

	MÜHENDİSLİKTE YAKITLAR, YANGIN VE YANMA DERGİSİ <i>FUELS, FIRE AND COMBUSTION IN ENGINEERING JOURNAL</i>		
	eISSN: 2564-6435 Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/fce		
	<u>Geliş/Received</u> 13.01.2022 <u>Kabul/Accepted</u> 14.04.2022	<u>Doi</u> : https://doi.org/10.52702/fce.1057432	

ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERİN YAPISI VE YANGIN RİSKLERİ

Hüseyin ALYAR*¹

ÖZ

Elektrikli otomobiller; lityum iyon pil teknolojisinin hızlı gelişimi sayesinde son yıllarda dünya genelinde otomobil sektörünü önemli ölçüde değiştirdi. Elektrikli otomobillerin sayıların günümüzde oldukça artmış olması meydana gelen trafik kazalarında bulunma olasılıklarını da arttırmaktadır. Trafik kazaları sonucu karşımıza çıkan en önemli sorun otomobil yangınlarıdır. Bu çalışmada elektrikli otomobillerin yapısı analiz edilmektedir. Kullanılan batarya türleri incelenerek batarya tipleri hakkında bilgi verilmektedir. Elektrikli otomobillerdeki yangın riskleri değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Otomobiller, Yangın Riskleri, Lityum İyon Piller, Yangın Güvenliği

STRUCTURE OF ELECTRIC CARS AND FIRE RISKS

ABSTRACT

Electric cars; The rapid development of lithium-ion battery technology has dramatically changed the automobile industry worldwide in recent years. The fact that the number of electric cars has increased considerably today also increases the probability of being involved in traffic accidents. The most important problem that we encounter as a result of traffic accidents is automobile fires. In this study, the structure of electric cars is analyzed. The types of batteries used are examined and information about battery types is given. Fire risks in electric cars are being evaluated.

Keywords: Electric Cars, Fire Risks, Lithium-Ion Batteries, Fire Safety

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği, email: huseyinalyar@gmail.com

1. GİRİŞ

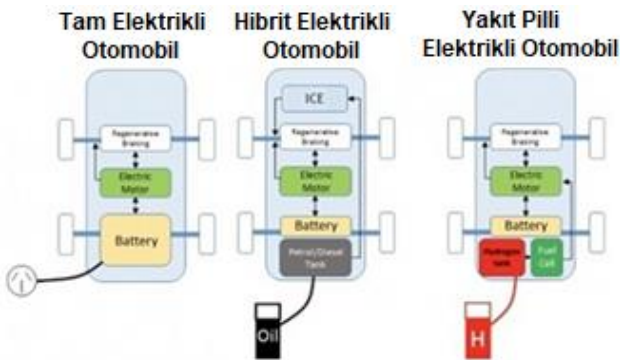
Çevreci, daha ucuz yakıt maliyeti ve enerji depolama sistemlerindeki teknolojik gelişmelerle beraber özellikle lityum iyon bataryalardaki yenilikler otomotiv sektörünü daha avantajlı kılmaktadır. Bu avantajlı yönleriyle elektrikli otomobillere olan talep tüm dünyada artmaya devam ediyor [1].

Dünya çapında daha fazla lityum iyon batarya (LIB) ile çalışan karayolu taşıtı faaliyete geçtikçe, trafik kazalarına katılımları da artacaktır. İtfaiye ekiplerinin en çok karşılaştıkları otomobil yangınları; içten yanmalı motorlu otomobil yangınlarıdır. Uzun yıllardır karşılaştıkları bu yangınlara müdahalenin nasıl olması gerektiğiyle ilgili yeteri kadar argüman bulunmaktadır. Ancak elektrikli otomobiller söz konusu olduğunda, yangınlara nasıl yaklaşılması gerektiğiyle ilgili kaynak ve tecrübe eksikliği olduğu görülmektedir. Örneğin; lityum iyon bataryaların yanması ve sonrasında kontrol altına alınsa dahi bir süre sonra yeniden alev alma riskleri olduğu görülmüştür.

2. ELEKTRİKLİ OTOMOBİL YAPISI VE ÇALIŞMA ESASLARI

Elektrikli otomobil türleri değişti ve sürekli olarak geliştirildi. Bugün dünyada, ana hatlarıyla üç tip elektrikli otomobil vardır. Bunlar; Tam Elektrikli Otomobil, Hibrit Elektrikli Otomobil, Yakıt Hücreli Elektrikli Otomobil.

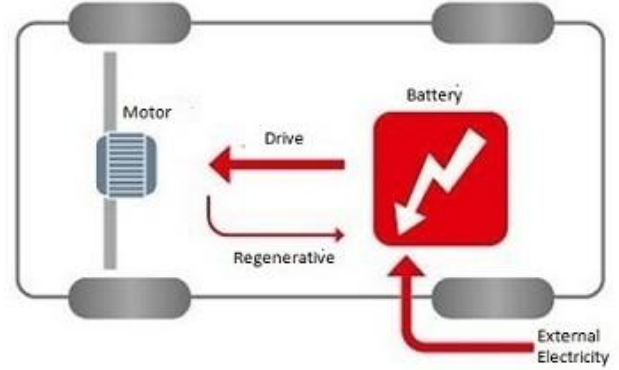
Kısaca, yukarıdaki üç tip elektrikli otomobilin sistem mimarisi aşağıdaki şekilde görülebilir:



Şekil 1. Elektrikli otomobillerin yapısı

2.1. Tam Elektrikli Otomobil

Tam Elektrikli Otomobil, tamamen bir pil ve elektrikli aktarma sistemleriyle çalışır. Bu tip elektrikli otomobillerde içten yanmalı motor yoktur. Elektrik, elektrik şebekesine bağlanarak şarj edilen büyük bir pil paketinde depolanır. Pil takımı da elektrikli otomobili çalıştırmak için bir veya daha fazla elektrik motoruna güç sağlar.



Şekil 2. Tam elektrikli otomobil yapısı

Çalışma Prensipleri; Güç, elektrik motoru için DC pilden AC'ye dönüştürülür. Gaz pedalı, inverterden motora giden AC gücünün frekansını değiştirerek aracın hızını ayarlayan kontrolöre bir sinyal gönderir. Motor, tekerlekleri bir dişli çark aracılığıyla birbirine bağlar ve döndürür. Frenlere basıldığında veya elektrikli otomobil yavaşlarken, motor bir alternatör haline gelir ve aküye geri gönderilen gücü üretir.

Tam elektrikli otomobillere örnek olarak; Volkswagen e-Golf, Tesla Model 3, BMW i3, Chevy Bolt, Chevy Spark, Nissan LEAF, Ford Focus Electric, Hyundai Ioniq, Karma Revera, Kia Soul, Mitsubishi i-MiEV, Tesla X, Toyota Rav4 verilebilir.

2.2. Hibrit Elektrikli Otomobil

Bu tip hibrit otomobillere genellikle seri hibrit veya paralel hibrit denir. Hibrit elektrikli otomobillerde hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru bulunur. Bu tip elektrikli otomobillerde içten yanmalı motor enerjiyi yakıttan (benzin ve diğer yakıt türleri) alırken, motor ise pillerden elektrik alır. Benzinli motor ve elektrik motoru, tekerlekleri tahrik eden şanzımanı aynı anda döndürür.

Hibrit Elektrikli Otomobil bileşenleri; motor, elektrik motoru, kontrolör ve invertörlü pil takımı, yakıt tankı ve kontrol modülünden oluşur. Örnek olarak; Honda Civic Hybrid, Toyota Prius Hybrid, Toyota Camry Hybrid verilebilir.

2.3. Yakıt Pili Elektrikli Otomobil

Yakıt pili otomobiller veya sıfır emisyonlu otomobil olarak da bilinen yakıt hücreli elektrikli otomobiller, aracı çalıştırmak için gereken elektriği üreten 'yakıt hücresi teknolojisi' kullanan elektrikli otomobil türleridir. Bu tip otomobillerde yakıtın kimyasal enerjisi direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürülür.

Yakıt hücreli elektrikli otomobil bileşenleri; elektrik motoru, yakıt hücresi yığını, hidrojen depolama tankı, dönüştürücü ve denetleyicili pilden oluşur. Örnek olarak; Toyota Mirai, Hyundai Tucson FCEV, Riversimple Rasa, Honda Clarity Fuel Cell, Hyundai Nexo verilebilir.

3. BATARYA TEKNOLOJİLERİ

3.1. Lityum İyon Piller

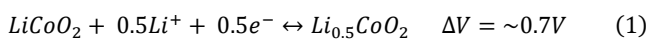
Lityum iyon piller, en yaygın pil türüdür. Bu bataryaların yaygın olmasının en büyük nedeni, yüksek enerji yoğunluğuna ve düşük bakım gereksinimlerine sahip olmasıdır.

Lityum iyon pillerdeki elektrolit, sıvı bir çözücü veya bir polimer olabilir. Polimer elektrolitler hücrenin silindirik yerine prizmatik olmasına izin vererek paketleme faktöründe avantaj sağlar. Lityum iyon piller ayrıca daha az dış ambalaj gerektirir ve bu da daha düşük toplam ağırlık sağlar.

Lityum iyon piller, birleştirici özelliği ile birçok farklı anot ve katot malzemesini kapsar. Çoğu ticari lityum iyon piller bir grafit katot kullanır. Lityum iyon piller için farklı katot ve anot malzemeleri aşağıdaki alt bölümlerde açıklanmıştır.

3.1.1. Lityum kobalt oksit

Lityum kobalt oksit ($LiCoO_2$) piller, anot olarak kobalt oksit (CoO_2) kullanır. Yarı hücre reaksiyonları aşağıda gösterilmiştir [2]

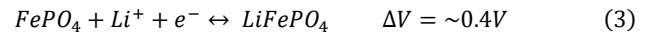


Lityum kobalt oksit piller, piyasada bulunan 448 Wh/kg teorik özgül enerjiye sahiptir. Pillerin özgül enerjileri 200 Wh/kg civarındadır [3]. 1991 yılında Sony tarafından piyasaya sürülen lityum iyon pil türü $LiCo$ en eski ve en yaygın kullanılanıdır [4]. $LiCoO_2$ pillerin mevcut üreticileri Sony ve Panasonic 'dir. [5].

$LiCo$ piller özellikle aşırı şarj ve aşırı ısınmadan kaynaklanan termal kaçaklara eğilimlidir. Bu durum dizüstü bilgisayarlarda ve cep telefonlarında birden fazla ürünün geri çağrılmasıyla sonuçlandı [6].

3.1.2. Lityum demir fosfat

Lityum demir fosfat (LFP) piller, katot olarak demir fosfat ($FePO_4$) kullanır. Yarı hücre deşarj sırasındaki reaksiyonlar aşağıda gösterilmiştir [7].

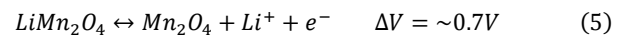


LFP pillerin teorik özgül enerjisi 544 Wh/kg, piyasada bulunan pillerin özgül enerjileri 120-160 Wh/kg aralığında bir kapasiteye sahiptir [3]. Katodun kararlılığı, daha yüksek akımların kullanılmasına izin verir. Diğer li-ion batarya tiplerine göre daha fazla özgül güç ve daha az şarj süresi sağlar [6].

LFP piller, katottaki fosfatın kararlılığı nedeniyle aşırı şarj edildiğinde kararlıdır; farklı diğer malzemeler aşırı ısındığında veya aşırı şarj edildiğinde oksijen salmaz. Bu durumda kararlılık azalır. Deşarj sırasında ve düşük şarj durumlarında yan reaksiyonlar, çevrim ömrünü arttırır.

3.1.3. Lityum manganez oksit

Lityum manganez ($LiMn$) piller bir Mn_2O_4 katot kullanır. Yarı hücre reaksiyonları, aşağıda gösterilmiştir.



$LiMn$ hücreleri 1001 Wh/kg teorik özgül enerjiye sahiptir. Ticari olarak temin edilebilen hücreler 120 Wh/kg özgül enerjiye sahiptirler [3]. $LiMn$ piller, termal kaçaklara karşı $LiCo$ hücrelere göre daha dayanıklıdır. Bu onun kübik bir sonucudur. Lityum manganez piller, elektrolitte manganezin çözünmesinin bir sonucu olarak sınırlı çevrim

ömrüne sahiptir. Chevrolet Volt ve Hyundai Sonata Hybrid'de lityum manganer piller kullanan otomobillerden bazılarıdır [8].

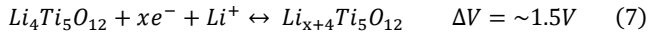
3.1.4. Lityum nikel-kobalt-manganer

Lityum nikel-kobalt-manganer (Li-NCM) piller, anot olarak oksitlenmiş metallere oluşan bir alaşım kullanır. Herhangi bir metal oksitten daha iyi özellikler sağlar. Nikel-kobalt-alüminyum dahil farklı metal alaşımları da kullanılabilir [9].

Tesla Model S'de lityum nikel alaşımlı piller, Chevrolet Volt'ta lityum manganer piller kullanılmaktadır. Li-NCM pillerin, Chevrolet Volt'taki lityum manganer pillerin yerini alması planlanıyor.

3.1.5. Lityum titanat

Bir lityum titanat hücresinin anot reaksiyonu aşağıda verilmiştir.



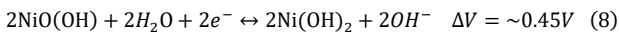
Lityum titanatın düşük sıcaklıklarda göstermiş olduğu düşük performans iyileştirmiştir. Honda Fit EV ve Mitsubishi i-MiEV'de lityum titanat piller kullanılmaktadır.

3.2. Nikel Kadmiyum

Nikel kadmiyum pillerin teorik özgül enerjisi 244 Wh/kg, mevcut pillerin kapasiteleri 40 Wh/kg [3].

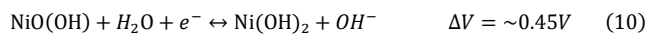
Nikel kadmiyum piller, tıbbi ekipman ve elektrikli aletler gibi acil durum sistemleri dışında Avrupa Birliği'nde yasaklanmıştır [10].

Nikel kadmiyum piller, nikel oksihidroksit ve kadmiyum arasındaki mobil iyonlar olarak hidroksil iyonlarını kullanır. Yarım hücre reaksiyonları aşağıda gösterilmiştir [3].



3.3. Nikel Metal Hidrür

Nikel metal hidrit (NiMH) piller, nikel kadmiyum hücrelerinde bulunanla aynı nikel oksihidroksit (NiOOH) anodunu kullanır. Kadmiyum katot, hidrojen emici bir alaşım ile değiştirilir. Deşarj sırasındaki yarı hücre reaksiyonları aşağıda gösterilmiştir.



NiMH pillerin teorik özgül enerjisi 240 Wh/kg, mevcut pillerin özgül enerjileri 100 Wh/kg [3].

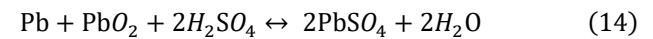
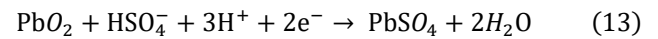
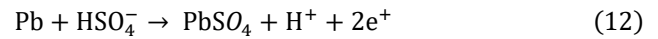
Nikel metal hidrit piller ilk olarak 1997 yılında Honda EV Plus'ta otomobiller için kullanıldı [11]. Son zamanlarda Lexus CT200h ve Toyota Prius C gibi düşük pil kapasitesine sahip otomobillerde de kullanılmaktadırlar.

3.4. Kurşun Asit

Kurşun asit piller, yakın zamana kadar elektrikli otomobiller için en iyi bilinen ve en yaygın olarak kullanılan pillerdi.

Kurşun asit hücrelerinde, pozitif plakalar aktif bir kurşun dioksit malzemesine sahipken negatif plakaların aktif maddesi olarak süngerimsi bir kurşun vardır. Batarya deşarj sırasında; pozitif plakada kurşun dioksit kurşun sülfata dönüşür, negatif plakada ki kurşun da kurşun sülfata dönüşür. Bu esnada elektrolit sülfürik asidini kaybederken su kazanır. Bu işlemlerin neticesinde elektrik enerjisi oluşur.

Reaksiyona ait formüller aşağıdaki gibidir.



Pil şarj olurken de bu işlemlerin tersi oluşur. Plakalar ilk haline dönerken elektrolitte sülfürik asit tekrardan oluşmaktadır.

Kurşun asit piller, en yaygın olarak kullanılan şarj edilebilir pillerdir. Bunun ana nedenleri, ana bileşenleri (kurşun, sülfürik asit, plastik bir kap) pahalı değildir, güvenilir bir şekilde çalışır ve hücre başına yaklaşık 2V'luk nispeten yüksek bir voltaja sahiptir.

Bu piller uygun fiyatlı olmasına rağmen, düşük enerji kapasitesine sahiptir. Bundan dolayı valf ile ayarlanmalı kurşun asit çoğunlukla bakım gerektirmediği ve yüksek amper-saat çalıştığı için daha fazla tercih edilmektedir. Fakat düşük enerji yoğunlukları (40Wh/kg altında) ve çevrim ömürleri hala büyük engelleyici bir faktördür ve bu yüzden de uygulamaları endüstri ve otomobillerle sınırlıdır. Bu uygulamalara örnek olarak; otomobil çalıştırma, aydınlatma ve ateşleme örnek olarak verilebilir.

4. YANGIN RİSKLERİ

Lityum iyon bataryaların elektrikli otomobiller için baskın güç kaynağı haline gelmesiyle beraber yangın riskleri gibi güvenlik problemlerini meydana getirmiştir. Bu, batarya paketinin artan

dağıtım ölçeği ve enerji yoğunluğu ile ilgilidir [12, 13]. Bir lityum iyon batarya, harici bir darbeye ve ya aşırı çalışma koşullarına maruz kaldığında bazı istenmeyen durumlara yol açar. Bu durumlar; kıvılcımlar, yanıcı gazlar, zehirli dumanlar olabilir. Ayrıca sürekli yanmaya, jet alevlerine veya gaz patlamasına da neden olur. [14, 15]. Bununla birlikte, buna yol açabilecek birçok başka faktör vardır. Bu faktörlere; şarj sisteminin arızalanması, kablunun aşırı yüklenmesi, diğer yanıcı maddelerin tutuşması ve kundakçılık örnek olarak verilebilir [16, 17]. Elektrikli otomobillerde meydana gelen bu yangın olayları nispeten yenidir ve genellikle karmaşıktır. Bununla birlikte, birkaç kategoriye ayrılabilirler:

I. Elektrikli otomobil kullanılmıyorken alev alır (genellikle kendiliğinden tutuşma olarak adlandırılır). Bu durum düşük/yüksek sıcaklıklar veya yüksek nem gibi hava koşullarıyla ilgili olabilir.

II. Elektrikli otomobil şarj olurken alev alır. Bu arıza, Lityum iyon bataryaların aşırı şarj nedeniyle arızalanmasıyla ilgili olabilir. Ancak daha yaygın olarak hatalı veya güvensiz şarj istasyonları ve/veya kablolarla ilgilidir.

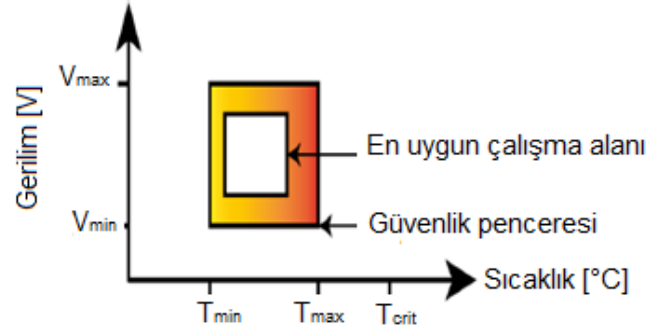
III. Bir elektrikli otomobilin bataryaları, trafik kazası veya diğer suistimal türleri sonucunda hasar görür. Pil takımına verilen hasar o kadar şiddetlidir ki, bataryalar çarpışma sırasında veya hemen sonrasında tutuşur. Bir otomobilin bu tür kazalara karışma olasılığı, caddelerdeki artan elektrikli otomobillerin sayısı ile muhtemelen daha da artacaktır.

IV. Diğer sebepler; kundaklama veya otomobilin yakınında bulunan ; ev, dükkan, konteyner gibi yapıların yanması sonucu yanabilir.

4.1. Termal Etki

Kullanıcılar, elektrikli otomobillerini tıpkı bir geleneksel içten yanmalı otomobil gibi, yani aşırı soğuk ve sıcak ortamlarda bile çalıştırabilmeyi beklerler. Örneğin; elektrikli otomobillerin yaz sıcaklıklarının 45°C 'nin üzerinde olabileceği Kaliforniya'da veya günlük kış sıcaklığının -5°C 'nin altında ve bazen -15°C 'nin altında olduğu Norveç ve Kanada sokaklarında kullanılması bekleniyor. İnsanlar gibi bataryalarda en iyi performansı oda sıcaklığında ($20\sim 30^{\circ}\text{C}$) gösterir. Aşırı sıcak ve soğuk sıcaklıklar, pilin performansı için olumsuzdur ve ömrünü kısaltır (Şekil 3). Yüksek sıcaklık koşullarında bazı istenmeyen

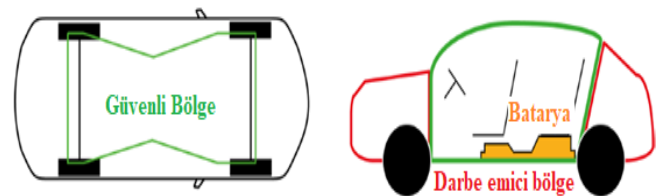
kimyasal reaksiyonlar meydana gelebilir ve pillerin aşırı ısınmasına neden olabilir [12, 13]. Zayıf bir termal yayılmasının, elektrikli otomobil yangınına yol açabilecek bir termal kaçışı tetikleme mümkündür. Soğuk havalarda pilin iç direnci artar. Bu direnç, pil içinde ek ısıtma etkilerinin oluşmasına neden olabilir. Bu da pil yangınının tetiklenme ihtimalini artırır [12, 18, 19].



Şekil 3. Lityum iyon bataryalar optimum ömür ve güvenliği garanti etmek için sınırlı bir sıcaklık ve şarj aralığında çalışmalıdır.

4.2. Mekanik Etki

Çoğu ticari LIB hücresi, bir elektrikli otomobil yapısının ve/veya pil modülünün ve paket muhafazasının koruması olmadan nispeten kırılgandır. Trafik kazası, geleneksel otomobillerde olduğu gibi elektrikli otomobiller de ömrü boyunca karşılaşılabileceği olumsuz etkenler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, LIB'lerin ve elektrikli otomobilin modern tasarımı sayesinde çarpışmaların büyük çoğunluğu batarya paketlerine zarar vermeyecektir [20, 21]. LIB paketleri, çarpışma koşulları sırasında delinme riskini ortadan kaldırmak amacıyla genellikle aracın oldukça güçlendirilmiş alanlarına entegre edilir (bkz. Şekil 4).



Şekil 4. LIB'lerin tipik yerleşim düzeni

Elektrikli otomobil için yüksek sürüş performansı ile birlikte hızlı şarj ve deşarj arayışı, yangın riskleri açısından olumsuz bir etkiye sahiptir [22, 23]. LIB'ler, önceden tanımlanmış miktarda enerjiyi belirli bir süre içinde almak ve depolamak için yapılmıştır. Çok hızlı şarj etmenin veya aşırı şarj etmenin sonucu olabilecek bu

sınırların aşılması, performanslarının düşmesine veya erken arızaya neden olabilir. Genellikle, elektrik kötüye kullanımına Joule ısınması ve dahili kimyasal reaksiyonlar eşlik eder. Birincisi ısı üretirken ikincisi zamanla dahili bir kısa devreye neden olabilir. Bazı elektrikli otomobil yangınları; kısa devre, aşırı şarj, aşırı ısınma ortamı gibi uygun olmayan çalışma koşulları ve dahili arızalardan kaynaklanır.

5. TERMAL KAÇAK VE BATARYA YANGINI

Elektrikli otomobil yangınlarına batarya arızası neden olabilir ve LIB'nin en yaygın arızası termal kaçaktır. Termal kaçak, ekzotermik zincir reaksiyonlarının meydana geldiği ve soğutmanın üstesinden geldiği aşırı ısınma durumunda yaygın olarak gözlenen bir olgudur [24]. LIB için, termal kaçak genellikle önemli ölçüde artan pil sıcaklığı veya ekzotermik termokimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonların tetiklendiğini gösteren güvenlik havalandırmasının etkinleştirilmesi anlamına gelir. Akü termal kaçaklarına genellikle büyük miktarda koyu duman, kıvılcıklar ve güçlü jet alevlerinin püskürtülmesi eşlik eder [25]. Bu süreç tek tek hücreler içinde gerçekleştiğinden pil boyunca termal kaçak veya yangının yayılmasına izin verilmesi halinde risk potansiyeli de artacaktır. [12, 26].

Termal kaçak başladıktan sonra, emniyet valfinden veya akü yüzeyindeki çatlaklardan duman çıkar. Bu duman, yanıcı ve zehirli gazların bir karışımından oluşur. Yanıcı gazlar, yangın, kıvılcım ve elektrik arkları gibi yakındaki tutuşturma kaynakları tarafından tutuşabilir hatta kötü soğutma koşulu nedeniyle kendi kendine de tutuşabilir. Ortaya çıkan alev daha sonra pili daha da ısıtabilir. Pil yüzeyinden çıkan gaz salınım hızı, dahili gaz üretim hızından düşükse, pil hücresi de patlayabilir. Emniyet valfi, tipik olarak ateşleme öncesi termal kaçak işlemi sırasında üretilen birikmiş gazın bir kısmını serbest bırakabilir. Ancak hücrenin, alev radyasyonu veya yakındaki yanan bir pil gibi harici bir kaynaktan ısınmasını engelleyemeyebilir. Ek olarak, salınan gazın kapalı bir alanda birikmesine ve çevredeki oksijenle karışmasına izin verilirse, bir kıvılcım ile gaz patlaması meydana gelir [12, 24].

6. YANGIN SÖNDÜRME VE YANGINLA MÜCADELE STRATEJİLERİ

Batarya yangınlarının bastırılması ve yangın söndürme teknolojileri hakkında çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Az sayıda çalışma olmasına rağmen elektrikli otomobil yangınlarıyla ilgili bazı tespitler yapılabilmektedir. Yapılan bu tespitler; lityum iyon batarya yangınlarının kontrol altına alınmasının oldukça güç olduğu, çok fazla söndürücü gerektirdiği ve yeniden alevlenme durumlarının ortaya çıkabileceği yönündedir [27]. Yeniden alevlenen yangınlarla baş etmek zordur. Çünkü bunlar rastgele ve birincil termal olayın üzerinden önemli bir süre geçtikten sonra bile meydana gelebilir. Yeniden ateşleme olmamasını sağlamanın bir yolu, aracın veya LIB paketinin tamamen yanmasına izin vermektir. LIB paketindeki tüm aktif malzeme tüketildiğinde, yeniden tutuşma riski çok daha düşük olur. Ancak pratikte bu her zaman mümkün olmayabilir veya uygun yaklaşım olmayabilir. Bu yüzden bastırma veya söndürme yöntemine ihtiyaç duyulur.

Bu nedenle pil yangını bastırmak için yalnızca karbondioksit veya diğer kimyasallar kullanılırsa yangın kontrol altına alınabilmesine rağmen, pil takımını soğutamaz veya yeniden tutuşmasını engelleyemez. Öte yandan, su spreyi uygulanırsa, hem yangını bastırabilir hem de elektrikli otomobili soğutabilir. Ancak zamanla daha fazla elektrik arızasını tetikleyebilir ve hidrojen gazı açığa çıkarmak için Li ile reaksiyona girebilir [28].

LIB yangınlarının söndürme mekanizması hakkında nispeten az şey bilinmektedir ve literatürdeki yangın söndürme testlerinin çoğu küçük ölçekli portatif LIB yangınlarına odaklanmıştır. Bu nedenle söndürme ekiplerinin etkinliği, mevcut yangının güvenilirliği ve elektrikli otomobil yangınının bastırma stratejileri sıklıkla sorgulanır. Karbondioksit veya kuru kimyasallar yanan bir LIB'nin alevlerini söndürebilir. Ancak alevlerin söndürülmesi, yanıcı gaz oluşumu ve gaz patlamasına neden olan gecikmeli bir ateşleme olasılığına karşıda dikkatli olunmalıdır [29]. LIB'nin soğutulması veya hücreler arasındaki ısı transferinin engellenmesi çoğunlukla olumlu görünmektedir. Çok yaygın bir yangın söndürme maddesi olan su, mükemmel soğutma kapasitesi sunarak, kısa devreler veya zehirli su akışı gibi potansiyel

olumsuz etkilere rağmen LIB yangınları üzerinde oldukça etkilidir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışma, elektrikli otomobillerin yapısı ve son zamanlarda meydana gelen pil yangınlarının yanı sıra ilgili yangın güvenliği konularını incelemektedir. Pilin olası yeniden tutuşması ve içindeki pil paketini soğutmanın zorluğu nedeniyle bu tip yangınları bastırmak daha zordur. Elektrikli otomobil yangını bastırmak için su hala en etkili olarak kabul edilir ve pili söndürmek ve soğutmak için önemli miktarda su gerekir. Ancak doğrudan pil takımına uygulanırsa daha az baskılayıcı kullanılabilir. Bu makale gelecekteki araştırma ve geliştirmelere yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Yapılacak çalışmalar elektrikli otomobilleri özellikle yangın yönünden daha emniyetli hale getirdiği takdirde insanlar kendilerini elektrikli otomobil ve olası yangın durumlarında daha güvenli hissedebilirler.

KAYNAKLAR

- [1] N. Nitta, F. Wu, T. Lee and G. Yushin, "Li-Ion Battery Materials: Present and Future," *Materials Today*, vol. 18, pp. 252-264, 2015.
- [2] Roussel M., "Appendix B: Standard reduction potentials at 298.15K and 1bar," in *A Life Scientist's Guide to Physical Chemistry*, 2009.
- [3] Linden D. and T. Reddy, *Linden's Handbook of Batteries*, McGraw Hill, 2010
- [4] Robb J., 2013 OPTIMIZATION OF BATTERIES FOR PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLES
- [5] Oswal M., J. Paul and R. Zhao, "A comparative study of lithium-ion batteries," 2010.
- [6] Doughty D. and Pesaran A., "Vehicle Battery Safety Roadmap Guidance," National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, 2012.
- [7] Zhou F., Cococcioni M., Kang K. and Ceder G., "The Li intercalation potential of LiMPO₄ and LiMSiO₄ olivines with M = Fe, Mn, Co, Ni," *Electrochemistry Communications*, vol. 6, no. 11, pp. 1144-1148, 2004.
- [8] Kim J., Kin K., Cho W., Shin W., Kanno R. and Choi R., "A Truncated Manganese Spinel Cathode for Excellent Power and Lifetime in Lithium-Ion Batteries," *Nano Letters*, vol. 12, pp. 6358-6365, 2012.
- [9] Lu W., Jansen A., DeesD., Nelson P., Veselka N. and Henriksen G., "High-energy electrode investigation for plug-in hybrid electric vehicles," *Journal of Power Sources*, vol. 196, pp. 1537-1540, 2010.
- [10] URL-1 European Parliament, Directive 2006/66/EC of the European Parliament, Strasbourg, 2006, (Ziyaret tarihi: 15 Şubat 2022).
- [11] URL-2 Herron D. (2021). Honda EV Plus. <https://greentransportation.info/vehicles/prior-eras/honda-ev-plus.html> , (Ziyaret tarihi: 15 Şubat 2022).
- [12] Wang Q, Mao B, Stolarov SI, Sun J. A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies. *Progress in Energy and Combustion Science* 2019;73:95–131. doi:10.1016/j.peccs.2019.03.002.
- [13] Tobishima SI, Yamaki JI. A consideration of lithium cell safety. *Journal of Power Sources* 1999;81–82:882–6. doi:10.1016/S0378-7753(98)00240-7.
- [14] Evarts EC. Lithium batteries: To the limits of lithium. *Nature* 2015;526:S93–5. doi:10.1038/526S93a.
- [15] Lecocq A, Eshetu GG, Grugeon S, Martin N, Laruelle S, Marlair G. Scenario-based prediction of Li-ion batteries fire-induced toxicity. *Journal of Power Sources* 2016;316:197–206. doi:10.1016/j.jpowsour.2016.02.090.
- [16] Huang X, Nakamura Y. A Review of Fundamental Combustion Phenomena in Wire Fires. *Fire Technology* 2020;56:315–360. doi:10.1007/s10694-019-00918-5.
- [17] The Home Office, Road vehicle fires dataset, August 2019, UK 2019.
- [18] Hao M, Li J, Park S, Moura S, Dames C. Efficient thermal management of Li-ion batteries with a passive interfacial thermal regulator based on a shape memory alloy. *Nature Energy* 2018;3:899–906. doi:10.1038/s41560-018-0243-8.

- [19] Blum A, Long RT. Full-scale Fire Tests of Electric Drive Vehicle Batteries. *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems* 2015;8:565–72. doi:10.4271/2015-01-1383.
- [20] Justen R, Schöneburg R. Crash Safety of Hybrid and Battery Electric Vehicles. 22nd Enhanced Safety of Vehicles Conference, Washington: 2011.
- [21] Wisch M, J. Ott RT, Léost Y, Abert M, Yao J. Recommendations and Guidelines for Battery Crash Safety and Post-Crash Handling. EVERSAFE 2014.
- [22] Fairley P. Speed bumps ahead for electric-vehicle charging. *IEEE Spectrum* 2010;47:13–4. doi:10.1109/MSPEC.2010.5372476.
- [23] Zheng J, Engelhard MH, Mei D, Jiao S, Polzin BJ, Zhang JG, et al. Electrolyte additive enabled fast charging and stable cycling lithium metal batteries. *Nature Energy* 2017;2. doi:10.1038/nenergy.2017.12.
- [24] Drysdale D. An Introduction to Fire Dynamics. 3rd ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2011. doi:10.1002/9781119975465.
- [25] Larsson F. Lithium-ion Battery Safety-Assessment by Abuse Testing, Fluoride Gas Emissions and Fire Propagation. Chalmers University of Technology, 2017.
- [26] Said AO, Lee C, Stolarov SI, Marshall AW. Comprehensive analysis of dynamics and hazards associated with cascading failure in 18650 lithium ion cell arrays. *Applied Energy* 2019;248:415–28. doi:10.1016/j.apenergy.2019.04.141.
- [27] Kong L, Li C, Jiang J, Pecht MG. Li-ion battery fire hazards and safety strategies. *Energies* 2018;11:1–11. doi:10.3390/en11092191.
- [28] Schiemann M, Bergthorson J, Fischer P, Scherer V, Taroata D, Schmid G. A review on lithium combustion. *Applied Energy* 2016;162:948–65. doi:10.1016/j.apenergy.2015.10.172
- [29] Andersson P, Wikman J, Arvidson M, Larsson F, Willstrand O. Safe introduction of battery propulsion at sea. RISE Research Institutes of Sweden 2017.