

Article Arrival Date

Article Type

Article Published Date

05.05.2025

Research Article

20.06.2025

**LİTYUM-İYON BATARYAYA SAHİP ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA YANGIN
GÜVENLİĞİ**

FIRE SAFETY IN ELECTRIC VEHICLES WITH LITHIUM-ION BATTERIES

Emre Can TOK¹, Doğan KAZAK²¹İtfaiye Görevlisi, Oyak Renault Otomobil Fabrikaları A.Ş., Önlem ve Koruma Departmanı,
Risk Mühendisliği ve Yangın Grubu, <https://orcid.org/0009-0004-5010-9378>²İtfaiye Görevlisi, Aselsan A.Ş., Güvenlik Müdürlüğü, İtfaiye Birimi, <https://orcid.org/0009-0007-2508-991X>**Özet**

Bu makale, elektrikli araçlarda kullanılan Lityum-iyon bataryaların yangın güvenliği konusunu ele almaktadır. Elektrikli araçların çevresel faydaları ve fosil yakıt bağımlılığını azaltma potansiyeli, bu araçların yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Ancak, Lityum-iyon bataryaların termal kaçak, iç kısa devre ve yüksek enerji yoğunluğu gibi özellikleri yangın riski yaratmakta ve bu yangınların kontrol altına alınmasını zorlaştırmaktadır. Elektrikli araç yangınları sırasında açığa çıkan toksik gazlar, yangına müdahale eden ekipler ve çevre için büyük tehlike arz etmektedir. Bu nedenle, yangın güvenliği protokollerinin ve müdahale yöntemlerinin geliştirilmesi kritik bir önem taşımaktadır. Makalede, Türkiye'deki elektrikli araç pazarının büyümesi ve bu araçlarda kullanılan bataryaların güvenliği ile ilgili mevcut uygulamalar ve uluslararası standartlar incelenmektedir. Ayrıca, Lityum-iyon batarya yangınlarına karşı alınabilecek önlemler ve müdahale yöntemleri hakkında öneriler sunulmaktadır. Elektrikli araç yangınlarının önlenmesi ve etkilerinin azaltılması için batarya üreticileri, araç üreticileri, hükümetler ve düzenleyici kurumlar arasında etkin iş birliği ve farkındalık artırıcı çalışmaların yapılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Acil Durum Müdahalesi, Elektrikli Araçlar, Lityum-iyon Bataryalar, Termal Kaçak, Yangın Güvenliği.

Abstract

This article addresses the issue of fire safety in lithium-ion batteries used in electric vehicles.

The environmental benefits of electric vehicles and their potential to reduce dependence on fossil fuels have led to their increasing adoption. However, features of lithium-ion batteries such as thermal runaway, internal short circuits, and high energy density create a fire risk and make it difficult to control these fires. The toxic gases released during electric vehicle fires pose significant dangers to response teams and the environment. Therefore, developing fire safety protocols and intervention methods is of critical importance. The article examines the growth of the electric vehicle market in Turkey, as well as the current practices and international standards related to the safety of the batteries used in these vehicles. Additionally, it offers recommendations for precautions and intervention methods against lithium-ion battery fires. The importance of effective cooperation and awareness-raising efforts among battery manufacturers, vehicle manufacturers, governments, and regulatory bodies is emphasized to prevent electric vehicle fires and mitigate their impacts.

Keywords: Emergency Response, Electric Vehicles, Lithium-Ion Batteries, Thermal Runaway, Fire Safety.

1. GİRİŞ

Elektrikli araçlar, küresel çapta çevresel kaygılar ve fosil yakıt bağımlılığının azaltılması amacıyla giderek daha fazla tercih edilen araç türleri haline gelmiştir. Bu araçlar, karbon emisyonlarını düşürme ve enerji verimliliğini artırma potansiyeli ile öne çıkmaktadır (Shkurti Özdemir, 2024). Ancak, elektrikli araçlarda kullanılan Lityum-iyon bataryaların güvenliği, özellikle yangın riski açısından önemli bir endişe kaynağıdır. Lityum-iyon bataryaların termal kaçak gibi sorunları, bu araçlarda yangın riskini artırmakta ve yangınların geleneksel araç yangınlarına kıyasla daha zor kontrol edilebilir olmasına yol açmaktadır (Kazak, 2024b).

Bu makale, elektrikli araçların yaygınlaşması ile birlikte ortaya çıkan Lityum-iyon batarya yangınlarının nedenlerini, etkilerini ve bu yangınlara karşı alınabilecek güvenlik önlemlerini ele almaktadır. Türkiye'deki elektrikli araçların durumu ve yangın güvenliği ile ilgili mevcut uygulamalar da incelenecektir. Bu bağlamda hem uluslararası hem de yerel düzeyde kabul görmüş güvenlik protokollerinin değerlendirilmesi, yangın güvenliği konusunda yapılması gerekenler hakkında öneriler sunulması hedeflenmektedir.

2. ELEKTRİKLİ VE HİBRİT ARAÇLARIN GELİŞİMİ VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

2.1. Elektrikli Araçların Tarihçesi

Tablo 1, elektrikli araçların tarihçesini kronolojik olarak özetleyerek, ilk elektrikli araçlardan

günümüzün gelişmiş hibrit ve elektrikli modellerine kadar uzanan önemli dönüm noktalarını vurgulamaktadır. Bu gelişmeler, sadece teknolojinin evrimini değil, aynı zamanda toplumun enerji kaynaklarına olan yaklaşımının nasıl değiştiğini de göstermektedir.

Tablo 1: Elektrikli Araçların Tarihçesi

YIL	GELİŞME
1828	Macar mucit Ányos Jedlik, elektrik motoru kullanan küçük bir model araba geliştirdi.
1832-1839	Robert Anderson, hem elektrik motoru ve hem kurşun asit aküsü ile çalışan ilk elektrikli arabayı icat etti.
1899	La Jamais Contente, saatte 100 km'yi aşarak en hızlı elektrikli araç olarak tarihe geçti.
1900-1910	ABD'de otomobillerin yaklaşık üçte biri elektrikle çalışıyordu; elektrikli taksiler ve özel araçlar yaygınlaştı.
1920-1960	İçten yanmalı motorların gelişimi ve petrolün keşfi, elektrikli araçların popülerliğini azalttı.
1970'ler	Petrol krizi, alternatif enerji kaynaklarına ve elektrikli araçlara olan ilgiyi artırdı.
1973	General Motors, "Urban Electric Car" adlı bir elektrikli araç prototipi tanıttı.
1997	Toyota, dünyada seri üretime geçen ilk hibrit araç olan Toyota Prius'u piyasaya sürdü.
1999	Honda, hibrit araç modeli Insight'ı tanıttı.
2008	Tesla Motors, tamamen elektrikli olan Tesla Roadster'ı piyasaya sürdü.
2010	Nissan, tamamen elektrikli Nissan Leaf'i piyasaya sürdü.
2015	Tesla Model S, elektrikli araçlar için yeni standartları belirledi.
2020	Birçok ülke içten yanmalı motorlu araçları yasaklama planlarını açıkladı, elektrikli araç yatırımları arttı.

Kaynak:(Kocabey, 2018; Wilson, 2023; Kolay Şarj, 2024; Roos, 2024)

2.2.Türkiye'de Elektrikli ve Hibrit Araç Pazarı: Mevcut Durum ve Geleceğe Yönelik Projeksiyonlar

Elektrikli araçlar, içten yanmalı motora sahip araçlara kıyasla sunduğu çevresel ve ekonomik

avantajlar sayesinde kullanıcıların ilgisini çekmeye devam ediyor. Bu doğrultuda Türkiye’deki elektrikli araç sayısı her geçen gün artış gösteriyor. Uluslararası Enerji Ajansı’nın raporuna göre, 2030 yılına kadar dünya genelinde satılan araçların yüzde 60’tan fazlasının elektrikli olması bekleniyor. Türkiye’de de hükümetin uyguladığı teşvikler ve artan çevre bilinci sayesinde elektrikli araç satışlarının önümüzdeki yıllarda katlanarak artacağı tahmin ediliyor (Hedef Filo, 2024).

Potansiyel elektrikli araç kullanıcıları, genellikle araç bakımı ve muayenesi gibi konular yüzünden kararsızlık yaşasa da Türkiye’deki elektrikli araç sayısı yıllar içinde kayda değer bir artış göstermiştir. Peki, şu anda Türkiye’de kaç adet elektrikli ve hibrit araç bulunuyor? Aşağıda, Türkiye’de elektrikli ve hibrit araç sayısındaki artışı ve bu artışın yıllara göre dağılımı hakkında bilgi yer almaktadır.

2.3.Türkiye’de Trafîğe Kayıtlı Elektrikli Araç Sayısı

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, Türkiye’de trafiğe kayıtlı elektrikli araç sayısı 2023 sonunda beş yıl öncesine kıyasla yüzde 6 bin 706 oranında artış gösterdi. Tablo 2, son beş yıldaki elektrikli araç sayısındaki artışı detaylı olarak göstermektedir:

Tablo 2: Son 5 Yılın Verilerine Göre Türkiye’de Trafîğe Kayıtlı Elektrikli Araç Sayısı

232

YIL	ELEKTRİKLİ ARAÇ SAYISI
2019	1.176
2020	2.797
2021	6.267
2022	14.552
2023	80.043

Kaynak: (Türkiye İstatistik Kurumu, 2024)

2019 yılında trafiğe kayıtlı elektrikli araç sayısı ilk kez bini aşarken, bu sayı 2023 yılına gelindiğinde yaklaşık 80 bine ulaştı. Bu, 2022’ye göre 2023’te yaklaşık 5,5 katlık bir artışa denk gelmektedir. 2024 yılının mart ayı itibarıyla elektrikli araç sayısının 85-90 bin civarında olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle TOGG markasının piyasaya girmesiyle birlikte, elektrikli araçlara olan talep önemli ölçüde artmıştır (Hedef Filo, 2024).

2.4.Türkiye’de Trafîğe Kayıtlı Hibrit Araç Sayısı

Hibrit araç teknolojisi hem dünya genelinde hem de Türkiye’de daha eski bir geçmişe sahiptir ve elektrikli araçlara kıyasla daha fazla kullanıcıya sahiptir. Tablo 3, Türkiye’de trafiğe kayıtlı hibrit araç sayısındaki değişimi göstermektedir:

Tablo 3: Türkiye’de Trafiğe Kayıtlı Hibrit Araç Sayısı

YIL	HİBRİT ARAÇ SAYISI
2019	13.877
2020	33.690
2021	86.682
2022	134.662
2023	222.328

Kaynak: (Türkiye İstatistik Kurumu, 2024)

2023 itibarıyla Türkiye’de hibrit araç sayısı, elektrikli araç sayısından yaklaşık 143 bin daha fazladır. Bu farkın en büyük nedeni, kullanıcıların elektrikli araçlara geçişte önce hibrit araçları tercih etmeleridir. 2024 yılı itibarıyla hibrit araç sayısının yaklaşık 250 bin civarında olduğu tahmin edilmektedir (Hedef Filo, 2024).

2.5.Türkiye’de Satılan Elektrikli ve Hibrit Araç Model Sayısı

2023 yılında Türkiye’de 27 marka tarafından 59 farklı elektrikli araç modeli satılırken, bu rakam 2024 yılının ilk çeyreğinde 34 marka ve 101 modele yükseldi. Hibrit araç model sayısı ise elektrikli araçlara göre çok daha fazladır. 2024 itibarıyla Türkiye’de yaklaşık 375 hibrit araç modeli satışta bulunmaktadır. Bu çeşitlilik, hem farklı kullanıcı ihtiyaçlarına hitap etmekte hem de pazarın genişlemesine katkı sağlamaktadır (Hedef Filo, 2024).

2.6.Türkiye’de Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Sayısı

Elektrikli araçların artışıyla birlikte Türkiye’de elektrikli araç şarj istasyonu sayısı da hızla artmıştır. 2022 yılında Türkiye’de 6.500 şarj istasyonu bulunurken, bu sayı 2023 Aralık ayında 12.067’ye ulaşmıştır. Bu istasyonların 8.492’si alternatif akım (AC), 3.575’i ise doğru akım (DC) şarj imkânı sunmaktadır. Türkiye, bu sayede toplam şarj istasyonu sayısı bakımından Avrupa’da ikinci sıraya yükselmiştir (Hedef Filo, 2024).

3. LİTYUM-İYON BATARYA TEKNOLOJİSİ

Lityum-iyon batarya teknolojisi, şarj edilebilir elektrikli araçların temel güç kaynağı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu, hafiflik, uzun ömür ve hızlı şarj edebilme özellikleri sayesinde elektrikli araçlar için idealdir. Lityum-iyon bataryalar, araçlara uzun menzil sunarken, aynı zamanda düşük karbon emisyonlarıyla çevreye duyarlı bir çözüm sağlar. Bu nedenle, elektrikli araç üreticileri, performansı artırmak ve kullanıcıların menzil endişesini gidermek için Lityum-iyon batarya teknolojisine odaklanmaktadır.

3.1.Lityum-iyon Bataryaların Çalışma Prensibi

Lityum-iyon bataryaların çalışma prensibi, temel yapıları (katot, anot, elektrolit ve ayırıcı bileşenleri) ve kimyası, şarj ve deşarj döngüleri hakkında detaylı bilgi aşağıda yer almaktadır.

3.1.1. Lityum-iyon Bataryaların Temel Yapısı ve Kimyası

Lityum-iyon bataryaların temel yapısı dört ana bileşenden oluşur:

- ❖ **Anot (Negatif Elektrot):** Anot genellikle grafit gibi karbon bazlı bir malzemeden yapılır. Şarj sırasında lityum iyonları katottan anoda hareket eder ve burada depolanır.
- ❖ **Katot (Pozitif Elektrot):** Katot, genellikle lityum metal oksitler (örneğin, lityum kobalt oksit) gibi malzemelerden yapılır. Deşarj sırasında, lityum iyonları anotdan katoda hareket eder.
- ❖ **Elektrolit:** Elektrolit, lityum iyonlarının anot ile katot arasında hareket etmesini sağlar. Genellikle, lityum tuzları içeren organik karbonat çözeltileri kullanılır.
- ❖ **Ayırıcı:** Ayırıcı, anot ve katot arasında fiziksel bir bariyer sağlayarak kısa devreleri önlerken, lityum iyonlarının geçişine izin verir. Genellikle mikro gözenekli polimerik malzemelerden yapılmıştır (Kükre, 2010; Vıçıl, 2011; Polat ve Keleş, 2012).

3.1.2. Şarj ve Deşarj Döngüleri

Lityum-iyon bataryaların temel çalışma prensibi, lityum iyonlarının hareketine dayanır:

- ❖ **Şarj Döngüsü:** Şarj sırasında, dış bir elektrik kaynağı yardımıyla lityum iyonları katottan anoda doğru hareket eder. Elektronlar dış devre üzerinden anoda giderken, iyonlar elektrolit aracılığıyla taşınır. Bu süreçte lityum iyonları anot yüzeyine yerleşir ve enerji depolanmış olur.
- ❖ **Deşarj Döngüsü:** Deşarj sırasında ise, lityum iyonları anotdan katoda geri döner. Bu

dönüş sırasında, elektronlar dış devre üzerinden katoda akarken, lityum iyonları elektrolit üzerinden geçer. Bu hareket elektrik enerjisi üretir ve bataryanın bağlı olduğu cihazın çalışmasını sağlar (Vııcıl, 2011; Akoğlu, 2012).

3.2.Lityum-iyon Bataryaların Avantajları ve Dezavantajları

Lityum-iyon bataryalar, enerji depolama teknolojisinin en popüler türlerinden biri olup, yüksek enerji yoğunluğu ve uzun döngü ömrü gibi avantajlara sahiptir. Ancak, termal kaçak riski ve geri dönüşüm zorlukları gibi bazı dezavantajları da mevcuttur. Aşağıda lityum-iyon bataryaların avantajları ve dezavantajları hakkında bilgi verilmiştir.

3.2.1. *Lityum-iyon Batarya Avantajları*

- ❖ **Yüksek Enerji Yoğunluğu:** Lityum-iyon bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu sunar. Bu, daha küçük ve hafif bataryaların daha fazla enerji depolayabileceği anlamına gelir. Bu özellik, taşınabilir elektronik cihazlar ve elektrikli araçlar için bu bataryaların tercih edilmesinin temel nedenlerinden biridir.
- ❖ **Hafiflik ve Taşınabilirlik:** Lityum-iyon bataryalar, diğer batarya türlerine göre daha hafif ve kompakt bir yapıya sahiptir. Bu özellik, özellikle mobil cihazlar, dizüstü bilgisayarlar ve elektrikli araçlar gibi taşınabilir elektroniklerde kullanımını yaygınlaştırır.
- ❖ **Uzun Döngü Ömrü:** Lityum-iyon bataryaların döngü ömrü, diğer birçok batarya türüne göre daha uzundur. Bu, bataryanın tekrar şarj edilip deşarj edilebilme kapasitesinin yüksek olduğu anlamına gelir. Tipik bir lityum-iyon batarya, binlerce şarj ve deşarj döngüsüne dayanabilir.
- ❖ **Düşük Kendi Kendine Deşarj Oranı:** Lityum-iyon bataryalar, düşük kendi kendine deşarj oranına sahiptir, yani kullanılmadıkları zamanlarda bile enerji kaybı minimal düzeyde olur. Bu özellik, bataryaların uzun süre kullanılmadan saklanabilmesini sağlar (Polat ve Keleş, 2012; İnci Taş, 2024).

3.2.2. *Lityum-iyon Batarya Dezavantajları*

- ❖ **Termal Kaçak ve Yangın Riski:** Lityum-iyon bataryaların en büyük risklerinden biri termal kaçak olasılığıdır. Aşırı ısınma veya hasar durumunda, bu bataryalar yangına sebep olabilir. Bataryanın içindeki kimyasal reaksiyonlar kontrol edilemez hale geldiğinde, bu durum termal kaçak olarak adlandırılır ve güvenlik riski oluşturur.
- ❖ **Sınırlı Döngü Ömrü:** Her ne kadar lityum-iyon bataryaların döngü ömrü uzun olsa da

sonsuz değildir. Zamanla ve kullanım yoğunluğuna bağlı olarak bataryaların kapasitesi azalır, bu da belirli bir süre sonra bataryanın değiştirilmesi gerektiği anlamına gelir.

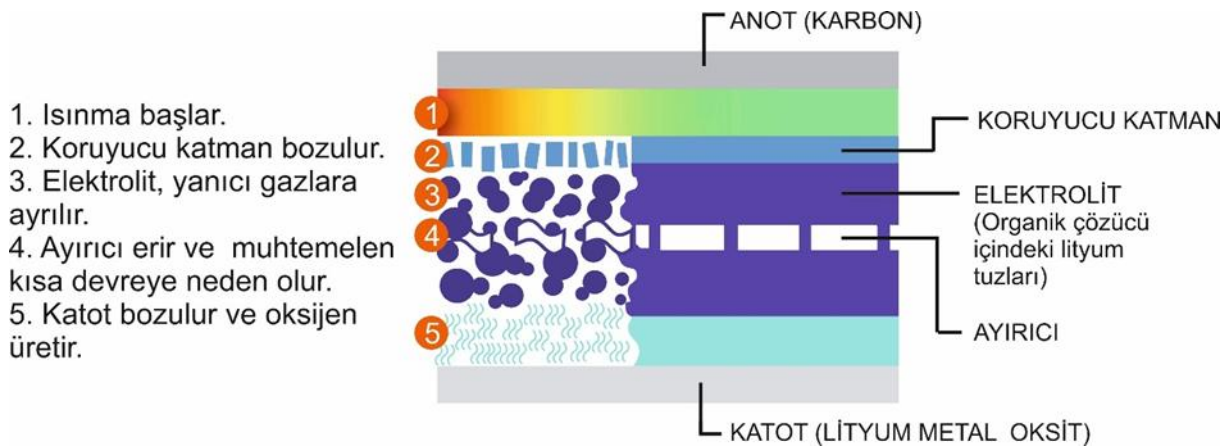
- ❖ **Hammadde Tedarik ve Maliyet Sorunları:** Lityum-iyon bataryaların üretiminde kullanılan lityum ve kobalt gibi hammaddeler sınırlı kaynaklardır ve bu durum tedarik zincirinde sorunlara ve maliyet artışlarına yol açabilir. Bu hammaddelerin çıkarılması ve işlenmesi çevresel ve sosyal sorunlara da sebep olabilir.
- ❖ **Geri Dönüşüm ve Atık Yönetimi:** Lityum-iyon bataryaların geri dönüşümü ve atık yönetimi halen önemli bir zorluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Geri dönüşüm süreçleri karmaşıktır ve maliyetlidir. Ayrıca, çevreye zarar vermeden bataryaların imha edilmesi de önem arz etmektedir (Polat ve Keleş, 2012; Gürsoy, 2023; Kazak, 2024b)

4. LİTYUM-İYON BATARYA YANGINLARI: NEDENLER VE RİSKLER

Lityum-iyon batarya yangınları, bataryaların enerji yoğunluğu ve kimyasal yapısı nedeniyle ciddi bir güvenlik sorunu oluşturmaktadır. Aşağıda, lityum-iyon batarya yangınlarının nedenleri ve riskleri hakkında bilgi verilmiştir.

4.1. Termal Kaçak

Termal kaçak, lityum-iyon bataryaların en yaygın yangın nedenlerinden biridir. Bu durum, batarya hücresindeki kimyasal reaksiyonların kontrolsüz bir şekilde hızlanmasıyla ortaya çıkar. Batarya içindeki sıcaklık arttıkça, kimyasal reaksiyonlar daha da hızlanır, bu da sıcaklığı daha da artırır. Bu kısır döngü, bataryanın yanmasına veya patlamasına yol açabilir (Feng vd., 2018). Şekil 1’de Lityum-iyon bataryada termal kaçak oluşumu yer almaktadır.



Şekil 1: Lityum-iyon Batarya Termal Kaçak Oluşumu (Rao ve Kumar, 2024)

4.1.1. Termal Kaçak Nasıl Tetiklenir?

- ❖ **Aşırı Şarj ve Deşarj:** Aşırı şarj edilmesi veya tamamen deşarj edilmesi, bataryada aşırı

ısınmaya neden olabilir.

- ❖ **Dış Mekanik Hasar:** Bataryanın fiziksel olarak hasar görmesi, elektrotların kısa devre yapmasına yol açarak termal kaçağı tetikleyebilir (Keneng, 2024)

4.2.İç Kısa Devre

İç kısa devre, anot ve katot arasında doğrudan bir bağlantının oluşması durumudur. Bu durum, lityum-iyon bataryalarda istenmeyen bir enerji salınımına neden olabilir ve kısa sürede aşırı ısınmaya yol açarak yangın çıkarabilir (Liu vd., 2018).

4.2.1. Kısa Devre Nasıl Oluşur?

- ❖ **Dendrit Büyümesi:** Bataryanın uzun süre kullanımı sırasında lityum dendritleri oluşabilir. Bu dendritler, anot ve katot arasında köprü oluşturarak kısa devreye yol açabilir.
- ❖ **İzolasyon Bozulması:** Ayırıcı malzemenin hasar görmesi veya bozulması, iç kısa devre riskini artırabilir (Golubkov vd., 2014).

4.3.Yüksek Enerji Yoğunluğu

Lityum-iyon bataryaların yüksek enerji yoğunluğu, küçük hacimlerde büyük miktarda enerji depolanmasına olanak tanır. Ancak, bu durum aynı zamanda yangın ve patlama riskini de artırır. Enerjinin ani salınımı, bataryanın çevresindeki materyallerin tutuşmasına neden olabilir (Golubkov vd., 2014).

4.4.Çevresel Koşullar

4.4.1. Kısa Devre Nasıl Oluşur?

Lityum-iyon bataryalar, aşırı sıcaklıklara duyarlıdır. Yüksek sıcaklıkta çalıştırıldığında, bataryanın içindeki elektrolit buharlaşabilir ve gaz oluşturabilir. Bu gaz, batarya içinde basınç birikmesine ve patlamalara yol açabilir (Liu vd., 2018).

4.4.2. Düşük Sıcaklık

Düşük sıcaklık koşulları da lityum-iyon bataryalarda performans kaybına ve iç dirençte artışa neden olabilir. Bu, kısa devre ve termal kaçak riskini artırabilir (Alyar, 2022).

5. LİTYUM-İYON BATARYA YANGINLARINA MÜDAHALE YÖNTEMLERİ

Lityum-iyon batarya yangınları, bu bataryaların kimyasal özellikleri ve yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle özel müdahale yöntemleri gerektiren bir durumdur. Aşağıda, Lityum-iyon

batarya yangınlarına nasıl müdahale edileceği hakkında bilgi verilmiştir.

5.1. Yangının Kaynağını Tespit Etme ve Güvenliği Sağlama

- ❖ **Yangının Kaynağını İzole Etme:** Yangına müdahale etmeden önce, yangının kaynağını belirlemek ve izole etmek büyük önem taşır. Lityum-iyon batarya yangınları genellikle termal kaçaktan kaynaklanır, bu nedenle öncelikle termal kaçak yaşayan batarya veya batarya paketini izole etmek gereklidir. Bu izolasyon, yangının diğer bataryalar veya yanıcı maddelere yayılmasını engeller (Feng vd., 2018).
- ❖ **Güvenli Bölge Oluşturma:** Yangın sırasında ilk öncelik, insan güvenliğini sağlamaktır. Yangın alanı hızla boşaltılmalı ve yangına müdahale eden ekiplerin güvenliği için yeterli koruma ekipmanı kullanılmalıdır. Bu ekipmanlar, yangın söndürücüleri ve yangın battaniyeleri içerebilir (Kazak ve Öncel, 2024).

5.2. Uygun Söndürme Yöntemlerinin Kullanılması

- ❖ **Özel Söndürme Ajanları Kullanımı:** Lityum-iyon batarya yangınlarına karşı geliştirilen yenilikçi bir teknoloji olan AVD (Aqueous Vermiculite Dispersion), bu tür yangınlarla başa çıkmak için oldukça etkili bir çözümdür. AVD, yanıcı gazların yayılmasını engelleyen ve yangının yeniden başlamasını önleyen ince bir film oluşturarak çalışır. Bu teknoloji hem taşınabilir hem de sabit yangın söndürme sistemleri için uygundur ve çevre dostu olmasıyla dikkat çeker. AVD'nin başlıca avantajları arasında, yangının kökenini soğutarak termal kaçak sürecini durdurma yeteneği, düşük su kullanımı gereksinimi ve elektriksel iletkenliğinin olmaması yer alır. Ayrıca, AVD sistemleri Lityum-iyon batarya yangınlarının meydana geldiği ortamlarda etkin bir şekilde kullanılabilir, bu da AVD'yi fabrikalar, depolar ve elektrikli araç şarj istasyonları gibi çeşitli uygulamalar için ideal kılar (Özcan, 2024).
- ❖ **Su Kullanımı ve Dikkat Edilmesi Gerekenler:** Su kullanımı, Lityum-iyon batarya yangınlarını söndürmek için genellikle önerilmez, çünkü su ile temas eden lityum yüksek reaktivite gösterir. Ancak, yangını kontrol altına almak ve bataryayı soğutmak için büyük miktarlarda su kullanılabilir. Bu durumda, elektrik çarpması riskine karşı dikkatli olunmalı ve müdahale itfaiye personelleri tarafından yapılmalıdır (Kazak ve Öncel, 2024).

5.3. Soğutma ve Isı Kontrolü

- ❖ **Soğutma Teknikleri:** Lityum-iyon batarya yangınlarında soğutma, termal kaçak riskini

azaltmanın en etkili yollarından biridir. Soğutma işlemleri, yangının tamamen söndürüldüğünden emin olunana kadar devam etmelidir. Soğutma için su, karbondioksit veya soğutucu gazlar kullanılabilir (Kazak, 2024c).

❖ **Isı İzolasyonu:** Termal kaçak önlenemediği durumlarda, yangının yayılmasını engellemek için batarya paketlerinin ısı izolasyonu yapılabilir. Isı izolasyonu, diğer bataryaların ve yanıcı malzemelerin yangından etkilenmemesini sağlar:

- **Seramik ve Mineral Bazlı Malzemeler:** Seramik ve mineral bazlı malzemeler, yüksek sıcaklıklara dayanıklılıkları ve iyi ısı yalıtımı sağlamaları ile bilinirler. Bu özellikleri sayesinde, batarya modülleri arasında ısı bariyeri olarak kullanılırlar ve termal kaçak durumunda ısının yayılmasını önlerler. Örneğin, seramik fiber battaniyeler, hafif olmalarına rağmen yüksek sıcaklıkları tolere edebilir ve etkili bir ısı yalıtımı sağlar. Bu malzemeler, genellikle Lityum-iyon batarya paketlerinin çevresinde yalıtım tabakası olarak kullanılır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda yapısını koruyabilen ve elektriksel yalıtım sağlayan mika levhalar, batarya hücrelerinin arasına yerleştirilerek hem ısı hem de elektriksel izolasyon sağlar (Nambisan vd., 2023).
- **Alev Geciktirici Malzemeler:** Alev geciktirici malzemeler, Lityum-iyon batarya yangınlarında alevlerin yayılmasını önlemeye yardımcı olarak önemli bir güvenlik unsuru sunar. Bu tür malzemeler, genellikle batarya muhafazalarında veya paketlerinde kullanılarak yangın riskini azaltır. Örneğin, alev geciktirici köpükler hafif ve kolay uygulanabilir olmalarıyla bilinirler. Yangın sırasında alevlerin büyümesini yavaşlatarak ısının yayılmasını azaltır ve böylece bataryanın diğer bölümlerine termal kaçak yayılmasını önlerler. Bu özellikleri, Lityum-iyon batarya sistemlerinin güvenliğini artırmada kritik bir rol oynar (Liv vd., 2021).
- **Termal Yalıtım Panelleri:** Termal yalıtım panelleri, batarya hücrelerinin etrafında veya batarya paketlerinin içinde kullanılarak termal kaçak durumunda oluşan aşırı ısının yayılmasını engeller. Bu paneller, Lityum-iyon batarya sistemlerinde güvenliğini artırmak için önemli bir rol oynar. Genellikle aerojel paneller ve vakumlu yalıtım panelleri (VIP'ler) gibi malzemeler tercih edilir. Aerojel paneller, çok düşük ısı iletkenlikleri sayesinde yüksek sıcaklıklarda bile etkili bir yalıtım sağlar ve batarya paketlerinin etrafında kullanılarak termal kaçak riskini minimize eder. Vakumlu yalıtım panelleri ise içlerinde vakum

barındıran yapıları sayesinde son derece düşük ısı iletkenliğine sahiptir. Bu özellikleri sayesinde, enerji yoğunluğu yüksek olan Lityum-iyon bataryalarda etkili bir termal bariyer oluşturarak güvenliğini artırır (Wu vd., 2024).

- **Silikon Bazlı Kaplamalar:** Silikon bazlı kaplamalar, bataryaların yüzeyine uygulanarak hem ısı yalıtımı hem de yangına dayanıklılık sağlama işlevi görür. Silikonun yüksek ısı dayanıklılığı, bu kaplamaların termal kaçak durumunda etkili bir koruma sunmasına olanak tanır. Örneğin, silikon kaplama filmler, batarya yüzeyine uygulanan ince silikon tabakaları şeklinde kullanılır. Bu tabakalar, yüksek sıcaklıklara dayanabilir ve yangın sırasında koruyucu bir bariyer oluşturarak bataryanın güvenliğini artırır. Silikon kaplamalar, böylece hem termal yalıtımı güçlendirir hem de yangın riskini azaltarak Lityum-iyon batarya sistemlerinin güvenliğini sağlamada önemli bir rol oynar (Liv d., 2020).

5.4. Yangın Sonrası Müdahale ve İzleme

- ❖ **Yangın Sonrası İzleme:** Yangın söndürüldükten sonra, yangının tekrar alevlenme olasılığına karşı dikkatli bir izleme yapılmalıdır. Bu izleme, termal kameralar ve duman dedektörleri gibi cihazlar kullanılarak yapılabilir. Ayrıca, batarya kalıntılarının uygun bir şekilde imha edilmesi gereklidir (Bandhauer vd., 2011).
- ❖ **Kalıntıların Güvenli İmhası:** Lityum-iyon batarya yangınlarından sonra kalan kalıntıların güvenli bir şekilde imhası, çevre koruma ve insan sağlığı açısından kritik öneme sahiptir. Batarya yangınları sonrasında geriye kalan atıklar, çeşitli toksik maddeler içerebilir ve bu nedenle tehlikeli atık yönetim standartlarına uygun olarak işlem görmeleri gereklidir (Richa vd., 2014).

6. ELEKTRİKLİ ARAÇ YANGIN GÜVENLİĞİ PROTOKOLLERİ

Elektrikli araçlar için yangın güvenliği standartları, araçların global çapta kabul görmesi için kritik bir öneme sahiptir. Uluslararası standartlar, Elektrikli araç üreticilerinin ve itfaiye ekiplerinin bu araçlara güvenli bir şekilde müdahale etmesine olanak tanır.

6.1. UN ECE R100 (Elektrikli Güç Aktarma Organlarına Sahip Araçların Güvenlik Gereksinimleri)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araçların güvenliğini sağlamak ve bu araçların enerji depolama sistemlerinin (özellikle bataryalarının) yangın, elektrik şoku ve diğer tehlikelerden korunmasını garanti altına almak.

- ❖ **Kapsam:** Enerji depolama sistemlerinin termal kaçak, aşırı ısınma ve kısa devre gibi tehlikelere karşı koruma sağlaması gerekliliği.
- ❖ **Protokoller:** Batarya kutusunun yapısal bütünlüğü, yalıtım gereksinimleri ve sıcaklık izleme sistemleri ile ilgili şartlar (Tuv Süd, 2024).

6.2.ISO 6469 (Elektrikle Çalışan Karayolu Araçları- Güvenlik Özellikleri)

- ❖ **Bölüm 1:** Batarya sistemi güvenliği üzerine odaklanır. Yüksek voltajlı bileşenlerin güvenliğini sağlamak için tasarım ve üretim standartları belirler (ISO, 2019).
- ❖ **Bölüm 2:** Yüksek voltajlı devrelerin güvenliğini ve elektrik çarpmasına karşı korumayı ele alır (ISO, 2022).
- ❖ **Bölüm 3:** Aracın operasyonel güvenliği, ani hızlanma/değişim durumları ve aracın güvenliğini sağlayan genel şartlar (ISO, 2021).

6.3.SAE J2464 (Elektrikli ve Hibrit Elektrikli Araçlar İçin Araç Batarya Güvenlik Test Prosedürleri)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araç bataryalarının yangına sebep olma riskini değerlendirmek ve bu riskleri en aza indirmek için test prosedürlerini tanımlar.
- ❖ **Kapsam:** Termal kaçak, aşırı şarj, aşırı deşarj, mekanik şok ve sıkışma gibi senaryolarda batarya davranışını incelemek (Swri, 2024).

6.4.FMVSS 305 (Elektrikle Çalışan Araçlar için Emniyet Standartları)

- ❖ **ABD'de Uygulanır:** Elektrikli araçların batarya güvenliğini ve çarpışma sonrası yangın riskini en aza indirmeyi amaçlar.
- ❖ **Gereklikler:** Elektrik kaçakları, batarya bütünlüğü ve termal güvenlik standartları (NTEA, 2017).

6.5.IEC 62660-1,2,3 (Elektrikli Araç Bataryaları)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araçlarda kullanılan Lityum-iyon bataryaların güvenliğini ve performansını değerlendirmek.
- ❖ **Kapsam:** Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların termal stabilitesini, aşırı akım, aşırı şarj ve kısa devre durumlarındaki davranışlarını test eder (Iec, 2024).

6.6.ISO 26262 (Karayolu Araçları- Fonksiyonel Güvenlik)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araçların güvenlik ile ilgili elektrik/elektronik sistemlerinin

güvenliğini sağlamak.

- ❖ **Kapsam:** Risk değerlendirmesi, arıza modları ve güvenlik önlemlerinin uygulanması (Elektrobit, 2024).

6.7.UL 2580 (Elektrikli Araçlar için Batarya Güvenliği)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların yangın ve elektrik şoku risklerini en aza indirmek.
- ❖ **Kapsam:** Bataryaların güvenliği için aşırı sıcaklık, şok, vibrasyon ve termal kaçak testleri (UL, 2022).

6.8.GB/T 31485 (Çin Standardı)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların güvenlik gereksinimlerini belirler.
- ❖ **Kapsam:** Batarya termal güvenliği, aşırı şarj ve aşırı deşarj gibi konular (Chinese Standard, 2018).

6.9.Şarj Hizmeti Yönetmeliği (Türkiye)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araçların şarj altyapısının yangın güvenliğini sağlamak.
- ❖ **Kapsam:** Elektrik tesisatlarında yangın risklerini minimize eden güvenlik önlemleri (Resmî Gazete, 2022).

242

6.10. 2024-2027 Karayolu Trafik Güvenliği Eylem Planı (Türkiye)

İçişleri Bakanlığı ve 119 paydaşın katılımıyla, trafik güvenliğini en üst seviyede sağlamak amacıyla bir eylem planı hazırlandı ve bu plan, Cumhurbaşkanlığı genelgesi olarak yayımlandı. Genelgede, elektrikli araçlarla ilgili kaza, yangın ve kurtarma gibi durumlar için belirli hedefler belirlendi. Bu hedefler, elektrikli araçların güvenli kullanımını artırmak, acil durumlara daha etkili müdahale edebilmek ve kamu güvenliğini en üst düzeye çıkarmak amacıyla tasarlanmıştır.

- ❖ **Elektrikli Araç Güvenliği ve Batarya Riskleri:** Elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan bataryalar, kaza durumlarında ısınma ve patlama risklerini artırabilir. Bu risklere karşı, elektrikli araçların karıştığı kazalarda yangın ve patlamaları önleyici otomatik yangın söndürme sistemleri gibi güvenlik önlemlerinin alınması planlanmaktadır. Bu çerçevede, ulusal ve uluslararası standartlara uygun güvenlik protokolleri geliştirilmesi amaçlanmaktadır.
- ❖ **Elektrikli Araç Yangınları ve Müdahale Yöntemleri:** Elektrikli araç yangınları,

özellikle bataryaların yanıcı özelliklerinden dolayı özel müdahale gerektirir. Bu yangınlara etkili bir şekilde müdahale edebilmek için yangın söndürme ekipmanlarının yenilenmesi ve yangın söndürme tekniklerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Müdahale ekiplerinin yangın risklerine karşı eğitim almaları ve gerekli teknolojik altyapının oluşturulması önem arz etmektedir.

- ❖ **Kurtarma ve Müdahale Eğitimleri:** Elektrikli araç kazalarında ilk müdahale ekiplerinin eğitimi hayati önem taşımaktadır. Standart bir eğitim müfredatı ve ders materyallerinin geliştirilmesi, eğiticilerin yetiştirilmesi planlanmıştır. Özellikle, AFAD, itfaiye ve emniyet birimlerinin bu eğitimleri alması, olası kazalarda can ve mal kaybını minimize etmek için kritik bir adımdır.
- ❖ **Teknolojik Altyapı ve Koordinasyon:** Acil durumlarda etkin müdahale sağlamak için teknolojik altyapının güçlendirilmesi ve müdahale ekiplerinin koordinasyonunun artırılması gerekmektedir. Bu kapsamda, müdahale ekipmanlarının standardizasyonu ve acil durumlarda görevli birimlerin kapasitelerinin artırılması hedeflenmektedir (İçişleri Bakanlığı, 2024).

7. ELEKTRİKLİ ARAÇ YANGINLARINDA MÜDAHALE YÖNTEMLERİ: İTFAİYE VE ACİL DURUM EKİPLERİNİN ROLÜ

243

Geleneksel yakıtlı araçlardan farklı olarak, elektrikli araç yangınları farklı bir yangın desenine sahiptir ve bu da itfaiye ve acil durum ekipleri için özel müdahale stratejileri gerektirmektedir (Kazak ve Öncel, 2024).

7.1.Elektrikli Araç Yangınlarının Özellikleri

- ❖ **Termal Kaçak ve Patlama Riski:** Elektrikli araçlar, özellikle Lityum-iyon bataryalar kullanıldığında, yangın sırasında termal kaçak adı verilen bir süreç yaşar. Termal kaçak, bataryanın iç sıcaklığının hızla artmasına yol açan bir durumdur. Bu süreç, zincirleme reaksiyonlarla bataryanın aşırı ısınmasına ve sonunda yangın veya patlamaya neden olabilir. Termal kaçak, bir batarya hücresinde başladığında, diğer hücrelere de hızla yayılabilir, bu da yangının kontrol altına alınmasını zorlaştırır (Sun vd., 2020).
- ❖ **Yeniden Alevlenme Potansiyeli:** Elektrikli araç yangınları, bataryanın içindeki enerji nedeniyle söndürülse bile yeniden alevlenme riski taşır. Geleneksel araç yangınlarından farklı olarak, elektrikli araçların bataryalarında kalan enerji, yangının tamamen kontrol altına alınmasını zorlaştırabilir. Bu nedenle, yangın sonrasında bile araç ve bataryanın izlenmesi gerekebilir (Lesiak vd., 2021).

- ❖ **Toksik Gazlar ve Duman:** Elektrikli araç yangınlarında, yanma süreci toksik gazların salınımına yol açar. Özellikle Lityum-iyon bataryalar yanarken zehirli, yanıcı, patlayıcı ve tahriş edici gazlar açığa çıkar. Bu gazlar hem yangına müdahale eden itfaiyeciler hem de çevredeki insanlar için ciddi sağlık riskleri oluşturur. Toksik gazlara maruz kalma, solunum problemleri, kimyasal yanıklar ve uzun vadede sağlık sorunlarına yol açabilir (Dalus, 2023). Tablo 4'te bu gazlar hakkında bilgi verilmiştir.

Tablo 4: Lityum-iyon Batarya Yangınlarında Açığa Çıkan Gazların Toksisitesi, Yanıcılığı ve Patlayıcılığı

GAZ İSMİ	AÇIKLAMA
Hidrojen	Yüksek oranda zehirli, yanıcı ve patlayıcı
Hidrojen Florür	Zehirli
Hidrojen Klorür	Zehirli
Hidrojen Siyanür	Zehirli
Karbon Monoksit	Zehirli, yanıcı ve patlayıcı

Kaynak: (Dalus, 2023)

- ❖ **Zorlaşan Yangın Müdahalesi:** Elektrikli araç yangınlarının söndürülmesi, bataryanın yapısal bütünlüğü ve içeriği nedeniyle daha zordur. Bataryalar kapalı alanlarda yer aldığından, yangın söndürme maddelerinin etkili bir şekilde bataryaya ulaşması zorlaşabilir. Ayrıca, bataryanın kendi içinde koruyucu bir yapıya sahip olması, yangın söndürme ekiplerinin doğrudan müdahale etmesini engelleyebilir (Lesiak vd., 2021).

7.2.Elektrikli Araç Yangınlarına Müdahale Yöntemleri

- ❖ **Soğutma Yöntemleri:** Elektrikli araç yangınlarına müdahalede ilk adım genellikle soğutma yöntemleridir. Su ve diğer soğutucu maddeler, bataryanın aşırı ısınmasını önleyebilir ve termal kaçak riskini azaltabilir. Yangının kontrol altına alınması için büyük miktarda su kullanılabilir. Su, yangını soğutma ve yeniden alevlenmeyi önleme konusunda etkilidir (Lesiak vd., 2021).
- ❖ **Yangın Söndürme Köpükleri:** Yangın söndürme köpükleri (F-500 EA ve Köpük Lith-M 10 vb.), Lityum-iyon bataryaların neden olduğu yangınların kontrol altına

alınmasında etkili olabilir. Köpük, oksijenin yangın bölgesine girişini engelleyerek yanmayı durdurur. Bu yöntem, yangının hızlı bir şekilde yayılmasını önlemek için kullanılabilir. Özellikle kapalı alanlarda, bu tür yangın söndürme maddelerinin kullanımı tercih edilir (Dominguea, 2023; Emme-Italia, 2023).

- ❖ **Uzaktan İzleme ve Müdahale:** Teknolojik gelişmeler, yangın sırasında bataryanın durumunu izlemek ve yangını kontrol altına almak için uzaktan izleme sistemlerinin kullanımını mümkün kılmaktadır. Uzaktan izleme, itfaiye ekiplerine yangının yayılma hızını, sıcaklık değişimlerini ve yeniden alevlenme riskini değerlendirme olanağı tanır. Bu bilgiler, yangına müdahale stratejilerinin belirlenmesinde kritik öneme sahiptir (Stave ve Carlson, 2017).

7.3.Acil Durum Ekiplerinin Rolü

- ❖ **Eğitim ve Hazırlık:** Elektrikli araç yangınlarına müdahalede bulunacak itfaiye ve acil durum ekiplerinin, bu tür yangınlar hakkında özel eğitim alması gereklidir. Eğitim programları, bataryaların yapısı, termal kaçak, yangın söndürme yöntemleri ve toksik gazlarla başa çıkma gibi konuları kapsamalıdır. İtfaiyeciler, yangın sırasında kullanılacak doğru ekipman ve teknikler konusunda bilgi sahibi olmalıdır (Stave ve Carlson, 2017).
- ❖ **Koordinasyon ve İletişim:** Acil durum olayları sırasında itfaiye, polis ve sağlık ekipleri arasında etkin bir koordinasyon gereklidir. İtfaiye ekiplerinin olay yerindeki diğer acil durum personeli ile sürekli iletişim halinde olması, müdahale etkinliğini artırır. Yangının türü ve kapsamı hakkında bilgi paylaşımı, güvenli ve etkili bir müdahale için kritiktir (Majka ve Zboina, 2023).
- ❖ **Olay Yerine Ulaşım ve Güvenlik:** İtfaiye ekiplerinin olay yerine güvenli ve hızlı bir şekilde ulaşması, yangına müdahalenin etkinliğini belirleyen faktörlerden biridir. Araçların yapısal durumu ve yangının yayılma hızı göz önünde bulundurularak, uygun güvenlik önlemlerinin alınması önemlidir. Yangın alanında çalışırken, itfaiyecilerin yangın söndürme ekipmanları ve kişisel koruyucu donanımları kullanması gereklidir (Lesiak vd., 2021).
- ❖ **Sürekli Eğitim ve Gelişim:** Elektrikli araç teknolojileri hızla geliştiği için, itfaiye ve acil durum ekiplerinin de bu yeniliklere ayak uydurabilmesi için sürekli eğitim ve gelişim programlarına dahil edilmesi gerekir. Eğitimler, yeni yangın söndürme teknikleri, ekipman kullanımı ve güvenlik protokolleri gibi konuları içermelidir. Bu

şekilde, itfaiye ekipleri, yeni teknolojilere karşı hazırlıklı olacak ve yangına müdahale etkinliğini artıracaktır (Stave ve Carlson, 2017).

8. TÜRKİYE’DE YAŞANMIŞ ELEKTRİKLİ ARAÇ YANGINLARIYLA İLGİLİ VAKA İNCELEMELERİ

Son yıllarda, dünya genelinde elektrikli araç yangınlarıyla ilgili çeşitli olaylar rapor edilmiştir. Bu vakalar, genellikle araçların yüksek voltaj bataryalarında meydana gelen termal kaçaklar sonucu ortaya çıkmıştır. Özellikle Tesla araçlarında yaşanan yangınlar, bu alandaki güvenlik endişelerini artırmış ve batarya güvenliği konusunda daha sıkı düzenlemelerin gerekliliğini gündeme getirmiştir. Tablo 5, son dönemde çeşitli yerlerde meydana gelen elektrikli araç yangınlarına ilişkin haberlerden derlenen olayları özetlemektedir. Elektrikli araçların artan popüleritesi ve kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, bu tür araçlarda yangın riskleri ve nedenleri de dikkat çekici hale gelmiştir. Tablo, yangınların meydana geldiği yerleri, ilgili araç markalarını veya modellerini, yangının nedenlerini (varsa) ve olayların sonuçlarını içermektedir. Bu bilgiler, elektrikli araçların güvenlik zorlukları hakkında genel bir bakış sunarak, bu tür araçların kullanımında dikkat edilmesi gereken kritik noktaları vurgulamaktadır.

Tablo 5: Türkiye’de Yaşanmış Elektrikli Araç Yangınları

OLAY YERİ	ARAÇ MARKASI/ MODELİ	YANGIN (VARSA)	NEDENİ	OLAY SONUCU
Bursa	Tesla	Bilinmeyen (seyir halindeyken)	(seyir)	Sürücü son anda kurtuldu, araç tamamen yandı.
Ankara	Belirtilmedi	Bilinmiyor		Vatandaşların müdahalesiyle yangın söndürüldü, maddi hasar oluştu.
İstanbul, Sultanbeyli	Belirtilmedi	Bilinmiyor (park halindeyken)	(park)	Araç tamamen yandı, zaman zaman patlamalar yaşandı.
İstanbul, Tuzla	Belirtilmedi (6 araç)	Bilinmeyen bir nedenle patlama		6 araç tamamen yandı, yangın tekrar alevlendi.
Kayseri	Belirtilmedi	Refüjdeki ağaca çarpma		Sürücü hayatını kaybetti, araç kullanılamaz hale geldi.

Konya	Belirtilmedi	Elektrik direğine çarpma	Araç tamamen yandı, sürücü kurtuldu, ehliyetsiz araç kullanımı tespit edildi.
Gaziantep	Togg T10X	Termal yönetim sisteminde arıza	Araç şarj sırasında alev aldı, yangın kısa sürede söndürüldü.

Kaynak: (DHA, 2023; DHA, 2024; NTV, 2024; Haber Ankara, 2024; Gazete Duvar, 2024; Milliyet, 2024; Zehir, 2024)

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrikli araçların dünya genelinde artan popülaritesi, çevresel faydaları ve fosil yakıt bağımlılığını azaltma potansiyeli ile ön plana çıkmaktadır. Ancak, bu araçlarda kullanılan Lityum-iyon bataryaların güvenlik riskleri, özellikle yangın tehlikesi, dikkatle ele alınması gereken bir konudur. Lityum-iyon bataryaların yüksek enerji yoğunluğu, termal kaçak ve iç kısa devre gibi risk faktörleri, yangınların çıkmasına ve kontrol altına alınmasının zorlaşmasına neden olabilir. Bu tür yangınlar, geleneksel araç yangınlarına kıyasla daha zor müdahale gerektirmekte ve yangın sırasında açığa çıkan toksik gazlar nedeniyle daha büyük bir tehlike arz etmektedir.

247

Türkiye'de elektrikli araç pazarının hızla büyümesi, batarya güvenliği ve yangın önleme tedbirlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle termal kaçak gibi yangın risklerine karşı alınacak önlemler, sadece bireylerin güvenliği açısından değil, aynı zamanda toplumun genel yangın güvenliği bilincinin artırılması açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araçların ve batarya teknolojilerinin güvenliğini sağlamak için uluslararası standartların benimsenmesi ve bu standartlara uyulması kritik bir rol oynamaktadır.

Lityum-iyon batarya yangınlarına müdahale etmek için özel yangın söndürme tekniklerinin ve ekipmanlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Yangın söndürme işlemlerinin etkin bir şekilde yürütülmesi, itfaiye ve acil durum ekiplerinin bu tür yangınlara özel eğitimlerle donatılması ile mümkün olacaktır. Ayrıca, elektrikli araç yangınlarına karşı toplum genelinde farkındalık oluşturmak ve elektrikli araç sahiplerini yangın riskleri konusunda bilgilendirmek, bu tür olayların sayısını ve ciddiyetini azaltmak için önemli bir adım olacaktır.

Elektrikli araç yangınlarının kontrol altına alınabilmesi için batarya üreticileri, araç üreticileri, hükümetler ve düzenleyici kurumlar arasında etkin bir iş birliği gerekmektedir. Yangın güvenliği standartlarının sıkılaştırılması, şarj altyapısının güvenliğinin sağlanması ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi, bu iş birliğinin temel unsurları olmalıdır. Bataryaların yapısal

olarak daha güvenli hale getirilmesi, izolasyon malzemelerinin ve soğutma sistemlerinin iyileştirilmesi, yangın riskini azaltmada önemli adımlar olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, elektrikli araçların ve Lityum-iyon bataryaların yaygınlaşması, enerji ve ulaşım sektörlerinde büyük bir dönüşüm sağlamaktadır. Ancak, bu dönüşümün sürdürülebilir ve güvenli olması için yangın güvenliği konusundaki tedbirlerin artırılması şarttır. Elektrikli araç yangınlarıyla başa çıkmak için geliştirilecek yenilikçi teknolojiler ve güvenlik önlemleri hem bireysel hem de toplumsal düzeyde yangın güvenliği bilincinin artmasına katkı sağlayacaktır. Böylece, elektrikli araçlar hem çevre dostu hem de güvenli bir ulaşım aracı olarak gelecekteki yerini sağlamlaştırabilecektir.

10. KAYNAKÇA

Akoğlu, A. (2012, Ekim). Uzun ömürlü piller için Pillerde Nizami Şarj. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik*, 48-49.

<https://services.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf;jsessionid=VDqBpF2KMnc7MmLJimkr3+eI?dergiKodu=4&cilt=46&sayi=785&sayfa=48&yaziid=33738>

Alyar, H. (2022). Uluslararası Yakıtlar Yanma Ve Yangın Dergisi. *Elektrikli Otomotivlerin Yapısı ve Yangın Riskleri*, 10(1), 1-8. doi:10.52702/fce.1057432

Bandhauer, T., Garimella, S., & Fuller, T. (2011). A Critical Review of Thermal Issues in Lithium-Ion Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 158(3). doi:10.1149/1.3515880

Chinese Standard. (2018). *GB/T 31485-2015 PDF in English*. <https://www.chinesestandard.net/PDF.aspx/GBT31485-2015>

Dalus, N. (2023, Ekim 7). *Fire not the only danger with lithium-ion batteries*. TT Club: <https://www.ttclub.com/news-and-resources/news/press-releases/2023/fire-not-the-only-danger-with-lithium-ion-batteries/#:~:text=They%20can%20feature%20high%20percentages,methane%20among%20other%20dangerous%20chemicals>.

DHA. (2023, Kasım 6). *Sevkiyat aşamasındaki 6 elektrikli otomobil yandı*. TRT Haber: <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/sevkiyat-asamasindaki-6-elektrikli-otomobil-yandi-801041.html>

DHA. (2023, Kasım 6). *Sevkiyat aşamasındaki 6 elektrikli otomobil yandı*. TRT Haber: <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/sevkiyat-asamasindaki-6-elektrikli-otomobil-yandi-801041.html>

DHA. (2024, Mart 20). *Sultanbeyli'de park halindeki elektrikli araç alev alev yandı*. CNN Türk: <https://www.cnnturk.com/turkiye/sultanbeylide-park-halindeki-elektrikli-arac-alev-alev-yandi-2097546>

- Dominguez, H. (2023, Mayıs 12). *How to Put Out a Lithium-Ion Battery Fire*. Htc-World: <https://het-world.com/how-to-put-out-a-lithium-ion-battery-fire/>
- Elektrobit. (2024). *Functional safety and fail-operational*. https://www.elektrobit.com/products/ecu/eb-tresos/functional-safety/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=product_emea&gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI64TB3OiPiAMVn5eDBx37tQaqEAAYASAAEgJav_D_BwE
- Emme-Italia. (2023, Ekim 5). *22066-25 : Portable Fire Extinguisher, 6 L Foam*. https://www.emme-italia.com/sites/default/files/librettobase/22066-25_user_manual.pdf
- Feng, X., Ouyang , M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., & He, X. (2018, Ocak). Thermal Runaway Mechanism of Lithium Ion Battery for Electric Vehicles: A review. *Energy Storage Materials*, 10, 246-267. doi:10.1016/j.ensm.2017.05.013
- Gazete Duvar. (2024, Mart 14). *Ağaca çarpan elektrikli otomobil yandı: 1 ölü*. <https://www.gazeteduvar.com.tr/agaca-carpan-elektrikli-otomobil-yandi-1-olu-haber-1676662>
- Golubkov, A., Fuchs, D., Wagner, J., Wiltsche, H., Stangl, C., Fauler, G., . . . Hacker, V. (2014). Thermal-runaway Experiments on Consumer Li-ion Batteries With Metal-oxide and Olivin-type Cathodes. *RSC Advances*(7). doi:10.1039/C3RA45748F
- Gürsoy, A. N. (2023, Kasım 23). *Lityum İyon Pil Hakkında Bütün Bilgiler*. Sigortaladım: <https://www.sigortaladim.com/lityum-iyon-pil-hakkinda-her-sey>
- Haber Ankara. (2024, Temmuz 9). *Ankara Keçiören’de elektrikli araç yandı!* <https://www.haberankara.com/ankara/ankara-keciorende-elektrikli-arac-yandi-272015>
- Hedef Filo. (2024). *2024 Yılında Türkiye'deki Elektrikli Araç Sayısı*. <https://ev.hedef filo.com/ev-gundem/blog/2024-yilinda-turkiyedeki-elektrikli-arac-sayisi>
- İçişleri Bakanlığı. (2024). *2024-2027 Karayolu Trafik Güvenliği Eylem Planı Yayınlandı*. <https://www.trafik.gov.tr/2024-2027-karayolu-trafik-guvenligi-eylem-planı-yayınlandı>
- Iec. (2024). International Electrotechnical Commission: <https://www.iec.ch/homepage>
- İnci Taş. (2024). *Lityum Akü Teknolojisi ve Avantajları*. <https://www.incitas.com.tr/bilgi-merkezi/blog/lityum-aku-teknolojisi-ve-avantajları>
- ISO. (2019). *ISO 6469-1:2019*. <https://www.iso.org/standard/68665.html>
- ISO. (2021). *ISO 6469-3:2021*. <https://www.iso.org/standard/81746.html>
- ISO. (2022). *ISO 6469-2:2022*. <https://www.iso.org/standard/81346.html>

Kazak, D. (2024a). Lityum-İyon Bataryaların Yangın Güvenliği: Tamamen Elektrikli Araçlarda Risk Değerlendirmesi, Önlemler ve Mücadele. *Premium e-Journal of Social Sciences (PEJOSS)*, 8(42), 638-652. doi:10.5281/zenodo.11434251

Kazak, D. (2024b). Lityum İyon Bataryalarda Güvenlik: Termal Kaçak ve Olay Sonrası Müdahale Stratejileri. *Socrates Journal of Interdisciplinary Social Studies*, 10(39), 85-94. doi:10.5281/zenodo.10897802

Kazak, D. (2024c, Temmuz-Ağustos). Elektrikli Araçlar ve Yangın Riskleri. *Yangın ve Güvenlik Dergisi*, 248, 22-25. <https://www.yanginguvenlik.com.tr/edergi/5/248/24/index.html>

Kazak, D., & Öncel, H. U. (2024). İtfaiye Ekiplerinin, Tamamen Elektrikli Araç Yangınlarıyla Mücadelesinin İncelenmesi. *SOCIAL SCIENCES STUDIES JOURNAL (SSSJJournal)*, 10(3), 384-394. doi:10.5281/zenodo.10903404

Keneng. (2024, Nisan 16). *Lityum Pilin Termal Kaçışını Anlamak: Nedenleri ve Önlenmesi*. <https://keheng-battery.com/tr/understanding-lithium-battery-thermal-runaway-causes-and-prevention/>

Kocabey, S. (2018). Elektrikli Otomobillerin Dünü, Bugünü Ve Geleceği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(1), 1-16. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/35759/396912>

Kolay Şarj. (2024). *Dünden Bugüne Elektrikli Araçların Tarihi 2023*. <https://kolaysarj.com/dunden-bugune-elektrikli-araclarin-tarihi/>

Kükrer, T. (2010). *Taşınabilir Elektronik Aygıtların Atık Pillerinden Sıvı Ve Kobalt Geri Taşınabilir / Taşınabilir Elektronik Cihazların Kullanılmış Pillerinden Lityum Ve Kobaltın Geri Kazanımı*. Isparta: Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=R4nT8H6zwz3khmH2xMWg&no=vN0Ngc00vrn34WIW8ucUhQ>

Lesiak, P., Pietrzela, D., & Mortka, P. (2021). Methods Used to Extinguish Fires in Electric Vehicles. *Safety & Fire Technology*, 58(2), 38-57. doi:10.12845/sft.58.2.2021.3

Li, H., Wang, H., Xu, Z., Wang, K., Ge, M., Gan, L., . . . Chen, S. (2021). Thermal-Responsive and Fire-Resistant Materials for High-Safety Lithium-Ion Batteries. *Nano Micro Small*(17). doi:10.1002/sml.202103679

Li, X., Huang, Q., Deng, J., Zhang, G., Zhong, Z., & He, F. (2020). Evaluation of lithium battery

thermal management using sealant made of boron nitride and silicone. *Journal of Power Sources*, 451. doi:10.1016/j.jpowsour.2020.227820

Liu, X., Ren , D., Hsu, H., Feng , X., Xu, G.-L., Zhuang, M., . . . Ouyang, M. (2018). Thermal Runaway of Lithium-Ion Batteries without Internal Short Circuit. *Joule*, 2(10), 2047-2064. doi:10.1016/j.joule.2018.06.015

Majka, I., & Zboina, J. (2023). Testing the Fire Safety of Electric Vehicles. *Safety & Fire Technology*, 62, 86-111. doi:10.12845/sft.62.2.2023.5

Milliyet. (2024, Haziran 13). *Konya'da elektrik direğine çarpan araç alev alev yandı*. <https://www.milliyet.com.tr/milliyet-tv/konyada-elektrik-diregine-carpan-arac-alev-alev-yandi-video-7141427>

Nambisan, P., Manjunatha , H., Ravadi, P., Reddy, H. P., Bharath , G., Kulkarni, M. A., & Sundaram, S. (2023). Characterization of commercial thermal barrier materials to prevent thermal runaway propagation in large format lithium-ion cells. *Journal of Energy Storage*, 74(Part B). doi:10.1016/j.est.2023.109414

NTEA. (2017, Eylül 27). *FMVSS 305*. https://www.ntea.com/NTEA/Member_benefits/Technical_resources/FMVSSguide/FMVSS305.aspx

251

NTV. (2024, Mart 30). *Seyir halindeki Tesla alev alev yandı! Sürücü son anda kurtuldu*. <https://www.ntv.com.tr/turkiye/sevir-halindeki-tesla-alev-alev-yandi-surucu-son-anda-kurtuldu,D2SpxV7xNU2Nv9CZ-hALxw>

Özcan, F. (2024, Mart 4). *Batarya yangınları için yangın söndürücü*. İSG Türkiye: <https://www.isgturkiye.com/konu/batarya-yanginlari-icin-yangin-sondurucu.10854/>

Polat, B., & Keleş, Ö. (2012). Lityum İyon Pil Teknolojisi. *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği*, 42-48. https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi162/d162_4248.pdf

Rao, G., & Kumar, S. (2024). A review of integrated battery thermal management systems for lithium-ion batteries of electric vehicles. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 8. doi:10.1016/j.prime.2024.100526

Resmi Gazete. (2022, Nisan 2). *Şarj Hizmeti Yönetmeliği*. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=39454&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

Richa, K., Babbitt, C., Gaustad, G., & Wang, X. (2014). A future perspective on lithium-ion

battery waste flows from electric vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 63-76.
doi:10.1016/j.resconrec.2013.11.008

Roos, D. (2024, Nisan 15). *Electric Vehicles Have Been Around Since the 19th Century: Timeline*. History: <https://www.history.com/news/electric-vehicles-automobiles-timeline>

Shkurti Özdemir, G. (2024, Nisan 1). *Elektrikli Araçlar: İklim, Ekonomi ve Jeopolitik Üçgeni*. Kriter Dergisi: <https://kriterdergi.com/ekonomi/elektrikli-araclar-iklim-ekonomi-ve-jeopolitik-ucgeni>

Stave, C., & Carlson, A. (2017). A case study exploring firefighters' and municipal officials' preparedness for electrical vehicles. *European Transport Research Review*, 9(25).
doi:10.1007/s12544-017-0240-1

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/s10694-019-00944-3

Swri. (2024). *SAE J2464 Testing for Rechargeable Energy Storage Systems*.
<https://www.swri.org/industry/battery-testing-research/sae-j2464-testing-rechargeable-energy-storage-systems>

Türkiye İstatistik Kurumu. (2024). <https://data.tuik.gov.tr/>

Tüv Süd. (2024). *UN ECE R100 Standard Regulation*. <https://www.tuvsud.com/en-us/industries/mobility-and-automotive/automotive-and-oem/automotive-testing-solutions/battery-testing/un-ece-r100>

UL. (2022, Haziran 28). *UL 2580 Batteries for Use In Electric Vehicles*.
https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL2580_3_S_20200311

Vıçıl, O. (2011, Şubat). Yeni Nesil Lityum-İyon Pil Teknolojileri. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik*, 44-49.
<https://services.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf;jsessionid=mTlHvOAbYGKyukPE16cVKO4m?dergiKodu=4&cilt=44&sayi=725&sayfa=47&yaziid=31315>

Wilson, K. (2023, Mart 31). *Worth the Watt: A Brief History of the Electric Car, 1830 to Present*. Car and Driver: <https://www.caranddriver.com/features/g43480930/history-of-electric-cars/>

Wu, H., Chen, S., Hong, Y., Xu, C., Zheng, Y., Jin, C., . . . Dai, H. (2024). Thermal safety boundary of lithium-ion battery at different state of charge. *Journal of Energy Chemistry*, 94,

59-72. doi:10.1016/j.jechem.2023.11.030

Zehir, E. Ö. (2024, Mayıs 7). *Gaziantep'te Bir Togg T10X, Şarj Olurken Kendi Kendine Yandı.*

Web Tekno: <https://www.webtekno.com/gaziantep-togg-t10x-yandi-h143736.html>