” (K4) sözleriyle ifade ederken, “*Ani alev yükselmesi personeli hazırlıksız yakalayabiliyor*” (K1) ifadesi bu riski somutlaştırmaktadır. Patlama ihtimali ise, özellikle batarya hücrelerinin basınç altında kalması durumunda ortaya çıkmakta ve parça savrulması gibi ikincil tehlikeleri beraberinde getirmektedir. “*Batarya hücreleri patlayabiliyor*” (K2) ve “*Parça savrulması riski var*” (K10) gibi ifadeler, bu riskin sahada ciddiyle algılandığını göstermektedir.

Toksik gaz ve kimyasal maruziyet, katılımcılar tarafından güvenlik açısından en yaygın ve süreklilik arz eden risk alanı olarak tanımlanmaktadır. Batarya yangınlarında açığa çıkan yoğun ve zehirli duman, yalnızca solunum riskini değil, aynı zamanda görüş kaybını da beraberinde getirmektedir. Bu durumu bir katılımcı, “*Duman çok yoğun ve zehirli*” (K7) sözleriyle ifade ederken, bir diğeri “*Gaz hem görüşü kapatıyor hem de solunumu tehlikeye sokuyor*” (K9) diyerek iki yönlü riske dikkat çekmiştir. Bazı katılımcılar ise gazların türü ve etkilerinin tam olarak bilinmemesini ayrı bir risk unsuru olarak değerlendirmiştir. “*Hangi gaz çıktığını tam bilmiyoruz*” (K8) ifadesi, kimyasal belirsizliğin yarattığı kaygıyı açıkça yansıtmaktadır.

Solunum cihazı olmadan müdahale edilmesinin son derece tehlikeli olduğu, katılımcılar arasında ortak bir görüş olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durumu bir katılımcı, “*Solunum cihazı olmadan yaklaşmak büyük risk*” (K10) sözleriyle ifade ederken, “*THSC olmadan batarya yangınına girmek mümkün değil*” (K11) ifadesi bu görüşü pekiştirmektedir. Bu bulgular, solunum güvenliğinin batarya yangınlarında kritik bir eşik olduğunu göstermektedir.

Elektriksel riskler ve yeniden alevlenme ihtimali, müdahale sürecinin söndürme sonrasına da yayılan güvenlik riskleri arasında yer almaktadır. Katılımcılar, yüksek voltaj ve elektrik kaçağı riskinin, özellikle bataryanın tamamen devre dışı bırakılıp bırakılmadığının

net olmadığı durumlarda ciddi bir tehlike oluşturduğunu ifade etmiştir. “Akımın tamamen kesildiğinden emin olamıyorsunuz” (K9) ve “Yüksek voltaj her zaman risk” (K10) ifadeleri, bu belirsizliği ortaya koymaktadır.

Söndürme sonrası yeniden alevlenme ihtimali ise, katılımcılar tarafından sıklıkla vurgulanan bir diğer kritik aşamadır. Bataryanın içten içe aktif kalması, yangının söndürüldükten sonra tekrar alevlenmesine yol açabilmektedir. Bu durumu bir katılımcı, “Yangın söndükten sonra bile tekrar alevlenebiliyor” (K7) sözleriyle ifade ederken, “Söndürme sonrası mutlaka uzun süre gözetim gerekiyor” (K11) ifadesi, müdahalenin olay yerinde bitmediğini göstermektedir. Bu bağlamda uzun süreli gözetim gerekliliği, batarya yangınlarının güvenlik açısından zamana yayılan bir risk profiline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu bulgular batarya yangınlarına müdahale sürecinde güvenliğin, tek bir aşamaya indirgenemeyecek kadar çok boyutlu ve dinamik olduğunu göstermektedir. Risk, bataryaya ilk yaklaşımdan başlayarak, termal kaçak süreci, toksik gaz maruziyeti, elektriksel tehlikeler ve söndürme sonrası yeniden alevlenme ihtimali boyunca devam etmektedir. Katılımcı ifadeleri, batarya yangınlarında güvenliğin sağlanabilmesi için önceden tanımlanmış müdahale mesafeleri, standart yaklaşma prosedürleri, sürekli gaz ve sıcaklık izleme, uzun süreli gözetim ve yüksek düzeyde eğitilmiş personel gerekliliğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, batarya yangınlarının güvenlik boyutunun, klasik yangın güvenliği anlayışının ötesinde, süreç temelli ve bütüncül bir risk yönetimi yaklaşımı gerektirdiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 11. Elektrikli Araç Batarya Yangınlarında Riskleri Azaltmaya Yönelik Öncelikli Teknik, Eğitsel ve Yönetmelik Adımlara İlişkin Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı

Ana Tema	Alt Temalar	Açıklayıcı Kod Tanımı	Katılımcı Kodları	f
Teknik ve Ekipman Temelli Önlemler	Batarya yangınlarına özgü söndürme maddesi geliştirilmesi	Lityum-iyon bataryalar için özel solüsyon ihtiyacı	K1, K3, K8, K9, K10	5
	Bataryaya doğrudan müdahale edilebilecek özel ekipmanlar	Batarya delme, kapsülleme, izolasyon sistemleri	K4, K7, K10, K11	4
	Yeniden alevlenmeyi önleyici soğutma ve izleme sistemleri	Uzun süreli soğutma, termal kamera kullanımı	K7, K10, K11	3

	Elektrikli araçlara özgü KKD geliştirilmesi	Elektriksel ve kimyasal risklere uygun KKD ihtiyacı	K6, K8, K10	3
	Şarj altyapısı ve batarya tasarımında güvenlik iyileştirmeleri	Bataryaların çıkarılabilir olması, güvenli şarj	K1, K5, K12, K33, K 39, K47	3
Eğitsel ve Kapasite Geliştirici Adımlar	Sürekli ve uygulamalı hizmet içi eğitimler	Tatbikat, senaryo ve gerçek araç temelli eğitim	K2, K6, K7, K8, K9, K10, K11	7
	Eğitimlerin tüm personeli kapsayacak şekilde yaygınlaştırılması	Kısmi değil, kurumsal geneli kapsayan eğitim	K7, K10, K11	3
	Üretici firmalarla ortak eğitim ve tatbikatlar	Araç yapısına özgü müdahale bilgisinin artırılması	K6, K10, K11	3
	Halkın ve EV kullanıcılarının bilinçlendirilmesi	Kullanıcı kaynaklı risklerin azaltılması	K8, K9, K 63, K27, K15	2
Yönetmelik, Mevzuatsal ve Yapısal Düzenlemeler	Ulusal düzeyde standart müdahale protokolü oluşturulması	Tüm teşkilatlar için ortak prosedür	K7, K10, K11, K62, K58, K34	3
	Mevcut mevzuatın elektrikli araçlara göre revize edilmesi	BYKHY ve ilgili yönetmeliklerin güncellenmesi	K4, K7, K10, K11	4
	Şarj istasyonları ve kapalı otoparklara yönelik özel düzenlemeler	Bodrum kat kısıtları, havalandırma, mesafe kuralları	K7, K10, K11	3
	Kurumlar arası koordinasyon ve merkezi yapı ihtiyacı	Tek çatı altında örgütlenme ve bilgi paylaşımı	K2, K30, K26, K 42, K47	1
	Olay komuta sistemlerinin EV yangınlarına göre güncellenmesi	Çok disiplinli ve teknik karar mekanizmaları	K7, K10, K66, K72, K45, K 48	2

Elektrikli araç yangınlarına ilişkin risklerin azaltılmasına yönelik katılımcı değerlendirmeleri incelendiğinde, önerilerin teknik/ekipman temelli önlemler, eğitsel ve kapasite geliştirici adımlar ile yönetmelik, mevzuatsal ve yapısal düzenlemeler olmak üzere üç ana düzlemde yoğunlaştığı görülmektedir. Katılımcıların vurguları, risklerin yalnızca sahadaki bireysel müdahale hatalarından kaynaklanmadığını; aksine, teknoloji–eğitim–yönetim ekseninde bütünlük bir dönüşüm ihtiyacı bulunduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır.

Teknik ve ekipman temelli önlemler bağlamında, katılımcıların en güçlü ortak vurgularından biri, batarya yangınlarına özgü söndürme maddelerinin geliştirilmesi gerekliliğidir. Mevcut yangın söndürme ajanlarının lityum-iyon batarya yangınlarında ancak sınırlı etki gösterebildiği ve çoğu zaman yalnızca alevi bastırmaya yönelik olduğu ifade edilmektedir. Bu durumu bir katılımcı, *“Batarya yangınları için klasik söndürme maddeleri yeterli olmuyor”* (K10) sözleriyle dile getirirken, bir diğeri *“Lityum-iyon bataryalar için özel solüsyonlar geliştirilmesi şart”* (K3) ifadesiyle bu ihtiyacı vurgulamıştır. Bu bulgular, söndürme stratejisinin “yangını söndürme”den ziyade termal kaçak zincirini kırmaya odaklanması gerektiğine işaret etmektedir.

Bataryaya doğrudan müdahale edilebilecek özel ekipmanların geliştirilmesi de katılımcıların sıklıkla dile getirdiği bir diğer öncelikli ihtiyaçtır. Batarya delme, kapsülleme veya izolasyon sistemleri gibi teknolojilerin, müdahaleyi hem daha güvenli hem de daha etkili hâle getireceği ifade edilmektedir. Bir katılımcı bu durumu, *“Bataryaya güvenli şekilde müdahale edebilecek özel ekipmanlara ihtiyaç var”* (K7) sözleriyle belirtirken, *“Bataryayı izole edebilecek sistemler olmalı”* (K11) ifadesi, bu teknolojilerin risk azaltıcı potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu tür ekipmanların yokluğu, müdahalenin uzun sürmesine ve personelin risk altında kalmasına yol açmaktadır.

Yeniden alevlenmeyi önleyici soğutma ve izleme sistemleri, katılımcılar tarafından özellikle vurgulanan bir diğer teknik önlem alanıdır. Batarya yangınlarının söndürme sonrası da aktif risk barındırması, uzun süreli soğutma ve termal izleme gereksinimini gündeme getirmektedir. Bu bağlamda bir katılımcı, *“Yangın söndükten sonra da bataryayı izlemek gerekiyor”* (K7) derken, *“Termal kamera gibi izleme sistemleri şart”* (K10) ifadesiyle teknolojik destek ihtiyacını vurgulamıştır. Bu bulgular, müdahalenin yalnızca olay anına değil, olay sonrası güvenliğe de odaklanması gerektiğini göstermektedir.

Katılımcıların dikkat çektiği bir diğer teknik alan, elektrikli araçlara özgü kişisel koruyucu donanımların geliştirilmesidir. Mevcut KKD’lerin elektriksel ve kimyasal risklere karşı kısmen koruma sağladığı; ancak batarya yangınlarının özgül tehlikeleri karşısında yetersiz kalabildiği ifade edilmektedir. Bir katılımcı, *“Elektrikli araç yangınları için özel tasarlanmış KKD’ler gerekli”* (K8) sözleriyle bu ihtiyacı dile getirirken, *“Yüksek voltaj ve kimyasal riskler için mevcut ekipmanlar sınırlı”* (K6) ifadesi, bu sorunu somutlaştırmaktadır. Bunun yanı sıra, bazı katılımcılar şarj altyapısı ve batarya tasarımında güvenlik odaklı iyileştirmelerin de risk azaltımında önemli bir rol oynayacağını belirtmiştir.

Bataryaların çıkarılabilir olması, şarj süreçlerinin daha güvenli hâle getirilmesi ve araç tasarımında müdahaleyi kolaylaştıran çözümler, riskin kaynağında azaltılması açısından kritik görülmektedir. Bu durumu bir katılımcı, *“Bataryaların daha güvenli tasarlanması gerekiyor”* (K1) sözleriyle ifade etmiştir.

Eğitsel ve kapasite geliştirici adımlar bağlamında, katılımcıların en güçlü ortak görüşü, sürekli ve uygulamalı hizmet içi eğitimlerin artırılması gerektiği yönündedir. Teorik bilginin tek başına yeterli olmadığı; gerçek araç, batarya ve senaryo temelli tatbikatların müdahale kapasitesini belirgin biçimde artıracığı ifade edilmektedir. Bu durumu bir katılımcı, *“Tatbikat olmadan bu riskler yönetilemez”* (K9) sözleriyle dile getirirken, *“Gerçek araç üzerinde uygulama şart”* (K10) ifadesi bu görüşü desteklemektedir. Bu bulgular, eğitimin yalnızca bilgi aktarımı değil, davranış ve refleks geliştirme aracı olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Eğitimlerin tüm personeli kapsayacak şekilde yaygınlaştırılması da önemli bir ihtiyaç olarak öne çıkmaktadır. Kısmi katılımın, sahada bilgi düzeyi farklılıklarına ve organizasyonel belirsizliklere yol açtığı ifade edilmektedir. Bir katılımcı, *“Herkes aynı eğitimi almalı”* (K11) diyerek bu gerekliliği vurgulamıştır. Ayrıca üretici firmalarla ortak eğitim ve tatbikatların, araç yapısına özgü müdahale bilgisini artıracığı belirtilmiştir. *“Araç üreticileriyle birlikte eğitim yapılmalı”* (K10) ifadesi, kamu-özel sektör iş birliğinin önemine işaret etmektedir.

Katılımcılar, risklerin yalnızca müdahale ekipleriyle sınırlı olmadığını; elektrikli araç kullanıcılarının ve toplumun da bilinçlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Kullanıcı kaynaklı hataların ve yanlış davranışların riskleri artırabildiği ifade edilmektedir. Bu durumu bir katılımcı, *“Kullanıcılar da bu riskleri bilmeli”* (K8) sözleriyle dile getirmiştir.

Yönetmelik, mevzuatsal ve yapısal düzenlemeler boyutunda ise, katılımcı ifadeleri risk azaltımının kurumsal ve ulusal düzeyde ele alınması gerektiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Ulusal düzeyde standart müdahale protokollerinin oluşturulması, farklı iller ve teşkilatlar arasında uygulama birliğinin sağlanması açısından temel bir gereklilik olarak görülmektedir. Bir katılımcı, *“Ulusal bir standart olmadan bu riskler yönetilemez”* (K11) sözleriyle bu ihtiyacı net biçimde ifade etmiştir.

Mevcut mevzuatın elektrikli araç teknolojilerine göre revize edilmesi de katılımcılar tarafından sıklıkla vurgulanan bir diğer önceliktir. Yangın yönetmeliklerinin büyük ölçüde

içten yanmalı araçlar esas alınarak hazırlanmış olması, elektrikli araç yangınlarını kapsayan özel düzenlemelerin eksikliğini beraberinde getirmektedir. Bu durumu bir katılımcı, “*Mevzuat elektrikli araçlara göre güncellenmeli*” (K7) sözleriyle dile getirmiştir. Şarj istasyonları ve kapalı otoparklara yönelik özel düzenlemeler de risk azaltımı açısından kritik görülmektedir. “*Bodrum katlar ciddi risk*” (K10) ifadesi, mekânsal düzenlemelerin önemini vurgulamaktadır.

Son olarak, bazı katılımcılar kurumlar arası koordinasyonun güçlendirilmesi ve merkezi bir yapı altında bilgi paylaşımının artırılması gerektiğini belirtmiştir. Olay komuta sistemlerinin elektrikli araç yangınlarının teknik ve çok disiplinli yapısına uygun şekilde güncellenmesi de yönetsel bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. “*Olay komuta sistemi bu yangınlara göre yeniden düşünülmeli*” (K7) ifadesi, organizasyonel dönüşüm ihtiyacını açıkça ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu bulgular elektrikli araç yangınlarına ilişkin risklerin azaltılmasının, tek boyutlu çözümlerle mümkün olmadığını; teknik donanım, nitelikli ve sürekli eğitim ile güçlü bir yönetsel ve mevzuatsal çerçevenin eş zamanlı olarak geliştirilmesini gerektirdiğini göstermektedir. Katılımcı ifadeleri, risk azaltımının reaktif müdahalelerle değil, önleyici, standartlaştırılmış ve çok paydaşlı bir risk yönetimi yaklaşımıyla ele alınması gerektiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, elektrikli araç yangınlarına yönelik politika ve uygulamaların, yalnızca itfaiye teşkilatlarının değil, kamu kurumları, üreticiler, yerel yönetimler ve toplumun tamamını kapsayan bütüncül bir güvenlik ekosistemi anlayışıyla yeniden yapılandırılması gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 12. Elektrikli Araç Yangınlarına İlişkin Mevzuat, Rehber ve Talimatnamelerde Algılanan Eksiklikler ve Revizyon İhtiyacına Yönelik Tema, Alt Tema ve Frekans Dağılımı

Ana Tema	Alt Temalar	Açıklayıcı Kod Tanımı	Katılımcı Kodları	f
Mevzuatın Güncelliği ve Yeterliliği	Mevcut mevzuatın yetersiz bulunması	EV yangınlarını kapsayacak düzeyde düzenleme olmaması	K1, K2, K3, K4, K5, K8	6
	Mevzuatın tamamen revize edilmesi gerekliliği	Parça parça değil, bütüncül revizyon ihtiyacı	K1, K3, K4, K5	4
	Mevzuatta eksik görmeme / farkında olmama	Mevzuat bilgisine sahip olmama veya sorun görmeme	K6, K9, K41, K75	2

Elektrikli Araçlara Özgü Düzenleme Boşlukları	EV yangınlarına özel başlık bulunmaması	İçten yanmalı araç odaklı düzenleme	K2, K6, K7, K10, K11	5
	Batarya yangınlarına özgü prosedür eksikliği	Termal kaçak, yeniden alevlenme vb. süreçlerin tanımsızlığı	K7, K10, K11, K 33, K62	3
	Yangın sonrası süreçlerin tanımlanmamış olması	Taşıma, karantina, depolama, gözetim belirsizliği	K7, K10, K 28, K52,	2
Uygulama ve Saha Gerçekliğiyle Uyumsuzluk	Mevzuatın sahadaki riskleri yansıtmaması	Teorik düzenlemelerin pratikle örtüşmemesi	K2, K7, K10	3
	Saha deneyimlerinin mevzuata yansımaması	İtfaiye geri bildirimlerinin dikkate alınmaması	K2, K7, K 19, K 17, K48	2
	Standart eksikliğinin kurumlar arası farklılık yaratması	İl/kurum bazlı uygulama çeşitliliği	K7, K10, K11	3
Yapısal, Teknik ve Eğitsel Düzenleme İhtiyacı	Şarj istasyonları ve kapalı otoparklara yönelik eksiklik	Bodrum kat, havalandırma ve mesafe sorunları	K7, K10, K11	3
	Batarya yangınlarına özel teknik standart eksikliği	Özel söndürme ekipmanı ve araç tanımsızlığı	K8, K10	2
	Mevzuatta eğitim zorunluluğunun yer almaması	EV yangınlarına özel hizmet içi eğitim	K4, K10, K1	

Elektrikli araç yangınlarına ilişkin mevcut mevzuat, rehber ve talimatnamelerin yeterliliğine dair katılımcı görüşleri, Türkiye’de bu alandaki düzenleyici çerçevenin güncellik, kapsam ve uygulanabilirlik boyutlarında önemli boşluklar içerdiğine yönelik güçlü bir algıya işaret etmektedir. Bulgular, mevzuatın yalnızca “eksik” olmasından ziyade, elektrikli araç yangınlarının özgül risklerini (termal kaçak, yeniden alevlenme, toksik gaz maruziyeti, yüksek voltaj riski ve olay sonrası güvenli süreç yönetimi gibi) kavramsal olarak bile yeterince tanımlamadığı; dolayısıyla saha uygulamalarını yönlendirme kapasitesinin sınırlı kaldığı yönünde yoğunlaşmaktadır. Analiz dört ana eksen etrafında şekillenmektedir: mevzuatın güncelliği ve yeterliliği, elektrikli araçlara özgü düzenleme boşlukları, uygulama ve saha gerçekliğiyle uyumsuzluk ile yapısal, teknik ve eğitsel düzenleme ihtiyacı.

İlk olarak, mevzuatın güncelliği ve yeterliliğine ilişkin algılar incelendiğinde, katılımcıların çoğunluğunun mevcut mevzuatı elektrikli araç yangınlarını kapsayacak düzeyde yetersiz bulduğu görülmektedir. Bu katılımcılar, mevzuatın esasen içten yanmalı araçların risk profiline göre şekillendiğini; elektrikli araçların batarya temelli yangın dinamiklerini dikkate almadığını vurgulamaktadır. Bu değerlendirme, yalnızca “mevzuatta

bazı boşluklar var” şeklinde sınırlı bir eleştiri değil; elektrikli araçların yaygınlaşması karşısında mevcut düzenleyici çerçevenin stratejik bir gecikme yaşadığına yönelik bir tespit niteliğindedir. Bu durumu bir katılımcı, “*Mevcut mevzuat elektrikli araç yangınlarını kapsayacak düzeyde değil*” (K1) sözleriyle dile getirirken, bir diğeri “*Elektrikli araç yangınlarına yönelik bir düzenleme görmüyoruz*” (K3) ifadesini kullanmıştır. Bu tür ifadeler, mevzuatın yalnızca sahada “yetersiz” hissedilmediğini; aynı zamanda elektrikli araç yangınlarının mevzuat düzleminde tanınma ve temsil edilme sorunu yaşadığını göstermektedir.

Katılımcıların bir kısmı ise mevzuatın parça parça eklemelerle değil, bütüncül biçimde revize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu vurgu, mevzuatın yalnızca bir-iki maddelik güncellemelerle “iyileştirilebileceği” düşüncesinin yetersiz olduğunu; elektrikli araç yangınlarının çok boyutlu risk yapısı nedeniyle, düzenleyici sistemin yeniden kurgulanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu durumu bir katılımcı, “*Mevzuatın tamamen revize edilmesi gerekiyor*” (K4) sözleriyle ifade ederken, bir diğeri “*Parça parça değil, komple ele alınmalı*” (K5) diyerek revizyonun kapsamına ilişkin görüşünü netleştirmiştir. Burada dikkat çekici olan, revizyon talebinin yalnızca teknik detaylar değil; aynı zamanda görev, sorumluluk, süreç yönetimi ve standardizasyon gibi yönetsel boyutları da kapsayacak genişlikte dile getirilmesidir. Bununla birlikte, az sayıda katılımcının mevzuatta eksik görmediğini veya mevzuat hakkında yeterli farkındalığa sahip olmadığını ifade etmesi de önemlidir. Bu durum, mevzuat sorununu yalnızca düzenleyici metinlerin içeriğiyle açıklamayı güçleştirmekte; aynı zamanda sahadaki personelin mevzuat bilgisi, erişimi ve kurumsal bilgilendirme mekanizmaları açısından da bir eksene işaret etmektedir. Bir katılımcının “*Mevzuatta bir eksiklik görmedim*” (K6) ifadesi, bir yandan kişisel değerlendirmeyi yansıtırken, diğer yandan mevzuatın içerik düzeyi kadar, mevzuatın sahaya nasıl aktarıldığı ve personelde nasıl içselleştirildiği sorusunu gündeme getirmektedir.

İkinci olarak, elektrikli araçlara özgü düzenleme boşlukları boyutunda katılımcı ifadeleri, mevzuatta elektrikli araç yangınlarına özel başlıkların bulunmamasını temel bir sorun olarak ortaya koymaktadır. Bu durum, elektrikli araç yangınlarının içten yanmalı araç yangınlarıyla aynı çerçevede ele alınmasına ve dolayısıyla batarya temelli yangınların özgül gereksinimlerinin görünmezleşmesine yol açmaktadır. Bir katılımcı, “*EV yangınlarına özel bir başlık yok*” (K10) derken, bir diğeri “*Düzenlemeler hâlâ içten yanmalı araç odaklı*” (K2) ifadesini kullanmıştır. Bu değerlendirmeler, mevzuatın kavramsal düzeyde elektrikli araç yangınlarını ayrı bir risk sınıfı olarak ele almadığını göstermektedir.

Batarya yangınlarına özgü prosedür eksikliği, katılımcıların özellikle vurguladığı bir diğer boşluktur. Termal kaçak, hücre zincirlemesi, yeniden alevlenme, toksik gaz ve kimyasal risk gibi süreçlerin mevzuatta tanımlanmamış olması, sahada hangi adımların standart kabul edileceği konusunda belirsizlik yaratmaktadır. Bu durumu bir katılımcı, *“Termal kaçak ve yeniden alevlenme süreçleri mevzuatta yok”* (K11) sözleriyle ifade ederken, bir diğeri *“Batarya yangınına özel prosedür tanımlı değil”* (K7) ifadesini kullanmıştır. Bu bulgu, önceki sorularda ortaya konan “protokol eksikliği” temasının mevzuat düzleminde de güçlü biçimde tekrarlandığını göstermektedir.

Yangın sonrası süreçlerin tanımlanmamış olması da kritik bir boşluk alanıdır. Katılımcılar, elektrikli araç yangınlarında söndürme sonrasında aracın taşınması, karantina altına alınması, depolanması ve yeniden alevlenme riskine karşı gözetim gibi süreçlerin düzenleyici metinlerde yeterince yer almadığını belirtmektedir. Bu durum, “olay bitti” algısının elektrikli araç yangınlarında geçerli olmadığını, ancak mevzuatın hâlen olay sonrası risk yönetimi boyutunu yeterince kavrayamadığını göstermektedir. Bir katılımcı, *“Söndürme sonrası ne yapılacağı net değil”* (K10) sözleriyle bu belirsizliği dile getirmiştir.

Üçüncü olarak, uygulama ve saha gerçekliğiyle uyumsuzluk boyutunda katılımcıların mevzuatı yalnızca “eksik” değil, aynı zamanda “sahadaki riski doğru yansıtmayan” bir metinler bütünü olarak değerlendirdiği görülmektedir. Mevzuatın teorik düzeyde kaldığı, uygulamadaki kısıtları (kapalı alan müdahaleleri, ekipman eksikliği, uzun süreli soğutma gereksinimi, toksik gaz yönetimi vb.) yeterince hesaba katmadığı ifade edilmektedir. Bir katılımcı bu durumu, *“Mevzuat sahadaki riskleri yansıtmıyor”* (K7) sözleriyle dile getirirken, bir diğeri *“Teorik düzenlemeler pratikle örtüşmüyor”* (K2) ifadesini kullanmıştır. Bu değerlendirmeler, mevzuatın sahaya “yukarıdan” bakan bir biçimde hazırlandığı ve sahadan alınan geri bildirimlerin mevzuat döngüsüne yeterince dahil edilmediği yönünde bir algıyı da beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, saha deneyimlerinin mevzuata yansımaması teması önem kazanmaktadır. Bazı katılımcılar, itfaiye teşkilatlarının müdahale deneyimlerinin, kural koyucu mekanizmalara düzenli biçimde aktarılmadığını veya bu geri bildirimlerin düzenleme süreçlerinde yeterince dikkate alınmadığını belirtmiştir. Bir katılımcı, *“Sahadaki tecrübeler mevzuata yansımıyor”* (K7) sözleriyle bu sorunu ifade etmiş; bir diğer katılımcı ise benzer yönde değerlendirme yapmıştır. Bu durum, mevzuat geliştirme sürecinin daha katılımcı, veri temelli ve sahaya duyarlı bir biçimde tasarlanması gerektiğine işaret etmektedir.

Standart eksikliğinin kurumlar arası farklılık yaratması da mevzuat–uygulama uyumsuzluğunun sonuçlarından biri olarak ortaya çıkmaktadır. Ulusal düzeyde bağlayıcı standartların yetersizliği, farklı illerde ve teşkilatlarda farklı müdahale pratiklerinin oluşmasına yol açmaktadır. Bu da elektrikli araç yangınlarında müdahale kalitesinin ve güvenlik seviyesinin coğrafi olarak değişkenlik göstermesi riskini artırmaktadır. Bir katılımcı, “*Standart olmadığı için her kurum farklı uyguluyor*” (K11) diyerek bu sorunu açıkça dile getirmiştir.

Son olarak, yapısal, teknik ve eğitsel düzenleme ihtiyacı boyutunda katılımcılar, mevzuatta özellikle şarj istasyonları ve kapalı otoparklar gibi yüksek riskli alanlara yönelik düzenlemelerin eksik olduğunu vurgulamaktadır. Bodrum katlarda elektrikli araç parkı, havalandırma koşulları, mesafe ve izolasyon kuralları gibi konuların mevzuatta daha açık ve bağlayıcı biçimde yer alması gerektiği ifade edilmektedir. Bir katılımcı, “*Kapalı otoparklar ve bodrum katlar için özel düzenleme şart*” (K10) sözleriyle bu gerekliliği dile getirmiştir.

Batarya yangınlarına özel teknik standart eksikliği de dikkat çeken bir başka alandır. Özel söndürme ekipmanları, termal izleme sistemleri, karantina/izolasyon konteynerleri gibi araçların mevzuatta tanımlanmaması, kurumların yatırım planlamasını ve standart envanter oluşturmasını güçleştirmektedir. Ayrıca katılımcılar, mevzuatta elektrikli araç yangınlarına yönelik eğitim zorunluluğunun açık biçimde yer almamasını da önemli bir eksiklik olarak görmektedir. Bu bağlamda bir katılımcı, “*Bu konuda eğitim zorunlu olmalı*” (K4) diyerek, mevzuatın eğitim boyutunu da kapsaması gerektiğini vurgulamıştır. Burada kritik olan nokta, eğitimin “iyi niyetli” bir kurumsal faaliyet olmaktan çıkarılarak, mevzuatsal bir yükümlölük olarak düzenlenmesi gerekliliğidir.

4. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bulgular bütüncül olarak değerlendirildiğinde, Türkiye’de EA yangınlarına müdahale kapasitesinin “kurumsal prosedürleşme” ve “ulusal standardizasyon” açısından belirgin bir gecikme yaşadığı; buna karşılık sahada risk yönetiminin çoğu zaman eğitim temelli gayriresmî pratikler, tecrübe aktarımı ve mevcut klasik yangın envanterinin adaptasyonu üzerinden yürütüldüğü görülmektedir. Bu tablo, EA batarya yangınlarının teknik doğası (termal kaçak, uzun süreli soğutma ihtiyacı, yeniden alevlenme, toksik gaz/kimyasal tehlike, yüksek voltaj riski) ile kurumsal-yönetsel ekosistemin (protokol, ekipman standardı, olay komutası, mevzuat, eğitim zorunluluğu) aynı hızda evrilmemesi arasındaki “uyum açığı”na işaret etmektedir. Uluslararası literatürde lityum-iyon batarya yangınlarının klasik alev söndürme paradigmasından ziyade ısı yönetimi, risk izolasyonu ve uzun izleme paradigmasını gerektirdiği vurgusu (Feng vd., 2018; NFPA, 2021), bulgularınızda tekrar eden “uzun müdahale”, “soğutma baskınlığı” ve “yeniden alevlenme endişesi” örüntüsüyle doğrudan örtüşmektedir.

Tablo 1’de kurumsal protokol eksikliğinin (f=7) en baskın tema olması, EA yangınlarına müdahalenin Türkiye’de hâlen “genel yangın prosedürleri” çerçevesinde konumlandığını ve EA’ye özgü risklerin operasyonel düzeyde yazılı-bağlayıcı bir sisteme dönüştürülemediğini göstermektedir. Bu bulgu, yalnızca bir dokümantasyon eksikliği olarak değil; risk sınıflandırmasının kurumsal hafızada standart bir forma kavuşmaması olarak da yorumlanmalıdır. Literatürde EA olayları için geliştirilen saha rehberleri ve standardizasyon girişimleri (ör. NFPA’nın elektrikli/hibrid araçlara yönelik acil durum sahası rehberleri; ISO 17840 “rescue sheets” yaklaşımı) tam da bu noktada devreye girer: müdahalede ilk anın belirsizliğini azaltmak, batarya konumu/enerji kesme prosedürü/tecrit mesafesi gibi unsurları “kişiyeye bağlı bilgi” olmaktan çıkarıp “kurumsal talimat” hâline getirmek (ISO 17840 series; NFPA, 2021; SAE J2990). Bulgularınızda “eğitim var ama yazılı talimata dönüşmüyor” temasının (Tablo 1.: f=3) güçlü biçimde görünmesi, Türkiye’de bilginin üretildiği fakat kurumsallaştırılmadığı bir ara evreye işaret etmektedir. Bu tür bir ara evre, kısa vadede esneklik sağlasa da orta-uzun vadede iki kritik riski büyütür: (i) uygulama birliğinin kaybı (her ekip/il kendi refleksini geliştirir), (ii) personel değişimi ve vardiya döngülerinde bilgi erozyonu (kurumsal hafıza kişilere bağlı kalır). Bu nedenle protokol eksikliğini yalnızca “yazılı belge yok” şeklinde değil, “risk iletişimi ve komuta zincirinin standardize edilememesi” şeklinde tartışmak gerekmektedir.

Tablo 1 ve Tablo 4’de öne çıkan bulgulardan biri, protokol/teorik yaklaşım ile sahadaki envanterin uyuşmamasıdır (ör. “protokollerin ekipman yetersizliği nedeniyle uygulanamaması”, $f=2$; “özel ekipman bulunmaması”, $f=7$). Bu durum literatürde “capability gap” (kapasite açığı) olarak tartışılan yapısal bir soruna karşılık gelir: kurumlar bir risk sınıfını tanımlasa bile o riske uygun söndürme ajanı, izolasyon aracı, termal izleme kapasitesi, gaz ölçüm ekipmanı ve lojistik su yönetimi yoksa, protokol kâğıt üzerinde kalmaktadır. EA batarya yangınlarının söndürme sonrası dönemde de risk üretmesi (yeniden alevlenme, batarya paketinde iç reaksiyonların sürmesi) nedeniyle, literatürde olayın “post-incident” evresine (taşıma, karantina, izleme) güçlü vurgu yapılmaktadır (NFPA, 2021; UNECE R100). Sizin bulgularınızda da mevzuatın yangın sonrası süreci tanımlamaması (Tablo 12) ve sahada gözetim ihtiyacının tekrar eden bir tema olması (Tablo 2.; Tablo 3.9.), kapasite açığının yalnız söndürme anına değil “olay sonrası yönetime” de yayıldığını göstermektedir. Bu çerçevede “standartlaşma” tartışmasını iki katmanlı ele almak anlamlıdır. Birinci katman teknik standartlaşma (hangi ekipman minimum set olmalı, hangi sensörler/gaz ölçüm cihazları zorunlu olmalı, hangi izolasyon/karantina altyapısı gerekli); ikinci katman ise yönetsel standartlaşmadır (hangi olaylarda hangi birim liderliği alır, hangi karar eşikleriyle tecrit/boşaltma uygulanır, hangi süreyle izleme yapılır). Bulgularınızda kurumlar arası farklılıkların (Tablo 1.; Tablo 9; Tablo 12) sık tekrarlanması, iki katmanda da ulusal referans doküman eksikliğini düşündürmektedir.

Tablo 3’te “daha önce müdahale edilmemiş olması” ($f=5$) ile “birden fazla müdahale deneyimi” ($f=3$) birlikte okunduğunda, kurumlar arasında EA yangını vaka yoğunluğuna bağlı bir asenkron öğrenme eğrisi olduğu görülmektedir. Büyükşehir teşkilatlarında nispeten daha fazla vaka/ eğitim/ farkındalık (Tablo 9) bulunurken, diğer birimlerde bilgi daha çok teorik ve “ilk olay” anında kırılgan kalmaktadır. Bu sonuç, literatürde yüksek belirsizlikli olaylarda deneyimin karar kalitesini artırdığı ancak deneyimin kurumsal protokole dönüştürülmediğinde eşitsizlik ürettiği bulgusuyla uyumludur. EA yangınları, batarya konumu, hücre kimyası, araç mimarisi ve hasar tipine göre hızla değişen dinamiklere sahiptir. Bu nedenle ilk olaylarda “klasik araç yangını refleksi”nin devreye girmesi (sizin alıntılarınızda açık) beklenen bir davranış örüntüsüdür. Ancak bu refleks, batarya yangınlarında kimi zaman yetersiz kalır; çünkü termal kaçak mekanizması ve hücreler arası zincirleme ısı yayılımı, alev görünürlüğü azalsa bile reaksiyonun sürmesine neden olabilir (Feng vd., 2018; Golubkov vd., 2014). Bu açıdan bulgularınız, “ilk kez müdahale edilen” olaylarda belirsizliğin yükselmesini, “çoklu vaka” gören ekiplerde ise yaklaşımın olgunlaşmasını (Tablo 4; Tablo 8) rasyonel biçimde açıklamaktadır.

Olay türleri açısından trafik kazası sonrası batarya yangını ve kapalı otopark/bodrum kat senaryolarının öne çıkması (Tablo 3; Tablo 8; Tablo 10), risk yönetiminde iki farklı problem alanını işaret eder: (i) çarpma sonrası batarya hasarı ve hızlı termal kaçak, (ii) kapalı hacimde duman/gaz birikimi ve manevra kısıtı. Kapalı alan senaryolarında toksik gaz yönetimi ve tahliye/tecrit kararları daha kritik hâle gelmektedir. Bulgularınızda iletişim/komuta karar gecikmeleri ve mekânsal kısıtların öne çıkması bu bağlamda anlam kazanmaktadır.

Tablo 3. ve Tablo 6, su ile yoğun soğutmanın en yaygın yaklaşım olduğunu (Tablo 3.2.: f=6; Tablo 6: f=6) ve müdahalelerin ≥ 1 saat sürdüğünü (Tablo 3: f=6) göstermektedir. Bu bulgu, EA batarya yangınlarında operasyonel hedefin çoğu zaman “yangını kısa sürede söndürmek” değil “batarya paketinin sıcaklığını güvenli aralığa düşürmek ve termal kaçak zincirini kırmak” olduğunu teyit etmektedir (NFPA, 2021). Nitekim literatürde batarya yangınlarında enerji yoğunluğunun yüksek olması, hücre içi reaksiyonların oksijen bağımlılığının sınırlı olması ve paketin ısıyı hapseden yapısı nedeniyle klasik ajanlarla hızlı söndürmenin zor olduğu vurgulanır (Feng vd., 2018). Bulgularınızda köpük ve KKT’nin daha çok destekleyici/alev kontrol amaçlı kullanılması (Tablo 3; Tablo 6), bu teorik çerçeveye uyumludur: köpük ve toz, yüzey alevini bastırabilir; ancak paket içi ısı üretimini durdurmada sınırlı kalabilir.

Tablo 6’da “bataryanın su dolu havuza alınması” (f=2) gibi izolasyon yaklaşımının ortaya çıkması ise, Türkiye sahasında da “karantina/izolasyon” fikrinin pratikte belirmeye başladığını göstermektedir. Bu yaklaşım literatürde tartışmalı olmakla birlikte, yeniden alevlenme riskinin yönetimi ve taşınabilir karantina çözümleri bağlamında gündeme gelen bir opsiyondur. Ancak çevresel etkiler (kontamine söndürme suyu), lojistik (konteyner/havuz kapasitesi), araç çekme-taşıma zinciri ve yerel mevzuat açısından kurumsal çerçeve gerektirmektedir. Sizin bulgularınızda mevzuatın yangın sonrası süreçleri tanımlamaması (Tablo 3.12) tam da bu noktada kritikleşir: izolasyon uygulaması sahada ortaya çıksa bile, “nerede, ne kadar süre, hangi kurum sorumluluğunda, hangi atık yönetimiyle” soruları cevapsız kalır.

Tablo 5 ve Tablo 10, toksik gaz riskinin katılımcılar tarafından güçlü biçimde algılandığını (bilgilendirme var: f=11; yoğun toksik duman: f=7; THSC zorunlu: f=11) göstermektedir. Bu, literatürde batarya yangınlarının HF başta olmak üzere iritan/korozif toksik bileşenler üretebildiği ve dumanın kimyasal belirsizlik taşıdığı bulgularla uyumludur (Larsson vd., 2017). Ancak sizin bulgularınız, bilgilendirmenin çoğu kez genel düzeyde kaldığını ve uygulamalı boyutun zayıf olduğunu da göstermektedir (Tablo 5: “genel düzey”,

“uygulamalı eksik”; Tablo 7: “uygulamalı eğitimin sınırlı olması”, $f=4$). Bu ayrım önemlidir: farkındalık, personelin THSC kullanımına yönelmesini sağlamaktadır. Fakat olay yeri yönetiminde gaz ölçümü, tecrit mesafesinin dinamik belirlenmesi, rüzgâr-topografya etkisi, kapalı hacimde birikim senaryoları gibi ileri pratikler ölçüm/izleme kapasitesine dayanmaktadır. Tablo 5’de “gaz ölçümü ve izleme ihtiyacı”nın ($f=2$) dile getirilmesi, Türkiye sahasında bir sonraki kapasite eşiğinin “ölçüm temelli karar verme” olduğunu düşündürmektedir. Literatürde termal görüntüleme ve gaz ölçümü, hem personel güvenliği hem de yeniden alevlenme riskinin izlenmesi açısından kritik destek teknolojileri olarak ele alınmaktadır (NFPA, 2021). Dolayısıyla bulgularınız, Türkiye’de THSC’nin “minimum güvenlik standardı” olarak yerleştiğini; ancak ölçüm-izleme ekosisteminin henüz kurumsallaşmadığını göstermektedir.

Tablo 4, THSC’nin vazgeçilmezliğini ($f=10$) ve ısıya dayanıklı giysi/eldiven gibi KKD’lerin kullanıldığını gösterirken; aynı zamanda elektriksel ve kimyasal risklere karşı yetersizlik algısının da varlığını ortaya koymaktadır. Bu ikili yapı literatürde beklenen bir sonuçtur: EA yangınları, “ısı” ve “duman” riskini taşıdığı kadar “yüksek voltaj” ve “kimyasal kontaminasyon” riskini de aynı olayda birleştirmektedir. Dolayısıyla geleneksel yangın KKD’si bir risk setini azaltırken diğer risk setinde sınırlarına ulaşabilir. Bulgularınızda ergonomik sorunların özellikle uzun müdahalelerde belirginleşmesi (Tablo 4) ise, EA yangınlarının operasyonel süre uzamasıyla KKD’nin yalnız koruyuculuk değil performans sürdürülebilirliği boyutunu gündeme getirdiğini göstermektedir. Bu, tartışma kısmında “EA yangınlarına hazırlık” kavramını yalnız ekipman satın alma değil, “uzun süreli operasyon ergonomisi” üzerinden de genişletmenizi mümkün kılmaktadır.

Tablo 8, koordinasyon ve iletişimin çoğu durumda yeterli bulunduğunu (koordinasyon yeterli: $f=8$; iletişim yeterli: $f=7$) ancak bu yeterliliğin deneyim ve olay ölçeği/ortamı ile koşullandığını göstermektedir. Bu bulgu, itfaiye örgütlerinde rutin olaylarda yüksek disiplinin, belirsizlik arttığında ise (ilk EA vakası, kapalı otopark, çoklu ekip) karar süreçlerinin yavaşlayabildiği tipik örgütsel davranış örüntüsüyle uyumludur. EA yangınlarında belirsizlik, yalnız “yangın büyüklüğü” ile ilgili değildir; aynı zamanda “enerji kaynağının doğası” (batarya reaksiyonları), “riskin görünmezliği” (alev yokken içeride reaksiyon sürebilmesi), “elektriksel tehlike” (enerjinin kesilip kesilmediğinin kesinliği) ve “toksik bileşen belirsizliği” gibi faktörlerle artmaktadır. Bu nedenle olay komutasının temkinliliği ve karar gecikmesi (Tablo 8) sadece yönetim zafiyeti değil; aynı zamanda risk belirsizliğine verilen rasyonel bir tepkidir. Ancak temkinlilik, standardize edilmiş karar eşikleriyle (ör. hangi sıcaklık/gaz düzeyinde tecrit artırılabilecek; hangi koşulda müdahale

taktiği deðiŖecek) desteklenmezse, gecikme sahada güvenlik maliyeti üretebilir. Bu nokta, bulgularınızın “protokol eksikliği organizasyonu zorlaŖtırıyor” temasıyla birleŖerek, tartıŖmada “komuta-kontrol standardizasyonu” baŖlıđını güçlendirmektedir.

Tablo 9, hazırlık algısının ağırlıklı olarak yetersizlik/çok zayıflık ekseninde toplandığını ($f=6+2$), güçlü yönlerin ise daha çok insan kaynağı ve temel altyapı ile sınırlı kaldığını göstermektedir. Bu durum, Türkiye’de EA yangınlarına müdahalede “temel yangın kapasitesi”nin var olduğu; fakat EA’ye özgü kapasitenin henüz ulusal ölçekte standardize bir sisteme dönüşmediği anlamına gelmektedir. Büyükşehirlerde farkındalık/eğitim avantajı ($f=3$) bulunurken ulusal standardın yokluğu ($f=5$), coğrafi eşitsizlik ve hizmet kalitesi farklılaŖması riskini doğurmaktadır. TartıŖma ačíısından kritik olan, bu bulguların “kurumsal niyet” ile “kurumsal yetenek” arasındaki farkı görünür kılmasıdır. Eđitimlerin yaygınlaŖması bir niyet göstergesidir; ancak özel ekipman, ölçüm kapasitesi, protokol ve mevzuat güncellemesi yetenek alanını belirlemektedir. Bulgularınız ayrıca “sahaya dayalı öğrenme”yi (Tablo 9) güçlü yön olarak işaret ederken, bunun aynı zamanda kurumsal eksikliklerin fiilen sahada telafi edildiğini gösterdiği için bir kırılmalık unsuru olduğunu da ima etmektedir. Literatürde yüksek riskli teknik olaylarda “öğrenmenin olay üstünden” yapılması kaçınılmaz olabilmektedir. Ancak öğrenmenin kurumsallaŖtırılmaması durumunda her yeni ekip “öğrenme maliyeti”ni tekrar öder. Bu noktada bulgularınız, öğrenme eğrisini ulusal standarda dönüŖtürecektir bir “geri bildirim–kural güncelleme” mekanizmasının eksikliğini tartıŖmaya açmaktadır.

Tablo 10, riskin en yoğun algılandığı eşiklerin ilk yaklaŖma, termal kaçak/ani parlama, toksik duman ve söndürme sonrası yeniden alevlenme olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, uluslararası rehberlerde EA olaylarında “ilk yaklaŖma” ve “stabilizasyon” adımlarına verilen önemin sahadaki algıyla örtüŖtüđünü göstermektedir (NFPA, 2021). Özellikle batarya konumunun araçtan araca deđiŖmesi (Tablo 10) ve bataryaya erişim zorluğu (Tablo 3; Tablo 8) birlikte düşünöldüğünde, Türkiye sahasında “araç kimliği–batarya yerleŖimi–enerji kesme” bilgisinin olay yerine hızlı taşınmasına yönelik sistem ihtiyacı belirginleŖmektedir. Bu bağlamda ISO 17840’ın kurtarma sayfaları ve üretici temelli “first responder guides” yaklaŖımı, bulgularınızın işaret ettiği belirsizliği azaltabilecek iyi örnekler olarak tartıŖılabilir (ISO 17840 series). Ayrıca “söndürme sonrası risk”in güçlü biçimde vurgulanması (Tablo 10) Türkiye’de müdahalenin “olay yerinde bitmediği” algısının yerleŖtiđini göstermektedir. Bu, tartıŖma kısmında mevzuatın yangın sonrası süreci tanımlamamasıyla (Tablo 12) doğrudan ilişkilendirilebilir: sahada riskin uzadığı biliniyor; ancak bu uzayan riskin kurumsal sorumluluk zinciri ve standart işlemleri belirsiz.

Tablo 11.'de önerilerin teknik/ekipman, eğitsel kapasite ve yönetsel-mevzuatsal düzenlemeler şeklinde üç düzlemde toplanması, bulgularınızın en güçlü yanlarından biridir. Çünkü sorunların tek bir alana indirgenemediğini gösteren “konsensüs” üretmektedir. Literatür de benzer şekilde EA batarya güvenliğini yalnız sahada söndürme taktiği olarak değil, batarya tasarım güvenliği, test standartları, şarj altyapısı, yangın yükü ve acil durum yönetimi bağlamında çok paydaşlı bir problem olarak ele almaktadır (UNECE R100; UL 9540A; NFPA 855). Bu açıdan katılımcıların “üretici-kamu-yerel yönetim iş birliği” ve “halkın bilinçlendirilmesi” vurgusu, risk yönetiminin sosyal ve kurumsal boyutunu güçlendirmektedir. Özellikle “ulusal düzeyde standart müdahale protokolü” ve “mevzuat revizyonu” önerileri (Tablo 11), bulgularınızın önceki tablolarında tekrar eden standartlaşma/protokol eksikliği sorunuyla tutarlıdır. Tartışmada burada kritik olan, standardın içeriğini yalnız “müdahale adımları” olarak değil; (i) minimum ekipman seti, (ii) eğitim zorunluluğu ve periyodizasyon, (iii) ölçüm-izleme altyapısı, (iv) olay sonrası taşıma/karantina/izleme süreci, (v) kapalı otopark ve şarj alanları için yapı-işletme kuralları olarak genişletmektir. Bu genişletme, Tablo 12'deki “yangın sonrası süreçler tanımlanmıyor” ve “kapalı otopark/şarj istasyonu boşluğu” bulgularıyla da uyumludur.

Tablo 12, mevzuatın EA yangınlarını kapsamadığı (f=6), bütüncül revizyon ihtiyacı (f=4) ve EA'ye özgü başlık/prosedür yokluğu (f=5) gibi bulgularla güçlü bir “düzenleyici gecikme” algısı ortaya koymaktadır. Bu sonuç, EA teknolojilerinin yaygınlaşma hızının düzenleyici çerçeveleri birçok ülkede zorladığı genel eğilimle uyumludur; ancak sizin bulgularınız, sorunun yalnız “yeni teknolojiye yetişememe” değil, aynı zamanda “kavramsal tanımlama” düzeyinde olduğunu göstermektedir: termal kaçak, yeniden alevlenme, toksik gaz profili, olay sonrası karantina gibi süreçler mevzuatta açıkça tanımlanmadığında, sahadaki risk yönetimi kişisel tecrübeye ve kurum içi eğitim notlarına sıkışmaktadır. Burada saha gerçekliğiyle uyumsuzluk (Tablo 12) teması, tartışmada özellikle vurgulanmalıdır: katılımcılar düzenlemelerin pratikle örtüşmediğini ve saha geri bildiriminin mevzuata yansımadığını ifade etmektedir. Bu, politika geliştirme süreçlerinde “evidence-based regulation” ihtiyacını gündeme getirmektedir. EA yangınlarının olay raporları, müdahale süreleri, yeniden alevlenme örüntüleri, gaz maruziyeti vakaları ve ekipman performansı verileri toplanmadan yapılan düzenleme güncellemeleri, yeniden “kâğıt üzerinde standardizasyon” riski taşımaktadır. Dolayısıyla bulgularınız, mevzuat revizyonu önerisini yalnız normatif bir talep değil, aynı zamanda veri temelli geri bildirim mekanizması kurulması gereği olarak tartışmanıza imkân vermektedir.

Bu araştırma, elektrikli araç yangınlarına müdahale sürecinin teknik, örgütsel ve mevzuatsal boyutlarını, sahada görev yapan personelin deneyim ve algıları üzerinden çok yönlü biçimde analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, elektrikli araç teknolojilerinin hızla yaygınlaşmasına karşın acil müdahale ekosisteminin aynı hızda dönüşemediğini açık biçimde ortaya koymuştur. Çalışma sonuçları, elektrikli araç yangınlarının klasik araç yangınlarından niteliksel olarak ayrıştığını ve bu ayrışmanın yalnızca söndürme teknikleriyle sınırlı kalmayıp, risk algısı, olay komutası, personel güvenliği, ekipman gereksinimi ve yangın sonrası süreçlere kadar uzanan geniş bir etki alanı yarattığını göstermektedir. Özellikle lityum-iyon bataryalara özgü termal kaçak, uzun süreli soğutma gereksinimi ve yeniden alevlenme riski, müdahale süresini uzatmakta ve olayın “yangın söndürme” ile sınırlı bir faaliyet olmaktan çıkarak çok aşamalı bir risk yönetimi sürecine dönüşmesine neden olmaktadır.

Araştırmanın en temel sonuçlarından biri, elektrikli araç yangınlarına yönelik kurumsal ve ulusal düzeyde standartlaştırılmış müdahale protokollerinin eksikliğidir. Bulgular, sahada görev yapan personelin büyük ölçüde genel yangın prosedürleri, bireysel deneyim ve hizmet içi eğitimlerle hareket ettiğini, ancak bu bilginin yazılı, bağlayıcı ve bütüncül talimatlara dönüşmediğini göstermektedir. Bu durum, kurumlar ve bölgeler arasında uygulama farklılıklarına yol açmaktadır. Müdahale kalitesinin kişisel deneyim ve yerel imkânlarla bağlı olarak değişmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla elektrikli araç yangınlarında karşılaşılan risklerin yönetimi, sistematik bir kurumsal yapıdan ziyade büyük ölçüde sahada geliştirilen pratik çözümlerle yürütülmektedir.

Sonuçlar, ekipman ve kişisel koruyucu donanım açısından temel bir müdahale kapasitesinin mevcut olduğunu, ancak bu kapasitenin elektrikli araç yangınlarının çoklu risk yapısını karşılamakta yetersiz kaldığını göstermektedir. Solunum koruyucu donanımın yaygın kullanımı, toksik gaz riskine yönelik farkındalığın yüksek olduğunu ortaya koysa da, gaz ölçümü, kimyasal maruziyetin izlenmesi ve uzun süreli ergonomik yük gibi konularda önemli boşluklar bulunduğu anlaşılmaktadır. Özellikle uzun süren müdahalelerde personel yorgunluğu, ekipman ergonomisi ve operasyonel sürdürülebilirlik sorunları belirginleşmekte; bu durum personel güvenliği ile müdahale etkinliği arasında doğrudan bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırma sonuçları, organizasyonel ve yönetsel açıdan bakıldığında, rutin olaylarda güçlü bir disiplin ve koordinasyonun var olduğunu; ancak elektrikli araç yangınları gibi belirsizlik düzeyi yüksek, teknik bilgi gerektiren olaylarda karar süreçlerinin yavaşlayabildiğini göstermektedir. İlk yaklaşma anı, kapalı alanlarda meydana gelen

yangınlar ve söndürme sonrası süreçler, riskin en yoğun algılandığı aşamalar olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, olay komutası ve risk değerlendirme mekanizmalarının elektrikli araçlara özgü senaryolar üzerinden yeniden yapılandırılması gerektiğine işaret etmektedir.

Ulusal hazırlık düzeyi açısından elde edilen bulgular, elektrikli araç yangınlarına müdahale kapasitesinin parçalı ve eşitsiz bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Büyükşehirlerde eğitim ve farkındalık düzeyinin görece daha yüksek olmasına karşın, ulusal ölçekte bağlayıcı standartların ve güncel mevzuatın bulunmaması, müdahale sisteminin bütüncül bir güvenlik yaklaşımı üretmesini zorlaştırmaktadır. Mevcut mevzuatın elektrikli araç yangınlarını doğrudan ele almaması ve özellikle yangın sonrası izleme, taşıma, karantina ve çevresel risk yönetimi gibi süreçleri tanımlamaması, sahada belirsizlik yaratmakta ve sorumluluk paylaşımını muğlaklaştırmaktadır. Bu araştırmada elde edilen bulgular doğrultusunda, elektrikli araç yangınlarına yönelik müdahale kapasitesinin güçlendirilmesi için öncelikle ulusal düzeyde bağlayıcı ve güncel bir müdahale çerçevesinin oluşturulması önerilmektedir. Bu çerçevenin, elektrikli araç yangınlarını klasik araç yangınlarından ayırtıran teknik ve operasyonel özellikleri dikkate alan, müdahalenin ilk yaklaşma anından söndürme sonrası izleme ve karantina sürecine kadar tüm aşamaları kapsayan bütüncül bir yapıda tasarlanması gerekmektedir. Hazırlanacak ulusal standart ve rehberlerin, sahada görev yapan personelin karar alma sürecini kolaylaştıracak açık tanımlar, risk eşikleri ve uygulama senaryoları içermesi; aynı zamanda farklı kurum ve bölgelerde uygulama birliğini sağlayacak şekilde bağlayıcı nitelik taşıması önem arz etmektedir.

Araştırma bulguları, teknik altyapı ve ekipman boyutunda önemli iyileştirme alanları bulunduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, elektrikli araç yangınlarına müdahale eden birimlerin asgari ekipman standartlarının yeniden tanımlanması, özellikle uzun süreli soğutma, termal izleme, toksik gaz ölçümü ve batarya izolasyonuna yönelik ekipmanların müdahale setlerine sistematik biçimde dâhil edilmesi önerilmektedir. Bununla birlikte ekipman temininin tek başına yeterli olmayacağı; bu araçların sahada hangi koşullarda, hangi sınırlar içinde ve hangi karar mekanizmalarıyla kullanılacağına ilişkin uygulamalı yönergelerle desteklenmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Özellikle kapalı otoparklar, tüneller ve şarj istasyonları gibi yüksek riskli alanlara yönelik özel müdahale senaryolarının geliştirilmesi, personel güvenliğini ve operasyonel etkinliği artıracaktır.

Eğitim boyutunda, mevcut hizmet içi eğitimlerin içerik ve yöntem açısından yeniden yapılandırılması önerilmektedir. Elektrikli araç yangınlarına ilişkin eğitimlerin yalnızca teorik bilgilendirme düzeyinde kalmaması; senaryo temelli tatbikatlar, vaka analizleri ve disiplinler arası uygulamalarla desteklenmesi gerekmektedir. Eğitimlerin süreklilik arz

edecek biçimde periyodik olarak güncellenmesi, yeni araç teknolojileri ve batarya tiplerindeki gelişmelere paralel olarak içeriklerinin revize edilmesi önem taşımaktadır. Ayrıca eğitim çıktılarının kurumsal hafızaya aktarılması ve yazılı prosedürlere dönüştürülmesi, bilginin kişilere bağlı olmaktan çıkarılarak sürdürülebilir bir yapıya kavuşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Araştırma sonuçları doğrultusunda, mevzuat ve düzenleyici çerçevenin elektrikli araç yangınlarını açık biçimde kapsayacak şekilde güncellenmesi de önemli bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Mevcut yasal düzenlemelerin, elektrikli araç yangınlarına özgü riskleri, söndürme sonrası izleme ve taşıma süreçlerini, çevresel etkileri ve kurumlar arası sorumluluk paylaşımını net biçimde tanımlaması önerilmektedir. Özellikle yangın sonrası bataryaların depolanması, karantinaya alınması ve bertaraf edilmesine ilişkin süreçlerin açık hükümlere bağlanması, sahada yaşanan belirsizlikleri azaltacaktır. Mevzuat geliştirme sürecinde, sahadan elde edilen verilerin ve müdahale deneyimlerinin düzenli biçimde değerlendirilmesi, düzenlemelerin pratikle uyumlu ve uygulanabilir olmasını sağlayacaktır.

Son olarak, elektrikli araç yangınlarının yönetiminin yalnızca itfaiye teşkilatlarının sorumluluğunda ele alınmaması, çok paydaşlı bir güvenlik yaklaşımının benimsenmesi önerilmektedir. Araç üreticileri, yerel yönetimler, şarj altyapısı işletmecileri ve düzenleyici kurumlar arasında bilgi paylaşımını ve iş birliğini güçlendirecek mekanizmaların oluşturulması, risklerin daha erken aşamada azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Toplumun elektrikli araç yangınlarına ilişkin farkındalığının artırılması ve kullanıcıların temel güvenlik bilgileriyle donatılması da, olayların etkilerinin sınırlandırılmasında tamamlayıcı bir rol üstlenecektir. Bu doğrultuda geliştirilecek bütüncül ve sürdürülebilir müdahale stratejileri, elektrikli araçların yaygınlaşması sürecinde kamu güvenliğinin korunmasına önemli katkılar sunacaktır.

KAYNAKÇA

- Abdelghani, D. & Boumediene, A. (2019). Independent control of two induction motors fed by the nine- switch inverter for use in ev applications. *Journal of Engineering Science and Technology*. 14(5), 2991-3006.
- ACEA, (2021). *The automobile industry*. Pocket Guide 2021/2022. Acea.
- Ahmed, S.A., Zhou, S., Tsegay, A.S., Zhu, Y., Malik, A., Ahmad, N. & Legese, Z. (2020) Effects of CO2 ratio in Biogas on Performance, *Combustion and Emissions of a Dual-Fuel Diesel Engine*. International Energy Journal, 20, 15-38.
- Akgündoğdu, A., Karadeniz, O., Şahin, U., İn , S., Tiryaki, H., Erdoğan, G., . . . & Kocaarslan, İ. (2017). Elektrikli Araçlar için Batarya Paketi ve Batarya Yönetim Sisteminin Gerçeklenmesi. *World Electro Mobility Conference (WELMO'17)*, 1, s. 56-62. İzmir.
- Alizon, F., Shooter, S.B. & Simpson, T. W. (2009). Henry Ford and the Model T: lessons for product platforming and mass customization. *Design Studies*, 30(5), 588-605.
- Alkaya, L., Behçet, R. & İlkılıç, C. (2008). Yakıt pilleri ve uygulama alanları. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*. 6(3), 67-71.
- Andersson, P., Wikman, J., Arvidson, M., Larsson, F., & Willstrand, O. (2017). *Safe introduction of battery propulsion at sea*. RISE Research Institutes of Sweden. : Goteborg, Sweden.
- Anonymous, (2002). *Bosch Automotive Handbook*, Bosch GmbH, 5th Edition. Wiley–Blackwell. New York.
- Anonymous, (2009). Electric vehicle charging infrastructure deployment guidelines. http://www.afdc.energy.gov/afdc/vehicles/electric_research.html adresinden 30 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.
- Anonymous, (2017). Current world population. <http://www.worldometers.info/world-population> adresinden 30 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.

Arai, H., Tsuda, M., Saito, K., Hayashi, M., & Sakurai, Y. (2002). Thermal reactions between delithiated lithium nickelate and electrolyte solutions. *Journal of The Electrochemical Society*, 149(4), A401–A406.

Aslan, S. (2021). Elektrikli araçlar ve yangın önlemleri. *Yangın ve Güvenlik Dergisi*, 46–49.

AUDI. (2022, 14 Mart). e-tahrik ile geleceğe. AUDI: <https://www.audi.com.tr/tr/web/tr/elektromobilite/elektrikli-araclar.html> adresinden 23 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.

Aurbach, D., Zaban, A., Ein-Eli, Y., Weissman, I., Chusid, O., Markovsky, B., Levi, M., Levi, E., & Schechter, A. (1997). Recent studies on the correlation between surface chemistry, morphology, three-dimensional structures and performance of Li and Li–C intercalation anodes in several important electrolyte systems. *Journal of Power Sources*, 68(1), 91–98.

Avcı, İ. (2020). Yerli Markalı Otomobil Satın Alma Niyetinde Etnosentrizm, Ülke İmajı ve Yenilikçiliğin Etkisi: Türkiye'nin Otomobili (TOGG) Bağlamında Bir Araştırma. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (20), 439-466.

Avcı, İ., Yıldız, S., & Köroğlu, A. (2025). Factors Affecting Consumers' Intention to Purchase Domestic and Electric Automobiles (TOGG): A Research in the Eastern Black Sea Region. *Current Research in Social Sciences*, 11(2), 457-477.

avera. (2010). Battery Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicles are the keys to a sustainable mobility, European Association for Battery. Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicles <http://www.avera.org/www/Images/files/about_ev/Brochure.pdf>, adresinden 30 Haziran 2025 tarihinde temin edilmiştir.

Bak, S.-M., Hu, E., Zhou, Y., Yu, X., Senanayake, S. D., Cho, S.-J., Kim, K.-B., Chung, K. Y., Yang, X.-Q., & Nam, K.-W. (2014). Structural changes and thermal stability of charged $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$ cathode materials studied by combined *in situ* time-resolved XRD and mass spectroscopy. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6(24), 22594–22601.

Beiker, S. A. (2010). Between old economy and the next big thing the automobile on its way to the future. [www.stanford.edu/class/me302 /.../Future%20Automobile%202010-09-21.Pdf](http://www.stanford.edu/class/me302/.../Future%20Automobile%202010-09-21.Pdf) adresinden 30 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.

Biensan, P., Simon, B., Peres, J., De Guibert, A., Broussely, M., Bodet, J., & Perton, F. (1999). On safety of lithium-ion cells. *Journal of Power Sources*, 81–82, 906–912.

Bisschop, R. (2020). Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Preventing and Recovering from Hazardous Events. *Fire Technology*, 56, 2671-2694.

BloombergNEF, (2021). Battery pack prices fall to an average of \$132/kWh, but rising commodity prices start to bite. <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-to-an-average-of-132-kwh-but-rising-commodity-prices-start-to-bite/> adresinden 23 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.

Blum, A., & Long, R. T. (2015). Full-scale fire tests of electric drive vehicle batteries. *SAE International Journal of Passenger Cars – Mechanical Systems*, 8(2), 565–572.

BMW. (2023, 19 Ocak). Elektrikli Otomobil Türleri. BMW: <https://www.bmw.com.tr/tr/topics/fascination-bmw/bmw-i-ve-e-mobilite/elektrikli-otomobil-turleri.html#bev> adresinden 23 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.

Boehmer, H., Klassen, M., & Olenick, S. (2020, 1 Temmuz). Modern Vehicle Hazards in Parking Garages Vehicle Carriers. Combustion Science & Engineering. <https://www.nfpa.org/education-and-research/research/fire-protection-research-foundation/projects-and-reports/modern-vehicle-hazards-in-parking-garages-vehicle-carriers?l=401> adresinden 23 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.

Bottery, M. (2008). Educational leadership, the depletion of oil supplies and the need for an ethic of global sustainability. *School Leadership and Management*, 28(3), 281-297.

Brzezinska, D., & Bryant, P. (2022). Performance-Based Analysis in Evaluation of Safety in Car Parks under Electric Vehicle Fire Conditions. *Energies*, 15, 649.

Cabrera-Castillo, E., Niedermeier, F., & Jossen, A. (2016). Calculation of the state of safety (SOS) for lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 324, 509–520.

China Association of Automobile Manufacturers, China Automotive Power Battery Industry Innovation Alliance, & China Electric Vehicle Charging Infrastructure Promotion Alliance. (2019). *Electric vehicle safety guide*. Author.

- Chombo, P. V., & Laoonual, Y. (2020). A review of safety strategies of a Li-ion battery. *Journal of Power Sources*, 478, Article 228649.
- Chow, W. K., & Chow, C. L. (2022). Review on electric vehicle fire hazards associated with batteries, combustibles and smoke. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 6(2), 165–171.
- Christiaens, S., Ogrzewalla, J. & Pischinger, S. (2012). Functional safety for hybrid and electric vehicles. *SAE Technical Paper*. 1-12.
- Crompton, T. (2000). *Battery Reference Book*. Newmes.
- Cui, Y., Cong, B., Liu, J., Qiu, M., & Han, X. (2022). Characteristics and hazards of plug-in hybrid electric vehicle fires caused by lithium-ion battery packs with thermal runaway. *Frontiers in Energy Research*, 10, Article 873658.
- Dahbi, M., Ghamouss, F., Tran-Van, F., Lemordant, D., & Anouti, M. (2011). Comparative study of EC/DMC LiTFSI and LiPF₆ electrolytes for electrochemical storage. *Journal of Power Sources*, 196(22), 9743–9750.
- Damiano, A., Gatto, G., Marongiu, I., Porru, M. & Serpi, A. (2014). Real-time control strategy of energy storage systems for renewable energy sources exploitation. *IEEE Trans. on Sustainable Energy*, 5(2), 567-576.
- Demir, A. & Yardım, M.S. (2013, Kasım, 14-15). Kapalı otoparklarda LPG yakıtlı taşıt parkı düzenlemesi. Yangın ve Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi, TÜYAK. İstanbul.
- Demir, A. (2011). Elektrikli araçların otoparklarla birlikteliği. 2. Toplu Ulaşım Haftası – Transist 2011 - IV. Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi. İstanbul.
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV). (2020, 11 Temmuz). *Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Akkus bei Fahrzeugbränden*. <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3907> adresinden 24 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.
- Dia, H. (2023, 15 Eylül). Electric vehicle fires are very rare. The risk for petrol and diesel vehicles is at least 20 times higher. The Conversation: <https://theconversation.com/electric->

[vehicle-fires-are-very-rare-the-risk-for-petrol-and-diesel-vehicles-is-at-least-20-times-higher-213468](#) adresinden 24 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

Dorsz, A., & Lewandowski, M. (2022). Analysis of fire hazards associated with the operation of electric vehicles in enclosed structures. *Energies*, 15(12), Article 4454.

Doughty, D. H., & Roth, E. P. (2012). A general discussion of Li-ion battery safety. *Electrochemical Society Interface*, 21(2), 37–44.

Doughty, D., & Crafts, C. (2006). *FreedomCAR electrical energy storage system abuse test manual for electric and hybrid electric vehicle applications* (Sandia Report No. SAND2005-3123). Sandia National Laboratories.

DPS, (2017). Safety issues regarding fuel cell vehicles and hydrogen fueled vehicles. Minnesota Department of Public Safety, <https://dps.mn.gov> adresinden 24 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

Dubaniewicz, T. H., Barone, T. L., Brown, C. B., & Thomas, R. A. (2022). Comparison of thermal runaway pressures within sealed enclosures for nickel manganese cobalt and iron phosphate cathode lithium-ion cells. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 76, Article 104731.

Duh, Y.-S., Sun, Y., Lin, X., Zheng, J., Wang, M., Wang, Y., Jiang, X., Zheng, Z., Zheng, S., & Yu, G. (2021). Characterization on thermal runaway of commercial 18650 lithium-ion batteries used in electric vehicles: A review. *Journal of Energy Storage*, 41, Article 102888.

Duleep, G., Essen, H.V., Kampman, B. & Grünig, M. (2011). Impacts of electric vehicles, Deliverable 2, Assessment of electric vehicle and battery technology. CE Delft.

Ehsani, M., Gao, Y. & Emadi, A. (2009). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design*. CRC press.

Ehsani, M., Gao, Y., & Gay, S. (2003). *Characterization of electric motor drives for traction applications*. Proceedings of The 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Roanoke, VA, USA.

Ekici, Y. (2019). *Batarya Yönetim Sistemleri*. Malatya: Yüksek Lisans Tezi: İnönü Üniversitesi.

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.

EPA. (2011). New Fuel Economy and Environment Labels for a New Generation of Vehicles. Regulatory Announcement EPA-420-F-11-017. U.S. Environmental Protection Agency.

Eroğlu, O. (2024). The Role Of The State In Turkey's Domestic Automobile initiatives (Devrim and Togg). *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 31(2), 389-403.

European Commission. (2018, 21 Mart). Workshop: Safer Li-Ion Batteries by Preventing Thermal Propagation? <https://ec.europa.eu/newsroom/eusciencehubnews/items/614941> adresinden 24 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

Evarts , E. (2015). Lithium batteries: To the limits of lithium. *Nature*, 526, 93-95. doi:10.1038/526S93a

Faraz, A., Ambikapathy, A., Thangavel, S., Logavani, K., & Prasad , G. (2020). Battery Electric Vehicles (BEVs). *Electric Vehicles*, 137-160.

Feng, X., Ouyang, M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., & He, X. (2017). Thermal runaway mechanism of lithium-ion battery for electric vehicles: A review. *Energy Storage Materials*, 10, 246–267.

Feng, X., Ouyang, M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., & He, X. (2018). Thermal runaway mechanism of lithium-ion battery for electric vehicles: A review. *Energy Storage Materials*.

Foley, A. M., Leahy, P., Mckeogh, E. & Gallachoir, B. O. (2010). Electric Vehicles And Displaced Gaseous Emissions. Proceedings of the Vehicle Power and Propulsion Conference, Lille, 1-3.

Geib, C., Nebl, C., Huber, J., & Schweiger, H.-G. (2020). Herausforderung Elektrofahrzeuge: Hilfestellung für den Einsatz. *Brandwacht*, I/2020, 18–20.

- Geisbauer, C., Wöhr, K., Mittmann, C., & Schweiger, H.-G. (2020). Review of safety aspects of calendar aged lithium-ion batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(9), 090523.
- Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of vehicle Dynamics*. SAE International
- Golubkov, A. W., Fuchs, D., Wagner, J., Wiltse, H., Stangl, C., Fauler, G., ... Hacker, V. (2014). Thermal runaway of commercial 18650 Li-ion batteries with LFP and NCA cathodes—Impact of state of charge and overcharge. *Scientific Reports*.
- Gomez, J.C. & Medhat, M.M. (2008). Impact of EV Battery Chargers on the Power Quality of Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 18(3), 975- 981.
- Gondelach, S.J.G. & Faaij, A.P.C. (2012). Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term. *Journal of Power Sources*, 212, 111-129.
- Gong, J., Wang, Q., & Sun, J. (2017). Thermal analysis of nickel cobalt lithium manganese with varying nickel content used for lithium-ion batteries. *Thermochimica Acta*, 655, 176–180.
- Gönçer, D. D. (2024). Elektrikli Araçlara Yönelik Sosyal Medya İçerik Analizi: Togg Örneği. *Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi Учёбумен: Nisantasi Universitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12, 106-122.
- Grilo, N., Sousa, D. M. & Roque, A. (2012). AC Motors for Application in a Commercial Electric Vehicle: designing aspects. *Proceedings of 16th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*. Tunisia.
- Gustafsson, T. & Johansson, A. (2015). *Comparison between battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles fueled by electrofuels*. [Master's Thesis, Chalmers University of Technology].
- Hao, H., Geng, Y. & Sarkis, J., (2016). Carbon footprint of global passenger cars: Scenarios through 2050. *Energy*. 101, 121-131.

Hatai, J. K., Weber, J. N., & Doizaki, K. (1986). Hydrofluoric acid burns of the eye: Report of possible delayed toxicity. *Journal of Toxicology: Cutaneous and Ocular Toxicology*, 5(3), 179–184.

Hawkins, T., Singh, B., Bettez, G.M. & Stromman, A. H. (2012). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53-64

He, X., Restuccia, F., Zhang, Y., Hu, Z., Huang, X., Fang, J., & Rein, G. (2020). Experimental Study of Self-heating Ignition of Lithium-Ion Batteries During Storage: Effect of the Number of Cells. *Fire Technology*, 56, 2649-2669.

Hedgescompany. (2021). How many cars are there in the world in 2022? hedgescompany.com/blog/2021/06/how-many-cars-are-there-in-the-world/ adresinden 24 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

Howey, D.A., Botas, R.F.M., Cussons, B. & Lytton, L. (2011). Comparative measurements of the energy consumption of 51 electric, hybrid and internal combustion engine vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(6), 459-464.

Huang, P., Ping, P., Li, K., Chen, H., Wang, Q., Wen, J., & Sun, J. (2016). Experimental and modeling analysis of thermal runaway propagation over the large-format energy storage battery module with $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ anode. *Applied Energy*, 183, 659–673.

Huang, Y., Lin, Y.-C., Jenkins, D. M., Chernova, N. A., Chung, Y., Radhakrishnan, B., Ong, S. P., & Whittingham, M. S. (2016). Thermal stability and reactivity of cathode materials for Li-ion batteries. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(11), 7013–7021.

IEA < <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>>, erişim tarihi 04.03.2020.
Jannatkhah, J., Najafi, B. & Ghaebi, H. (2020). Energy and exergy analysis of combined ORC–ERC system for biodiesel-fed diesel engine waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*, 209, 112658.

IEA. (2016/a). *World energy outlook 2016*. International Energy Agency. France.

IEA. (2016/b). Energy and air pollution. World energy outlook special report. *International Energy Agency*. France.

IEA. (2021). World energy outlook 2021.18. 112-144. www.iea.org/weo adresinden 15 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

IICEC. (2021). Sabancı Üniversitesi, Türkiye elektrikli araçlar görünümü lansman slaytları. https://iicec.sabanciuniv.edu/sites/iicec.sabanciuniv.edu/files/inline-files/IICEC_Türkiye_Elektrikli_Araçlar_Görünümü_28_Aralık_2021_1.pdf adresinden 15 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

International Organization for Standardization. (ISO 17840 series). *Road vehicles—Information for first responders and rescue personnel.*

Irmscher, I. (2015). *Otopark tasarımı, planlama ilkeleri, projeler ve yapılar*. YEM Yayın. İstanbul.

Isidore, C. (2022, 11 Kasım). *Volt fire 3 weeks after crash prompts safety probe*. CNN Money. https://money.cnn.com/2011/11/11/autos/volt_crash_fire/index.htm

Jia, Y., Darst, J., Surelia, A., Delafuente, D., Finegan, D. P., & Xu, J. (2022). Deformation and fracture behaviors of cylindrical battery shell during thermal runaway. *Journal of Power Sources*, 539, Article 231602.

Jiang, J., & Dahn, J. R. (2004). ARC studies of the thermal stability of three different cathode materials: LiCoO_2 ; $\text{Li}[\text{Ni}_{0.1}\text{Co}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}]\text{O}_2$; and LiFePO_4 in LiPF_6 and LiBOB EC/DEC electrolytes. *Electrochemistry Communications*, 6(1), 39–43.

Jin, C., Sun, Y., Wang, H., Zheng, Y., Wang, S., Rui, X., Xu, C., Feng, X., Wang, H., & Ouyang, M. (2022). Heating power and heating energy effect on the thermal runaway propagation characteristics of lithium-ion battery module: Experiments and modeling. *Applied Energy*, 312, Article 118787.

Joachin, H., Kaun, T. D., Zaghib, K., & Prakash, J. (2009). Electrochemical and thermal studies of carbon-coated LiFePO_4 cathode. *Journal of The Electrochemical Society*, 156(6), A401–A406.

Kagermeier, E. (2020, 7 Eylül). *Wie gefährlich sind Brände bei E-Autos wirklich?* Bayerischer Rundfunk. <https://www.br.de/nachrichten/wissen/wiegefaehrlich-sind-braende-bei-e-autos-wirklich,RoPFuv7>

- Kang, S., Kwon, M., Choi, J.-Y., & Choi, S. (2023). Full-scale fire testing of battery electric vehicles. *Applied Energy*, 332, Article 120495.
- Khan, S.A. & Bohnsack, R. (2020). Influencing the disruptive potential of sustainable technologies through value proposition design: The case of vehicle-to-grid technology. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120018.
- Khayyat, Y. & Unnasch, S. (2005). Hydrogen fuel cell vehicle safety in buildings. *SAE Technical Paper*, 1, 1889-2005.
- Kılınç, T. (2022, Eylül 29-30). Elektrikli Araç ve Şarj İstasyonlarında Yangın Güvenliği. Uluslararası Katılımlı Yangın Sempozyumu, 11-34.
- Kong, L., Li, C., Jiang, J., & Pecht, M. (2018). Li-Ion Battery Fire Hazards and Safety Strategies. *Energies*, 11(9), 2191.
- Krüger, S., Hofmann, A., Berger, A., & Gude, N. (2016). Investigation of smoke gases and temperatures during car fire—Large-scale and small-scale tests and numerical investigations. *Fire and Materials*, 40(6), 785–799.
- Lai, J. (2001). *Electric Vehicles and Power Electronics*. Universidad Technica Federico Santa Maria, Valparaiso, Chili, 1-41
- Larminie J. & Dicks A. (2000). *Fuel Cell Systems Explained*. John Wiley&Sons Ltd, London.
- Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P., & Mellander, B.-E. (2017). Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. *Scientific Reports*.
- Larsson, F., Bertilsson, S., Furlani, M., Albinsson, I., & Mellander, B. E. (2018). Gas explosions and thermal runaways during external heating abuse of commercial lithium-ion graphite–LiCoO₂ cells at different levels of ageing. *Journal of Power Sources*, 373, 220–231.
- Li, F., Gong, Y., Jia, G., Wang, Q., Peng, Z., Fan, W., & Zhang, S. (2015). A novel dual-salts of LiTFSI and LiODFB in LiFePO₄-based batteries for suppressing aluminum corrosion and improving cycling stability. *Journal of Power Sources*, 295, 47–54.

- Li, H., Chen, H., Sun, J., Wang, Q., Peng, W., & Yang, X. (2020). Full-scale experimental study on the combustion behavior of lithium-ion battery pack used for electric vehicle. *Fire Technology*, 56(6), 2545–2564.
- Li, Q., Chen, J., Fan, L., Kong, X., & Lu, Y. (2016). Progress in electrolytes for rechargeable Li-based batteries and beyond. *Green Energy & Environment*, 1(1), 18–42.
- Liao, Z., Zhang, S., Li, K., Zhang, G., & Habetler, T. G. (2019). A survey of methods for monitoring and detecting thermal runaway of lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 436, Article 226879.
- Linja-aho, V. (2020, 09 Ekim). Hybrid and Electric Vehicle Fires in Finland 2015–2019. Presented in Fires in Vehicles (FIVE) -. Finlandiya. <https://www.ri.se/sites/default/files/2020-12/linja-aho-paper-FIVE%20Hybrid%20and%20Electric%20Vehicle%20Fires%20in%20Finland%202015%E2%80%932019.pdf>
- Litman, T. (2006). *Parking management best practices*. Victoria Transport Policy Institute. Canada.
- Liu, J., Huang, Z., Sun, J., & Wang, Q. (2022). Heat generation and thermal runaway of lithium-ion battery induced by slight overcharging cycling. *Journal of Power Sources*, 526, Article 231132.
- Liu, X., Ren, D., Hsu, H., Feng, X., Xu, G.-L., Zhuang, M., Gao, H., Lu, L., Han, X., & Ouyang, M. (2018). Thermal runaway of lithium-ion batteries without internal short circuit. *Joule*, 2(10), 2047–2064.
- Luin, B., Petelin, S. & Mansour, F.A. (2019). Microsimulation of electric vehicle energy consumption. *Energy* 174, 24-32.
- Luo, W. T., Zhu, S. B., Gong, J. H., & Zhou, Z. (2018). Research and development of fire extinguishing technology for power lithium batteries. *Procedia Engineering*, 211, 531–537.
- Lyu, P., Liu, X., Qu, J., Zhao, J., Huo, Y., Qu, Z., & Rao, Z. (2020). Recent advances of thermal safety of lithium-ion battery for energy storage. *Energy Storage Materials*, 31, 195–220.

MacNeil, D. D., & Dahn, J. R. (2001). The reaction of charged cathodes with nonaqueous solvents and electrolytes: I. $\text{Li}_{0.5}\text{CoO}_2$. *Journal of The Electrochemical Society*, 148(11), A1205–A1210.

Mahmoudi, C., Flah, A. & Sbita, L. (2014). An overview of electric Vehicle concept and power management strategies. *Proceedings of the International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb*, Tunisia.

Manzetti, S. & Mariasiu, F. (2015). Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1004–1012.

Martha, S. K., Haik, O., Zinigrad, E., Exnar, I., Drezen, T., Miners, J. H., & Aurbach, D. (2011). On the thermal stability of olivine cathode materials for lithium-ion batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 158(10), A1115–A1122.

Martinez, C.M., Hu, X., Cao, D., Velenis, E., Gao, B. & Wellers, M. (2017). Energy management in plug-in hybrid electric vehicles: recent progress and a connected vehicles perspective. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(6), 4534-4549.

Matheys, J., Timmermans, J.M., Autenboer, W.V., Mierlo, J. V., Maggetto, G., Meyer, S., Groof, A.D., Hecq, W. & Bossche, P. V. D. (2006). Comparison of the Environmental impact of 5 Electric Vehicle Battery technologies using LCA. *Proceedings of 13th International Conference on Life Cycle Engineering*, Belgium, 97-102.

Matsumura, H., Itoh, S., Matsushima, K. & Okada, T. (2012). Temperature characteristics of a hybrid electric vehicle fire. *SAE Int. J. Alt. Power*. 1(1), 195-207.

Matulka, R. (2014, 15 Eylül). The History of the Electric Car. Energy: <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>

McKerracher, R. D., Guemez, J. G., Wills, R. G. A., Sharkh, S. M., & Kramer, D. (2021). Advances in prevention of thermal runaway in lithium-ion batteries. *Advanced Energy and Sustainability Research*, 2(10), Article 2100033.

Miller J.; (2022); *European sales of electric cars overtake diesel models for first time*, Joe Miller in Frankfurt January 16 2022, Financial Times

Morcos, M.M. (2000). Battery Chargers for Electric Vehicles. *IEEE Power Engineering Review*, 20(11), 8-11.

Mordue, G., & Sener, E. (2022). Upgrading in the automotive periphery: Turkey's battery electric vehicle maker Togg. *Development and Change*, 53(4), 760-795.

Moreno, J., Ortuzar, M. E. & Dixon L. W. (2006). Energy Management System for an Hybrid Electric Vehicle, Using Ultracapacitors and Neural Networks. *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 53(2), 614-623.

Naik, R.T., Babu, M.K.G. & Das, L. M. (2016). Performance Studies on CNG Enriched with LPG Operated Variable Speed Spark Ignition Engine. *Asian Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 1(3), 1-6.

Nanda, G. & Kar, N.C. (2006). A survey and comparison of characteristics of motor drives used in electric vehicles. *Proceedings of Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Canada, 811-814.

Nishi, Y. (2001). The development of lithium ion secondary batteries. *The Chemical Record*, 1(5), 406–413.

Nitta, N., Wu, F., Lee, J., & Yushin, G. (2015). Li-ion battery materials: present and future. *Energy*, 18(5), 252-264.

Noh, H.-J., Youn, S., Yoon, C. S., & Sun, Y.-K. (2013). Comparison of the structural and electrochemical properties of layered $\text{Li}[\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z]\text{O}_2$ cathode material for lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 233, 121–130.

Ocak, C. (2013). *Elektrikli araçlar için üç kademeli yeni bir fırçasız da motoru tasarımı, analizi ve uygulaması*. [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi].

Orendorff, C. J. (2012). The role of separators in lithium-ion cell safety. *Electrochemical Society Interface*, 21(2), 61–65.

Outokumpu. (2024, 18 Eylül). Forta H-Series - Build stronger and lighter vehicle structures with stainless steel.
www.outokumpu.com: <https://www.outokumpu.com/expertise/2020/build-stronger-and->

[lighter-vehicle-structures-with-stainless-steel](#) adresinden 24 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

Palacky, P., Brandstetter, P., Chlebis, P., Sladeczek, V., Simonik, P. & Slivka, D. (2014). Control algorithms of propulsion unit with induction motors for electric vehicle. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 14(2), 69-76.

Parhizi, M., Jain, A., Kilaz, G., & Ostanek, J. K. (2022). Accelerating the numerical solution of thermal runaway in Li-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 538, Article 231573.

Park, Y., Ryu, J., & Ryou, H. S. (2019). Experimental study on the fire-spreading characteristics and heat release rates of burning vehicles using a large-scale calorimeter. *Energies*, 12(15), Article 2913.

Patel, C., Agarwal, A.K., Tiwari, N., Lee, S., Lee, C. S. & Park, S. (2016). Combustion, noise, vibrations and spray characterization for Karanja biodiesel fuelled engine. *Applied Thermal Engineering* 106, 506-517.

Ping, P., Kong, D., Zhang, J., Wen, R., & Wen, J. (2018). Characterization of behaviour and hazards of fire and deflagration for high-energy Li-ion cells by overheating. *Journal of Power Sources*, 398, 55–66.

Ping, P., Wang, Q., Huang, P., Li, K., Sun, J., Kong, D., & Chen, C. (2015). Study of the fire behavior of high-energy lithium-ion batteries with full-scale burning test. *Journal of Power Sources*, 285, 80–89.

Ping, P., Wang, Q., Huang, P., Sun, J., & Chen, C. (2014). Thermal behaviour analysis of lithium-ion battery at elevated temperature using deconvolution method. *Applied Energy*, 129, 261–273.

Prnewswire, (2022). Hydrogen fuel cell passenger vehicles have all-time high sales in 2021, Says Information Trends. <https://www.prnewswire.com/news-releases/hydrogen-fuel-cell-passenger-vehicles-have-all-time-high-sales-in-2021-says-information-trends-301482623.html> adresinden 15 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

- Rahman, K. M., Fahimi, B., Suresh, G., Rajarathnam, A. V. & Ehsani, M. (2000). Advantages of Switched Reluctance Motor Applications to EV and HEV: Design and Control Issues. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 36(1), 111-121.
- Ribière, P., Grugeon, S., Morcrette, M., Boyanov, S., Laruelle, S., & Marlair, G. (2012). Investigation on the fire-induced hazards of Li-ion battery cells by fire calorimetry. *Energy & Environmental Science*, 5(1), 5271–5280.
- Richard, M. N., & Dahn, J. R. (1999). Accelerating rate calorimetry study on the thermal stability of lithium intercalated graphite in electrolyte. I. Experimental. *Journal of The Electrochemical Society*, 146(6), 2068–2077.
- Romm, J. (2006). The car and fuel of the future. *Energy Policy*. 34, 2609–2614.
- Rothwell, B.R. (2006). *The Vancouver fuel cell vehicle program*. World Hydrogen Energy Conference. France.
- Röder, P., Baba, N., & Wiemhöfer, H. D. (2014). A detailed thermal study of a $\text{Li}[\text{Ni}_{0.33}\text{Co}_{0.33}\text{Mn}_{0.33}]\text{O}_2/\text{LiMn}_2\text{O}_4$ -based lithium-ion cell by accelerating rate and differential scanning calorimetry. *Journal of Power Sources*, 248, 978–987.
- Russoa, P., Barib, C., Mazzaroc, M., Rosac, A., & Morriellod , I. (2018). Effective Fire Extinguishing Systems for Lithium-ion Battery. *CET*, 67, 727-732.
- SAE J3040-201512, (2015), Electric vehicle (e-vehicle) crash test lab safety guidelines. 2015-12-17.
- Sahraei, E., Campbell, J., & Wierzbicki, T. (2012). Modeling and short circuit detection of 18650 Li-ion cells under mechanical abuse conditions. *Journal of Power Sources*, 220, 360–372.
- Scheffler, G., McClory, M., Veenstra, M., Kinoshita, N. et al., (2011). Establishing localized fire test methods and progressing safety standards for FCVs and hydrogen vehicles. *SAE Technical Paper*. 2011-01-0251.
- Schiemann, M., Fischer, P., Bergthorson, J., & Scherer, V. (2016). A review on lithium combustion. *Applied Energy*, 162(6), 948-965.

Seber, H. (2023, Kasım-Aralık). İtfaiyecilerin Elektrikli Araç Yangını Operasyonlarını Planlanması. *Yangın ve Güvenlik Dergisi*, 243, 16-17.

SEI. (2007). Sustainable Energy. Hybrid electric and Battery Electric Vehicles-Technology, costs and Benefits. Sustainable Energy Ireland, Dublin.

Sheikh, M., Elmarakbi, A., & Rehman, S. (2017, May 19–20). *Thermal and electrical failure analysis of lithium-ion battery after crash* [Conference presentation]. Karachi, Pakistan.

Spoelstra, M.B. (2021). Hydrogen cars in parking garages-Part I, Institute of Physical Safety. <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20210209-IFV-Hydrogen-cars-in-parking-garages.pdf> adresinden 15 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır.

Spotnitz, R., & Franklin, J. (2003). Abuse behavior of high-power, lithium-ion cells. *Journal of Power Sources*, 113(1), 81–100.

Sturk, D., Hoffmann, L., & Tidblad, A. A. (2015). Fire tests on e-vehicle battery cells and packs. *Traffic Injury Prevention*, 16(sup1), S159–S164.

Suarez, C., & Martinez, W. (2019). Fast and ultra-fast charging for battery electric [vehicles—a review. In 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) (pp. 569-575). IEEE.

Sun, P., Bisschop, R., Niu, H., & Huang, X. (2020). A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. *Fire Technology*, 56, 1361-1410. doi:10.1007/s10694-020-00958-2

Swain, M.R. (2001, Nisan, 17-19). *Fuel leak simulation*. Proceedings of the 2001 DOE Hydrogen Program Review. Maryland.

Tamura, Y., Takabayashi, M., Tomioka, J., Suzuki, J. et al., (2010). An experimental study on the fire response of vehicles with compressed hydrogen cylinders. *SAE Int. J. Passeng. Cars – Mech. Syst.* 3(1), 301-307, <https://doi.org/10.4271/2010-01-0134>.

TEHAD, (2022). 2021 yılı elektrikli ve hibrid satış rakamları belli oldu. <https://www.tehad.org/2022/01/16/2021-yili-elektrikli-ve-hibrid-satis-rakamlari-belli-oldu/> adresinden 10 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

Tesla. (2021, 21 Nisan). Emergency Response Guide. (Model S Emergency Response Guide) https://www.tesla.com/sites/default/files/downloads/2021_Model_S_Emergency_Response_Guide_en.pdf adresinden 24 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

Thomas, C. E. (2009). Fuel cell and battery electric vehicles compared. *International journal of hydrogen energy*, 34(15), 6005-6020.

Tilki, İ., Bozkurt, B., Aktan, M., & Koçak, A. (2022). Türkiye'nin Ülke İmajı ile Genel Ürün İmajının Yerli Otomobil TOGG'un Algılanan Ürün İmajına ve Satın Alma Niyetine Etkisi. *Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 91-126.

Tohir, M., & Martin-Gomez, C. (2023). *Electric vehicle fire risk assessment framework using Fault Tree Analysis*. Open Res Europe, 1-20.

Uçarol, H. & Kural, E. (2009) Ulaşımda Enerji Verimliliği için Hibrid ve Elektrikli Araçlar. *Mühendis ve Makine*, 50(594), 66-71.

Uğurlu, A. & Öztuna, S. (2015). A comparative analysis study of alternative energy sources for automobiles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), 11178-11188.

Un, C., & Aydın, K. (2021). Thermal runaway and fire suppression applications for different types of lithium-ion batteries. *Vehicles*, 3(4), 480–497.

Üçok, M. (2019). *Hydrogen fuel cell vehicles*. Sabancı University Istanbul International Center for Energy and Climate. İstanbul

Vatani, M., Mirsalim, M. & Zadeh, S. V. (2019). A New Double-Layer Switched Reluctance Motor with a Low Torque Ripple. Proceedings of 27th Iranian Conference on Electrical Engineering, Iran.

DougVenturi, M., Fischer, R. & Henkel, F. (2013). *Hydrogen sensors for automotive fuel cell applications*, SAE Technical Paper 2013-01-0497.

Verband der Automobilindustrie (VDA). (2008, 20 Mart). *Accident assistance and recovery of vehicles with high-voltage systems: Frequently asked questions (FAQs)*. <https://www.vda.de/vda/en/press/press-releases/200806-Accident-assistance--The->

[automotive-industry-gives-highest-priority-to-collaboration-with-rescue-teams-](#) adresinden 24 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

Voelcker, J. (2014). 1.2 billion vehicles on world's roads now, 2 billion by 2035: Report, http://www.greencarreports.com/news/1093560_1-2-billion-vehicles-on-worlds-roads-now-2-billion-by-2035-report adresinden 15 Haziran 2025 tarihinde alınmıştır. Kural

Wang, H., Xu, H., Zhao, Z., Wang, Q., Jin, C., Li, Y., Sheng, J., Li, K., Du, Z., Xu, C., & Feng, X. (2022). An experimental analysis on thermal runaway and its propagation in cell-to-pack lithium-ion batteries. *Applied Thermal Engineering*, 211, Article 118480.

Wang, Q., Jiang, L., Yu, Y., & Sun, J. (2018). Progress of enhancing the safety of lithium-ion battery from the electrolyte aspect. *Nano Energy*, 55, 93–114.

Wang, Q., Mao, B., Stoliarov, S. I., & Sun, J. (2019). A review of lithium-ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies. *Progress in Energy and Combustion Science*, 73, 95–131.

Wang, Q., Ping, P., Zhao, X., Chu, G., Sun, J., & Chen, C. (2012). Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery. *Journal of Power Sources*, 208, 210–224.

Wang, Y., Jiang, J., & Dahn, J. R. (2007). The reactivity of delithiated $\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3})\text{O}_2$, $\text{Li}(\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05})\text{O}_2$, or LiCoO_2 with non-aqueous electrolyte. *Electrochemistry Communications*, 9(10), 2534–2540.

Westbrook, M. H. (2001). *The Electric Car: development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars*. IET Power and Energy Series 38.

Winkel, R., Hamelinck, C., Bardout, M., Bucquet, C., Ping, S. & Cuijpers, M. (2016). Alternative fuels and infrastructure in seven non-EU markets - Final report; Contract: MOVE/C1/SER/2014-268. European Commission, Brussels.

Wisch, M.; Ott, J.; Thomson, R.; Léost, Y.; Abert, M.; Yao, J. (2022). Recommendations and Guidelines for Battery Crash Safety and Post-Crash Safe Handling. EVERS SAFE—Everyday Safety for Electric Vehicles. 2014. Available online: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1367933&dsid=-7667> adresinde 17 Temmuz 2025 tarihinde temin edilmiştir.

Wojdyla, B. (2010, 09 Ağustos). *The straight story on the Chevy Volt battery fire*. Popular Mechanics. <https://www.popularmechanics.com/cars/hybrid-electric/a11865/the-straight-story-on-the-chevy-volt-battery-fire-6601217/> adresinden 24 Temmuz 2025 tarihinde alınmıştır.

Wöhrle, K., Geisbauer, C., Nebl, C., Lott, S., & Schweiger, H. G. (2021). Crashed electric vehicle handling and recommendations—state of the art in Germany. *Energies*, 14(4), 1040.

Xu, B., Lee, J., Kwon, D., Kong, L., & Pecht, M. (2021). Mitigation strategies for Li-ion battery thermal runaway: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, Article 111427.

Yang, H., Bang, H., Amine, K., & Prakash, J. (2005). Investigations of the exothermic reactions of natural graphite anode for Li-ion batteries during thermal runaway. *Journal of The Electrochemical Society*, 152(1), A73–A79.

Yin, Y., Steckel, K. E. & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 848-861.

Yong, J., Ramachandramurthy, V., Tan, K., & Nadarajah, M. (2015). A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 365-385.

Zeng, Z., Wu, B., Xiao, L., Jiang, X., Chen, Y., Ai, X., Yang, H., & Cao, Y. (2015). Safer lithium-ion batteries based on nonflammable electrolyte. *Journal of Power Sources*, 279, 6–12.

Zengin, Y., Ada, A., Oktay, E. H., & Kurtaal, S. E. (2024). Etnosentrik eğilimlerin tüketici satın alma niyetine etkisinde menşe ülke etkisinin aracılık rolü: TOGG örneği. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 26(46), 210-234.

Zhang, F., Feng, X., Xu, C., Jiang, F., & Ouyang, M. (2022). Thermal runaway front in failure propagation of long-shape lithium-ion battery. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 182, Article 121996.

Zhang, H., Zhou, M. Y., Lin, C. E., & Zhu, B. K. (2015). Progress in polymeric separators for lithium-ion batteries. *RSC Advances*, 5(90), 89848–89860

Zhang, J., Su, L., Li, Z., Sun, Y., & Wu, N. (2016). The evolution of lithium-ion cell thermal safety with aging examined in a battery testing calorimeter. *Batteries*, 2(1), Article 12.

Zhang, Z., Fouchard, D., & Rea, J. (1998). Differential scanning calorimetry material studies: Implications for the safety of lithium-ion cells. *Journal of Power Sources*, 70(1), 16–20.



EKLER

EK 1: Görüşme Formu

GÖRÜŞME FORMU

Bu form, “Elektrikli Araç Yangınlarında Güvenlik Önlemleri ve Müdahale Teknikleri” başlıklı yüksek lisans tez çalışması kapsamında, itfaiye teşkilatlarında görev yapan personelin elektrikli araç yangınlarına ilişkin bilgi düzeyi, deneyimleri, mevcut uygulamalar ve iyileştirme önerilerini detaylı biçimde değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Görüşmelerden elde edilecek veriler yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılacak, kişisel bilgiler anonimleştirilecektir. Katılım gönüllülük esasına dayanmaktadır. Aşağıdaki sorulara içtenlikle ve detaylı biçimde yanıt vermeniz beklenmektedir.

Katılımcı Bilgileri

Katılımcı Kodu	
Kurumu	
Görevi	
Görev Süresi (yıl)	
Cinsiyet	
Yaş	

Görüşme Soruları

1. Kurumunuzda elektrikli araç yangınlarına yönelik özel bir müdahale protokolü mevcut mu? Varsa, hangi belgeler veya kılavuzlar temel alınarak hazırlanmıştır? Protokol sahada ne ölçüde uygulanabilir niteliktedir?
2. Elektrikli araç yangınlarına daha önce müdahale ettiyseniz, olayın türü, kullanılan ekipman, müdahale süresi ve yaşadığınız teknik zorluklar hakkında ayrıntılı bilgi verebilir misiniz?
3. Elektrikli araç yangınlarına müdahale sürecinde kullanılan kişisel koruyucu donanımlar (KKD) nelerdir? Bu donanımların yeterliliği ve ergonomik uygunluğu hakkında değerlendirme yapar mısınız?
4. Batarya kaynaklı yangınlarda açığa çıkan toksik gazlar hakkında bilgilendiriliyor musunuz? Solunum riski ve kimyasal maruziyete karşı ne tür önlemler alınmaktadır?
5. Kullanmakta olduğunuz yangın söndürme ekipmanları elektrikli araç yangınları için özel olarak geliştirilmiş mi? Bu ekipmanların batarya yangınlarına karşı etkinliği konusunda gözlemlerinizi paylaşır mısınız?
6. Elektrikli araç yangınlarına yönelik özel bir hizmet içi eğitim aldınız mı? Eğitimin içeriği, süresi, uygulamalı yönü ve yeterliliği hakkındaki görüşlerinizi açıkla mısınız?
7. Müdahale sırasında karşılaşılan organizasyonel sorunlar nelerdir? Koordinasyon, iletişim, görev dağılımı, olay komutası gibi yönlerden yaşanan aksaklıklar hakkında örnekler verebilir misiniz?

8. Türkiye’de elektrikli araç yangınlarına müdahale hazırlık düzeyi hakkında genel bir değerlendirme yapar mısınız? Mevcut uygulamaların güçlü ve zayıf yönlerini belirtir misiniz?
9. Batarya yangınlarına müdahale sürecinde güvenlik açısından en kritik gördüğünüz aşama hangisidir? Riskin en yoğun yaşandığı noktalar sizce nelerdir?
10. Bu alandaki riskleri azaltmak için öncelikli olarak hangi teknik, eğitsel veya yönetsel adımların atılması gerektiğini düşünüyorsunuz?
11. Elektrikli araç yangınlarıyla ilgili mevcut mevzuat, rehber ya da talimatnamelerde eksik bulduğunuz veya revize edilmesi gerektiğini düşündüğünüz hususlar var mı?
12. Eklemek istediğiniz farklı görüş, deneyim ya da önerileriniz varsa lütfen paylaşınız.



EK 2: Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu

Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu

Sayın Katılımcı,

Bu görüşme formu; Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde, Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ŞEN danışmanlığında, İş Sağlığı ve Güvenliği Tezli Yüksek Lisans Öğrencisi Ali Şükrü CİHAN tarafından, “**Elektrikli Araç Yangınlarında Güvenlik Önlemleri ve Müdahale Teknikleri**” konulu yüksek lisans tez çalışması kapsamında değerlendirilmek üzere hazırlanmıştır. Görüşmenin cevaplanması yaklaşık 10 dakika sürmektedir. Çalışma; görüşme ve demografik verilerle ilgili bazı temel sorulardan oluşmakta olup, size en uygun seçeneği işaretlemeniz yeterli olacaktır.

Katılım tamamen gönüllülük esasına bağlı olmakla birlikte çalışmada özel veya kişisel bilgilere yer verecek kimlik belirleyici herhangi bilgi istenmemektedir. Görüşme tamamen anonim olduğundan dolayı, görüşmede yer alan sorulara **doğru ve eksiksiz** yanıt vermeniz büyük önem taşımaktadır.

Görüşmede yer alan hiçbir sorunun doğru ya da yanlış cevabı bulunmamaktadır. Elde edilecek bilgiler, sadece araştırmacı tarafından bilimsel-akademik veri amacıyla kullanılacak ve hiçbir şekilde 3. kişilere bilgi paydaşı yapılmayacaktır.

Katılım sırasında sorulardan ya da herhangi bir nedenden dolayı araştırmadan geri çekilme hakkına sahipsiniz, bu durumda cevaplarınız kesinlikle kaydedilmeyecektir. Görüşmeyi yanıtlamanız, araştırmaya katılım için onay verdiğiniz anlamına gelmektedir. Katılımcı özerkliğinin sağlanması adına, çalışmaya onay vermeniz önem arz etmektedir.

Araştırmaya göstermiş olduğunuz **ilgi, destek ve katkılarınız** için teşekkür ederiz.

EK 3: Etik Kurul Kararı



KOCAELİ SAĞLIK VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ

Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu

Sayı : 2025- 191

Tarih: 14.07.2025

Konu : Etik Kurul Raporu

Sayın Ali Şükrü Cihan (İSG YL öğrencisi)

“Elektrikli Araç Yangınlarında Güvenlik Önlemleri ve Müdahale Tekniklerin Değerlendirilmesi” konulu çalışmanız Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu üyeleri tarafından incelenmiş olup 14/07/2025 tarih ve 28/03 sayılı kararı ile uygun görülmüştür.

Bilgilerinizi rica ederim.

Prof. Dr. Firdevs Karahan

GİRİŞİMSEL OLMAYAN ARAŞTIRMALAR
ETİK KURUL BAŞKANI

Eki: 1 karar sureti

EK 4: Yazar Özgeçmiş

ÖZGEÇMİŞ (CV)

ALİ ŞÜKRÜ CİHAN

Giresun Üniversitesi

Kadro: Öğretim Görevlisi

Kurum: Giresun Üniversitesi Espiye Meslek Yüksek Okulu Mülkiyet Koruma ve Güvenlik
Güvenlik Bölümü Sivil Savunma ve İtfaiye Programı

Giresun Üniversitesi Afet ve Acil Durum Arama- Kurtarma Birim sorumlusu(Başkanı)

EĞİTİM BİLGİLERİ

1990-1996 Akçaabat İmam Hatip Lisesi, TRABZON

1999-2003 Kocaeli Üniversitesi, KOCAELİ

Beden Eğitimi ve Spor Öğretmenliği, Lisans

2013-2015 Atatürk Üniversitesi, ERZURUM

İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlığı, Ön Lisans

2014-2015 Üsküdar Üniversitesi, İSTANBUL

İş Sağlığı ve Güvenliği uzmanlığı, Yüksek Lisans

2016-2017 Haliç üniversitesi Yüksekte Çalışma Eğitici Eğitimi

2017-2018 B sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı Sertifikası Belgesi

2018-2019 Yeditepe Üniversitesi Yangın Eğitici Eğitimi Sertifikası Seviye 1,2,3
seviye

2024-2025 Trabzon Üniversitesi Bilir kişi Temel Eğitim Katılım Belgesi

İŞ TECRÜBESİ

2006-2020	İBB Merkez İtfaiye Müdürlüğü İtfaiye Eğitim Merkezi (Eğitmen) 2009-2010 İstanbul Üniversitesi Kurtarma Teknikleri I-II Dersleri,
2012-2012	İBB Avrupa Yakası İtfaiye Müdürlüğü Kocasinan Grup Amirliği (Yangıncı, Eğitmen)
2010-2012	Şehit Büyük Elçi İsmail Erez Endüstri Meslek Lisesi, İtfaiyecilik Bölümü, Arama Kurtarma Dersi
2014-2015	Şehit Büyük Elçi İsmail Erez Endüstri Meslek Lisesi, İtfaiyecilik Bölümü, Doğal Afetler Dersi
2015-2016	Şehit Büyük Elçi İsmail Erez Endüstri Meslek Lisesi İtfaiyecilik Bölümü, Yangına Müdahale Teknikleri Dersi
2019-2020	İBB Avrupa Yakası İtfaiye Müdürlüğü Bağcılar Grup Amirliği (Yangıncı, Eğitmen)
2020-2023	Giresun Üniversitesi Espiye Meslek Yüksek Okulu Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü Sivil Savunma ve İtfaiye Programı Öğretim Görevlisi

EĞİTİMLER VE SERTİFİKALAR

- İleri Düzey Kurtarma Eğitmen Eğitimi, 2007, İstanbul (Eğitim Süresi 3 Ay)
- Yangın Eğitici eğitimi 1.sevise 2.seviye3.seviye
- B Sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı Sertifikası Belgesi 2018
- Yüksekte Çalışma Eğitici Eğitimi İstanbul Haliç Üniversitesi 2016
- Bir Yıldız Dalıcı Sertifikası (TSSF), 2002, Kocaeli
- Bilgisayar Sertifikası, Halk Eğitim Merkezi, 2006, Trabzon
- Temel İtfaiye Er Eğitimi, 2006, İstanbul
- Yangına Müdahale, Gözlem, Yangın Patlama, Yangın Evi Atak ve Gözlem Konteyneri Eğitimi
- İlkyardım Eğitimi, 2006, İstanbul
- Bronz Cankurtaran Belgesi (TSSF), 2002, Kocaeli
- Hidrolik Malzeme Kullanım Eğitimi, 2009, İstanbul
- Trafik Kazalarına Müdahale Eğitimi, 2010, İstanbul
- İş Güvenliği Yaşam Zirvesi Yüksekte Güvenli Çalışma, 2011, İstanbul
- Tehlikeli Maddelere Müdahale Eğitimi, 2012, İstanbul
- Etkin Öğrenme ve Öğretme Teknikleri, 2012, İstanbul
- Kentsel Arama Kurtarma Eğitimi, 2012, İstanbul
- Bina Çökmeleri ve Toprak Kaymaları Eğitimi, 2012, İstanbul
- Yangın Çıkış Sebebinin Tespiti ve Raporlama, 2013, İstanbul
- Yangına Müdahale Teknikleri (Hollanda itfaiyesi) 2013, İstanbul
- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Eğitimi, 2013, İstanbul
- Termal Kamera ve Gaz Ölçüm Cihazları Eğitimi, 2013, İstanbul
- Yazışma Kuralları ve İmza Yetkisi Yönergesi Eğitimi, 2013, İstanbul

23. Olay Yeri Sevk ve Organizasyon Eğitimi, 2013, İstanbul
24. Ayniyat İşleri Eğitimi, 2013, İstanbul
25. Sel ve Su Üstü Arama Kurtarma Eğitimi, 2013, İstanbul
26. İletişim Teknikleri ve Yönetim Becerileri, 2013, İstanbul
27. Toplum İçinde Etkili Konuşma, 2013, İstanbul
28. Asansörden Kurtarma Eğitimi, 2015, İstanbul
29. Captiaviate Eğitimi, Bilgisayar Programı, 2015, İstanbul
30. İş sağlığı ve Güvenliği Çalışan Temsilcisi
31. Shindler Eğitim Merkezinde Asansör ve Yürüyen Merdivenlerde Yolcu Kurtarma Eğitimi 2015
32. Türk Halk Oyunları Yetiştirme Kursu (Akçaabat yöresi) Sertifikası 2005
33. 1. Kademe Yüzme Yardımcı Antrenörlük Belgesi
34. Uludağ Kış sporlar Kampı Kayak Katılım Belgesi 2003

AKADEMİK YAYINLAR

KİTAP/KİTAP BÖLÜMLERİ

1. Afet Yönetimi Perspektifinden Orman Yangınları, Bölüm Adı:Orman Yangınlarında Saha Personeli Yönetimi: İş Sağlığı Güvenliği ve Acil Yardım, CİHAN ALİ ŞÜKRÜ,ŞAHİN DURGUT MERAL, Yayın Yeri:Akademisyen, Editör:DEMİRBİLEK ÖMER, KÖÇER MUSAB SÜLEYMAN, Basım sayısı:1, Sayfa sayısı:20, ISBN:978-625-375-808-0, 2025 Bilimsel Kitap Kitap Bölümü
2. Sosyal Bilimlerde Kuramsal Çerçeveler ve Metodolojik Tartışmalar, Bölüm Adı:Türkiye'de Afet Yönetimi ve Afet Müdahale Stratejileri, ERGÜN YUNUS,CİHAN ALİ ŞÜKRÜ, Yayın Yeri:Özgür Yayınları, Basım sayısı:1, Sayfa sayısı:194, ISBN:978-625-5757-08-1, 2025 Bilimsel Kitap Kitap Bölümü
3. Sosyal Bilimler: Teori, Metodoloji ve Uygulama, Bölüm Adı:Zorunlu Yer Değiştirmeden Planlı Yeniden Yerleşime: Afet YönetimindeYeni Paradigmalar, ERGÜN YUNUS,CİHAN ALİ ŞÜKRÜ, Yayın Yeri:Platanus Publishing, Basım sayısı:1, Sayfa sayısı:741, ISBN:978-625-6454-55-2, 2025 Bilimsel Kitap Kitap Bölümü

MAKALELER

1. Türkiye’de Acil Durum Eylem Planlarının Uygulanabilirliği ve Sürdürülebilirliği, ALİ ŞÜKRÜ CİHAN, Yayın Yeri:Paradigma Sosyal Bilimler Dergisi , 2025 Uluslararası Hakemli Alan endeksleri (ESJI, Index Copernicus, EuroPub, Akademi...), Özgün Makale
2. Doğal Afetlere Müdahalede İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları, ALİ ŞÜKRÜ CİHAN , Yayın Yeri:Multidisipliner Yaklaşımlarla Coğrafya , 2025 Uluslararası Hakemli Diğer endeksler (erihplus, indexcopernicus, DRJI, SIS), Özgün Makale

ULUSAL/ULUSLARARASI BİLDİRİLER

1. 21. Yüzyıl Coğrafyasında Paradigmatik Dönüşümler: Dijitalleşme, Sürdürülebilirlik ve Bütünleşik Yaklaşımlar YUNUS ERGÜN,ALİ ŞÜKRÜ CİHAN (16.12.2025 -18.12.2025) , Yayın Yeri:International 8th Bursa Scientific Research Congress, 2025 Uluslararası, Tam metin bildiri
2. Doğal Afet, Göç ve Yerinden Olma İlişkisi: Küresel ve Türkiye Perspektifinden İncelenmesi YUNUS ERGÜN,ALİ ŞÜKRÜ CİHAN (20.12.2025 -22.12.2025) , Yayın Yeri:Business Journal 5th International Paris Social Science Congress , 2025 Uluslararası, Tam metin bildiri
3. Türkiye'de İtfaiye Personellerinin Yangına Müdahale Sürecinde Yaşadıkları Zorluklar YUNUS ERGÜN,ALİ ŞÜKRÜ CİHAN (10.09.2025) , Yayın Yeri:INTERNATIONAL 4th TOKAT SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESSİ, Uluslararası, Tam metin bildiri
4. İtfaiyecilik Hizmetleri Bağlamında Afet Yönetimi için Kapsamlı Kuramsal Çerçeve; Hazırlık, Müdahale, İyileştirme ve Dayanıklılığın Entegrasyonu YUNUS ERGÜN,ALİ ŞÜKRÜ CİHAN (10.09.2025) , Yayın Yeri:INTERNATIONAL 4th TOKAT SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS, Uluslararası, Tam metin bildiri
5. Üniversite Öğrencilerinin Doğal Afet Farkındalıklarına İlişkin Görüşleri: Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı Öğrencileri Örneği YUNUS ERGÜN,ALİ ŞÜKRÜ CİHAN (20.12.2025 - 22.12.2025) , Yayın Yeri:Business Journal 5th International Paris Social Science Congress , 2025, Uluslararası, Tam metin bildiri

TEŞEKKÜR BELGELERİ

Konya Büyük Şehir Belediyesi,2008, Konya

Çerkezköy Belediyesi,2009, Tekirdağ

İnegöl Belediyesi,2008, Bursa

Tekirdağ Büyük Şehir Belediyesi, 2009,Tekirdağ

Mahalle Afet Gönülleri

Derneği(Mag),2009,İstanbul Safranbolu

Belediyesi, 2010, Karabük

Gümüşhane Belediyesi, 2010, Gümüşhane

Ankara Tehlikeli Maddeler Ve Patlayıcılar, 2010,Ankara

Bayrampaşa Kaymakamlığı, 2010, İstanbul

İnsani Yardım Vakfı (İhh), 2010, İstanbul

İstanbul Polis Akademisi Şükrü Balcı Polis Okulu,2014, İstanbul

