



## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları



Tarih: 5 Eylül 2024

# Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

## İçindekiler Tablosu

1. Giriş.....	4
2. Geri Dönüşüm Tesislerinde Çıkan Yangın Sayısı.....	7
3. Yangın Öncesinde, Sırasında ve Sonrasında Alınması Önerilen Güvenlik Önlemleri ....	11
4. Lityum-İyon Piller Neden Alev Alır? .....	13
4.1. Dahili Kısa Devreler .....	13
4.2. Harici Isı Kaynakları.....	13
4.3. Fiziksel Hasar.....	14
4.4. Aşırı şarj veya aşırı deşarj.....	14
5. Yangını Algılama .....	15
5.1. Kızılötesi (IR) Kameralar Sıcaklık Artışını ve Ateşi Nasıl Görebilir? .....	16
6. Akıllı Erken Yangın Algılama Sistemlerinin Kullanıldığı Alanlar .....	18
7. Toz Patlaması.....	21
8. Atık Bertarafı ve Geri Dönüşümü .....	22
9. Yüksek Yangın Yüğü Nedeniyle Tehlike.....	23
10. Yanıcı Olmayan ve Hacimli Atıkların Bertarafında LIB Kaynaklı Yangınları Önlemenin İki Yolu 26	
10.1. Erken Hedefli Söndürme .....	26
10.1.1. Güvenlik sağlanmalı .....	27
10.1.2. Yangın İzole Edilmeli.....	27
10.1.3. Oksijen Kaynağı Kesilmeli.....	27
10.1.4. Yangın Söndürme Maddeleri Kullanılmalı .....	27
10.1.5. Lityum İyon Pili İzlenmeli ve Soğutulmalı .....	28
11. Lityum İyon Pilin Yanması Durumunda Yapılması Gerekenler Nelerdir? .....	29
11.1. Lityum Pillerden Kaynaklanan Yangın Riskini Azaltma .....	29
11.2. Yangın Önleme Söndürme Sistemler .....	30
11.3. Yangın Söndürme Monitörleri.....	30
12. Yangının Çevresel Maliyeti.....	33
13. Atık Azaltma ve Kaynakları Koruma.....	34
14. Atık Alımı ve Depolanması.....	35
14.1. Atık İşleme.....	35



## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

<b>14.2. Toplama Hattında Kullanılmış Lityum İyon Pilin Tutuşması Riski</b> .....	<b>36</b>
<b>15. Sektörün ve Sigorta Uzmanları Lityum İyon Pil Yangınları Bilmeli</b> .....	<b>38</b>
<b>15.1. Taşıma Esnasında Yangın</b> .....	<b>39</b>
<b>16. Kaynaklar</b> .....	<b>41</b>
<b>Resim 1.</b> Kullanılmış Lityum İyon Pil Yangın Görüntüsü .....	<b>29</b>
<b>Resim 2.</b> Geri Dönüşüm ve Kompost Tesislerinde Kullanılan Başlıca Söndürme Sistemleri ....	<b>30</b>
<b>Resim 3.</b> Geri Dönüşüm Tesisinde Bekleme Modunda Manuel Yedeklemeli Uzaktan Kumandalı Yangın Monitörü. ....	<b>31</b>
<b>Resim 4.</b> Kullanılmış Lityum İyon Pil Yangını .....	<b>32</b>
<b>Resim 5.</b> Bazı Lityum İyon Pilli Cihazlar .....	<b>37</b>
<b>Resim 6.</b> Ambalaj Atığı Taşıma Aracında Yangın.....	<b>39</b>
<b>Tablo 1.</b> Kırmızının En Yüksek Riski, Ardından Turuncu, Sarı Ve Kayısı Renginin En Düşük Riski Temsil Ettiği Farklı Atık Fraksiyonları İçin Yangın Riskinin Toplam Değerlendirmesi.....	<b>5</b>
<b>Şekil 1.</b> LIB'ların Temel Bileşenleri: Katot, Anot, Elektrolit ve Separatör .....	<b>7</b>
<b>Şekil 2.</b> ABD ve Kanada'da Yangın Verileri .....	<b>8</b>
<b>Şekil 3.</b> Türkiye'de Geri Dönüşüm Tesislerinde Yangın Sayısı .....	<b>9</b>
<b>Şekil 4.</b> Yangın Önleme Üçgeni .....	<b>10</b>
<b>Şekil 5.</b> Lityum İyon Pili Nasıl Tutuşur .....	<b>13</b>
<b>Şekil 6.</b> Yangın Gelişiminin Farklı Aşamaları .....	<b>15</b>
<b>Şekil 7.</b> Yangın algılama sistemlerinin hassasiyeti .....	<b>15</b>
<b>Şekil 8.</b> Akıllı Yangın Algılama .....	<b>18</b>
<b>Şekil 9.</b> Atık Boşaltma/Depolama, Konveyör Bant ve İşleme: Parçalayıcı'de Termal Kamere Olmalı.....	<b>18</b>
<b>Şekil 10.</b> Geri Dönüşüm Tesisinde Termal Kamera Düzenegi.....	<b>19</b>
<b>Şekil 11</b> Örnek Olarak 12:1 Oranını Kullanan Bir Termal Görüntüleme Kamerasının Nokta Oranına Uzaklık .....	<b>19</b>
<b>Şekil 12.</b> LIB İçeren Atıkların Kırma İşlemi .....	<b>23</b>
<b>Şekil 13.</b> Duman Emisyonu ve Ateşleme Sırasında ITV Kamera Görüntüleri (a.1, b.1) ve Kızılötesi Termografi Kamerasından (a.2, b.2) Alınan Termal Görüntüler.....	<b>24</b>
<b>Şekil 14.</b> Erken Hedefli Söndürme .....	<b>27</b>

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

### 1. Giriş

Küresel ölçekte son 70 yılda üretilen plastik miktarı 1950'de 1,5 milyon tondan 2021'de 390 milyon tona çıkarak yaklaşık 260 kat artmıştır.

TÜİK verilerine göre 2020 yılında atık bertaraf ve geri kazanım tesis sayısı 2 bin 752 iken 2022'de bu sayının 3 bin 136'ya çıktığı belirtiliyor. Adım başı geri dönüşüm tesisi. Bu tesislerin tekniğine uygun işletildiğini denetlemek mümkün değil.

Çöp kutusuna ve geri dönüşüm kutusuna atıldıktan sonra taşıma aracında, depolama alanında ve kırma işleminde hasar görmüş, parçalanmış, kırılmış ve ezilmiş lityum iyon piller yangın çıkarır.

Geri dönüşüm tesislerinde yangınların artan sıklığı ve şiddeti nedeniyle tehlike, İngiltere, İsveç, Avusturya, Almanya gibi dünya çapındaki birçok ülke için giderek artan bir endişe kaynağıdır.

Geri dönüşüm ve kompost tesislerinde yangınlarından kaynaklanan emisyonlar kalıcı, biyolojik birikimli ve toksin nitelikte olup havayı kirletmektedir toprak, yeraltı suyu, yüzey suyu ve örneğin balık ölümlerine yol açabiliyor.

Son derece toksin yapısı nedeniyle atık yangın emisyonları, genellikle hakim rüzgarın etkili olduğu bölgede yaşayan insanlar için kitlesel ölçekte çevresel ve sağlıkla ilgili acil durumlara yol açmaktadır.

Atık yangınlarından kaynaklanan emisyonların akciğer kanseri gibi kronik sağlık tehlikeleri oluşturduğuna dair kanıtlar sağlamıştır, gebelik bozuklukları ve pulmoner kardiyovasküler, nörolojik rahatsızlıklar ve solunum yolu hastalıklarıdır.

Geri dönüşüm tesislerinde atıkların yaygın tutuşma nedenleri arasında kendi kendine ısınma, lityum iyon pillerde termal kaçak, sürtünme, insan faaliyeti, teknik veya elektriksel hata ve elverişsiz birleşik depolama yer alır.

Lityum iyon pil atıkları üstel olarak artmaktadır.

Yüksek riskli atıklar arasında genel, kendiliğinden tutuşabilir atık, piller, elektrik ve elektronik atıklar ve kağıt ve karton bulunur.

Geri dönüşüm atıklarını ve kompost atıklarını açık alanda depolamada sık sık çıkan yangınlar, artan kapalı depolama alanları ve yeni atık türleri, sigorta şirketlerinin atık tesisleriyle çalışma konusunda isteksizliğinin artmasına neden olmaktadır.

**Tablo 1**, yangının nerede başladığına bağlı olarak çeşitli atık fraksiyonlarındaki yangın riskinin sıralamasını ve her bir fraksiyondaki yangının olası sonuçlarını içermektedir.

**Tablo 1**'de kullanılan atık fraksiyonu bölümü, Norveç'te tipik olarak kullanılan atık bölümüne dayanmaktadır; ancak hem İsveç hem de Norveç bağlamında uygulanmasına izin verecek kadar açıklayıcıdır. "Sık sık", "düzenli olarak", "nadiren" ve "çok nadiren" arasında sıralamalar kullanılmıştır. Bu uygulamada, "nadiren" veya "çok nadiren", bildirilen hiçbir olay olmayan veya çok az olay bildirilen atık fraksiyonlarına uygulanmıştır.

Atık yangınlarının olası sonuçları, endüstriden alınan girdilere ve mümkün olduğunda gerçek yangınlardan elde edilen bilgilere dayanarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmeye çevre



## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

üzerindeki sonuçlar ve ekonomik sonuçlar (bina ve ekipmana verilen hasar) dahil edilmiştir. Her atık fraksiyonu için **Tablo 1**'de gösterildiği gibi kırmızıdan (yüksekten) kayısı rengine (düşük) kadar bir renk kodlaması kullanılarak örneklendirilen, yüksekten düşüğe sıralanmış olası risklerin genel bir değerlendirmesiyle sonuçlanmıştır. Sonuçlar Norveç çalışmalarından türetilmiştir, ancak yangın istatistikleri ve anket sonuçlarına göre hem Norveç hem de İsveç atık tesisleri için geçerli kabul edilmiştir ve **Tablo 1**'de ve ilişkili yorumlarda verilen bazı ulusal farklılıklar vardır. Ulusal farklılıklar derinlemesine araştırılmamıştır, ancak tesis tasarımı, operasyonlar, atık işleme ve depolamadaki farklılıklara veya ulusal istatistiklere ilişkin raporlama sistemlerindeki farklılıklara bağlanabilir. **Tablo 1**'de iyi önleyici veya hafifletici önlemlerin genel yangın riskini azaltmaya yardımcı olabileceğini göstermektedir.

**Tablo 1.** Kırmızının En Yüksek Riski, Ardından Turuncu, Sarı Ve Kayısı Renginin En Düşük Riski Temsil Ettiği Farklı Atık Fraksiyonları İçin Yangın Riskinin Toplam Değerlendirmesi.

Waste fraction, sorted by fire risk	Ignition frequency	Qualitative assessment of potential consequences	Comment to assessment of consequences
General, residual waste	Often	High	Large quantities, damage on equipment, pollutants
Batteries*	Often	-	Depends on waste fraction*
Electrical and electronics waste	Regularly**	High	Pollutants
Paper and cardboard	Regularly**	High	Large quantities, damage on equipment
Hazardous waste	Rarely	High	Pollutants
Wood waste	Regularly	Medium	Large quantities
Park and garden waste	Regularly	Medium	Large quantities
Plastic waste	Rarely***	Medium	Energy density, pollutants
Rubber	Very rarely	Medium	Energy density, pollutants
Organic waste	Rarely	Low	None stands out
Discarded vehicles	Rarely	Low	None stands out
Metal	Rarely	Low	None stands out
Sludge, mud	Rarely	Low	None stands out
Slag	Rarely	Low	None stands out
Glass	Very rarely	Low	None stands out
Slightly contaminated masses	Very rarely	Low	None stands out
Concrete/ bricks	Very rarely	Low	None stands out
Textile	Very rarely	Low	None stands out

\* All battery-related fires included. Batteries are not a separate waste fraction, but are highlighted in this table to show their inherent fire risk.

\*\* Not as frequent in Sweden as in Norway

\*\*\* Not as frequent in Norway as in Sweden, where recycled plastic (bales) regularly cause fires

Genel, bakiye atıklar için yüksek risk sınıflandırması (**Tablo 1**'de kırmızı bölge), tipik olarak depolanan büyük miktarlarla "sık sık" tutuşma sıklığı, pahalı ekipmanlarda potansiyel hasarın yanı sıra bu fraksiyondaki bileşenlerin karışımının yangınlardan kaynaklanan su ve duman emisyonlarına çok çeşitli potansiyel kirleticiler vermesinden kaynaklanmaktadır. Pil yangınları, endüstri tarafından güçlü bir şekilde vurgulanan genel, bakiye atık fraksiyonu veya diğer atık

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

fraksiyonlarının bir parçası olarak yanlış ayırma ile ilişkili artan riski açıklığa kavuşturmak için **Tablo 1**'de özel olarak tanımlanmıştır. Elektrikli ve elektronik atıklar, yangın durumunda kirleticilerden kaynaklanan potansiyel çevresel sonuçlarla birlikte "düzenli olarak" tutuşma sıklığı nedeniyle kırmızı bölgeye yerleştirilmiştir. Kırmızı bölgeye yerleştirilen son kısım, depolanan büyük miktarlar ve pahalı ekipmanlara potansiyel hasar ile birlikte "düzenli olarak" tutuşma sıklığı ile kağıt ve kartondur.

Bu çalışmada, geri dönüşüm ve kompost atık tesislerinin yangınlara karşı nasıl başa çıkacakları vurgulanmıştır. Atıkların kendi kendine ısınma, termal kaçak ve sürtünme olayları gibi kategoriler, olayı bildiren kişiye bağlı olarak "kendi kendine ısınma" olarak bir araya getirilebilir.

Farklı incelemeler, atıkların nasıl depolanacağı, yangınların nasıl önleneceği veya azaltılacağı, yangın sırasında ve sonrasında sorumlulukların dağıtılması da dahil olmak üzere yangın ve kurtarma hizmetleriyle iletişim konusunda sağlam bir organizasyon ve iyi tanımlanmış planlarla çok şey kazanılabileceğini açıkça göstermektedir.

Ayrıca, atık tesislerinde yangınların etkisini azaltmak için alınan önlemlerin etkinliğinin, farklı planların (yangın öncesinde, sırasında veya sonrasında) birbiriyle ilişkili olduğunun kabul edilmesine büyük ölçüde bağlı olduğunun farkına varılması önemlidir. Depolama planının beklenen senaryolar ve öngörülen müdahale taktikleriyle bağlantılı olduğu sistemik bir yaklaşım benimsenmesi gerekmektedir.

Lityum pil atıkları yerüstü madenleri

Lityum pil atıkları yerüstü madenleridir. 50 kWh kapasiteli 400 kg'lık bir Lityum iyon batarya yaklaşık 4 kg lityum, 11 kg manganez, 12 kg kobalt, 12 kg nikel ve yaklaşık 33 kg grafit içerir. Li-iyon bataryalarının çöpe atılması bu değerli kaynaklar israf edilmiş olacaktır. Bu yüzden lityum iyon piller mutlaka geri kazanılmalı.

Li-ion piller, Bakır (Cu), alüminyum (Al), lityum (Li), kobalt (Co), mangan (Mn) ve nikel (Ni) gibi değerli metallere önemli miktarlarda oluşur ve Co en değerlisidir.

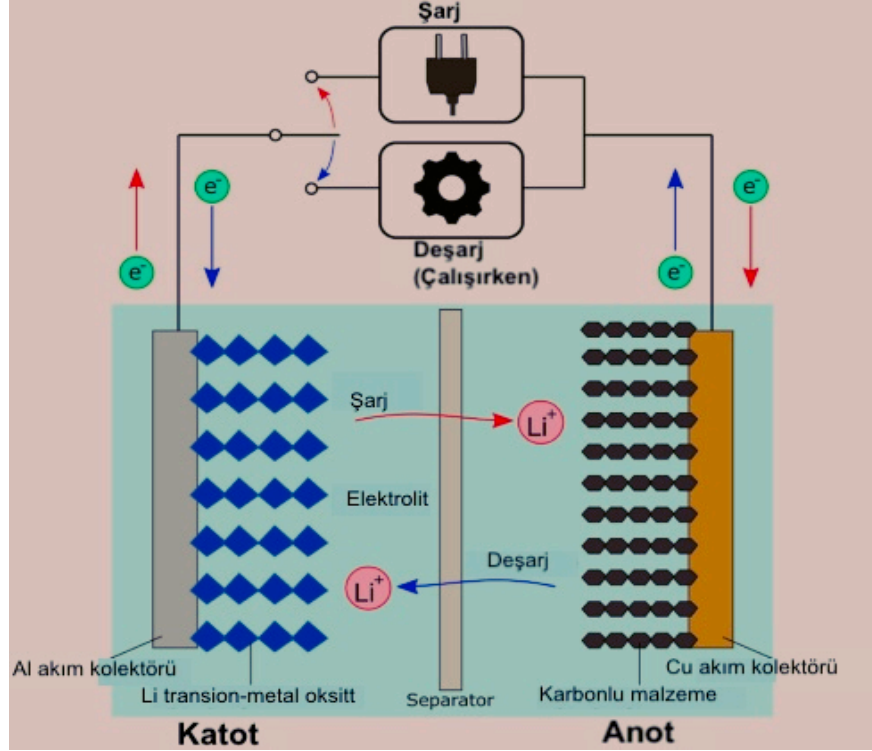
Li-ion pil katotlarındaki değerli metal içeriğinin saf metalik formunda etkili bir şekilde geri kazanılabileceği varsayıldığında, 1 metrik ton kullanılan Li-ion pilde yaklaşık 10.000 ABD doları değerinde Co bulunur. Li'nin piyasa değeri önemli ölçüde daha düşüktür, ortalama olarak ton başına 6.500 ABD dolarıdır, ancak 2010'dan bu yana istikrarlı bir şekilde artarak Ocak 2022'de ton başına 40.000 ABD dolarına ulaşmıştır.

Li-ion pillerin tipik ömrü 3-4 yıldır (yaklaşık 1000 defa şarj). Şarj sırasında elektrolitte oluşan tortular zamanla iyon geçişini engellediğinden, hücrenin kapasitesi azalır. Yaş ve döngü, hücrenin akım iletim kapasitesini düşüren iç dirençte bir artışa neden olur. Ek olarak, iç direnç arttıkça terminal voltajı azalır. Bu nedenle eski piller yenileri kadar hızlı şarj olmaz (gerekli şarj süresi orantılı olarak azalır).

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

### 2. Geri Dönüşüm Tesislerinde Çıkan Yangın Sayısı

Lityum iyon piller (LIB), lityum iyonlarının pozitif ve negatif elektrotlar arasında taşındığı topokimyasal bir hücre reaksiyonu yoluyla çalışır. Lityum iyonlarının bu taşınması, pil içinde enerjinin depolanmasını ve serbest bırakılmasını sağlar. LIB'ler, katot, anot, elektrolit ve ayırıcı dahil olmak üzere birkaç temel bileşenden oluşur.



**Şekil 1.** LIB'lerin Temel Bileşenleri: Katot, Anot, Elektrolit ve Separatör.

Tipik olarak organik bir çözücü içinde çözülmüş bir lityum tuzu olan elektrolit, lityum iyonlarının elektrotlar arasındaki hareketini kolaylaştırır.

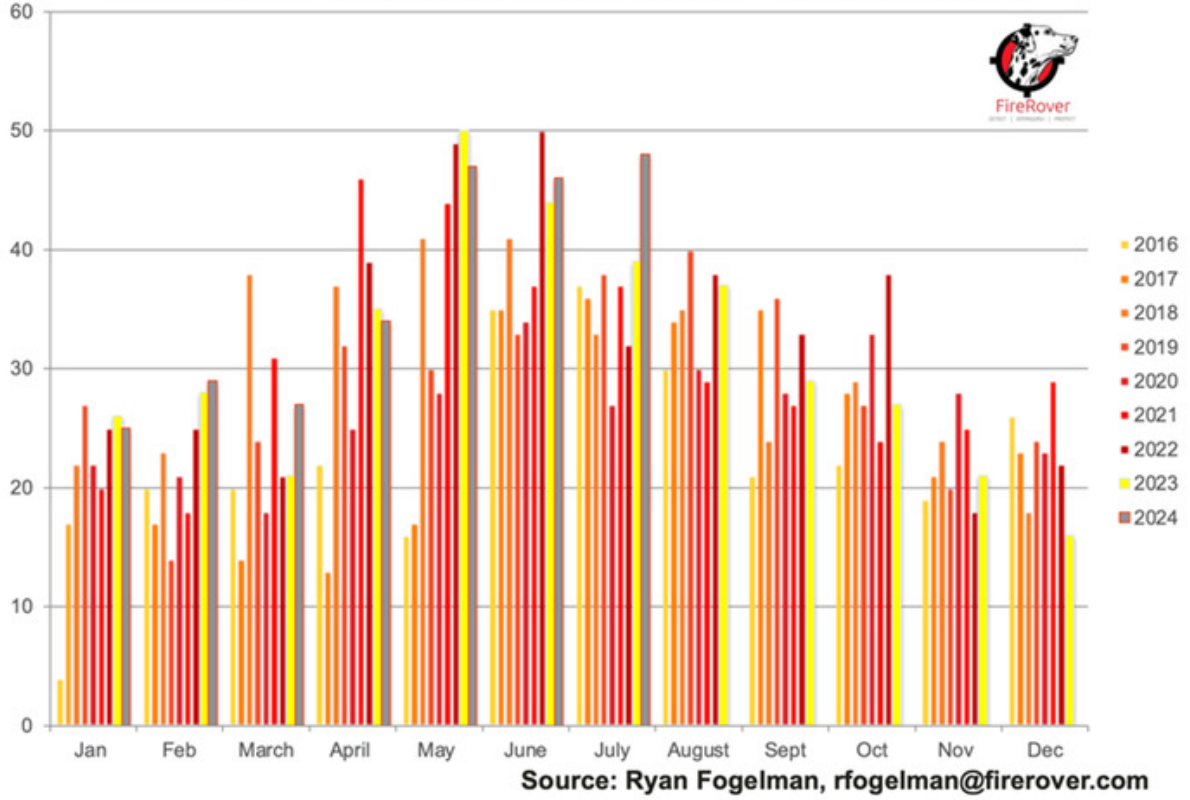
Pilin çalışma sırasında, lityum iyonları elektrolit aracılığıyla anottan katoda akarken, elektronlar harici bir devreden geçerek elektrik akımı akışı oluşturur. Bu süreç tersine çevrilebilir ve pilin tekrar tekrar şarj ve deşarj edilmesine olanak sağlar.

Modern dünyanın can damarı olan lityum iyon piller, tekniğine uygun bir şekilde geri dönüştürülmezse tehlikeli bir atıktır ve felaketin habercisidir.

**Şekil 2'**de 2016'dan Temmuz 2024'e kadar verileri raporlamaya başlandığından beri ABD ve Kanada'da atık ve geri dönüşüm tesisi yangınları açısından en kötü yıl olarak 2021 ve 2022 olmuştur.

## Ger i Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

### REPORTED WASTE & RECYCLING FACILITY FIRES IN US/CAN FEB 2016 – JULY 2024



**Şekil 2.** ABD ve Kanada’da Yangın Verileri

Atık içinde kullanılmış lityum iyon piller arttıkça geri dönüşüm tesislerinde yangın riski artmaktadır.

Kuru ve sıcak havalar, geri dönüşüm ve kompost geçici depolama alanlarında kullanılmış lityum iyon pili kaynaklı yangınları artmaktadır.

2019-2020 yıllarında İngiltere genelinde ESA atık yönetimi üyeleri tarafından kaydedilen 670 yangının yüzde 48’i kullanılmış lityum iyon pil kaynaklıdır. İngiltere’de her yıl yaklaşık 201 ila 254 adet Lityum iyon pillerden kaynaklanan atık yangınının meydana geldiği tahmin edilmektedir.

İngiltere Ulusal İtfaiye Şefleri Konseyi (NFCC) ve Recycle Your Electricals kampanya grubu tarafından yürütülen araştırmaya göre, evsel çöp kutularına atılan LIB’lerin sayısındaki artış, son 12 ayda atık sisteminde 1.200’den fazla yangına yol açarken, ki bunların 700’den fazlası LIB kaynaklı, 2022’de bu sayı 700 olmuştu.

Kullanılmış lityum iyon piller, Avustralya’da yılda 10.000 ila 12.000 adet yangına neden olmaktadır.

Evsel atık kutularına atılmaması gereken LIB atıklar, Avustralya Geri Dönüşüm Konseyi’ne göre atık ve geri dönüşüm tesislerinde günde üçten fazla yangın çıkmasına neden oluyor.

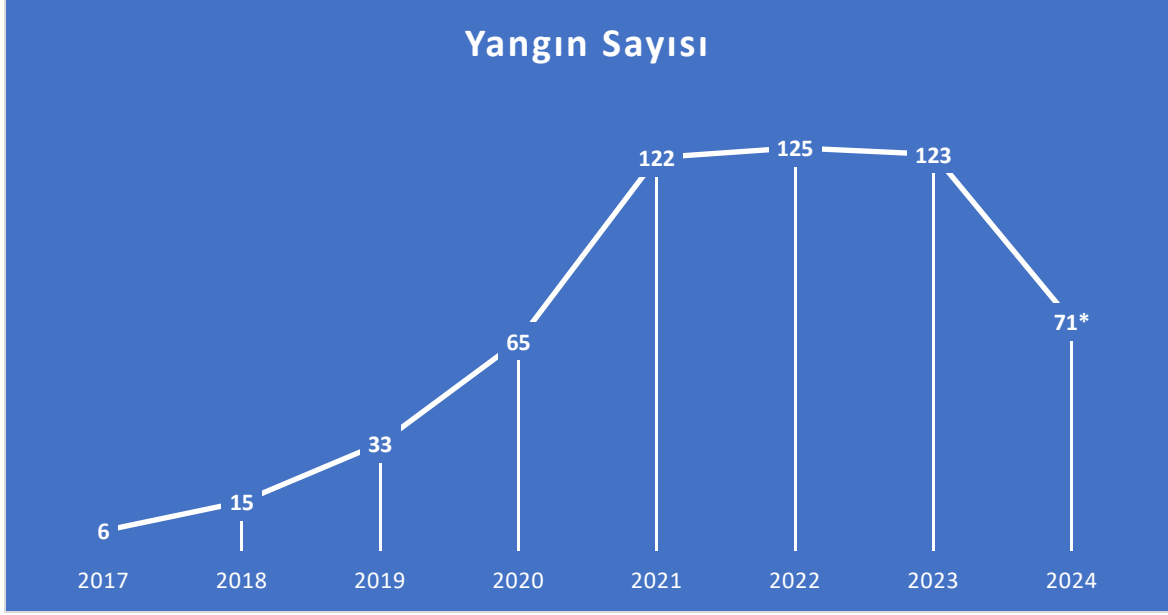
Yaz aylarında yangınlarda görülen artışın sadece atık akışındaki kullanılmış lityum iyon pillerden kaynaklanmadığını, havai fişekler, havai fişek közleri, sıcak yükler, sıcak barbeküler, propan



## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

tankları, havuz kimyasalları ve daha fazlası gibi yangına neden olan diğer tehlikelerdeki sıcaklık, kuruluk ve artıştan kaynaklandığını bilmek önemli.

Türkiye’de geri dönüşüm tesislerinde meydana gelen yangın sayısı **Şekil 3**’de verilmiştir.



\*Temmuz ayı sonuna kadar.

**Şekil 3.** Türkiye’de Geri Dönüşüm Tesislerinde Yangın Sayısı

Yangınların yoğun olarak yaşandığı iller; İstanbul ve çevresi, Bursa, Kocaeli, Yalova, Sakarya, İzmir-Manisa bölgesi ve Adana-Osmaniye bölgesidir.

Türkiye’de geri dönüşüm tesislerinde ayrıntılı yangın istatistiklerinin tutulması ve yangın çıkış kaynağının belirlenmesi ve buna göre çözüm yollarının ortaya konması gerekir.

Türkiye’de yangın çıkış sebebi yayınlanmadığı, önlemler paketi uzmanlarla değerlendirilmediği ve çözüm yolları uygulamaya konmadığı için geri dönüşüm tesislerinde yangınlar artmaya devam etmektedir.

Bu gereksinimler, yangın önleme, kontrol ve etki azaltma planı gerekliliğine ilavedir. Yangın önleme üçgeni **Şekil 4**’te verilmiştir.

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları



**Şekil 4.** Yangın Önleme Üçgeni

Kullanılmış lityum iyon pil yangınlarının üstesinden gelinmesini zorlaştıran bir diğer faktör de oksijen üretimidir. Bir pilin katodundaki veya pozitif yüklü elektrottaki metal oksitler ısıtıldığında ayrışır ve oksijen gazı açığa çıkarır. Yangınların yanması için oksijene ihtiyaç vardır, bu nedenle oksijen üretebilen bir pil yangını sürdürebilir.

Kullanılmış lityum-iyon pil yangınları genel olarak mekanik hasarlar (örneğin pilin delinmesi, ezilmesi veya suya maruz kalması), elektriksel hasar (örneğin aşırı şarj veya pil için tasarlanmamış şarj ekipmanının kullanılması), aşırı sıcaklıklara maruz kalması ve ürün kusurları gibi çeşitli nedenlerle meydana gelmektedir.

Atıkları toplama ve işleme sırasında güneşe maruz kalma, sıkıştırma, devrilme ve ayırma etkilerinin kullanılmış pil hücrelerine zarar vermesi veya onları ezmesi, termal kaçışı tetikleme ve lityum iyon pil elektrolitini tutuşturabilmesidir. Kullanılmış lityum iyon pil termal kaçışı, yangınlara ve patlamalara yol açabilen ısı ve gaz üretimine neden olabilir.

Geri dönüşüm ve kompost tesislerinde yangınların yarısı pillerden kaynaklanırken, diğer yarısı ısı ve kuruluk gibi geleneksel tehlikelerden kaynaklanmaktadır.

Pil veya pil içeren elektronik cihazlar çöpe atılırsa veya plastik, kağıt veya cam gibi evsel geri dönüştürülebilir atıklarla birlikte belediye geri dönüşüm kutusuna atılırsa, nakliye sırasında veya işleme ve ayırma ekipmanlarından zarar görebilir veya ezilebilir ve bu da yangın tehlikesi yaratabilir.

Bu nedenle Li-ion piller veya elektronik cihazlarda kullanılan piller, çöpe atmak veya belediye geri dönüşüm kutularına atmak yerine, kullanılmış LIB kabul eden sertifikalı pil elektroniği geri dönüştürücülerde geri dönüştürülmelidir.

### **3. Yangın Öncesinde, Sırasında ve Sonrasında Alınması Önerilen Güvenlik Önlemleri**

Lityum-iyon bataryanın sebep olduğu yangınlar 20 saniyede dayanılmaz hale gelmektedir.

#### **Tesisin Tasarımı;**

- Atıkların taşınması için alan sağlanmalı
- Söndürme maddelerine erişim sağlanmalı
- İyi aydınlatma sağlanmalı
- Yangınların algılanması ve muhtemelen süreçlerin otomatik olarak durdurulması için tasarım yapılmalı

#### **Organizasyon ve planlar;**

- Farklı atık fraksiyonlarının nasıl tasnif edileceği ve depolanacağı da dahil olmak üzere bir geçici depolama planı oluşturulmalı
- Bir acil durum operasyon planı oluşturulmalı
- Bir söndürme ekipmanı ve suyu araştırması yapılmalı
- İşletme ve bakım prosedürleri ve programları oluşturulmalı
- Numune alma prosedürleri ve ekipmanı hazırlanmalı
- Manuel izleme de dahil olmak üzere yangınların tespiti için plan yapılmalı
- Güvenlik çalışmaları iletilmeli
- Sorumluluklar ve alarm zinciri oluşturulmalı

#### **Atıkların kabulü;**

- Atıkların kabul kontrolünün düzenlenmesi yapılmalı
- Risk fraksiyonlarının belirli yerlere yönlendirilmesi yapılmalı
- Teslimat zincirinde yukarı yönde iletişim kurulması ve gerekliliklerin belirlenmesi yapılmalı.

#### **Atıkların taşınması ve depolanması;**

- Geçici depolama tasarımı için rutinler oluşturulmalı
- Atık yığınlarının boyutu ve geçici depolama süresi sınırlandırılmalı
- Yangının yayılmasını sınırlamak ve söndürmeyi sağlamak için yığınlar arasında yeterli boşluk (mesafe) olması sağlanmalı.

#### **Yangın sırasında;**

- Sürücülerle birlikte yükleyicilere erişim sağlanmalı ve program oluşturulmalı
- Kurtarma servisi ile iletişim kurulmalı

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

- Susuz söndürme yapılmalı. Akan su toplanmalı ve numune alınmalı
- İyi bir çalışma ortamı ve koruyucu ekipman oluşturulmalı
- Gelen atıkların yeniden yönlendirilmesi ve belirli süreçlerin durdurulması değerlendirilmeli.

### **Yangın sonrası;**

- Kirlenmiş atıksu ve yangından zarar görmüş atıklarla ilgilenilmeli
- Binaların sterilize edilmesi ihtiyacı değerlendirilmeli
- Yangın sonrası değerlendirme yapılmalı
- Bulguları ve deneyimleri belgelenmeli (raporlanmalı)
- Personelin eğitimi ve gelişimi için bir plan oluşturulmalı
- Düzenli yangın tatbikatları yapılmalı.

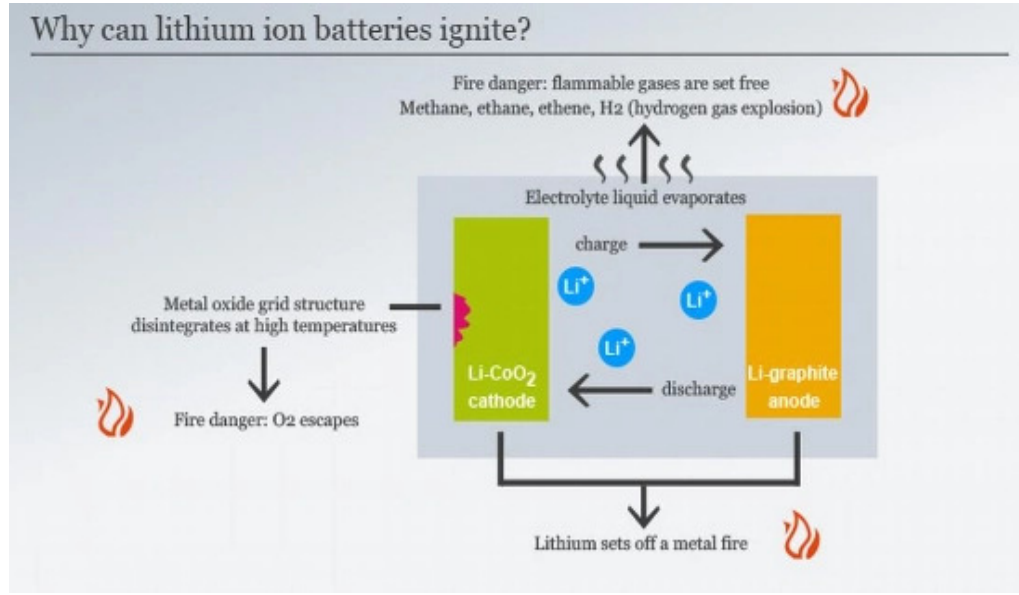
İlaveten depolanan atık özellikleri, depolanan atık yüksekliği, atık yığınları (istifleme) arasındaki mesafe ile ilgili kılavuzlar hazırlanmalı.

Ayrıca, yığınlar (istifler) arasındaki kritik boyutlar ve mesafeler yalnızca yangının yayılma riskine değil, aynı zamanda itfaiye ve kurtarma hizmetlerinin etkin ve güvenli bir yangın söndürme operasyonu gerçekleştirme olasılığına da bağlıdır. Atıklar bloklar halinde veya uzun istifler halinde depolanırken bu husus da dikkate alınmalıdır. Farklı bariyer türlerinin kullanımı da dikkate alınmalıdır.

### 4. Lityum-İyon Piller Neden Alev Alır?

Kullanılmış lityum iyon piller, termal kaçak adı verilen bir olgu nedeniyle patlayabilir veya alev alabilir. Termal kaçak, pilin sıcaklığında ani bir artış yaşandığında oluşan ve enerjinin serbest kalmasına ve potansiyel olarak felaketle sonuçlanacak bir arızaya neden olan bir zincirleme reaksiyondur. Lityum iyon piller parçalama, ezme, kesme işlemi esnasında hasar görmeleri veya delinmeleri, aşırı şarj edilmeleri veya yüksek sıcaklıklara veya doğrudan güneş ışığına maruz kalmaları nedeniyle aşırı ısınabilirler ve alev alabilirler.

Lityum iyon pilin içinde havasız ortamda bulunan lityum içeren elektrolit sıvısı yanıcıdır. LIB hasar görürse, sıvı dışarı sızabilir ve havadaki ve sudaki oksijenle temas ederek potansiyel olarak tutuşabilir ve yangına veya patlamaya neden olabilir.



**Şekil 5.** Lityum İyon Pili Nasıl Tutuşur

Kritik faktörlerden bazılarını inceleyelim:

#### 4.1. Dahili Kısa Devreler

Lityum iyon pil yangınlarının başlıca nedenlerinden biri iç kısa devrelerdir. Bunlar, pilin iç bileşenleri hasar gördüğünde veya arızalandığında meydana gelir ve enerjinin hızla boşalmasına ve ardından aşırı ısınmaya yol açar. Kontrol altına alınmadığında, bu ısı pili tutuşturabilir ve yangına neden olabilir.

#### 4.2. Harici Isı Kaynakları

Lityum piller yüksek sıcaklıklara karşı hassastır ve harici ısı kaynaklarına maruz kaldığında alev alabilir. Yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında, pilin elektroliti parçalanabilir ve termal kaçak tetiklenebilir. Lityum pilleri ısı yayan nesnelere yakınına veya doğrudan güneş ışığına yerleştirmek yangın riskini artırabilir.

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

### **4.3. Fiziksel Hasar**

Lityum pillere verilen fiziksel hasar (parçalama, ezme, delinme ve benzerleri), iç yapılarını tehlikeye atarak kısa devrelere ve potansiyel olarak yangınlara yol açabilir. Delinme, ezilme veya şiddetli darbe, pilin koruyucu katmanlarına zarar vererek iç bileşenlerin (lityum içeren elektrolit) temas etmesine ve tehlikeli koşullar yaratmasına olanak tanıyabilir.

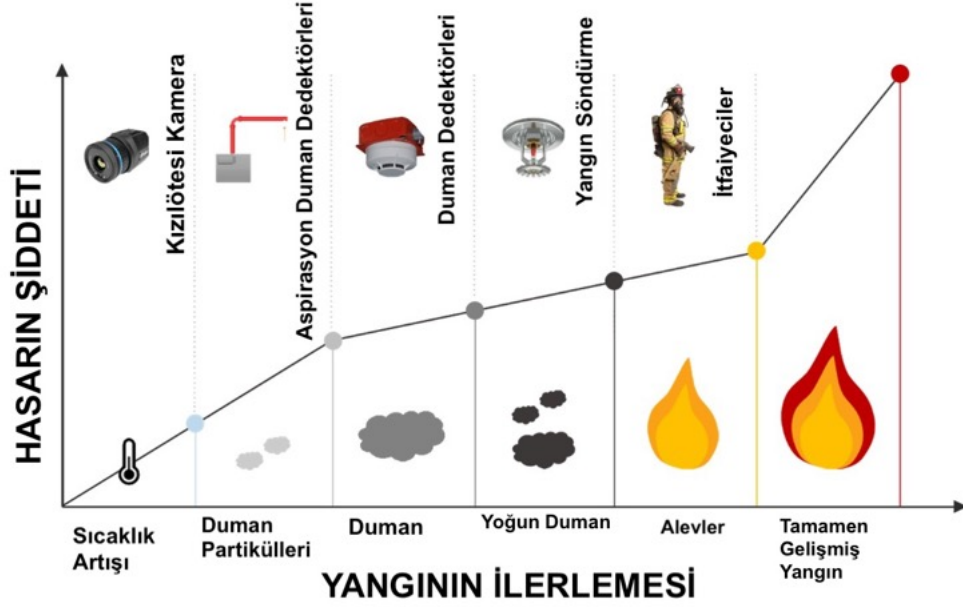
### **4.4. Aşırı şarj veya aşırı deşarj**

Lityum pilleri önerilen voltaj sınırlarının ötesinde şarj etmek veya aşırı deşarj etmek iç hasara yol açabilir. Aşırı şarj, pilin elektrotlarında dengesiz maddelerin birikmesine yol açabilir. Aynı zamanda, aşırı deşarj pilin voltajının çok düşmesine neden olabilir. Her iki senaryo da pili tutuşturabilir ve yangına neden olabilir.

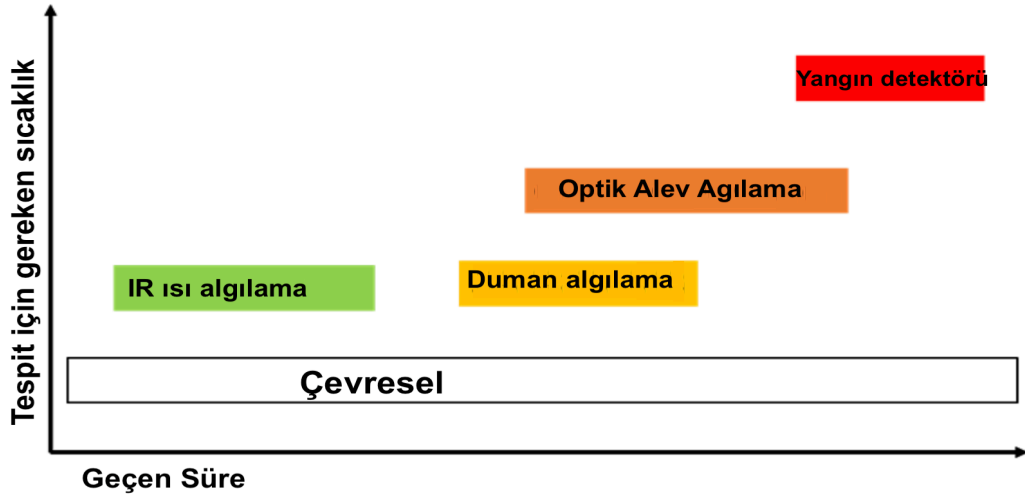


### 5. Yangını Algılama

Günümüzde geri dönüşüm ve kompost tesislerinde yangınlara karşı uyarlı çeşitli yangın algılama sensörleri mevcuttur. Farklı cihazların yangının ilerlemesi sırasında değişen algılama zamanlaması vardır. **Şekil 6**'de, yangın gelişiminin farklı aşamalarında yangın algılama cihazlarının ilgili hasar seviyeleriyle göreceli algılanabilirliğini göstermektedir.



Şekil 6. Yangın Gelişiminin Farklı Aşamaları



Şekil 7. Yangın algılama sistemlerinin hassasiyeti

Kızılötesi kameralar, geri dönüşüm ve kompost atığı içinde sıcak bir noktayı tespit edip yangın oluşumunun erken belirtilerini gösteren en önemli cihazdır. Sıcaklık artışı, erken müdahale etmeyi sağlar. Atık hasar görmeden müdahale etmek önemlidir.

## Gerii Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

LIB'leri sıcaklığı güvenli eşik değerini aştığında, termal kaçak tetiklenebilir ve buna yoğun bir enerji salınımı eşlik ederek LIB sıcaklığının ciddi şekilde yükselmesine ve hatta yangın veya patlama gibi güvenlik kazalarına neden olabilir

Gerii dönüşüm ve kompost tesisi yöneticileri, yangın alarmlarının ve duman detektörlerinin yeterli uyarı süresi vermediğini fark edebilir. Yavaş tepki uyarı sistemleri, endüstriyel bir yangını önlemeyi zorlaştırmaktadır.

Termal kameralar (termal görüntüleme kameraları / kızılötesi kameralar) ısıyı "görebilir" ve termografi olarak resimsel olarak gösterebilir. Hasarlı pillerin kendiliğinden tutuşması genellikle aşırı ısınmayla (sıcaklık artışı ile) gerçekleşir. Bu nedenle termal görüntüleme sıcaklık izleme, lityum iyon pil yangınlarına karşı koruma sağlamak için idealdir. Ancak, atık yönetimi sektöründe erken yangın tespitinin yüksek taleplerini yalnızca birkaç sistem tam olarak karşılayabilmektedir. Örneğin, günlük operasyonlarda normalde yüksek sıcaklıklardan (örneğin tekerlekli yükleyicilerden vb.) kaynaklanan yanlış alarmlar oluşmaz.

Termal görüntüleme kullanılmış lityum iyon pil içeren gerii dönüşüm ve kompost atıklarını depolama sistemlerinde güvenliği sağlamak için önemli bir araçtır. Termal kameralar, pil yaşam döngüsünün tüm aşamalarında kusurları veya termal kaçak belirtilerini tespit etmeye yardımcı olabilir.

LIB içeren yığınlar yangına dönüşmeden tespit etmek ve müdahale etmek önemli.

### **5.1. Kızılötesi (IR) Kameralar Sıcaklık Artışını ve Ateşi Nasıl Görebilir?**

En yaygın ısı tespiti, kızılötesi (IR) tespit teknolojisi kullanılarak termal görüntüleme yoluyla elde edilir. Duman veya yangın (alev) tespit etmenin aksine, ortam yayılan ısı açısından izlenir. Belirli bir noktayı veya alanı sürekli izleyerek ve gerçek yayılan ısıyı ölçerek veya sıcaklıktaki artışı analiz ederek, henüz bir yığının yüzeyine ulaşmamış olsalar bile yangınlar tespit edilebilir. Sıcak gazların yükselmesi, yüzey altı yangınını tespit etmek için yeterli olabilir. Genellikle, 80°C'lik sıcaklıklar yangının güçlü göstergeleri olarak kabul edilir. Kızılötesi erken yangın tespit sistemiyle bir nesnenin ısı takibi, yangının oluşum aşamasında tespit edildiği anlamına gelir.

IR kameralar çalışanlara, ilk müdahale ekiplerine ve itfaiye teşkilatına yangından kaçınmak ve onu önlemek için yeterli zaman verir. Kızılötesi kameralar, tesiste bir ısı detektörü video gözetim sistemi olarak hizmet ederek yüksek sıcaklıkları erken bir aşamada tespit edebilir.

IR kameralar, radyasyonun ısı transferi prensibine göre çalışır. Kızılötesi kamera, nesne yüzeylerinden yayılan kızılötesi ışığı algılayan bir odak düzlemi detektör elemanları dizisine sahiptir. Kızılötesi kamera detektörü tarafından yakalanan radyasyon sayısallaştırılır, veriye dönüştürülür ve görüntülenebilir bir görüntü olarak gösterilir.

Kalibre edilmiş IR kameralar, canlı veya kayıtlı görüntülerde belirli noktalardan, çizgilerden ve alanlardan sıcaklık ölçümlerini raporlayabilir. IR kameralar, çeşitli kurulum gereksinimlerini karşılamak için farklı dalga bantlarında, piksel çözünürlüklerinde, lens yapılandırmalarında ve iletişim protokollerinde mevcuttur.

Mevcut yangın tespit ürünleri türleri şunlardır:





## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

- Konveyör sistemlerinde atıkların izlenmesi için Kızılötesi Transit Isı Sensörleri.
- Makine veya iç atık alım ve geçici depolama alanları için doğrusal ısı algılama kablosu.
- Dahili atık alım ve geçici depolama alanları için Termal Kızılötesi Kameralar.
- Genel alanlar için Emişli Duman Algılama.

Akıllı erken yangın algılama sistemleri geri dönüşüm şirketleri tarafından yangın önleme amacıyla giderek daha fazla kullanılan güvenilir bir kızılötesi yangın algılama çözümdür. Akıllı erken yangın algılama sistemleri, hem araçlardan atık boşaltım ve büyük dış depolama alanlarında, binaların içinde hem de konveyör bant aktarma noktalarında ve parçalayıcılarda yangın tehlikelerini mümkün olan en erken aşamada tespit eder.

Atık teslimatından, geçici depolamaya, işlemeden transfer depolamaya kadar tüm alanlar termal kamere ile izleme yapılmalı.

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

### 6. Akıllı Erken Yangın Algılama Sistemlerinin Kullanıldığı Alanlar

LIB içeren geri dönüşüm ve kompost atıklarında yangın oluşmadan tespit ve önleme önemli.

Atıklarda meydana gelen yangınlar çevre üzerinde büyük etkilere veya ciddi sağlık etkilerine ve ekonomik zararlara yol açabilir.

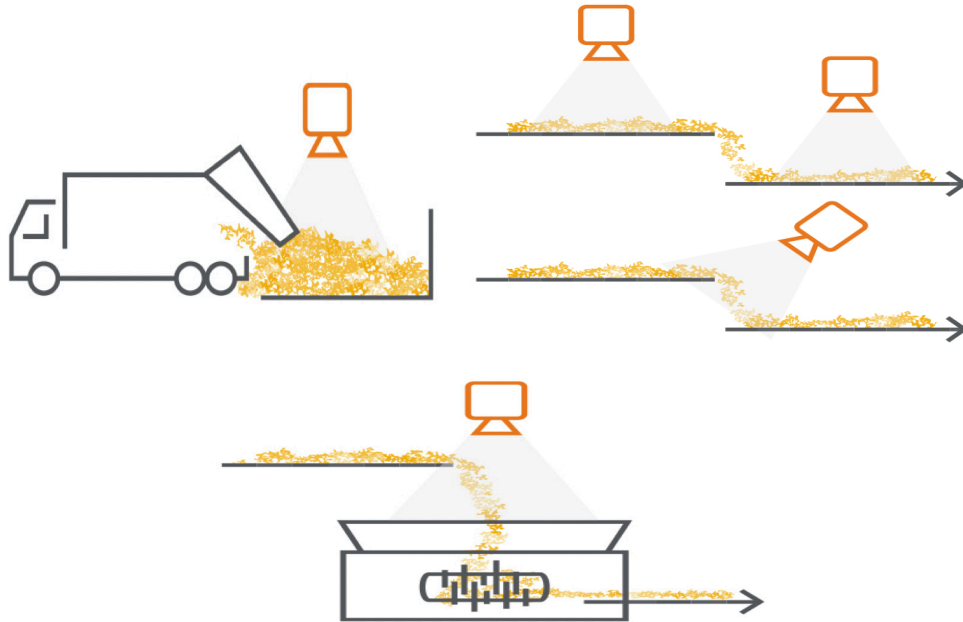
- Dış mekan depolama alanları
- Oluklarda ve bunkerlerde gevşek malzeme bulunan kapalı alanlar
- Yarı açık tesisler



**Şekil 8.** Akıllı Yangın Algılama

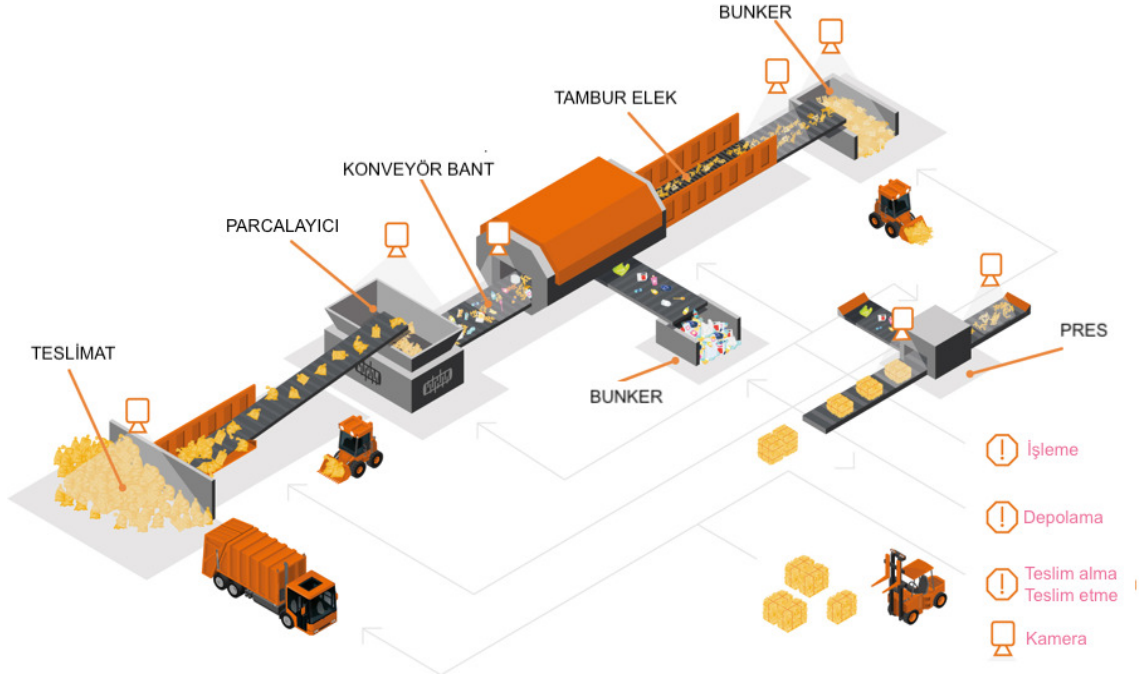
- Yanıcı malzemelerle dolu tozlu toplu depolama
- Balya depolama
- İşlenmiş ürün depolama yerleri (iç ve dış mekan)
- Parçalayıcılar,
- Son derece yanıcı malzemeleri taşıyan konveyör bant transfer noktaları.

Akıllı erken yangın algılama sistemleri bant aktarım noktalarının izlenmesi için idealdir.



**Şekil 9.** Atık Boşaltma/Depolama, Konveyör Bant ve İşleme: Parçalayıcı'da Termal Kamere Olmalı

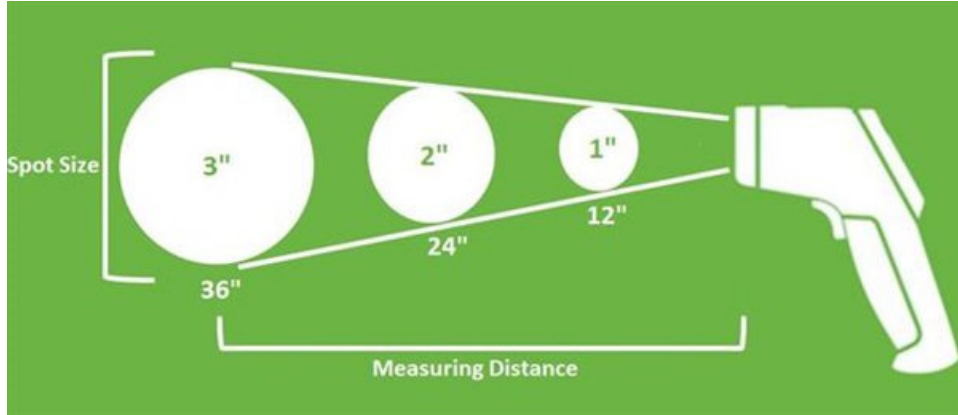
## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları



**Şekil 10.** Geri Dönüşüm Tesisinde Termal Kamera Düzenegi

Termal kameralar sıcaklık farkında alarm verebilir.

**Mesafe-nokta oranı**, bir alanın boyutu ile termal görüntüleme kamerasının alandan uzaklığı arasındaki ilişkidir. Orana bağlı olarak, ölçülen yüzey alanı mesafe arttıkça belirli bir oranda büyüyecek ve mesafe azaldıkça küçülecektir.



**Şekil 11** Örnek Olarak 12:1 Oranını Kullanan Bir Termal Görüntüleme Kamerasının Nokta Oranına Uzaklık

Küçük atık parçaları konveyör bantları boyunca yüksek hızlarda hareket eder. En küçük yangın kaynaklarını bile hızlı ve güvenilir bir şekilde tespit etmek, özellikle parçalamadan sonra hayati önem taşır.

Depolama alanları, tam olarak izlenmesi gereken daha geniş alanları kapsar. Yığılmış malzemelerin şekli ve yüksekliğindeki değişiklikler hesaba katılmalıdır.

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

Bantlarda, depolama alanında ve kırıcılarda/parçalayıcılarda kritik sıcaklıklar tespit edildiğinde alarmların devreye girmesi, atığın uzaklaştırılması ve yangın alev dönüşürse otomatik hedefli soğutma veya söndürmenin yapılması gerekir.

Standart ölçülerdeki aşırı ısınmış bir pil 30 metre mesafeden tespit edilebilir.

**Prensip basit:** Akıllı erken yangın algılama sistemleri dumanı veya yangını tespit etmek yerine, sıcak noktalar olarak bilinen kritik sıcaklıkları tespit eder. Bunlar yangın başlamadan önce meydana gelir. Akıllı erken yangın algılama sistemleri bu nedenle geleneksel yangın algılama ekipmanlarından çok daha erken tepki verir. Sistem aynı zamanda alan çapında kızılötesi panoramik genel bakış kullanarak tespit edilen sıcak noktaların yerini 7/24 ve gelecek yıllar boyunca otomatik olarak hassas bir şekilde belirleyebilir.

Yangın kontrol ekipmanının tüm operasyon alanlarına erişimini sağlamak için yangın şeritleri sağlanmalıdır.



### 7. Toz Patlaması

Geri dönüşüm tesislerinde parçalama işlemi ile atıkların boyutunu küçültmek ve üretilen bu plastik pullarının eritme ve ekstrüzyon için bir sonraki makineye beslenmesini sağlamak için yapılır. Parçalama, yanıcı toz gibi istenmeyen yan ürünler üretir.

Geri dönüşüm tesisleri, yanıcı toz patlamaları riski altındadır.

Geri dönüşüm tesislerinde yanıcı tozu, birkaç faktörün bir araya gelmesiyle patlama oluşabilir.

**Yakıt:** Yanıcı toz, toz patlaması beşgeninin yakıt bileşenidir. Bu kağıt, plastik, metal veya organik madde gibi yanabilen herhangi bir ince parçacıklı malzemeyi içerebilir. Bir geri dönüşüm tesisi genellikle tüm bu yakıt kaynaklarına sahiptir.

**Oksijen:** Oksijen, yanmayı sürdürmek için gereklidir ve etrafındaki havada ve suda bulunur. Kapalı bir alanda oksijen seviyeleri artabilir ve bu da ortamı yanmaya daha elverişli hale getirir.

**Tutuşma:** Tutuşma, kıvılcıklar, sıcak yüzeyler, elektrikli ekipman veya statik elektrik gibi çeşitli kaynaklardan gelebilir. Tutuşma, yakıtın tutuşmasına ve patlamanın başlamasına neden olan şeydir.

**Sınırlama:** Sınırlama, tozun tutulduğu alanı ifade eder. Toz bir alanda sınırlandırıldığında, basınç ve sıcaklık artabilir ve tutuşup patlama olasılığı artar.

**Dağılım:** Dağılım, toz parçacıklarının havada hareketini ifade eder. Toz havaya karıştığında, tutuşmaya ve patlamaya daha yatkın bir bulut oluşturabilir.

Bu koşullar sağlandığında, toz bulutu tutuşabilir ve tesis genelinde hızla bir patlamaya yol açabilir.

Güney Kore'deki çeşitli endüstrilerde toz patlamalarının oluşumunu ve nedenlerini analiz eden bir çalışma, plastik ile ilgili endişe verici istatistikler ortaya koymuştur. Bu çalışmaya göre, plastik sektöründe parçalama işlemi esnasında toz patlamalarının %19'unu oluştururken, bu patlamalar ölümlerin yaklaşık %50'sine ve yaralanmaların %47'sine neden olmuştur. Bu plastik toz patlamalarından kaynaklanan ölümler, güçlü patlayıcı metal tozlarından kaynaklananların üç katından fazla olmuştur.

Bu yanıcı toz bulutu oluşumu, parçalama makinesindeki sürtünmeli ısınmaya ek olarak, istenmeyen tutuşmaya neden olabilir. Sıcaklık izleme ve makinenin (ve toz birikiminin) düzenli olarak temizlenmesi, tespit edilemeyen tutuşmaların meydana gelme riskini azaltacaktır.

### **8. Atık Bertarafı ve Geri Dönüşümü**

Kaynakların sürdürülebilir yönetiminde dünya çapında geri dönüşüm ve kompostlama tesislerinin miktarı önemli ölçüde artmıştır.

Geri dönüşüm ve kompostlama tesislerinde yangın riski artan bir endişe kaynağıdır. Özellikle tesiste işlenen atıklar öngörülemez olduğu düşünüldüğünde, bu yangınları geliştirmenin erken aşamalarında söndürmek için çözümler zorunludur. Bu zorluğa kesinlikle basit bir cevap yoktur, ancak ele alınması gereken bir sorundur.

Son birkaç yıldır, dünyanın birçok yerinde geri dönüşüm atıklarına yönelik eğilim artmıştır. Bu, organik atıkların ve geri dönüştürülebilir atıkların bölünmesine ve çöplükler yerine kompost tesisleri ve geri dönüşüm tesisleri işleten atık yönetim şirketlerinin kurulmasına yol açmıştır.

Artık büyük miktarda atıklar geçici olarak depolanıyor. Bununla ilişkili yangın tehlikeleri, yüksek enerji içeriğine sahip nispeten kuru malzemeler, Lityum İyon piller, ev tipi aerosol şişeleri, boya kutuları ve propan tankları gibi potansiyel tutuşma kaynaklarıyla birlikte depolandıkça artıyor.

Kompost tesislerinde, ayrıştırma öncesi ve sonrası depolanan atıkların kendiliğinden tutuşmasına neden olacak kadar yüksek sıcaklıklara yol açabilir. Bu tür yangınları tespit etmek zor olabilir ve çok geç tespit edildiğinde söndürmek için genellikle büyük çaba ve masraf gerektirir. Bunun çevre ve halk sağlığı üzerinde ciddi etkileri olabilir. İtfaiyecilerin ve yerel toplulukların güvenliğini tehlikeye atabilir.

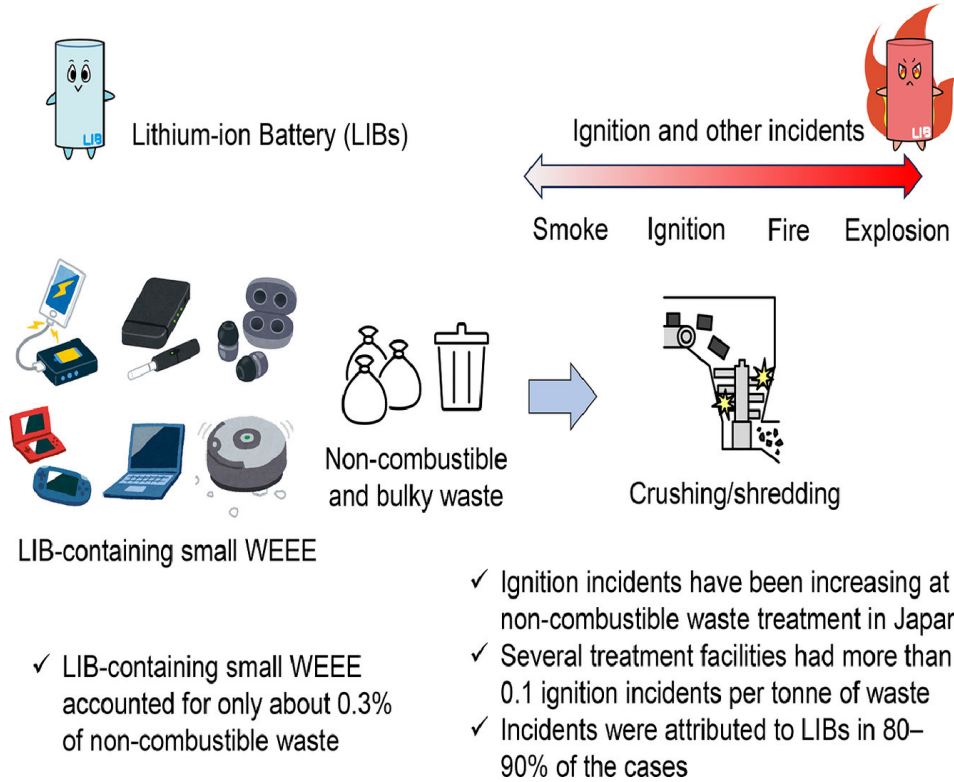
Geri dönüşüm endüstrisi, sürdürülebilir hammadde ve geri dönüştürülebilir tedarikine her zamankinden daha fazla katkıda bulunmaktadır. Geri dönüştürülmüş ham maddeler genellikle birincil hammaddelere bir alternatiftir ve giderek bunların yerini almaktadır. Artık gerçekten "bertaraf edilen" çok az atık var. Geri dönüşüm endüstrisi çeşitlidir. Bazı şirketler yalnızca atıkları toplayıp önceden ayırırken, diğerleri atıkların yüksek teknolojiyle işlenerek saf geri dönüşüm hammaddelerine dönüştürülmesinde uzmanlaşmıştır. Burası genellikle pahalı özel makinelerin kullanıldığı yerdir.

### 9. Yüksek Yangın Yükü Nedeniyle Tehlike

Geri dönüşümdeki atıklar genellikle depolarda veya açık hava depolama tesislerinde birbirine yakın yığınlar veya balyalar halinde depolanmaktadır. Bu yığınlar büyük bir yangın riskine sahiptirler. Hangi nedenle olursa olsun bir yangın meydana gelirse, hızla işletme tesislerine ve makinelere yayılacak, potansiyel olarak işletmeyi ve hatta şirketin tüm varlığını riske atacaktır. Geri dönüştürülmüş malzemenin kendisinin imhası da önemli bir kayıp anlamına gelebilir

Yanlış şekilde bertaraf edilen lityum iyon pil ve akümülatörler geri dönüşüm tesislerinin giriş alanlarında yangın tehlikesi oluşturabilir. Bu piller sürekli tehlike arz etmekte olup, saniyeler içerisinde ve en geç ezilme, parçalanma esnasında yangın kaynağı haline gelebilmektedir. Hasarları ve üretim kesintilerini önlemek için olası yangın tehlikelerini mümkün olan en erken aşamada tespit etmek bu nedenle çok önemlidir.

Bazı geri dönüşüm tesislerinde yangınların %80-90'ı LIB (lityum iyon bataryalarına) kaynaklıdır. Bunun başlıca nedeni LIB'leri geri dönüşüm tesisinde ezilmesi/kırma/parçalama aşamasında oluşur. Lityum iyon piller (LIB), elektrikli ve elektronik ekipman atıklarındaki (Waste from Electrical and Electronic Equipment) (WEEE) yanmaz atıkların toplam ağırlığının yalnızca yaklaşık %0,3'ünü oluşturur.



**Şekil 12.** LIB İçeren Atıkların Kırma İşlemi

LIB'lerini ezme/kırma/parçalamadan hemen sonra tutuşmayabileceği ve bakiye şeklinde gecikmeli tutuşma yaşayabileceği ve geri dönüşüm tesislerinde yangın çıkabileceği anlamına gelir. Bu ciddi yangınlara yol açabilir, bu nedenle aşırı dikkat gereklidir. Olayların yerini belirleyebilen diğer tesislerden alınan bilgilerle birleştirildiğinde, tutuşma ve diğer olayların %90'ından fazlası ezme/kırma/parçalama veya taşıma aşamalarında meydana gelmektedir.

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

Giyotin tipi primer kırıcı/parçalayıcı ile kullanılmış LIB içeren geri dönüşüm atığı kesip ezdikten hemen sonra, sıcaklık ve duman emisyonu ITV kamerası tarafından sürekli ölçülmüş ve doğrulanmıştır (**Şekil 13**, a.1). Kullanılmış LIB ezilmesi/parçalanması sonucu pil içindeki Li içeren elektrolitin hava ve su ile temas etmesi sonucu sıcaklık ölçüm sınırını hemen aştığı (yaklaşık 380 °C) ancak kızılötesi termal kameranın özelliklerinde 350 °C). Ve saniyeler sonra, ITV kamerasında tutuşma gözlemlenebildi ve sıcaklık yüksek kalmıştır.

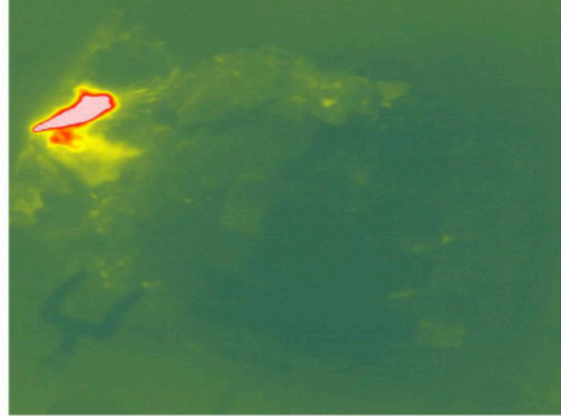
On iki saniye sonra, ITV kamerasında ateşleme gözlemlenebildi (**Şekil 13**, b.1) ve sıcaklık yüksek kalmıştır. Bundan on iki saniye sonra işçiler tarafından elle su püskürtme yapılmış (atık uzaklaştırılabilir veya üzerine yanmaz malzeme ile örtülebilir) ve yangın yaklaşık 15 saniye içinde söndürülmüştür.

Yangın, bir kapı açıklığını genişletmek için aralarında 6 saniyelik bir boşluk bulunan iki ayrı adımda söndürülmüştür. Durma sırasında sıcaklık geçici olarak artmıştır.

eCO<sub>2</sub> ve eTVOC konsantrasyonları benzer dalgalanmalar göstermiştir. Artış duman yayılmaya başladıktan yaklaşık 15 saniye sonrasına kadar gecikmiştir. Gaz konsantrasyonları, maksimum sıcaklıktan ve bir zaman gecikmesinden farklı şekillerde iki tepe ile (ikinci tepe daha büyüktü) arttı, ardından iki söndürme olayı ile azalmıştır.



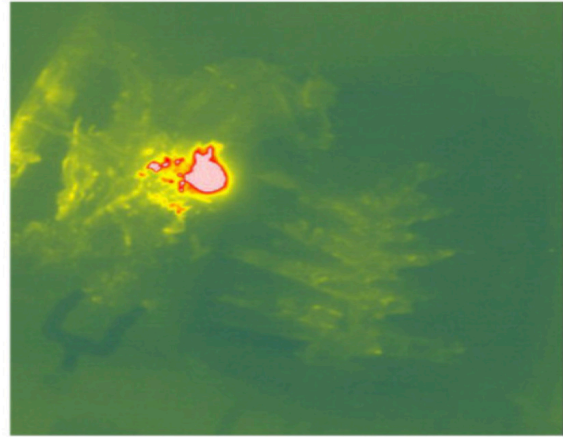
(a.1)



(a.2)



(b.1)



(b.2)

**Şekil 13.** Duman Emisyonu ve Ateşleme Sırasında ITV Kamera Görüntüleri (a.1, b.1) ve Kızılötesi Termografi Kamerasından (a.2, b.2) Alınan Termal Görüntüler.



## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

Kızılötesi termografi kamerasıyla yapılan izleme çalışmasında, **Şekil 13**'te gösterildiği gibi, sıcaklık artışı ve duman emisyonunun hızlı tespiti için ITV kamerasından daha üstün olduğunu göstermiştir.

Geri dönüşüm tesislerinde ITV kameralarla depolamada, kırma/parçalamada, bantlarda ve nihai balyalanmış kısımda sıcaklık artışı erken teşhis edilirse yangın oluşmadan müdahale edilir ve problem çözülür.

İstenmeyen atıkların parçalayıcıdan geçmesi olasıdır, ancak çok yaygın değildir. Cape Town'daki plastik geri dönüşüm tesisi sahiplerinden birinin paylaştığı anekdotal bir örnek, parçalayıcıda yangına neden oldu. Alınan bir plastik balyasına bir mermi saplandı ve mermi parçalayıcıya girene kadar fark edilmedi. Mermi, küçük bir patlamaya neden oldu ve yangına yol açtı. Parçalayıcıya ulaşmadan önce materyalin (bir kişi ve/veya metal detektörü tarafından) kapsamlı bir şekilde incelenmesi ve sınıflandırılması tavsiye edilir.

Özellikle kompost ve geri dönüştürülebilir atıklarına yanlış atılan kullanılmış akümülatörler ve lityum iyon piller risklidir. "Termal kaçak" nedeniyle aşırı ısınırlar ve tehlikeli bir tutuşma kaynağı oluştururlar. Daha sonraki taşıma sırasında genellikle başka malzemeler tarafından gömülürler. Bu durumda, yeni başlayan bir yangın tespit edilemez.

Konveyör bantlarında taşıma sırasında, tehlike kaynakları bir konumdan diğerine hızla hareket eder. Teslimat ve kaldırma alanında, araçlardan gelen egzoz gazları ve egzoz boruları yanlış alarmlara neden olabilir. Depolamada, statik yangın kaynakları ve toplu mallar özellikle tehlikelidir. İşlemede, tehlike esas olarak mekanik eylem veya hareketten kaynaklanır, örneğin ambalajdan çıkarma, parçalama, sallama, ayırma veya presleme sırasında.

## 10. Yanıcı Olmayan ve Hacimli Atıkların Bertarafında LIB Kaynaklı Yangınları Önlemenin İki Yolu

Ambalaj atıkları tesise geldiği gün çalışma saati için işlenmesi tavsiye edilir. Ancak bu çoğu zaman pratik değildir ve en azından yangının yayılmasına dikkat edilmelidir; örneğin depolanan ve alınan atıklar ile geri dönüşüm ekipmanı gibi yüksek değerli ürünler arasında yeterli mesafe bırakılmalı veya yangının yayılmasına karşı koruma sağlamak için uygun sığınaklar (ortamlar) kullanılmalıdır.

Gecikmiş yangınları tespit etmek için çalışma saatleri dışında yangın nöbetleri düşünülebilir veya gecikmeli yangını mümkün olan en kısa sürede tespit etmeyi amaçlayan yangın algılama sistemlerinin alım ve depolama alanlarına kurulması özellikle tavsiye edilir.

*Yanıcı olmayan ve hacimli atıkların bertarafında LIB kaynaklı yangınları önlemenin iki yolu vardır. Bunlar arasında pillerin atıkla karışmasını önlemeye yönelik önlemler ve pillerin karışacağını varsayan önlemler yer alır. İlki, sakinleri bilgilendirmek ve eğitmek, ayrı toplama kategorilerini değiştirmek ve tesislerde kırmadan önce LIB'leri çıkarmaktır. Sakado Şehri de dahil olmak üzere giderek artan sayıda belediye bu tür ayrı toplamaya başlamıştır. İkincisi, tutuşma ve diğer olayların tespitini iyileştirmeyi ve yangının yayılmasını önlemeyi içerir, ancak tespit ve yangın söndürme sistemlerinin tanıtımı pahalıdır.*

Geri dönüştürülmüş malzemeler kesilirken, ezilirken, sıkıştırılırken veya parçalanırken, basınç uygulandığında yanıcı maddeler tutuşabilir.

### 10.1. Erken Hedefli Söndürme

*Su aynı zamanda elektriği iletir, bu da pil yangınına su püskürtülmesi durumunda, pil elektriksel olarak izole edilmemişse elektrik çarpmasına veya kısa devreye yol açabileceği anlamına gelir.*

Küçük lityum iyon pil yangınları için, doğrudan pil hücrelerine uygulanabilen hem soğutma hem de oksijen tükenmesi sağlayan, yangını kontrol altına alma ve sıcaklığı yangını yeniden tutuşturacak yeterli ısının olduğu seviyenin altına düşürmeyi amaçlayan uzman yangın söndürücüler artık mevcuttur. Örneğin **sıcaklığın arttığı anda özel olarak üretilmiş yangın battaniyeleri ve özel olarak formüle edilmiş yangın söndürme granülleri gibi bazı boğma sistemleri, lityum iyon pil yangınlarını kontrol etmeye yardımcı olmak için artık mevcuttur.**

Büyük ölçekli ve hedefe yönelik olmayan söndürmeye göre genel olarak daha etkili, daha hızlı ve daha ucuz olan şey, akıllı alternatiftir: otomatik hedefli söndürme. Özel erken hedefli söndürme sistem yazılımı, büyük üreticilerin elektronik olarak çalıştırılan yangın izlemeli yangın söndürücülerini kontrol edebilir ve tespit edilen sıcak noktaları hedefli, kesin bir şekilde soğutabilir ve/veya söndürebilir. Hedefli söndürme, etkilenmeyen alanları korur ve operasyonel aksama sürelerini ve üretim durmalarını azaltır. Erken tespite rağmen yangın yayılırsa, erken hedefli söndürme yazılımı, itfaiyeciler gelip söndürme işlemini dışarıdan devralana kadar hedefli söndürmeyi kontrol eder.

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları



**Şekil 14.** Erken Hedefli Söndürme

Lityum iyon pil yangınında, yangının yayılmasını ve daha fazla hasara yol açmasını önlemek için hızlı ve etkili bir şekilde yanıt vermek çok önemlidir.

Bir geri dönüşüm tesisinde pil yangını alev dönüşmeden (**Şekil 6**) güvenli bir şekilde söndürmek için önerilen adımlar şunlardır:

### **10.1.1. Güvenlik sağlanmalı**

Eldiven ve güvenlik gözlüğü gibi koruyucu giysiler giyerek kişisel güvenliğinize öncelik verilmeli. Kişisel koruyucu ekipman (PPE) sağlanmalı. Yangın önemliyse veya hızla yayılıyorsa, derhal tahliye edilmeli ve acil durum hizmetleriyle iletişime geçilmeli.

### **10.1.2. Yangın İzole Edilmeli**

Güvenliyse, yanan pili yanıcı maddelerden ve yüzeylerden uzaklaştırılmalı. İletken olmayan bir alet kullanarak veya yalıtımlı eldivenler giyerek pili dikkatlice tutulmalı ve güvenli bir yere taşınmalı.

### **10.1.3. Oksijen Kaynağı Kesilmeli**

Yangınların devam etmesi için oksijene ihtiyaç duyulduğu için, alevleri söndürmek için oksijen kaynağını kesmek hayati önem taşır. Yanan pili yanmaz bir kabın içine yerleştirin veya yangını boğmak için bir kova kum dökülmeli.

### **10.1.4. Yangın Söndürme Maddeleri Kullanılmalı**

Küçük lityum piller çok az lityum içerir, bu nedenle suyla ıslatılabilirler.

Mümkünse, Sınıf D söndürücüler veya karbondioksit (CO<sub>2</sub>) söndürücüler gibi elektrik yangınlarına uygun yangın söndürme maddeleri kullanılmalı. Söndürücünün talimatlarını izlenmeli, yangının tabanı hedeflenmeli ve alevleri söndürmek için bir yandan diğer yana süpürülmeli.

Büyük lityum iyon pil yangınlarını söndürmek için kum, CO<sub>2</sub>, toz grafit, ABC kuru kimyasal veya sodyum karbonat içeren bir köpük söndürücü kullanılır.

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

### **10.1.5. Lityum İyon Pili İzlenmeli ve Soğutulmalı**

Yangını başarıyla söndürdükten sonra, hala sıcak olabileceğinden, pile çıplak elle hemen dokunmaktan kaçınılmalı. Pilin uygun şekilde elleçlenmesinden veya atılmasından önce doğal olarak soğuması beklenmeli.

Büyük veya kontrol edilemeyen bir yangın durumunda, alan boşaltılmalı ve yardım için profesyonel itfaiyecilere başvurulması gerektiğini unutulmamalı.

Lityum iyon pil yangını riski mevcut olsa da, bu tür olayların nispeten nadir olduğunu belirtmek önemlidir. Pil üreticileri, yerleşik koruma devreleri ve geliştirilmiş tasarımlar dahil olmak üzere bu riskleri en aza indirmek için çeşitli güvenlik önlemleri uygulamıştır.

### 11. Lityum İyon Pilin Yanması Durumunda Yapılması Gerekenler Nelerdir?

Lityum pil sıcak olduğunda, duman çıkardığında veya yandığında yangın kumu, yangın battaniyesi, su bazlı yangın söndürücü ve kuru kimyasal toz yangın söndürücü ile kaplanabilir. Bir lityum pil modülü, bir lityum pil paketi veya birden çok lityum pil yandığında ve lityum pillerin saklandığı depoda daha büyük ölçekli yangın meydana geldiğinde, insanlar haberdar etmek için adil durum planı derhal başlatılmalıdır.

Güç kaynağı kesildikten ve kaza mahallindeki eşyalara su ile dokunulmayacağı belirlendikten sonra, yangını soğutmak ve söndürmek için çok sayıda yangın suyu jeti düşünülebilir.

Akü sisteminde ki yangını söndürdükten sonra yeniden alev alma potansiyeli nedeniyle, lütfen hasarlı akü sistemini yapıdan, araçtan veya diğer yanıcı şeylerden 15 metre uzakta saklanmalı.



**Resim 1.** Kullanılmış Lityum İyon Pil Yangın Görüntüsü

Lityum pillerin neden olduğu yangın türleri tutuşma mekanizmaları ne olursa olsun, atık yönetim sahalarındaki kaçak lityum piller genellikle iki farklı türde yangına neden olur:

- **Ani yangınlar;** örneğin, kullanılmış bir lityum pil bir parçalama makinesine veya diğer agresif geri dönüşüm ekipmanına beslendiğinde veya yükleme küreği gibi ağır mobil bir ekipmanın alınan atıklardaki kaçak bir pilin üzerinden geçtiğinde.
- **Gecikmeli yangınlar;** örneğin, bir atık yığnında gizlenmiş hasarlı bir lityum pilin "için için yanması" ve ardından bir süre sonra alev alması.

Bu, atık yığnının atık yönetim sahasına bırakılmasından saatler veya günler sonra olabilir. Bu iki farklı yangın türünün risklerini azaltmak genellikle farklı yaklaşımlar gerektirir. Ani yangınlar, sabit yangın sistemleri gibi teknik araçlarla en iyi şekilde ele alınabilirken, gecikmeli yangınlar yönetim ve farkındalık yoluyla daha iyi ele alınabilir.

#### 11.1. Lityum Pillerden Kaynaklanan Yangın Riskini Azaltma

Atık yönetim sahalarındaki lityum pil yangınları atık alımı ve depolamada veya geri dönüşüm tesisi gibi atıkların işlenmesi sırasında meydana gelebilir. Ayrıca, toplama kabinlerinde lityum pillerin tutuşması çalışanlar için güvenlik riskleri oluşturur.

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

### 11.2. Yangın Önleme Söndürme Sistemler

Yangın durumunda, profesyonel bir müdahaleye gerek kalmadan yangının söndürüldüğünden emin olmak için, son teknoloji ısı algılama ve otomatik söndürme çözümlerinden oluşan entegre süreçler ve sistemler esastır.

Gelişmiş, son teknoloji yangın tehlikesi algılama ve otomatik söndürme sistemleri, hasarı ve mal kaybını azaltmak için büyük bir potansiyel sunar. İlk yatırım maliyeti geleneksel yöntemlere göre daha yüksek olsa da, uzun süreli yangın söndürme yerine erken algılama ve akıllı, hassas söndürmeye odaklanarak tesis sahipleri ve operatörleri tekrarlayan maliyetleri azaltabilir ve tesis kapatmaları azaltılabilir ve toplam işletme maliyeti optimize edilebilir.

Geri dönüşüm ve kompost tesislerinde kullanılan başlıca söndürme sistemleri sprintler veya sel sistemleri ve yangın söndürme monitörleridir. Söndürülmesi gereken maddeye bağlı olarak söndürme maddesi olarak su veya köpük kullanılabilir.



**Resim 2.** Geri Dönüşüm ve Kompost Tesislerinde Kullanılan Başlıca Söndürme Sistemleri

Sprinkler sistemleri çoğunlukla iç mekanlarda kullanılır ve genellikle su veya köpük yapılıdır. Bir yangının ısı, altındaki alana söndürme suyu bırakacak olan ayrı sprinkler başlıklarını etkinleştirir. Yangın yayılırsa, söndürme kapasitesini genişletmek için ek sprinkler başlıkları etkinleştirilir. Her sprinkler başlığı birkaç metre karelik bir alanı korumak için tasarlanmıştır.

Birkaç sprinkler başlığı etkinleştirildiğinde geniş alanlar söndürme suyuna maruz kalır ve sistem genellikle manuel olarak devre dışı bırakılmalıdır. Yangın ile sprinkler başlıkları arasındaki mesafeye bağlı olarak, yangını başarılı bir şekilde söndürmek için çok geç tetiklenebilirler. Çoğunlukla alçak tavanlı alanlarda kullanılırlar.

### 11.3. Yangın Söndürme Monitörleri

Yangın söndürme monitörleri, iç veya dış mekan kullanımı için tasarlanmıştır. Bir yangın algılandığında ya manuel olarak çalıştırılır ya da uzaktan kontrol edilebilir. Yangın monitörleri, yangın söndürme ortamının güvenli bir mesafeden hassas bir şekilde konumlandırılmasını sağlar.

## Gerii Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları



**Resim 3.** Geri Dönüşüm Tesisinde Bekleme Modunda Manuel Yedeklemeli Uzaktan Kumandalı Yangın Monitörü.

Yangını söndürmek için sadece bir yığının içine girilmemeli. Kompost ve geri dönüşüm sektöründeki herhangi birine yangınla nasıl mücadele edileceği araştırıldığında, yangın çıkan kısmı yığından çıkarmak için yükleyiciyi kullanmanın gerektiğini söyler. Ancak sadece yangın yığının yüzeyinde veya kenarlarında olduğunda bu doğrudur.

Derin bir yangın için doğru kazma (eşme) yöntemi önceden ıslatmak ve uygun şekilde ıslatıldıktan sonra bir katmanı çıkarmaktır.

Yangın söndürme sistemi kurulumuna bağlı olarak su ve köpük arasında geçiş yapmak mümkündür. Yangın söndürme monitörleri, otomatik yangın söndürme sistemi oluşturmak için algılama sistemleriyle birleştirilmeye en uygun olanlardır.

Gerii dönüşüm ve kompost tesisinde bekleme madunda manuel yedeklemeli uzaktan kumandalı yangın monitörü bulunur. Manuel müdahale durumunda, algılama sistemi alarmı çalacaktır. Kullanılan sisteme bağlı olarak, bu kritik bir sıcak noktası, alev (yangın) ve duman olabilir. Her durumda, yangın tehdidinin görsel olarak doğrulanması ve söndürme sürecinin manuel olarak müdahale edilmesi, yani bir tufan sisteminin etkinleştirilmesi veya manuel veya uzaktan kumandalı bir yangın izleme cihazının kullanılması gerekir. Yangın söndürme sistemi otomatikse, duman ile yangın algılama ile tetiklenirse, tüm alanı su basan bir tufan sistemi etkinleştirilebilir. Alternatif olarak, bir yangın monitörü, önceden tanımlanmış bir alanda önceden programlanmış bir püskürtme deseni kullanarak söndürme maddesini otomatik olarak yönlendirebilir. Söndürme sisteminin devre dışı bırakılması çoğunlukla manuel olarak yapılır (alındır).

Kullanılmış lityum-iyon bataryaların yüksek sıcaklığa maruz kalması sonucu çıkan yangınlar çok fazla ısınırlarsa kararsız hale gelebilir, termal kaçağa yol açabilir, patlayıcı gazlar üretebilir veya alev alabilirler.

Lityum iyon pil yangınları, kendi oksijenlerini üretir ve söndürülmesi çok zor olabilir. Uzman Sulu Vermikülit Dispersiyonlu (AVD) yangın söndürücüler, söndürme ortamının doğrudan bir pilin

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

hücrelerine uygulanabildiği ve soğutma ve oksijen tükenmesinin bir kombinasyonunu sağladığı küçük başlangıç yangınları için bir seçenek olabilir, ancak bu yangınlar çoğu zaman yalnızca İtfaiye ve Kurtarma Servisi yanan malzemelere bol miktarda su verdiğinde kontrol altına alınır ve söndürülür.

Geri dönüşüm tesislerinde lityum iyon pili yangınları dahil tüm yangınları söndürme donanımına sahip olmalı ve çalışanlar bu konuda gerekli eğitimi almış olmalıdır;

- Türkiye’de lityum iyon bataryalarını söndürmek ile ilgili acilen yol haritası ortaya konmalı.
- Klasik yöntemlerle yanmakta olan lityum iyon bataryaları söndürülemez.
- Lityum iyon piller ısındıkça ve hava/su ile temas ettikçe yangını şiddetlendirir.
- Lityum iyon pili yangını söndürmek için itfaiyecilerin yeterli donanıma ve tecrübeye sahip olması gerekir.
- Lityum iyon pil yangınına söndürmek çok çok özel uzmanlık ister.
- Geleneksel lityum iyon bataryalardan 4 kat fazla enerjiyi çok daha uygun maliyetle depolayan yeni pil türü geliştirdi

Lityum iyon pilleri çok küçük bir hacimde önemli miktarda enerji depolar ve diğer pil türlerine kıyasla çok daha güçlüdür. Bu enerji kontrolsüz (ezme/parçalama) bir şekilde açığa çıkarsa, yangın veya patlama meydana gelebilir.

Kullanılmış lityum iyon pil yangınları suyla söndürülemez, su lityum kaynaklı yangını daha fazla şiddetlendirir.



**Resim 4.** Kullanılmış Lityum İyon Pil Yangını



### 12. Yangının Çevresel Maliyeti

Yangınlar sadece hayatları riske atmakla kalmaz, aynı zamanda değerli varlıklara ciddi zarar verir ve tesis işleticilerine binlerce/milyonlarca/milyarlarca dolara mal olur.

Bir lityum-iyon pil yangınının neden olduğu hasarın ortalama maliyeti 1,73 milyon dolardır. Lityum-iyon pil yangınları 2010 yılından bu yana dünya çapında 2 milyar doların üzerinde maddi hasara neden olmuştur.

Çevre Hizmetleri Derneği, İngiltere'de çöpe atılan lityum-iyon pil kaynaklı yangınların itfaiye hizmetlerine ve atık operatörlerine yılda yaklaşık 158 milyon sterline mâl olduğu belirtiliyor.

İngiltere'de yerel yetkililer, ev çöp kutularına atılan pillerin her yıl çöp arabalarında ve atık işleme merkezlerinde yaklaşık 700 yangına neden olduğunu ifade ediyorlar.

ABD'de kullanılmış lityum iyon pili kaynaklı yangınların yıllık maliyetinin 1,2 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir.

Atık pilleri, özellikle kullanılmış lityum iyon piller, tekniğine uygun yönetilmezse ve kaynakta ayrı toplanmasını sağlanmazsa çöp depolama alanları dahil geri dönüşüm tesislerinde yangın riskleri artarak devam eder.

Bir atık geri dönüşüm tesisinde (MRF) çıkan yangının maliyetinin, şiddetine bağlı olarak minimum 2.600 dolardan, felaket boyutundaki yangınlarda ise 50 milyon doların üzerine çıkabileceği belirtilmiştir.

Son birkaç yılda, ABD, İngiltere, Fransa ve Çin'deki çeşitli geri dönüşüm tesislerinde çıkan feci yangınlardan kullanılmış lityum iyon pilleri sorumluydu.

Kullanılmış lityum iyon pillerinin aşırı ısınması halinde alev almalarına neden olabilirler.

Şehirlerde kullanılmış lityum iyon pilleri geri kazanmanın en güvenli yolu için yerel yönetimler web sitesi oluşturmalı ve piyasaya sürenler tarafından toplanması sağlanmalı.

Lityum iyon pillerin kullanımı arttıkça, kaynakta geri kazanımı yapılmadığı çöpe veya ambalaj atıkları konteynırına atıldığı sürece yangınlar daha sık olarak meydana gelir ve önemli ve değeri lityum geri dönüşüm kaynağı çöp olmuş olur.

Lityum-iyon pil yangınlarının başlaması ve şiddetlenmesi, uygunsuz şarj veya fiziksel hasar gibi kullanıcı davranışları da dahil olmak üzere birden fazla nedene bağlanabilir.

**Bir EV veya pil depolama tesisinde yangın çıkarsa, ilk tepki en yakın hortumu almak olabilir. Ancak, ateşe çok yaklaşmak, jet benzeri alevler veya mermiler tarafından yaralanabileceğiniz için felakete yol açabilir.**

***Su, alevleri söndürmek yerine yangını körükleyebilir ve yoğunlaşmasına neden olabilir. Bunun nedeni, suyun lityumla tepkimesinin yanıcı hidrojen gazı üretebilmesidir - bu da zaten tehlikeli olan bir duruma daha fazla tehlike katar.***

### **13. Atık Azaltma ve Kaynakları Koruma**

Geri dönüşüm tesisleri atık azaltma ve kaynakları korumada kritik bir rol oynar. Ancak, kağıt, plastik ve metal gibi kolayca tutuşabilen ve hızla yanabilen malzemelerin doğası nedeniyle önemli yangın tehlikeleri de oluştururlar. Geri dönüşüm tesislerindeki yangın olayları, mülke (tesise) ciddi hasar, iş sürekliliğinin kaybı ve çalışanlara potansiyel zarar verebilir. Bu nedenle, geri dönüşüm tesisi operatörlerinin tesislerini korumak için etkili risk azaltma ve önleme önlemlerini uygulamaları esastır.

Birincil risk azaltma önlemlerinden biri, gelişmiş yangın algılama ve söndürme sistemlerinin kurulmasıdır. Bu sistemler, yangınlar yayılmadan önce hızla tespit edilip söndürülmek üzere konveyör bantları, sıralama alanları ve depolama alanları dahil olmak üzere tesisin her yerine stratejik olarak yerleştirilmelidir. Ek olarak, bu sistemlerin etkinliğini sağlamak için düzenli bakım ve testler çok önemlidir.

Atıkların uygun şekilde depolanması ve işlenmesi, geri dönüşüm tesislerinde yangın önlemenin bir diğer kritik yönüdür. Atıklar belirlenmiş alanlarda depolanmalı ve yangın tehlikesi seviyelerine göre ayrılmalıdır. Örneğin, yanıcı atıklar tutuşma kaynaklarından uzakta depolanmalı ve yanıcı atıklar ısı birikmesini önlemek için iyi havalandırılan alanlarda tutulmalıdır. Sıkı temizlik uygulamalarının uygulanması da geri dönüşüm tesislerinde yangınları önlemede hayati önem taşır.

Ekipman, makine ve çalışma alanlarından düzenli temizlik ve toz, döküntü ve diğer yanıcı maddelerin uzaklaştırılması tutuşma riskini önemli ölçüde azaltabilir. Geri dönüşüm tesisi operatörleri ayrıca tehlikeli maddelerin diğer geri dönüştürülebilir maddelerle karışmasını önlemek için atık ayırma ve bertarafı için net yönergeler belirlemelidir. Geri dönüşüm ve kompost tesislerindeki yangın tehlikelerini en aza indirmek için çalışan eğitimi ve farkındalık programları çok önemlidir. Çalışanlar yangın söndürme cihazlarının kullanımı ve acil durum tahliye planları dahil olmak üzere yangın önleme, tespit ve müdahale prosedürleri konusunda eğitilmelidir.

Tüm çalışanların acil bir durumda iyi hazırlıklı olmasını sağlamak için düzenli tatbikatlar ve yangın güvenliği protokolleri hakkında güncellemeler yapılmalıdır.

Sonuç olarak, yangın tehlikeleri geri dönüşüm tesislerinde önemli bir endişe kaynağıdır, ancak uygun risk azaltma ve önleme önlemleriyle bu riskler en aza indirilebilir. Gelişmiş yangın algılama ve söndürme sistemlerinin kurulumu, malzemelerin uygun şekilde depolanması ve işlenmesi, sıkı temizlik uygulamaları ve kapsamlı çalışan eğitimi, geri dönüşüm tesislerinde yangınları önlemede temel unsurlardır. Geri dönüşüm tesisi operatörleri yangın güvenliğini önceliklendirerek tesislerini koruyabilir, çalışanlarını koruyabilir ve daha sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunurken iş sürekliliğini koruyabilir.

### 14. Atık Alımı ve Depolanması

Atık depolama sahasına ulaşmadan önce, lityum piller sıkıştırma, hasar ve su girişine maruz kalmış olabilir. Ayrıca, piller, bir yükleme küreğinin bir pilin üzerinden geçmesi gibi ağır mobil bir tesisin hareketiyle hasar görebilir.

- Mobil tesis operatörleri de dahil olmak üzere atık alım alanlarında çalışan tüm çalışanlar, kaçak lityum pillerden kaynaklanan riskler ve böyle bir risk gördüklerinde ne yapmaları gerektiği konusunda bilgilendirilmeli ve uyarılmalıdır.
- Özellikle mobil tesis operatörleri, tesis operasyonlarının lityum iyon pillere verdiği fiziksel hasarla ilişkili riskler konusunda bilgilendirilmelidir.
- Mümkün olduğunca, depolanan yükler işlenmeden önce kontrol edilmelidir. Bu, görsel olarak, örnekleme yoluyla veya termografik bir kamera kullanılarak yapılabilir. Ancak, termografik kameraların kullanımı da dahil olmak üzere bu tür kontrollerin, bir atık yığnında gömülü bir lityum pili keşfetme olasılığının düşük olduğu ve bir risk ortadan kaldırma önlemi olmaktan çok bir risk azaltma önlemi olduğu unutulmamalıdır.
- İdeal olarak, atık alımındaki tüm atıklar çalışma gününün sonundan önce işlenmelidir. Ancak bu çoğu zaman pratik değildir ve en azından yangının yayılmasına dikkat edilmelidir; örneğin depolanan ve alınan atıklar ile geri dönüşüm ekipmanı gibi yüksek değerli ürünler arasında yeterli mesafe bırakılması veya yangının yayılmasına karşı koruma sağlamak için uygun ortamlar kullanılmalıdır.
- Gecikmiş yangınları tespit etmek için çalışma saatleri dışında yangın nöbetleri düşünülebilir veya gecikmeli yangını mümkün olan en kısa sürede tespit etmeyi amaçlayan yangın algılama sistemlerinin alım ve depolama alanlarına kurulması düşünülebilir.
- Tesis ve bina değerine bağlı olarak, su tahliye sistemleri ve salınlı su monitörleri gibi sabit yangın sistemlerinin kurulması da düşünülebilir.

#### 14.1. Atık İşleme

Geri dönüşüm ve kompost tesislerinde, söz konusu mekanik süreçler lityum iyon pillerden kaynaklanan ani bir yangın riski oluşturabilir. Örneğin, parçalayıcılar, trommel elekler ve balya makineleri gibi daha agresif ekipmanlar, kaçak lityum iyon pillere zarar vererek ani sıcaklık artışına ve takiben yangına neden olabilir. Bu, söz konusu ekipmanın belirli bir parçasına zarar verebilir ve yangın tesisin diğer kısımlarına da yayılırsa sonuçlanabilir. Ayrıca, herhangi bir yangın can güvenliği riski oluşturur.

Lityum iyon piller hem tasarım aşamasında hem de operatörün değerlendirmesinde, ekipmanın özel risk değerlendirmesinde yangın riski olarak değerlendirilmelidir.

- Çalışanlar, atık işleme tesisinde lityum iyon pillerle ilişkili yangın riski konusunda bilgilendirilmeli ve eğitilmelidir. Bir yangın tespit etmeleri durumunda, hareketli konveyörlerin veya diğer mekanik taşıma sistemlerinin eylemi gibi bir yangının tüm tesise yayılma riskini azaltmak için derhal bir acil durdurmayı etkinleştirmeleri dahildir.

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

- Uygun durumlarda, balya makineleri için patlama kalkınları ve balya erişim kapakları ve menteşeleri ve sabitlemeleri gibi öğelerin genel mekanik bütünlüğü gibi riski azaltmak için daha fazla azaltma düşünülebilir.
- Bu tür detektörler, yangın algılandığında tesisi derhal durdurmak için tesisin işletim sistemine bağlanmalıdır. Böylece konveyörlerin ve diğer mekanik sistemlerin etkisiyle yangın yayılımı önlenir.

### **14.2. Toplama Hattında Kullanılmış Lityum İyon Pilin Tutuşması Riski**

Toplama hattında lityum iyon pilin tutuşması:

- Toplama kabinlerindeki çalışanlar, toplama kabininde lityum iyon pilin tutuşması riski konusunda bilgilendirilmeli ve bilinçlendirilmelidir. Bu risk, bir lityum pilin toplama kabininde tutuşması durumunda güvenliyse, konveyörün hareketiyle yangının yayılmasını önlemek için derhal acil durdurmayı etkinleştirmeleri gerektirir.
- Lityum yangınlarıyla mücadele, standart bir geri dönüşüm tesisinde bulunması pek mümkün olmayan özel ekipman ve eğitim gerektirir. Ayrıca, uygun yangınla mücadele stratejisi, atık operatörünün önceden bilmesi pek mümkün olmayan lityum pilin türüne bağlı olabilir. Bazı türler için, su söndürücü veya hortum kullanımı durumu daha da kötüleştirir ve standart toz, köpük ve karbondioksit söndürücüler, söz konusu enerji nedeniyle etkisiz olabilir. Gerekli özel ekipman ve eğitim mevcut değilse, çalışanlara lityum yangınıyla mücadele etmemeleri talimatı verilmelidir. Lityum yangını durduktan sonra, çıkan herhangi bir atık yangını, su veya diğer uygun yangın söndürme ortamı kullanılarak diğer atık yangınlarıyla aynı şekilde tedavi edilebilir.
- Ancak, atık akışlarında daha fazla lityum pilin bulunduğu örnekler olmuştur. Örneğin, bir lityum pil yangına neden olur, bu pilin kendisi hızla yanarak genel bir atık yangını bırakır, ancak atıkta daha fazla pil bulunur ve bunlar daha sonra genel atık yangını sonucu tutuşur. Operatörler bu olasılıktan haberdar edilmeli ve genel atık yangınıyla mücadele ederken daha fazla lityum pil tutuşmaya başlarsa derhal geri çekilmeleri gerekir-can güvenliği ilk öncelik olmalı. Aynı ilke, yangından sonra atıkları temizlerken de geçerli olacaktır-bu tür bir çalışma sırasında lityum piller görülürse görev durdurulmalı ve atıkları temizlemenin güvenli yöntemleri konusunda tavsiye alınmalıdır.

AA ve AAA piller gibi küçük ev tipi lityum pillerin önemli bir risk oluşturması olası değildir. Ancak, cep telefonlarında, dizüstü bilgisayarlarda, e-scooter'larda, e-bisikletlerde, buharlı sigaralarda, bataryalı süpürgelerde, oyuncak araçlarda, kablosuz kulaklıklarda, diş fırçalarında, diğer bilgi işlem ve benzeri cihazlarda ve ev tipi şarj edilebilir cihazlarda kullanılan daha büyük lityum piller önemli riskler oluşturabilir. LIB'ler bisikletlerde ve scooter'larda bir akıllı telefondakinden yaklaşık 50 kat daha büyük pil kullanılmaktadır.

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları



**Resim 5.** Bazı Lityum İyon Pili Cihazlar

Böyle daha büyük bir kaçak lityum pilin keşfedilmesi halinde:

- Tesis, acil durdurma veya işlevsel durdurma kullanılarak mümkün olduğunca çabuk durdurulmalıdır
- Uygun PPE (kişisel koruyucu ekipman) giyilmelidir. Bu, risk değerlendirmesi için bir konudur, ancak en azından göz ve yüz koruması, koruyucu önlük ve koruyucu eldivenleri içermesi muhtemeldir

Bozulmuş lityum iyon pil, elinize almadan herhangi bir hasar olup olmadığını görmek için görsel olarak değerlendirilmelidir. Lityum iyon pil hasarlıysa yetkili bir kişiden tavsiye alınmalıdır-herhangi bir hasar gizli veya pilin içinde olabilir ve görsel olarak belirgin olmayabilir ve mümkün olan tüm özen gösterilmelidir

- Sıcaklığı artan lityum piller dokunulmadan, örneğin plastik (iletken olmayan) bir kürek veya benzeri kullanılarak çıkarılmalıdır. Buradaki tek risk yangın değildir. Elektrik çarpması ve bulunan ve/veya hasar görmüş lityum pillerden kaynaklanan tehlikeli maddelere maruz kalma da potansiyel tehlikelerdir.
- Bozuk lityum iyon piller, plastik (iletken olmayan) bir kürek veya benzeri kullanılarak dokunulmadan ortamdaki çıkarılmalıdır. Buradaki tek risk yangın değildir. Keşfedilen ve/veya hasarlı lityum pillerden kaynaklanan elektrik çarpması ve tehlikeli maddelere maruz kalma da potansiyel tehlikelerdir.
- Çıkarılan bozuk lityum iyon piller güvenli bir şekilde, ideal olarak herhangi bir binadan veya ekipmandan uzakta, 'chemstore' gibi uygun bir kaptaki (su geçirmez ve sağlam), kum veya benzeri bir şeyle doldurulmuş sağlam bir kaptaki saklanmalıdır. Depolama sağlam olmalı ve yanıcı veya tehlikeli maddelerden uzakta olmalıdır. Bu tür bir depolamanın yeri risk değerlendirmesine tabi tutulmalı ve saha acil durum planlarına dahil edilmelidir
- Bozuk lityum pillerin herhangi bir miktarda birikmesine izin verilmemeli ve mümkün olan en kısa sürede uygun bertaraf/geri dönüşüm için sahasından uzaklaştırılmalıdır. İşletmeciler önceden plan yapmalı ve bir sorun ortaya çıktığında aramak zorunda kalmak yerine uygun bir bertaraf/geri dönüşüm rotası belirlemelidir
- Tüm özel pil depolama alanları ve lityum pil içerebilecek depolama alanları sıcak noktalar açısından periyodik olarak kontrol edilmelidir

### **15. Sektörün ve Sigorta Uzmanları Lityum İyon Pil Yangınları Bilmeli**

Sektör ve sigorta uzmanları lityum iyon pil yangınları hakkında bilmesi gerekenler şu şekilde sıralıyor:

- Bu tür yangınlar genellikle kullanılmış lityum iyon pilin hasar görmesi, içindeki kimyasalları ayıran zarın yırtılması ve lityum içeren elektrolitik hava/su ile temas sonucu kendi kendine devam eden bir yangının başlamasıyla meydana gelir.
- Küçük lityum iyon yangınları özel söndürücülerle söndürülebilir. Metal yangınlarında kullanılmak üzere etiketlenmiş olsalar da Sınıf D yangın söndürücüler lityum iyon pil yangınlarında işe yaramaz. Bunun nedeni pillerin gerçekte lityum metal içermemesidir.
- Lityum iyon piller B Sınıfı yanıcı sıvı yangını olarak sınıflandırılır, bu nedenle bir ABC veya BC yangın söndürücüsü onu söndürmek için işe yarayacaktır. Bu yangın söndürücüler, yangını durdurmak için lityum iyon pildeki kimyasal reaksiyonu keser.
- Su, lityum iyon yangınlarını söndürmede de etkili olabilir çünkü su, kimyasal reaksiyonla oluşan ısıyı azaltır.
- Bu tür yangınlara maruz kalma riski altında olanlar, yerel itfaiye teşkilatıyla bir plan uygulamalı ve personel ile birlikte bir eylem planı geliştirmelidir.
- Eğer yapabiliyorsa otomatik bir bastırma sistemi bulundurulmalı.
- Potansiyel ısı kaynaklarının yakınına araçları park etmekten veya ekipman bırakmaktan kaçınılmalı.
- Mümkünse termal sensörler takılmalı.
- Çalışanları yangınları kontrol altına almak için ellerindeki ekipmanları kullanmaları konusunda eğitilmeli.
- Çalışan otomatik bir sprinkler sisteminiz ve hatta ısının dışarı çıkmasına izin veren elle çalıştırılabilen çatı havalandırma delikleri olmalı.
- Temel temizlik önlemlerini iyi bir şekilde uygulayın, yakıt görevi görebilecek toz ve malzeme birikimini sınırlayın.

Bazı geri dönüşümcüler ve belediye atık tesisleri, ısı artışlarını veya "termal algılamayı" uzaktan tespit eden ve ayrıca yangınları söndürmek için uzaktan bir soğutma maddesi kullanabilen yangın izleme sistemlerine yatırım yapmıştır. Bu tesisler, yangın riskini azaltmak için hem teknolojiyi hem de iyileştirilmiş süreçleri kullanmayı savunmaktadır.

Bir sektör uzmanı, "lityum iyon pillerin hurda sahalarında ezilmesini önlemek için yeni bir yol önerdi: Pil üreticileri pilleri, hurda yığınları arasında kolayca göze çaracak şekilde, Gündüzleri Parlayan Pembe gibi parlak renklerde üretmeli".

## Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları

### 15.1. Taşıma Esnasında Yangın

Çöp kamyonları, ambalaj ve gıda atıklarını yerleşik sıkıştırıcılarla ezer. Bu sıkıştırıcılar LIB'lere zarar verebilir ve bu da bazen pillerin termal kaçak geçirmesine ve çevredeki çöpleri tutuşturmasına neden olabilir. Bu gerçekleştiğinde, taşıyıcılar için standart protokol, yanan çöpleri dökmek için güvenli bir yer bulmak ve itfaiyenin gelip yangını söndürmesini beklenir. Ancak yangın yeterince büyürse, kamyonlar ve çevresindeki alanlar da tutuşma tehlikesiyle karşı karşıya kalabilir. Kullanılmış LIB'ler, taşıma sırasında dokunmak üzere tasarlanmadıkları atıklarla karşılaşabilirler. Bunlara diğer piller, sıvılar, asitler, alkaliler veya diğer reaktif bileşikler (çamaşır suyu, amonyak veya pil asidi dahil) dahildir. Bu temas nedeniyle reaksiyonlar meydana gelebilir ve bu da araçta yangının başlamasının başka bir olası yoludur.

Kullanılmış LIB içeren atıkların taşınması halindeyken yangın daha uzun süre fark edilmeden kalabilir. LIB'ler diğer atıkların altına yerleştirilebilir ve yangınlar hemen görülemeyebilir. Sürücüler sürüş sırasında dumanı göremediğinden, bir olay ancak yanma meydana geldikten sonra fark edilebilir.



**Resim 6.** Ambalaj Atığı Taşıma Aracında Yangın

Kullanılmış lityum iyon pillerinin yanlış çöp kutusuna atılması sonucu yangın çıkan herhangi bir (geri dönüşüm) kamyonunun değiştirilmesi 50.000 ila 200.000 dolar arasında bir maliyete yol açmaktadır.

Yanıcı olmayan ve hacimli atıkların bertarafında LIB kaynaklı yangınları önlemenin iki yolu vardır. Bunlar pillerin atıklara karışmasını önleyecek tedbirler ve pillerin karışacağını varsayan tedbirlerdir. Bunlardan ilki, halkın bilgilendirilmesi, eğitilmesi ve bilinçlendirilmesi, ayrı toplama kategorilerinin değiştirilmesi ve LIB'lerin tesislerde kırılmadan önce çıkarılmasını içermektedir. Japonya'da Sakado Şehri de dahil olmak üzere giderek artan sayıda belediye bu tür ayrı toplama uygulamasına başlamıştır. İkincisi, tutuşma ve diğer olayların tespitinin iyileştirilmesini ve yangının yayılmasının önlenmesini içerir, ancak tespit ve yangın söndürme sistemlerinin kurulması pahalıdır.

Tüm yangınlar, doğru bir şekilde ele alınmadığı takdirde, çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir, bu da toplumu ekonomik olarak etkileyebilir ve önemli işlevlerde ve altyapılarda kesintilere yol açabilir.

## **Geri Dönüşüm Tesislerinde LIB Yangınları**

Vatandaş, lityum iyon pili elden çıkarma zaman geldiğinde çöpe atmamalı. Lityum iyon piller geri dönüştürülmelidir. Bunun için belediyeler, LIB'leri piyasaya sunanlarla birlikte, lityum iyon pil toplama noktası oluşturmalı ve internet üzerinden yerler kamuoyu ile paylaşılmalı. LIB mutlaka ayrı toplanmalı ve LIB geri dönüşüm tesislerine gönderilmeli. LIB içindeki değerli maddeler mutlaka geri kazanılmalı.

Belediyeler geri dönüşüm ve kompost tesislerinde yangınla ilgili gerekli uyarıları yapmalı ve önlemleri uygulamaya koymayanlara ruhsat izni vermemeli ve illegal çalışan tesisleri mutlaka kapatmalı.

LIB'lerin kaynakta ayrı toplanması ve geri dönüşümü zorunla hale getirilmeli.

LIB'lerdeki değerli maddelerin geri kazanımı ile ilgili ayrı çalışma yapılacaktır.

Son söz; Türkiye'de kullanılmış lityum pil kaynaklı yangınları azaltmak için bir çalışma yapılmalı. Bu tür yangınların atık geri dönüşüm tesislerine her yıl milyonlarca avroya mal olması, tesislerin aylarca hatta yıllarca kapalı kalması, çevre kirliliğinin önlenmesi ve ülkemizi dairesel ve karbon nötr hale getirmenin önünde güçlü bir bariyerin önlenmesi açısından oldukça önemlidir.



### 16. Kaynaklar

1. <https://www.fireengineering.com/fire-safety/lithium-ion-battery-disposal-what-you-need-to-know/#gref>
2. <https://www.aa.com.tr/tr/yesilhat/iklim-degisikligi/plastik-atik-tesislerinde-sayilari-artan-yanginlar-sagligi-ve-cevreyi-tehdit-ediyor/1817645#:~:text=T%C3%BCrkiye'nin%20her%20yerinde%20%C3%A7%C4%B1kan,medana%20geldi%C4%9Fini%20tespit%20etti%C4%9Fini%20bildirdi.>
3. <https://www.indyturk.com/node/719901/t%C3%BCrki%CC%87yeden-sesler/yang%C4%B1n%C4%B1-ba%C5%9Flatan-kullan%C4%B1m%C4%B1C5%9F-lityum-iyon-piller-tehlikeli-at%C4%B1kt%C4%B1r>
4. [https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-08/lithium-ion-battery-report-update-7.01\\_508.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-08/lithium-ion-battery-report-update-7.01_508.pdf)
5. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095495620307075>
6. <https://www.pmk.com/what-to-do-if-it-a-lithium-battery-explodes/>
7. <https://www.waste360.com/waste-recycling/august-2024-fire-report-july-was-the-worst-month-ever-for-reported-fires->
8. <https://theconversation.com/what-causes-lithium-ion-battery-fires-why-are-they-so-intense-and-how-should-they-be-fought-an-expert-explains-214470>
9. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344923005323>
10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128523000503>
11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711220300382>
12. <https://www.firedos.com/news-overview/news/automatic-extinguishing-solutions-in-recycling-facilities-and-incineration-plants-utilizing-heat-detection>