

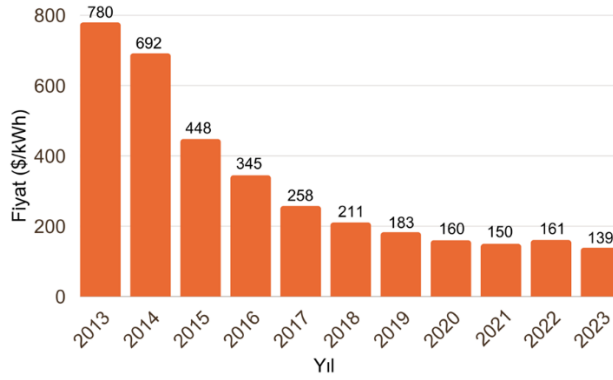
BATARYA LABORATUVARI

Giriş

Geleneksel içten yanmalı motorlu (IYM) araçlarda daha düşük enerji verimliliği ve artan sera gazı (GHG) emisyonları görülmüştür. Araçların elektrifikasyonu, bu zorluklara potansiyel bir çözüm sunmaktadır ve aynı zamanda fosil yakıtlara olan bağımlılığı da azaltmaktadır. Bu nedenle, yukarıda bahsedilen sorunlardan kaçınmak için içten yanmalı motorlu araçlardan elektrikli taşıtlara (ET'ler) doğru küresel bir geçiş söz konusudur.

Elektrikli taşıtlar özellikle 1900'lü yılların başında oldukça popülerdi ve elektrikle çalışan taşıtların oranı %25'ti. Sonraki yıllarda yüksek maliyetler ve düşük kapasiteli bataryalar nedeniyle bu araçlara olan ilgi azalmış ve sonraki 10 yılda yerini geleneksel yakıtla çalışan içten yanmalı motorlara bırakmıştır. Ancak hem içten yanmalı yakıtla çalışan araçların yaydığı ulaşım ile ilgili karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik çabalar hem de batarya teknolojilerindeki ilerlemeler elektrikli taşıtlara olan ilgiyi yeniden artırmıştır. Milenyumdan bu yana batarya teknolojisi gelişimindeki en önemli atılım lityum iyon bataryalar (LiB'ler) alanında gerçekleşmiştir. Düşük maliyetleri ve genişletilmiş çalışma aralıkları sayesinde LiB'ler, 21. yüzyılda elektrikli taşıtlar için tercih edilen teknoloji haline gelmiştir.

Elektrikli taşıtların en önemli bileşenlerinden biri, enerjiyi kimyasal formda depolayan ve aracın hareket etmesini elektriksel olarak sağlayan bataryalardır. Son dönemde daha hafif ve daha küçük tasarımlara olanak tanıyan yüksek enerji yoğunluğu ve verimliliğiyle öne çıkan LiB'ler, elektrikli taşıtların vazgeçilmez unsurları haline gelmiştir.

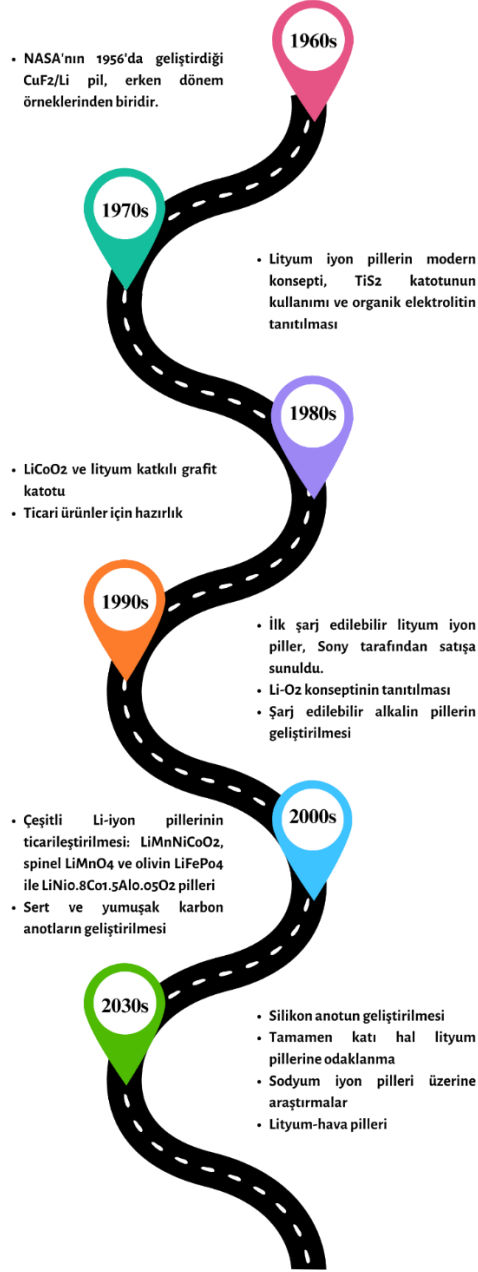


Şekil 1. LiB'lerin son on yılda fiyat değişimi

1. Lityum-İyon Bataryalar

Lityum iyon bataryalar (LiB), lityum iyonları hareket ettirerek elektrik enerjisi üreten bir tür şarj edilebilir bataryadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bir batarya türüdür çünkü yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ve uzun ömürlüdür. Cep telefonları, dizüstü bilgisayarlar, elektrikli araçlar ve birçok taşınabilir elektronik cihazda bulunurlar.

Şekil 2, LiB teknolojisi tarihindeki önemli kilometre taşlarını göstermektedir.



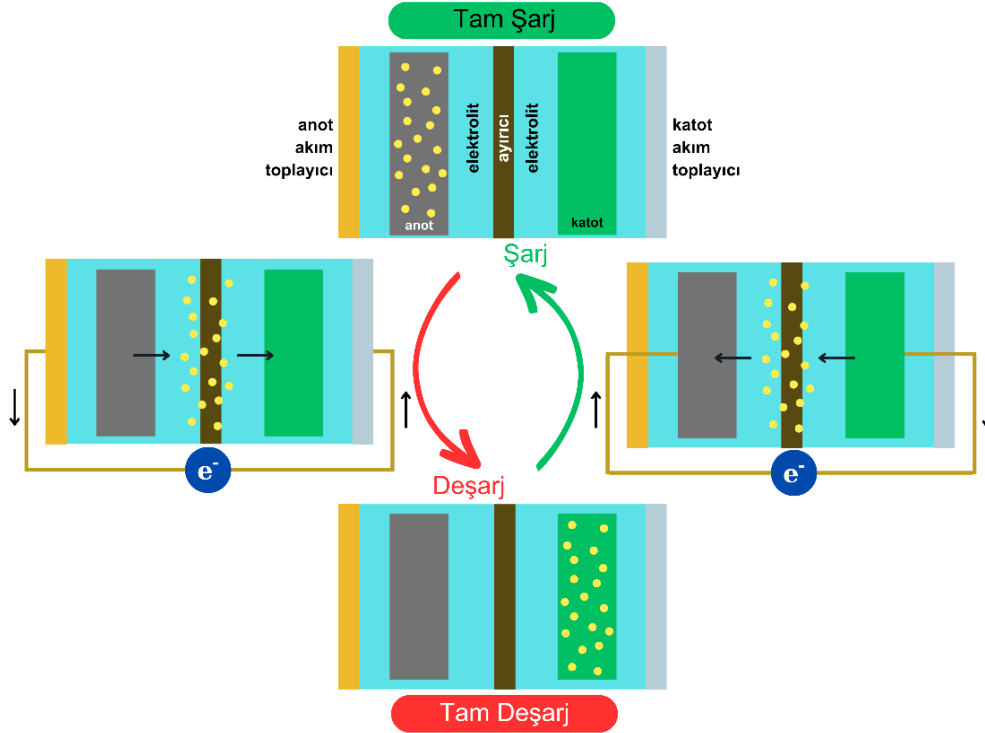
Şekil 2. LiB'lerin kilometre taşları

Lityum iyon bataryalar, içlerindeki lityum iyonlarının bir elektrot (anot) ile diğer elektrot (katot) arasında hareket etmesiyle çalışır.

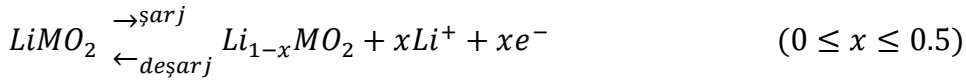
Şarj Edilme (Şarj İşlemi): Batarya şarj edilirken, dış bir güç kaynağından (şarj cihazı) sağlanan elektrik enerjisi kullanılır. Bu enerji, lityum iyonlarını katot (negatif elektrot) malzemesinden çıkarır ve anot (pozitif elektrot) malzemesine taşır. Anottaki lityum iyonları, karbon bazlı bir malzeme genellikle grafit, arasında yer alan elektrotta depolanır.

Deşarj Edilme (Deşarj İşlemi): Batarya bir cihaza bağlandığında veya bir cihaza güç sağlamak için kullanıldığında, deşarj işlemi gerçekleşir. Bu süreçte, anottaki lityum iyonları katota doğru hareket eder.

Lityum iyonları bu sırada, katot malzemesindeki (genellikle metal oksit) lityum iyonlarıyla reaksiyona girer. Bu reaksiyon sırasında, lityum iyonları elektronlar ile birleşir ve dış devrede elektrik akımı oluşturur.



Şekil 3. Şarj – deşarj durumlarında elektron ve iyon hareketleri



Yukarıdaki denklemlerde M ve C sırasıyla bir geçiş metalini (Kobalt (Co) gibi) ve grafiti ifade eder.

Lityum iyon bataryalarındaki elektrolitler, bataryanın içindeki lityum iyonlarının hareket etmesini sağlayan kritik bileşenlerdir. Elektrolitlerin rolü şunlardır:

- İyon Taşıyıcısı Olarak Görev Yapma
- Elektrik İletkenliği Sağlama
- Kimyasal Stabilité Sağlama
- Termal İletkenlik Sağlama

Genel olarak, elektrolitler lityum iyon bataryalarının verimli ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayan kritik bir bileşendir. Elektrolitlerin seçimi, bataryanın performansı, güvenilirliği ve güvenliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, elektrolitlerin doğru formülasyonu ve kalitesi, lityum iyon bataryalarının tasarımı ve üretimi sırasında büyük önem taşır.

Lityum iyon bataryalarındaki anot ve katot malzemeleri, bataryanın performansı, verimliliği ve ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İşte genel olarak kullanılan bazı anot ve katot malzemeleri:

Anot Malzemeleri:

- *Grafit (Karbon)*: En yaygın kullanılan anot malzemesidir. Grafitten yapılan anotlar, lityum iyonlarını depolayarak ve serbest bırakarak şarj ve deşarj işlemlerini gerçekleştirir. Grafitin avantajları arasında düşük maliyet, düşük ağırlık ve kararlı kimyasal özellikler bulunur.
- *Silikon ve Lityum*: Bazı gelişmiş batarya tasarımlarında, grafit yerine silikon bazlı anotlar kullanılabilir. Silikon, daha yüksek lityum depolama kapasitesine sahip olabilir, ancak silikonun hacim genişlemesi ve daralması, bataryanın ömrünü kısaltabilir.

Katot Malzemeleri:

- *Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit (NCA)*: Bu malzeme, yüksek enerji yoğunluğu ve uzun ömür gibi avantajlara sahiptir. NCA katotlar, elektrikli araçlarda ve diğer yüksek performanslı uygulamalarda sıklıkla kullanılır.
- *Lityum Manganez Oksit (LMO)*: LMO, daha düşük maliyetli ve daha güvenli bir seçenek olabilir, ancak enerji yoğunluğu genellikle daha düşüktür. Bu nedenle, LMO katotlar genellikle taşınabilir elektronik cihazlarda ve hafif uygulamalarda kullanılır.
- *Lityum Nikel Kobalt Manganez Oksit (NCM)*: NCM, NCA ve LMO'nun bir karışımıdır ve hem enerji yoğunluğu hem de maliyet açısından orta seviyededir. Bu nedenle, çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılır.
- *Lityum Demir Fosfat (LFP)*: LFP, özellikle güvenlik ve dayanıklılık açısından yüksek performans gösterir. Düşük enerji yoğunluğuna sahip olabilir, ancak uzun ömür ve termal kararlılık gibi avantajlar sunar.

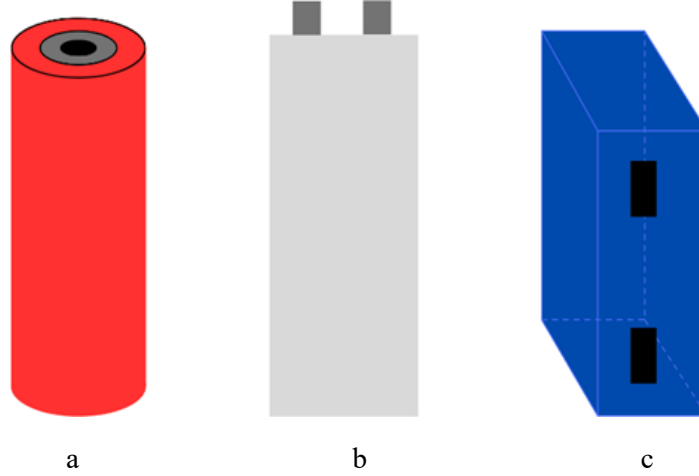
Tablo 1. Kimyalarına göre farklı ticari LiB türleri

Tür	LCO	LMO	LFP	NCA	NMC	LTO
Katot	LiCoO ₂	LiMn ₂ O ₄	LiFePO ₄	LiNiCoAlO ₂	LiNiMnCoO ₂	LiMn ₂ O ₄ or LiNiMnCoO ₂
Anot	Grafit	Grafit	Grafit	Grafit	Grafit	Li ₂ TiO ₃
Ticarileşme	1991	1996	1996	1999	2008	2008
Nominal Voltaj (V)	3.6	3.7	3.2	3.6	3.6 and 3.7	2.4
Çalışma voltajı aralığı (V)	3 - 4.2	3 - 4.2	2.5 - 3.65	3 - 4.2	3 - 4.2	1.8 - 2.85
Enerji yoğunluğu (Wh/kg)	150 - 200	100 - 150	90 - 120	200 - 260	150 - 220	50 - 80
Hayat döngüsü (çevrim)	500 - 1000	300 - 700	~2000	500	1000 - 2000	3000-7000
Isıl sürüklenme (runaway) (°C)	150	250	270	150	210	100
Uygulamalar	Tüketici elektroniği (cep telefonları, dizüstü bilgisayarlar, tabletler vb.)	Elektrikli aletler, tıbbi cihazlar, bazı tür elektrikli araçlar	Elektrikli aletler	Otomotiv endüstrisi	Elektrikli el aletleri, tıbbi cihazlar ve elektrikli araçlar	Otomotiv endüstrisi, elektrikli güç aktarma organları

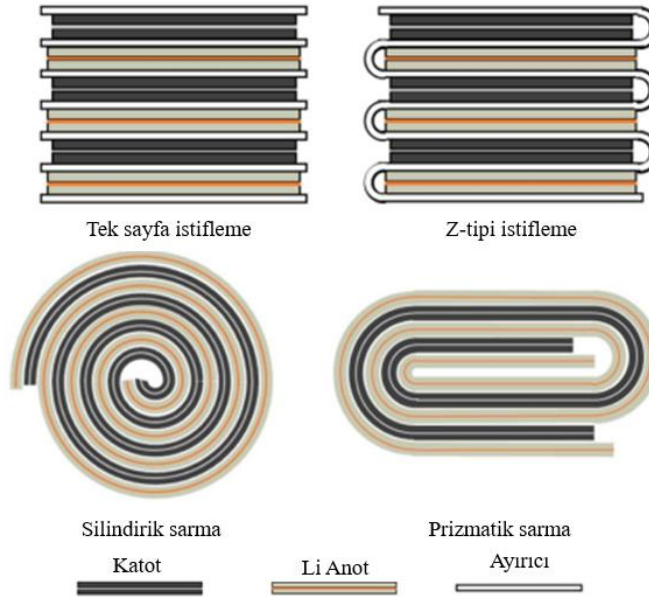
2. LiB Geometrik Yapı

LiB'lerde yaygın olarak kullanılan ortak geometriler, Şekil 2'de gösterildiği gibi silindirik, kese ve prizmatik tiplerdir. Silindirik ve prizmatik hücreler, tipik olarak alüminyum veya paslanmaz çelikten oluşan sert bir muhafaza içine yerleştirilirken kese hücreleri, çok katmanlı alüminyum kompozit folyolarla sarılır. Silindirik tipler, ayrırcılarla birlikte sarılmış elektrotları içerir ve jöle rulosuna benzeyen bir yapı oluşturur.

Öte yandan, prizmatik hücreler tarafından elektrotlar için istiflenmiş veya düz jöle rulolarının konfigürasyonları kullanılır. Kese hücrelerinin elektrotları yalnızca istiflenmiş düzenlemeyle karakterize edilir. Şekil 3’de hücrelerin imalatındaki farklı tasarım hususlarını şematik olarak göstermektedir. Prizmatik sarma, Asyalı batarya üreticileri tarafından kullanılan yaygın tekniktir; tek sayfa istifleme işlemi ise Avrupalı üreticiler arasında tercih edilen yöntemdir.



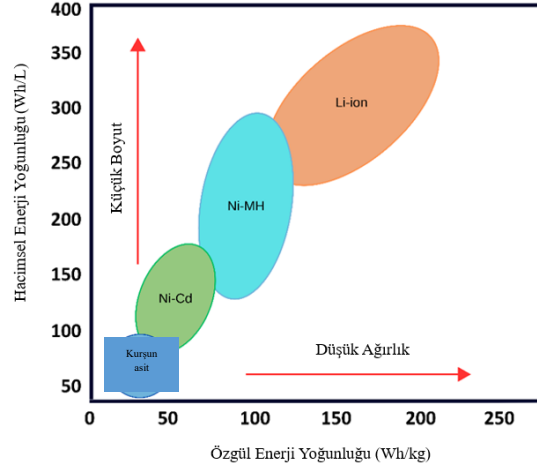
Şekil 4. Çeşitli uygulamalarda LiB geometrileri; a) silindirik b) kese c) prizmatik



Şekil 5. Batarya geometrilerinde çeşitli tasarım hususları

3. Avantajları ve Dezavantajları

LiB'ler, öncelikle *yüksek enerji yoğunluğu*, *hafif ve kompakt*, *hızlı şarj* gibi olağanüstü avantajlarından dolayı, ET'ler için baskın enerji depolama çözümü olarak yaygın bir şekilde tanınmaktadır. Yüksek enerji yoğunluğunun göze çarpan özelliği, LiB'lerin birim ağırlık başına önemli miktarda enerji depolamasını sağlar ve sonuç olarak ET'lere daha *ve artırılmış genel performans* sağlar.



Şekil 6. Farklı batarya türlerinin enerji yoğunluğu karşılaştırması

LiB'lerin hızlı şarj yetenekleri elektrikli araç yelpazesine ilişkin endişeleri hafifletirken kullanıcılara daha olumlu bir deneyim sağlıyor. Ayrıca, şarj altyapısının ve batarya teknolojisinin iyileştirilmesine odaklanan araştırma ve geliştirme çalışmaları, hızlı şarj LiB'lerin performansını ve uygulanabilirliğini artırmaya devam ederek, modern ET teknolojisinin temel taşı olma konumlarını daha da sağlamlaştırıyor.

Ancak bu avantajların yanı sıra LiB'lerin birtakım dezavantajları da vardır. Öne çıkan dezavantajlardan biri, *elektrikli araçların toplam maliyetinin* önemli bir bölümünü oluşturan LiB'lerin *yüksek üretim maliyetidir*. Bu maliyet faktörünün ele alınması, daha geniş bir pazara nüfuz etmek ve elektrikli araçları daha geniş bir tüketici kitlesi için daha erişilebilir hale getirmek için zorunludur.

LiB'lerin şarj-deşarj döngüleri ve çalışma koşulları, özellikle *sıcaklık gibi faktörlerden etkilenen sınırlı ömrü*, uzun vadeli dayanıklılık açısından endişe yaratıyor. Yüksek sıcaklıklar batarya içindeki kimyasal reaksiyonları hızlandırdığından ve çevrim ömrünün azalmasına neden olduğundan sıcaklık LiB'lerde çok önemli bir rol oynar.

Yüksek sıcaklık reaksiyonları sonucunda *termal kaçak* meydana gelebilir ve bu durum *bataryanın patlaması ve yangın riski* gibi tehlikelere yol açabilir. Tersine, düşük sıcaklıklar da kimyasal reaksiyonları yavaşlatarak ve bataryanın verimliliğini azaltarak bataryanın performansını ve ömrünü olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, LiB'lerin çevrim ömrünü maksimuma çıkarmak için optimum çalışma sıcaklığı aralığını korumak çok önemlidir. Genel olarak 15°C ile 35°C arasındaki sıcaklıkların LiB performansı ve uzun ömür için ideal olduğu kabul edilir. bataryanın bu aralığın dışındaki sıcaklıklara, özellikle de yüksek sıcaklıklara maruz bırakılması, bataryanın daha hızlı bozulmasına ve çevrim ömrünün kısılmasına neden olabilir.

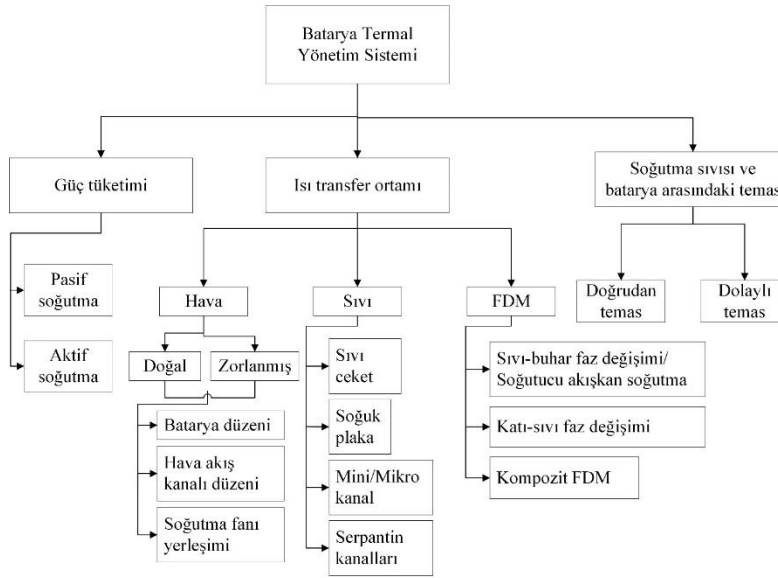
Şu ana kadar bahsedilen dezavantajlar LiB'lerin uygulanmasıyla ilgiliydi. Bunların yanı sıra LiB'lerle ilgili iki önemli endişe vardır: bunların *üretimiyle ilgili sorunlar ve kullanım sonrası atıkların yönetimi*. LiB'lerin üretim süreci, lityum, kobalt ve nikel gibi sınırlı doğal kaynakların çıkarılmasını ve işlenmesini içerir. Bu kaynaklar genellikle madencilik ve çıkarma faaliyetleri yoluyla elde edildiğinden, bu durum önemli çevresel ve etik kaygılara yol açmaktadır; bu da habitat tahribatına, su kirliliğine ve karbon emisyonlarına yol açabilmektedir. Bununla birlikte, kullanım ömrü sonundaki LiB'lerin bertarafı, toksik maddelerin çevreye salınma potansiyeli nedeniyle çevresel zorluklara yol açmaktadır. Düzenli depolama veya yakma gibi uygun olmayan bertaraf yöntemleri, tehlikeli kimyasalların toprağa ve suya salınmasına neden olarak insan sağlığı ve ekosistemler için risk oluşturabilir. Ayrıca LiB'ler geri dönüştürülebilir değerli malzemeler içerir; Ancak

mevcut geri dönüşüm altyapısı genellikle yetersiz olduğundan geri dönüşüm oranları düşük ve atık üretimi artıyor.

Avantajlar	Dezavantajlar
<i>Yüksek enerji yoğunluğu</i>	<i>Yüksek üretim maliyeti</i>
<i>Hafif ve kompakt yapı</i>	<i>Sıcaklık faktörlerden etkilenen sınırlı ömrü</i>
<i>Hızlı şarj</i>	<i>Üretimiyle ilgili sorunlar (hammadde)</i>
<i>Geniş sürüş menzili</i>	<i>Kullanım sonrası atıkların yönetimi</i>

4. Batarya Termal Yönetim Sistemleri (BTYS)

BTYS'nin geçmişten günümüze gelişimi boyunca her geçen gün farklı yöntemlerin sürekli olarak geliştirildiği ortadadır. Bu durum BTYS'nin sınıflandırılmasında çeşitli yaklaşımlara yol açmıştır; ancak genel olarak alt sınıflandırmaların ortak noktalarda bulunduğu söylenebilir.



Şekil 7. BTYS sınıflandırması

Aktif soğutma tipik olarak batarya sıcaklığını düşürmek veya artırmak için çalışma akışkanını (hava, su veya başka bir sıvı gibi) iten bir fana veya pompaya sahiptir. Pasif soğutmada ise ısı alıcılar veya termal olarak iletken malzemelere sahip borular ısıyı bataryadan uzaklaştırır.

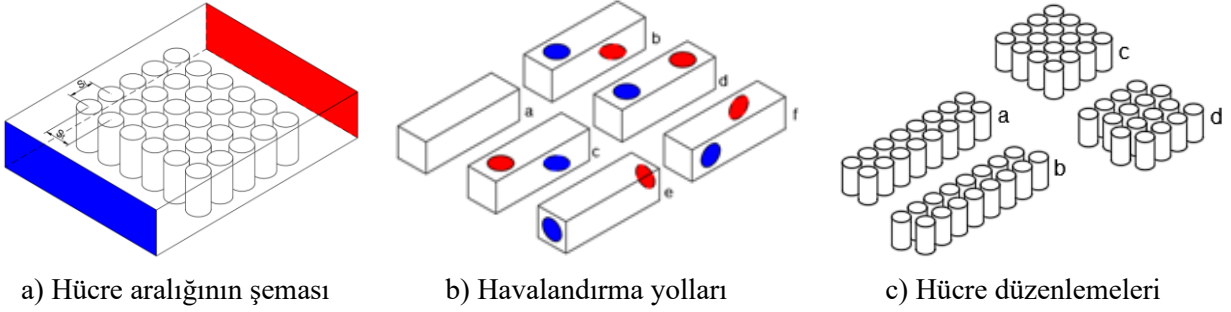
Şekil 7'den görülebileceği gibi, bataryalar için termal yönetim stratejileri, ısı transfer ortamına bağlı olarak üç yönteme ayrılabilir: hava soğutma, sıvı soğutma ve faz değiştiren malzeme (FDM) soğutma. Hangi yöntemin kullanılacağına seçimi doğrudan bataryanın özel kullanım koşullarına bağlıdır. Başlangıçta çalışma koşulları, iklim, enerji verimliliği, güvenlik hususları, ağırlık ve alan kısıtlamaları, maliyet etkinliği, ayrıca güvenilirlik ve dayanıklılık gibi faktörler sıralanabilir. Bunlar, ET batarya sistemleri için en uygun BTYS'nin belirlenmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Mevcut BTYS konularındaki tüm bu faktörleri kapsayan zorlukların üstesinden gelmek için birden fazla termal yönetim stratejisini birleştiren hibrit yöntemler de geliştirilmektedir. Ancak hava ve sıvı bazlı yöntemlerin hala ticari ET şirketleri tarafından en yaygın kullanılan yöntemlerdir.

4.1. Hava Soğutma

Basit tasarımı ve maliyet etkinliği nedeniyle hava soğutma sistemi, ticari uygulamalar için köklü bir çözümdür. Etkili hava soğutması sağlamak için sıcaklık tutarlılığını koruyan ve batarya paketini istenen

sıcaklık aralığında tutan dikkatle tasarlanmış bir konfigürasyonun uygulanması oldukça önemlidir. Bu nedenle ET üreticileri ve araştırmacıları, ET'lerin genel performansını artırmak için sürekli olarak bu sistemlerin tasarımını ve verimliliğini iyileştirmeye çalışmaktadır.

Hava tabanlı batarya termal yönetim sistemi çalışmalarında araştırmacıların sıklıkla hava yolu tasarımı, hücre aralığı ve batarya paketi konfigürasyonu gibi parametrelere odaklandığı dikkat çekmektedir. Hava tabanlı BTYS çalışmalarının önemli bir kısmında araştırmacılar, hava giriş ve çıkış konumları ile bu konumlardaki havanın batarya soğutma performansı üzerindeki etkisine odaklanmıştır.

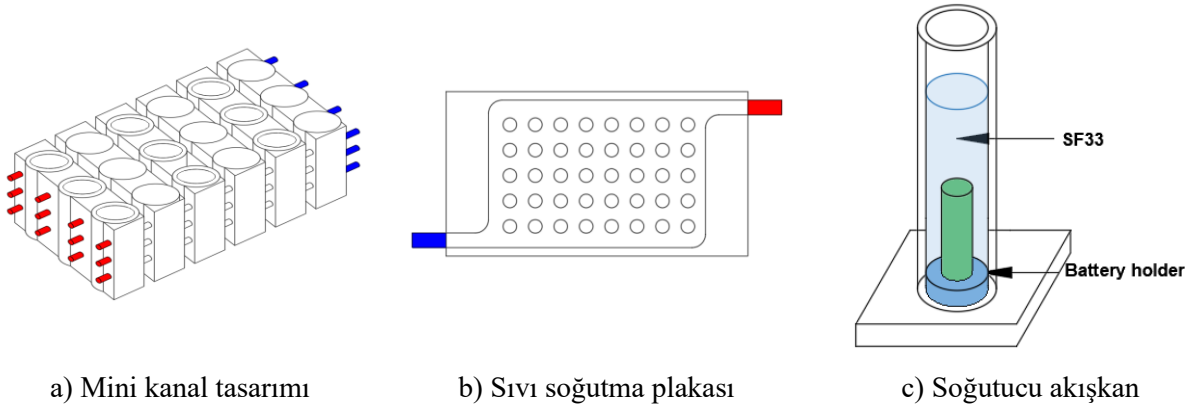


Şekil 8. Hava soğutma düzenlemeleri

4.2. Sıvı soğutma

Hava soğutma sistemleri daha basit ve ucuz olmasına rağmen özellikle elektrikli araç batarya paketlerinde bataryaların istenilen sıcaklık aralığında tutulmasında yeterince etkili olamamaktadır. Sıvı soğutma sistemleri, yüksek kapasiteli bataryalar için kritik olan hava soğutma sistemlerine göre daha fazla ısı emebilir. Isı transfer katsayısının yüksek olması nedeniyle sıvı soğutma sistemleri hava soğutma sistemlerine göre daha verimlidir ve daha az pompalama gücü gerektirir.

Sıvı soğutmalı BTYS'lerin çoğunun, sıvı soğutma sisteminin performansını belirlemek için esas olarak kanal tasarımı, soğutma plakası konfigürasyonları ve soğutucu akışkan tipine odaklanmaktadır.



Şekil 9. Sıvı soğutma düzenlemeleri

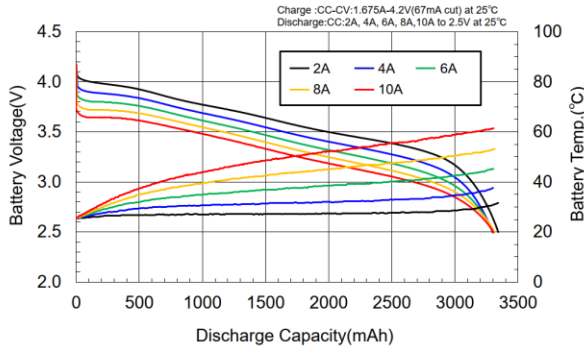
4.3. Faz değıştiren malzeme (FDM)

Bir batarya paketinde, FDM'ler genellikle paketin kasasına entegre edilir veya batarya hücrelerinin yakınına yerleştirilir. Bataryaların optimum çalışma sıcaklıklarını korumak için şarj veya deşarj sırasında oluşan fazla ısıyı emerek ve gerektiğinde serbest bırakarak termal tampon görevi görürler. Bu, batarya performansının, ömrünün ve güvenliğinin artırılmasına yardımcı olmaktadır. Parafin gibi hidrokarbonlar, grafit kompozitler, tuz hidratlar ve çeşitli asitler FDM olarak kullanılmaktadır.

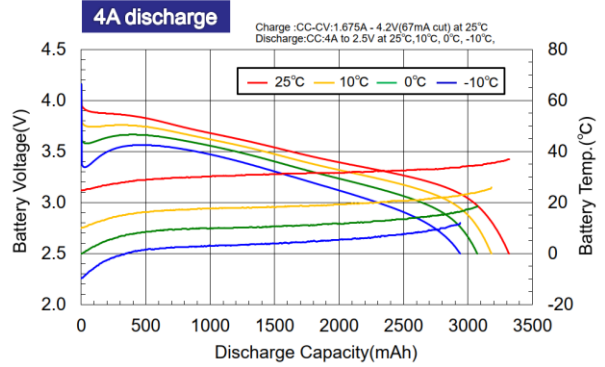
5. Örnek Batarya Özellikleri

NCR18650GA					
Özellikler			Boyutlar		
Kapasite (20 °C)		3300 mAh			
Kapasite (25°C)	Minimum	3350 mAh			
	Tipik	3450 mAh			
Nominal Voltaj		3.6 V			
Deşarj	Akım	max. 10 A			
	Voltaj	2.5 V			
Şarj	Method	CC-CV			
	Voltaj	4.20 V			
	Akım	Std.1475 mA			
	Süre	Std. 270 dk			
Ağırlık (max)		48.0 gr			
Sıcaklık	Şarj	+10 - +45 °C	Muhafaza ile	H	max. 65.30 mm
	Deşarj	-20 - +60 °C		D	max. 18.50 mm
	Depolama	-20 - +50 °C		d	max. 9 mm
Enerji Yoğunluğu*	Hacimsel	693 Wh/L			
	Ağırlıksal	224 Wh/kg			

* Enerji yoğunluğu muhafaza olmadan hücre boyutları kullanılarak hesaplanmıştır.



NCR18650GA'nın deşarj hızı özellikleri



Deşarj Sıcaklığı NCR18650GA'nın özellikleri

6. Batarya Paketleme

