

## LİTYUM İYON BATARYALARDA GÜVENLİK: TERMAL KAÇAK VE OLAY SONRASI MÜDAHALE STRATEJİLERİ

### SAFETY IN LITHIUM-ION BATTERIES: THERMAL LEAKAGE AND POST-INCIDENT INTERVENTION STRATEGIES

**Doğan KAZAK**

Aselsan A.Ş., İtfaiye Birimi, dogankazak@outlook.com.tr, <https://orcid.org/0009-0007-2508-991X>

#### ÖZET

Makale, şarj edilebilir bataryaların çeşitli depolama uygulamaları için en verimli ve uygulanabilir çözümler olduğunu belirtmektedir. Lityum İyon Bataryaların (LİB) taşınabilir elektronik cihazlar için yaygın olarak kullanıldığı ve aynı zamanda hibrit, şarj edilebilir hibrit veya tamamen elektrikli araçlar için de ana teknoloji olduğu vurgulanmıştır. LİB'lerin enerji ve güç yoğunluğu avantajlarına rağmen, yanıcı elektrolite sahip olmaları ve belirli çalışma koşulları dışında termal olarak kararlı olmamaları gibi güvenlik dezavantajları bulunduğu belirtilmiştir. Özellikle, uçak ve otomobil gibi sınırlı alanlardaki önemli olaylar, LİB'lerle ilişkilendirilen potansiyel sorunların farkındalığını artırmıştır. Makale ayrıca, termal kaçak ve yangın olaylarını içeren bir dizi olayın rapor edildiği belirtilmiştir.

LİB'lerin güvenli kullanımı için bazı tavsiyelerin bulunduğu belirtilmiştir. Bu tavsiyeler arasında doğru şarj ve deşarj, kötüye kullanımdan kaçınma, kaliteli malzeme ve üretim, iyi havalandırma ve eğitim ve bilinçlendirme yer almaktadır. Ayrıca, termal kaçakları önlemek için kullanılacak çeşitli yöntemler ve teknolojiler hakkında da bilgi verilmiştir. Bu yöntemler arasında Batarya Yönetim Sistemi (BYS), Katı Elektrolit Arayüzü, Kimyasal Katkı Maddeleri ve Fiziksel Güvenlik Sistemleri bulunmaktadır.

Makalenin son bölümünde, termal kaçak sonrası olaylara müdahale yöntemlerine değinilmiştir. Bu müdahaleler arasında yangın söndürme sistemlerinin etkin kullanımı, tehlikeli bölgelerin tahliyesi, profesyonel acil durum ekiplerinin olay yerine intikali ve hasarın detaylı bir şekilde değerlendirilmesi yer almaktadır. Bu müdahalelerin, belirlenen güvenlik protokollerine uygun olarak eğitilmiş personel tarafından koordineli bir şekilde gerçekleştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Acil durum, batarya yangını, lityum iyon batarya, termal kaçak

#### ABSTRACT

The article emphasizes that rechargeable batteries are the most efficient and practical solutions for various storage applications. It is highlighted that Lithium-Ion Batteries (LIBs) are widely used for portable electronic devices and also serve as the main technology for hybrid, plug-in hybrid, or fully electric vehicles. Despite the advantages of energy and power density, LIBs are noted to have safety disadvantages such as having a flammable electrolyte and being thermally unstable under certain operating conditions. Particularly, significant incidents in confined spaces like aircraft and automobiles have raised awareness of potential issues associated with LIBs. The article also mentions a series of incidents involving thermal leakage and fire events being reported.

The article indicates some recommendations for the safe use of LIBs, including proper charging and discharging, avoiding misuse, using high-quality materials and manufacturing, ensuring good ventilation, and providing education and awareness. Additionally, information is provided about various methods and technologies that can be used to prevent thermal leakage. These methods include Battery Management Systems (BMS), Solid Electrolyte Interface, Chemical Additives, and Physical Security Systems.

In the final section of the article, intervention methods for post-thermal leakage incidents are discussed. These interventions include effective use of fire extinguishing systems, evacuation of hazardous areas, dispatching professional emergency teams to the scene, and detailed assessment of damage. It is emphasized that these interventions should be carried out by trained personnel in accordance with established safety protocols.

**Keywords:** Emergency, battery fire, lithium-ion battery, thermal leakage

## GİRİŞ

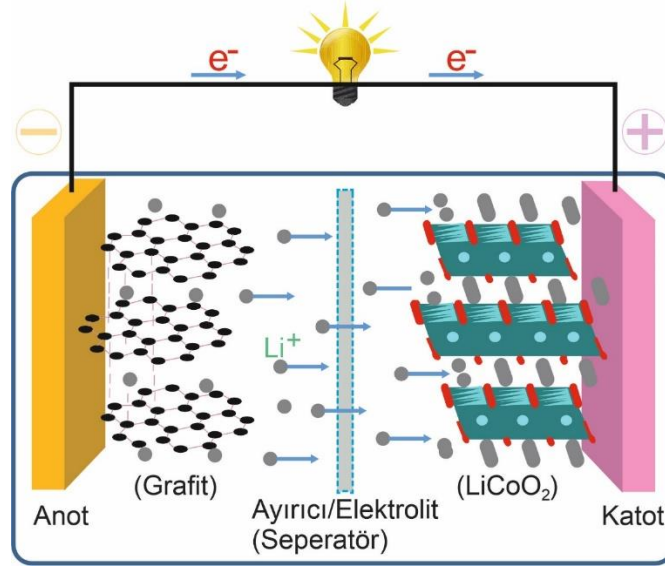
Şarj edilebilir bataryalar, küçük ölçekte ve büyük ölçekte kullanıma uygun çeşitli depolama uygulamaları için en verimli ve uygulanabilir çözümdür. Şu anda, Lityum İyon Bataryalar (LİB) taşınabilir elektronik cihazlar (akıllı telefonlar, elektronik sigaralar, dizüstü bilgisayarlar vb.) için pazarı domine ediyor ve ayrıca hibrit, şarj edilebilir hibrit veya tamamen elektrikli araçlar için ana teknoloji olarak başarıyla uygulanmaktadır (Russoa, Barib, Mazzaroc, Rosac, & Morriellod, 2018). LİB türü şu anda en önemli olanıdır; enerji ve güç yoğunluğu ile ilgili birçok avantaja sahiptir ancak aynı zamanda bazı güvenlik dezavantajları da vardır. Elektrolit yanıcıdır ve hücreler yalnızca belirli çalışma koşulları altında termal olarak kararlıdır (Andersson, ve diğerleri, 2018). Toplumda, artan uygulama gereksinimleri ve sürdürülebilirlik ile düşük maliyet trendi gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda, güvenlik ve yangın koruma açısından, yanıcı organik bir elektrolit kullanımı yüksek enerji yoğunluğu hücresi ile birleştiğinde, batarya tasarımı ve depolama ile ilgili bir dizi yeni zorluk ortaya çıkmıştır. Uçak ve otomobillerdeki önemli olaylar, LİB'lerle ilişkilendirilen potansiyel sorunlar konusunda halkın farkındalığını artırmıştır. Lityum batarya kargo sevkiyatlarının sorumlu olduğu ancak yangının kaynağı olduğu kanıtlanmamış üç büyük uçak kazası şunlardır: Asiana Airlines 747, 28 Temmuz 2011'de Güney Kore'nin yakınında (400 kg Li bataryalar); UPS 747, 3 Eylül 2010'da Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri'nde (81.000 Li bataryalar); UPS DC-8, 7 Şubat 2006'da Philadelphia, Pensilvanya'da. Tehlikeli olaylar artan bir şekilde medyada rapor edilmektedir, ancak olay sayılarının LİB'lerin kullanımındaki artış ve pazar payları ile yüksek derecede ilişkili olabileceği, yani 2009-2016 döneminde ABD medyasında elektronik sigara ile ilgili 195 ayrı patlama ve yangın olayının rapor edildiği bilinmektedir. Gerçekte, erken ticarileşmeden (1991) Ocak 2018'e kadar, ABD Federal Havacılık İdaresi, kargo veya bagaj olarak taşınan LİB'lerle ilgili 191 olay kaydetmiştir (Russoa, Barib, Mazzaroc, Rosac, & Morriellod, 2018).

LİB'lerin kullanımıyla ilgili güvenliğin nasıl sağlanacağına dair genel tavsiyeler bulunmakla birlikte, enerji depolama batarya sistemleri için kullanılacak yangın söndürme sistemlerinin test yöntemlerinde eksiklikler bulunmaktadır. Ayrıca, batarya yangınları için uygun yangın söndürücü maddeler hakkında çelişkili tavsiyeler bulunmakta ve dolayısıyla uygun aktif yangın koruma sistemleri konusunda belirsizlikler bulunmaktadır. Bazı çelişkili tavsiyeler, LİB'lerini ve lityum metal bataryalarını ayırt etmekteki zorluklardan kaynaklanabilir, çünkü her ikisi de genellikle Lityum bataryaları olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca, bir bataryanın içine ulaşmak için kesme işlemi sırasında ortaya çıkan kıvılcıklar vb. nedeniyle yangın söndürme amaçlarıyla içindeki alevin söndürülmesi girişiminde bulunulmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Genellikle halka açık olarak yapılan testler önemli detaylarla açıklanmamaktadır. Ayrıca, farklı söndürme sistemlerinin tek bir batarya hücresine karşı etkinliğini gösteren ticari videolar mevcuttur, ancak nadiren bu tür bir sistem kullanılmadan nasıl olacağına dair karşılaştırmalar yapılmaktadır; yangının yakıtı tükendiğinde yangının kendi kendine sönebileceği noktada söndürme işlemi başlayabilir. Batarya yangınları ile ilgili yangın testleri pahalıdır ve küçük şirketlerin yanlış tavsiyelere karşı çıkmaları veya LİB'leri içeren yangın söndürme süreçlerine dair iyi bir anlayış oluşturmaları zordur, bu da bu konuyu ele alan halka açık çalışmaların faydalarını vurgular. Büyük şirketler genellikle söz konusu süreçlerle ilgili çok iyi bilgiye ve farklı söndürme maddelerinin veya sistemlerinin performansına

sahip olabilir, ancak bu bilgi genellikle mülkiyet bilgileridir (Andersson, Wikman, Arvidson, Larsson, & Willstrand, 2017).

### Li-ion Bataryada Termal Kaçak ve Sonrasında Meydana Gelen Olaylar

LİB genellikle bir katot, bir anot, bir ayırıcı ve bir elektrolitten oluşur. Katot, yüksek oksidasyon-indirgeme potansiyeline sahip lityum bileşiklerini içeren malzemelerden oluşur ve yüksek batarya kapasitesi ve çıkış gerilimini sağlamak için tasarlanmıştır. Anot genellikle düşük oksidasyon-indirgeme potansiyeline sahip ve stabil elektrokimyasal özelliklere sahiptir; bu sayede bataryanın hızlı şarj ve deşarj yapmasını, düşük kendi kendine deşarj hızına sahip olmasını sağlar. Ayırıcı, bataryadaki aktif malzemelerin anot ve katot arasında elektrolitte doğrudan reaksiyona girmesini önleyen gözenekli bir film tabakasıdır. Ayırıcının kalitesi, batarya kapasitesini, ömrünü ve sıcaklık direncini etkileyebilir. Elektrolit, bir tuz, organik çözücü ve diğer katkı maddelerinden oluşan, Li-ion'ların anot ve katot arasında göç etmesi için bir kanaldır. Elektrolit, batarya kapasitesini, çalışma sıcaklığını ve güç ve enerji yoğunluklarını etkileyebilir (Zhenghai, Shen, Kang, Guoqiang, & Thomas G., 2019). Şekil 1'de LİB yapısı görülmektedir.



Şekil 1. LİB Şematik Yapısı

Termal hızlanmaya yol açan üç ana kötüye kullanım türü bulunmaktadır: Mekanik, Elektriksel Ve Termal (Zhenghai, Shen, Kang, Guoqiang, & Thomas G., 2019).

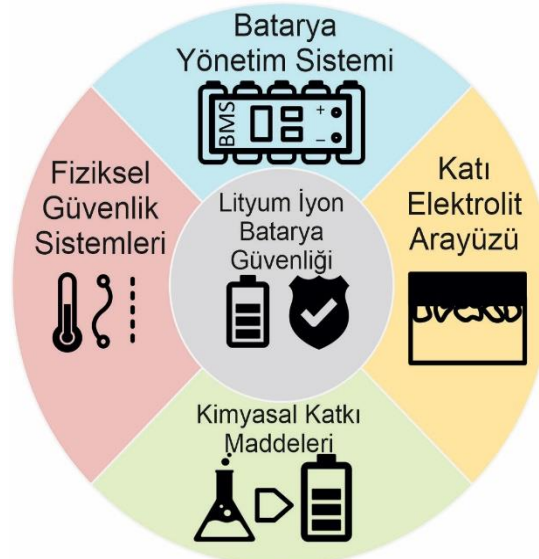
- Mekanik Kötüye Kullanım: Çarpma ve ezilme, çivi gibi sivri uçların temas etmesi, sıkıştırma vb. içermektedir.
- Elektriksel Kötüye Kullanım: Aşırı şarj, aşırı deşarj, harici kısa devre vb. durumları içermektedir.
- Termal Kötüye Kullanım, aşırı ısınma, yüksek ortam sıcaklığı, yangın vb. durumları içermektedir.

Bu kötüye kullanım koşulları, ayırıcının çökmesine yol açabilir, bu da batarya içinde bir iç kısa devreye (ISC) neden olabilir. ISC aşırı ısı üretebilir ve elektrokimyasal yan reaksiyonların derecesini artırabilir, büyük miktarda yanıcı gaz salabilir ve batarya dış kılıfının iç basıncını artırabilir ve genişlemesine neden olabilir. Bu etkiler sonunda bir yangına veya bir patlamaya neden olabilir ve LİB'lerinin kullanıcıları için ciddi güvenlik endişelerine yol açabilir. Yanıcı sıvı elektrolitler, yangın ve patlamalara önemli bir faktör olabilir. Katı hal elektrolitler, gelecekte bu soruna potansiyel bir çözüm sunabilir (Tran, ve diğerleri, 2022). Şekil 2'de LİB'lerde termal kaçak yaşanmasına sebep olan etkenler ve sonrasında yaşanan olaylar gösterilmektedir.



**Şekil 2.** Termal Kaçak Yaşanmasına Sebep Olan Etkenler ve Sonrasında Yaşanan Olaylar

LİB'ler, modern teknolojiye yaygın olarak kullanılan güç depolama çözümlerinden biridir. Ancak, doğru kullanılmadığında veya kötüye kullanıldığında ciddi güvenlik riskleri oluşturabilirler. Bu nedenle, LİB'lerin güvenli çalışması büyük önem taşır. Şekil 3'de LİB'lerde güvenlik esasları yer almaktadır.



**Şekil 3.** LİB Güvenliği

Termal kaçakların önlenmesi için çeşitli yöntemler ve teknolojiler bulunmaktadır:

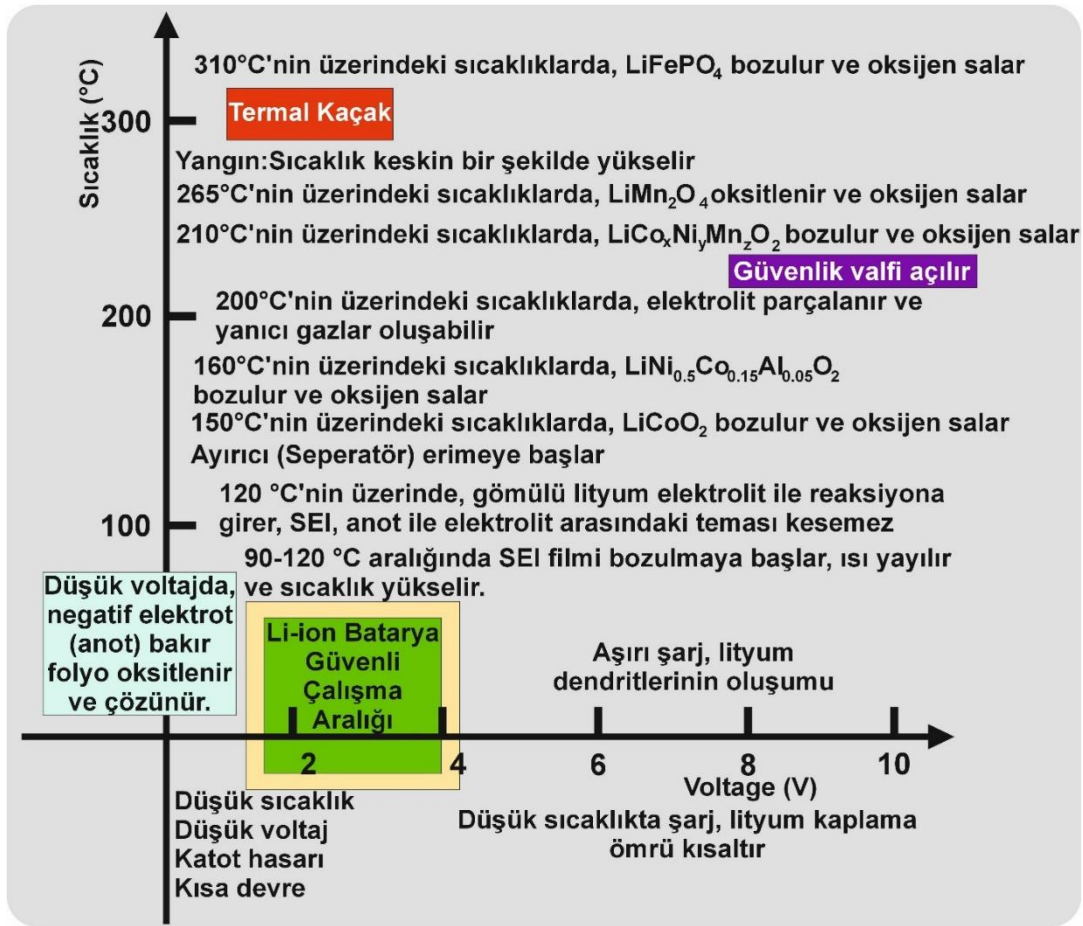
- Batarya Yönetim Sistemi (BYS): LİB'lerin güvenliğini sağlamak için geliştirilen BYs'ler, batarya performansını izler, denetler ve kontrol eder. Bu sistemler, bataryanın aşırı şarj, aşırı deşarj veya aşırı sıcaklık gibi riskli durumlarda müdahale ederek termal kaçakları önler (Enerjim Güneş, 2023).
- Katı Elektrolit Arayüzü: Geleneksel lityum iyon bataryalarda sıvı elektrolit kullanılması, termal kaçak riskini artırabilir. Katı elektrolit arayüzleri, batarya içindeki sıvı elektrolitin kullanımını azaltarak termal kararlılığı artırabilir ve bu şekilde termal kaçakları önleyebilir (Balbuena & Wang, 2004).
- Kimyasal Katkı Maddeleri: Bazı kimyasal katkı maddeleri, bataryaların termal kararlılığını artırmak için kullanılabilir. Örneğin, katot ve anot malzemelerinde kullanılan katkı maddeleri, bataryanın termal performansını iyileştirebilir ve termal kaçak riskini azaltabilir (Dagger, R. Rad, M. Schappacher, & Winter, 2018).
- Fiziksel Güvenlik Sistemleri: Batarya paketlerinin fiziksel tasarımı da termal kaçak riskini azaltmak için önemlidir. İyi tasarlanmış soğutma sistemleri, batarya sıcaklığını kontrol altında tutarak termal kaçakları önleyebilir. Ayrıca, darbelere karşı dayanıklı kaplamalar veya izolasyon malzemeleri gibi fiziksel güvenlik önlemleri de termal kaçak riskini azaltabilir (Bulut, 2022).

Bu yöntemlerin bir kombinasyonu, LİB'lerin bataryaların güvenliğini artırarak termal kaçakları önlemeye yardımcı olabilir.

LİB'lerin güvenli kullanımı için bazı önemli faktörler şunlardır:

- Doğru Şarj ve Deşarj: Bataryaların üreticinin önerdiği şarj ve deşarj parametrelerine uygun olarak kullanılması önemlidir. Aşırı şarj veya aşırı deşarj, bataryanın zarar görmesine ve hatta yangın veya patlama riski oluşturmasına neden olabilir.
- Kötüye Kullanımdan Kaçınma: Mekanik hasar, elektriksel kötüye kullanım veya aşırı ısınma gibi kötüye kullanımlardan kaçınılmalıdır. Bataryaların düşmemesine veya darbelere maruz kalmamasına dikkat edilmelidir. Ayrıca, bataryaların aşırı sıcaklıklara maruz kalmaması da önemlidir.
- Kaliteli Malzeme ve Üretim: Güvenilir batarya üreticilerinden kaliteli malzemelerle üretilen bataryalar tercih edilmelidir. Kaliteli üretim süreçleri, bataryaların güvenilirliğini ve güvenliğini artırabilir.
- İyi Havalandırma: LİB'lerin kullanıldığı ortamlar iyi havalandırılmış olmalıdır. Bu, bataryaların aşırı ısınmasını önleyerek güvenliğini artırabilir.
- Eğitim ve Bilinçlendirme: Batarya kullanıcılarına bataryaların doğru kullanımı ve bakımı konusunda eğitim verilmelidir. Bilinçli kullanıcılar, güvenliğini artırabilir ve olası riskleri azaltabilir.

LİB'lerin güvenli kullanımı, doğru kullanım, kötüye kullanımdan kaçınma, kaliteli üretim ve iyi havalandırma gibi önlemleri içermelidir. Bu önlemler alındığında, LİB'ler güvenli ve güvenilir bir enerji depolama çözümü olarak hizmet edebilir. Şekil 4'te LİB'lerin güvenli çalışma penceresi yer almaktadır.



Şekil 4. LİB'ler İçin Güvenli Çalışma Penceresi

Ateş, yüksek sıcaklıklarda hızlı oksidasyonla birlikte ısınmış yanma ürünlerinin açığa çıkması ve görünür ve görünmez radyasyonun yayılmasıyla gerçekleşen bir süreçtir. Yanma süreci genellikle bir yakıtın oksijen varlığında ısı ve ışık yayarak oksidasyonu ile ilişkilidir. Yanmanın gerçekleşmesi için üç bileşen gereklidir: Yakıt, oksijen ve ısı. Bu, genellikle yanma üçgeni olarak bilinir ve Şekil 5'de LİB için yangın üçgeni yer almaktadır. Bu bileşenleri tanımak ve etkileşimlerini kontrol etmek güvenlik açısından hayati öneme sahiptir (Wang, Sun, & Chu, 2005).



Şekil 5. LİB İçin Yangın Üçgeni

Yangın üçgenindeki bileşenler, LİB'lerde yanma veya tutuşma için gereklidir. LİB'in içindeki ana yakıt elektrolittir; bu, organik çözücü ve inorganik tuzdan oluşan bir çözeltilerdir. LİB'lerinde en yaygın olarak kullanılan çözücüler Etilen Karbonat (EC), Propilen Karbonat (PC), Dimetil Karbonat (DMC) ve Dietil Karbonat (DEC) ve bunların kombinasyonlarıdır. Lityum hekzaflorofosfat (LiPF<sub>6</sub>), LİB'lerde en yaygın olarak kullanılan elektrolit tuzudur. Ancak, bunların termal stabilitesi, orta derecede yüksek sıcaklıklarda bile (60-85°C) zayıftır. Bu tuzun, çözeltilinin bozulmasında bir aracı rolü oynadığı düşünülmektedir. Bu gibi yanıcı malzemeler, hava ile kolayca

ateşlenir; bataryalar parçalandığında, patlama enerjisinin etkisi altında yangın tehlikesi oluşabilir (Baba, Okada, & Yamaki, 2002).

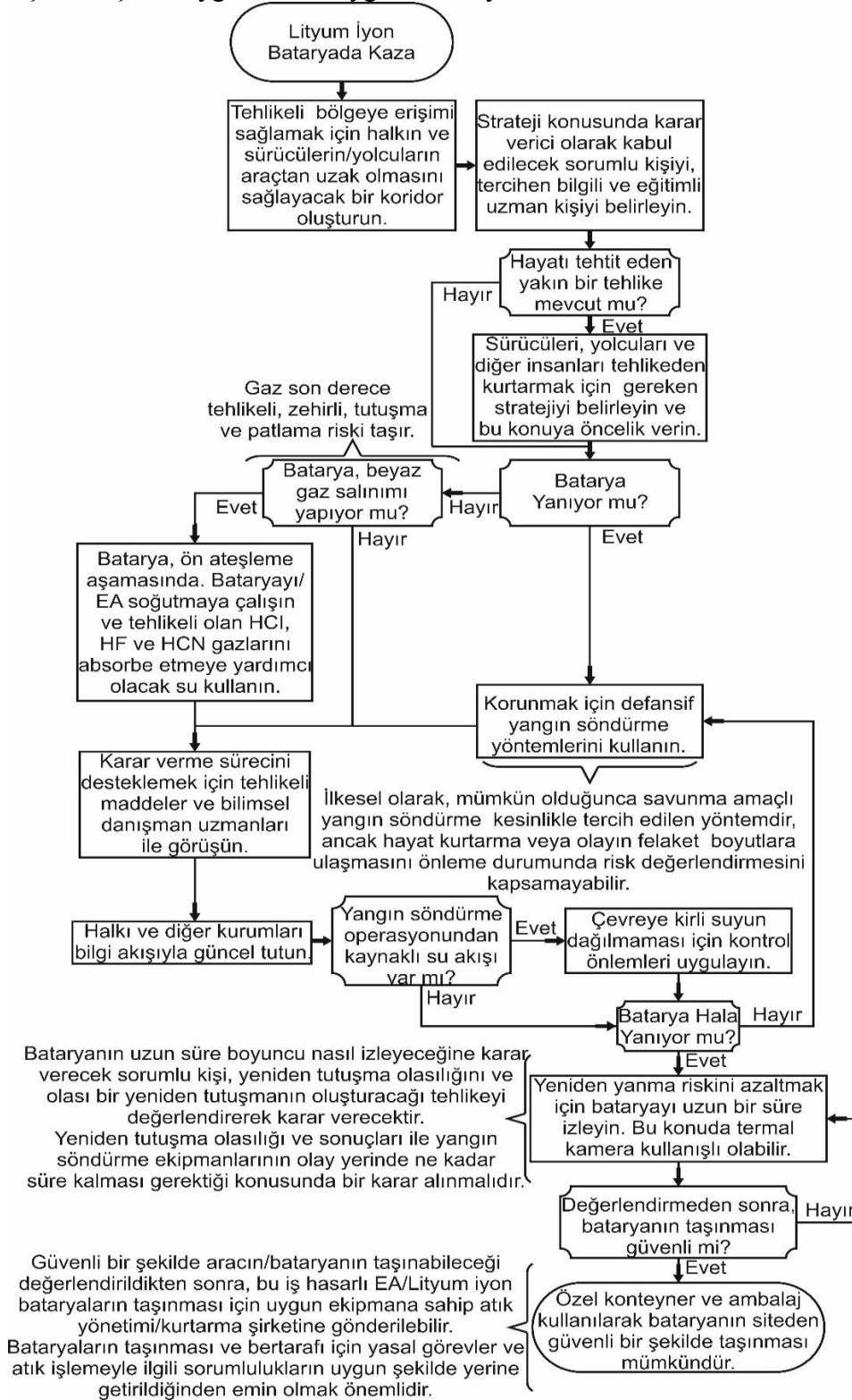
Termal kaç süreci ciddi yangın güvenliği sonuçları doğurur, özellikle de yolcu araçları, uçaklar ve denizaltılar gibi sınırlı alanlarda; Son iki yılda, 40 ölümlü 300'den fazla yangın veya yangınla ilgili olay rapor edilmiş olup, LİB'lerle ilişkili yangın risklerinin olasılığı ve şiddeti sunulmuştur. Son yıllarda bildirilen bazı LİB termal kaçış ve yangın olayları Tablo 1'de listelenmiştir.

**Tablo 1.** LİB Yangın ve Patlama Kazaları (Özgür, 2024; TRT, 2023; Ghiji vd., 2020)

S/N	Tarih	Lokasyon	Olay Açıklaması	Muhtemel Sebep
1	Mart, 2024	Kayseri, Türkiye	TESLA elektrikli araç, sağanak nedeniyle yoldan çıkarak orta refüjdeki ağaca çarptı. Çarpmanın etkisiyle alev aldı.	Kaza sonucu.
2	Ekim 2023	İstanbul, Türkiye	Altı elektrikli araç taşıyan bir tır, cadde üzerinde ilerlerken dorsesindeki araçlardan birinin nedeni belirsiz bir şekilde patlayıp alev alması sonucu olay yaşandı.	Sebep bilinmiyor.
3	Mart 2019	Brabant, Hollanda	Bir hibrit elektrikli araç (BMW i8 tak-kapasite hibrit) bir showroomda dumanlanmaya başladı.	Sebep bilinmiyor.
4	Ocak 2019	Adelaide, Avustralya	Bir elektrikli yol bisikleti patladı ve alev aldı.	Kısa devre.
5	Ocak 2019	Florida, ABD	Bir elektrikli araç (Tesla Model S) alev aldı.	Kaza sonucu.
6	Haziran 2018	Vancouver, Kanada	Bir WestJet uçuşunun bagaj bölümünde bir elektronik sigara, yangına neden oldu ve acil iniş yapıldı.	Sebep bilinmiyor.
7	Ağustos 2017	California, ABD	Bir elektrikli araç (Tesla Model X), bir garağa çarptıktan sonra alev aldı.	Kaza, batarya modüllerini şekil değiştirerek kısa devreye soktu, dışarı gaz çıkarmaya ve yangına neden oldu.
8	Eylül 2016	Dünya çapında	Samsung, 35 yangın vakasının ardından 2.5 milyondan fazla Galaxy Note 7 telefonunu geri topladı.	Samsung'un bataryalarındaki üretim hatası, dahili pozitif ve negatif kutuplar arasında kısa devre oluşturuyordu.
9	Ağustos 2016	Paris, Fransa	Bir elektrikli araç (Tesla Model S), tanıtım turu sırasında alev aldı.	Sebep bilinmiyor.

## Termal Kaçak Sonrası Meydana Gelen Olaylara Müdahale

Termal kaçak sonrası yaşanan olaylara müdahale çeşitleri arasında yangın söndürme sistemlerinin etkin kullanımı, tehlikeli bölgelerin tahliyesi, profesyonel acil durum ekiplerinin olay yerine intikali ve hasarın detaylı bir şekilde değerlendirilmesi bulunmaktadır. Bu müdahaleler, belirlenen güvenlik protokollerine tam olarak uygun olarak eğitilmiş personelin koordineli çabalarıyla gerçekleştirilir. Şekil 6'da LİB'lerde termal kaçak sonrası meydana gelen olaylara müdahale süreçlerini içeren uygulanacak uygulamalar yer almaktadır.



Şekil 6. LİB'lerde Termal Kaçak Sonrası Meydana Gelen Olaylara Müdahale Süreçleri



## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu makale, LİB'lerin çeşitli kullanım alanlarındaki önemi ve güvenlik açısından karşılaşılan potansiyel riskleri ele almaktadır. LİB'ler, taşınabilir elektronik cihazlardan elektrikli araçlara kadar geniş bir yelpazede yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, enerji yoğunluğu ve performans avantajlarına rağmen, LİB'lerin yanıcı elektrolite sahip olması ve belirli çalışma koşulları dışında termal olarak kararlı olmaması gibi güvenlik dezavantajları bulunmaktadır.

Bu bağlamda, LİB'lerin güvenli kullanımı için bir dizi öneri ve strateji sunulmuştur:

- Doğru Şarj ve Deşarj: Bataryaların üreticinin önerdiği şarj ve deşarj parametrelerine uygun olarak kullanılması önemlidir. Aşırı şarj veya aşırı deşarj, bataryanın zarar görmesine ve hatta yangın veya patlama riski oluşturmasına neden olabilir.
- Kötüye Kullanımdan Kaçınma: Mekanik hasar, elektriksel kötüye kullanım veya aşırı ısınma gibi kötüye kullanımlardan kaçınılmalıdır. Bataryaların düşmemesine veya darbelere maruz kalmamasına dikkat edilmelidir. Ayrıca, bataryaların aşırı sıcaklıklara maruz kalmaması da önemlidir.
- Kaliteli Malzeme ve Üretim: Güvenilir batarya üreticilerinden kaliteli malzemelerle üretilen bataryalar tercih edilmelidir. Kaliteli üretim süreçleri, bataryaların güvenilirliğini ve güvenliğini artırabilir.
- İyi Havalandırma: LİB'lerin kullanıldığı ortamlar iyi havalandırılmış olmalıdır. Bu, bataryaların aşırı ısınmasını önleyerek güvenliğini artırabilir.
- Eğitim ve Bilinçlendirme: Batarya kullanıcılarına bataryaların doğru kullanımı ve bakımı konusunda eğitim verilmelidir. Bilinçli kullanıcılar, güvenliğini artırabilir ve olası riskleri azaltabilir.

Ayrıca, termal kaçakları önlemek için çeşitli yöntemler ve teknolojiler bulunmaktadır. Bunlar arasında Batarya Yönetim Sistemi (BYS), Katı Elektrolit Arayüzü, Kimyasal Katkı Maddeleri ve Fiziksel Güvenlik Sistemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerin bir kombinasyonu, LİB'lerin güvenliğini artırarak termal kaçakları önlemeye yardımcı olabilir.

Son olarak, termal kaçak sonrası olaylara müdahale stratejileri önemlidir. Bu stratejiler arasında yangın söndürme sistemlerinin etkin kullanımı, tehlikeli bölgelerin tahliyesi, profesyonel acil durum ekiplerinin olay yerine intikali ve hasarın detaylı bir şekilde değerlendirilmesi yer almaktadır. Bu müdahalelerin, belirlenen güvenlik protokollerine uygun olarak eğitilmiş personel tarafından koordineli bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

LİB'lerin güvenli kullanımı ve termal kaçakların önlenmesi için bu önerilerin ve stratejilerin dikkate alınması önemlidir. Bu şekilde, LİB'lerin potansiyel avantajlarından yararlanırken güvenlik riskleri en aza indirilebilir ve kullanıcıların ve çevrenin güvenliği sağlanabilir.

## KAYNAKÇA

- Andersson, P., Arvidson, M., Evegren, F., Jandali, M., Larsson, F., & Rosengren, M. (2018). Lion Fire: Extinguishment and mitigation of fires in Li-ion batteries at sea. RISE Report. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1700692/FULLTEXT01.pdf> adresinden alındı
- Andersson, P., Wikman, J., Arvidson, M., Larsson, F., & Willstrand, O. (2017). Safe introduction of battery propulsion at sea. RISE Research Institutes of Sweden(34), 59. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1118026/FULLTEXT01.pdf> adresinden alındı
- Baba, Y., Okada, S., & Yamaki, J.-i. (2002). Thermal stability of Li x CoO 2 cathode for lithium ion battery. Solid State Ionics, 148(3), 311-316. doi:10.1016/S0167-2738(02)00067-X

- Balbuena, P., & Wang, Y. (2004). Lithium-ion batteries: solid-electrolyte interphase. World Scientific.
- Bulut, E. (2022). Elektrikli Araçlarda Batarya Termal Yönetim Sistemlerinin Optimum Tasarımı. Bursa: Doktora Tezi: Bursa Uludağ Üniversitesi.
- Dagger, T., R. Rad, B., M. Schappacher, F., & Winter, M. (2018). Comparative Performance Evaluation of Flame Retardant Additives for Lithium Ion Batteries – I. Safety, Chemical and Electrochemical Stabilities. *Energy Technology*, 6(10), 2011-2022. doi:10.1002/ente.201800132
- Enerjım Güneş. (2023, Ocak 28). Enerjım Güneş. Batarya Yönetim Sistemi (BMS) Nedir?: [https://www.enerjimgunes.com/batarya-yonetim-sistemi-bms-nedir#:~:text=Batarya%20Y%C3%B6netim%20Sistemi%20\(%20BMS\)%20%2C,ak%C4%B1m%20ve%20s%C4%B1caklık%20aral%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20vard%C4%B1r](https://www.enerjimgunes.com/batarya-yonetim-sistemi-bms-nedir#:~:text=Batarya%20Y%C3%B6netim%20Sistemi%20(%20BMS)%20%2C,ak%C4%B1m%20ve%20s%C4%B1caklık%20aral%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20vard%C4%B1r) adresinden alındı
- Ghiji, M., Novozhilov, V., Moinuddin, H., Joseph, P., Suendermann, B., & Gamble, G. (2020). A Review of Lithium-Ion Battery Fire Suppression. *Energies*, 13(19). doi:10.3390/en13195117
- Özgür, M. (2024, Mart 14). Deniz Postası. Kayseri'de Yanan Elektrikli Aracın Sürücüsü Öldü: <https://www.denizpostasi.com/kayseride-yanan-elektrikli-aracin-surucusu-oldu> adresinden alındı
- Russoa, P., Barib, C., Mazzaroc, M., Rosac, A., & Morriellod, I. (2018). Effective Fire Extinguishing Systems for Lithium-ion Battery. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 67, 727-732. doi:10.3303/CET1867122
- Tran, M.-K., Mevawalla, A., Aziz, A., Panchal, S., Xie, Y., & Fowler, M. (2022). A Review of Lithium-Ion Battery Thermal Runaway Modeling and Diagnosis Approaches. *Processes*, 10(6), 1192. doi:10.3390/pr10061192
- TRT. (2023, Ekim 6). TRT. Sevkiyat aşamasındaki 6 elektrikli otomobil yandı: <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/sevkiyat-asamasindaki-6-elektrikli-otomobil-yandi-801041.html> adresinden alındı
- Wang, Q., Sun, J., & Chu, G. (2005). Lithium ion battery fire and explosion. *Fire Safety Science*, 8, 375-382. <https://publications.iafss.org/publications/fss/8/375/view/1000> adresinden alındı
- Zhenghai, L., Shen, Z., Kang, L., Guoqiang, Z., & Thomas G., H. (2019). A survey of methods for monitoring and detecting thermal runaway of lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*. doi: 10.1016/j.jpowsour.2019.226879