



ŞARJ EDİLEBİLİR PİLLERE GENEL BAKIŞ

Kadir Can SEZER^{1*}, Gültekin BASMACI²

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye

² Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Şarj Edilebilir, Sekonder Pil, Elektrokimyasal, Li-İyon, Na-İyon.</i>	Günümüzde insansız hava araçları, insansız su altı araçları, robotik ve otonom cihazlar, hibrit ve elektrikli taşıtlar, taşınabilir bilgisayarlar, ileri teknoloji cep telefonları, küçük dijital kameralar, askeri yenilikler ve kablosuz cihazlar oldukça yaygınlaşmıştır. Bu nedenle, bu teçhizatlar için enerji depolaması sorunu oluşmuştur. Günümüzde en verimli piller arasında yer alan lityum iyon piller, piyasada yadsınamayacak kadar geniş bir alana sahiptir. Lityum iyon piller çok büyük bir kapasiteye sahiptir. Bununla birlikte, dünyadaki lityum kaynağının sınırlı olmasından dolayı, lityum iyon piller neredeyse sınırlarına ulaştı ve yüksek bir maliyetle karakterize edildi. Bu da lityum iyon pilleri gibi şarj edilebilir piller olarak adlandırılan bu tür teknolojilerin daha da geliştirilmesini gerektiriyor. Bu makale geçmişten günümüze geliştirilmiş olan sekonder yani şarj edilebilir pilleri incelemek için derlenmiş bir makaledir, bu piller, lityum hava piller, sodyum iyon piller, lityum sülfür piller gibi lityum iyon sonrası piller ve kurşun asit, nikel kadmiyum, nikel çinko, nikel metal hidrit gibi şarj edilebilir pillerdir.

OVERVIEW OF RECHARGEABLE BATTERIES

Keywords	Abstract
<i>Rechargeable, Secondary Battery, Electrochemical, Li-Ion, Na-Ion.</i>	Today, unmanned aerial vehicles, unmanned underwater vehicles, robotic and autonomous devices, hybrid and electric vehicles, portable computers, high-tech mobile phones, small digital cameras, military innovations and cordless devices have become widespread. Therefore, energy storage problem has arisen for these equipment. Lithium ion batteries, which are among the most efficient batteries today, have an undeniable wide area in the market. Lithium ion batteries have an enormous capacity. However, due to the limited supply of lithium in the world, lithium-ion batteries have almost reached their limits and are characterized by a high cost. This requires further development of such technologies called rechargeable batteries, such as lithium-ion batteries. This article is a review article to examine secondary rechargeable batteries developed from the past to the present, such as, lithium air batteries, sodium ion batteries, lithium sulfur batteries such as batteries developed on lithium-ion infrastructure and lead acid, nickel cadmium, nickel zinc, nickel metal hydride types of rechargeable batteries.

Alıntı / Cite

Sezer, K. C., Basmacı, G., (2022). Şarj Edilebilir Piller Genel Bakış, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(1), 297-309.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

K.C. Sezer, 0000-0001-8941-9251
G. Basmacı, 0000-0003-4818-3160

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	02.06.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	19.08.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	04.10.2021
Yayın Tarihi / Published Date	23.03.2022

* İlgili yazar / Corresponding author: 2030125013@ogr.mehmetakif.edu.tr, +90-506-841-5600

1. Giriş (Introduction)

Yeni sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan gereksinimin artması ve elektrikli ulaşım araçlarının yaygınlaşması elektrokimyasal batarya teknolojisini ön plana getirmiştir (Kocaman, 2019). Hali hazırda kullanılmakta olan fosil yakıtlı taşıtların, elektrik enerjili taşıtlara dönüşmesi, dünya ve hayat standartları açısından çok önemlidir (Etacheri vd., 2011; Demir ve Aküner, 2018; Güneş vd., 2018). Bu alanlardaki devrimci çalışmalar büyük miktarlarda enerji depolama ihtiyacı oluşturmaktadır. Bu depolama birimleri büyük enerji ve büyük güç barındırmaya gereksinimle beraber, düşük maliyetli ve dayanıklı olmaya da ihtiyaç duymaktadır (Din vd., 2017; Mulder vd., 2013). Ayrıca günümüzde taşınabilir elektronik ve elektrikli cihazlara olan gereksinimlerin yoğunlaşmasıyla beraber yüksek performanslı pillere ihtiyaç oluşmuştur (Moralı ve Erol, 2020).

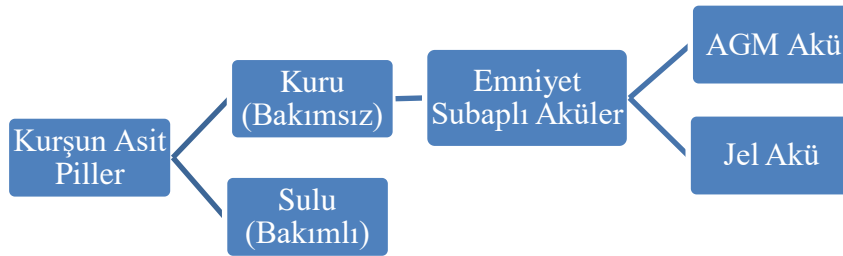
Enerji depolama sistemlerinden olan piller, birincil (şarj edilemeyen) ve ikincil (şarj edilebilen) olarak iki genel tanımda ayrılmaktadır. Kurşun-asit (Pb-asit), nikel-kadmiyum (Ni-Cd), nikel-çinko, nikel-demir, gümüş-kadmiyum, gümüş-çinko, çinko-mangan, nikel-metal hidrit (Ni-MH) ve lityum-iyon (Li-iyon) pilleri ikincil pillerdendir (Zhu vd., 2014). Enerji depolama çalışmalarında yüksek enerji yoğunluğu, uzun kullanım süreleri, hızlı şarj olabilmesi ve hem potansiyel hem sıcaklık bakımından sağlıklı çalışma aralıklarına sahip olması gibi yeteneklerinden dolayı Ni-MH ve Li-iyon bataryaların kullanım oranı yüksektir (Morimoto vd., 2018).

2. Şarj Edilebilir Piller (Rechargeable Batteries)

2.1. Kurşun Asit Piller (Lead Acid Batteries)

Kurşun-asit piller yeniden şarj olabilen piller içinde en yaygın ve en eski çeşittir. Bu piller 1860'da Gaston Plante tarafından keşfedilmiştir (Dell ve Rand, 2001). Elektrokimyasal tabanlı enerji kaynakları arasında öne çıkan temiz ve yenilikçi enerji kaynaklarından biridir. Kabaca bakıldığında kurşun-asit piller birbirine benzeyen ve birden çok hücreden oluşur. Sistem bir hücre anot, diğeri katot olmak üzere ve bu iki hücreyi birbirinden ayıran bir ayırıcıdan oluşmaktadır. Katot hücre çoğunlukla kurşun veya kurşun alaşımlarından oluşurken, anot hücre kurşun oksitten oluşmaktadır. Elektrolite bakacak olursak %30-40 kütle oranında sülfürik asit çözeltisi pile katılmaktadır.

Kurşun asit piller temelde sulu (bakımlı) ve kuru (bakımsız) olarak iki ana gruba ayrılırlar. Kuru pillerin bir diğeri emniyet subaplı akülerdir. Emniyet subaplı aküler imalatı esnasında tercih edilen hammaddeye göre iki alt gruba ayrılmaktadır. Bu iki alt grup, Jel ve Emici Cam Mikro-Fiber (Absorbed Glass Mat) AGM akülerdir (Gençten, 2013). Şekil 1.'de kurşun-asit pillerin gruplandırması gösterilmiştir.



Şekil 1. Kurşun Asit Pillerin Gruplandırması (Classification of Lead Acid Batteries)

Sulu tip asit pilleri sülfürik asit (elektrolit) karışımı içine anot ve katot plakalarının daldırılması ile oluşturulur. Bu tip kurşun-asit pillerde aşırı yüklenme durumunda anot ve katot plakalarda oksijen ve hidrojen oluşumu gözlenir. Bunlar direkt olarak sistemden uzaklaştırıldığında elektrolitte azalma gerçekleşir ve plakaların elektrolit karışımı ile temas alanı düşer. Bu da şarj süresince yüksek ısı oluşmasına neden olur ve pil verimliliğini olumsuz etkiler. Bu şartlarda sisteme sürekli su veya elektrolit eklemek gerekmektedir. Bu gerekliliklerden dolayı sulu tip piller bakım gerektiren aküler olarak bilinir ve zamanla kullanılabilirliği büyük oranda azalmıştır (Rand vd., 2004).

Emniyet subaplı akülerde, (Valve-Regulated Lead-Acid) VRLA sulu tip akülerden farklı olarak tek yönlü bir subap oluşan oksijen ve hidrojenin sistem içerisinde kalmasını sağlar. Akü kapalı bir sistem olduğu için yüklenme anında pozitif plakada açığa çıkan oksijen sistemden atılamaz ve bu oksijen negatif plakaya yönlendirilerek plakada moleküler oksijen iyonuna indirgenir. İndirgenen iyonlar negatif plaka üzerinde elektrolitten açığa çıkan proton ile etkileşime geçerek su molekülünü meydana getirirler. Bu sayede pilde su eksilmesi yaşanmadığı için bakımlı tip akülerde olduğu gibi sisteme su ve asit yüklemesi yapmaya gerek kalmamaktadır. Bu nedenle VRLA aküler bakımsız veya kuru tip aküler şeklinde de isimlendirilir (Gençten, 2013).

VRLA aküler pozitif ve negatif plakalar arasındaki elektroliti sabitleme şekline göre ikiye ayrılır:

- Jel Akü: Sülfürik asit, çok dar aralıklı, büyük yüzey alanlı silika ile karıştırılır. Bekletilerek jölemsi kıvamda yapışkan bir karışım halini alır. Oksijen aktarımı, kısmi kuruma ve daralmanın getirisi olarak pil kullanımının erken safhalarında gerçekleşen jeldeki çatlaklar vasıtasıyla meydana gelir.
- AGM Akü: AGM, bu aküdeki ayırıcının yapıldığı Emici Cam Mikro-Fiber'in (Absorbed Glass Mat) kısaltmasıdır. AGM genellikle emme kapasitesinin % 90 ila 95'i oranında asit emdirilir. Asit emdirilmeyen gözenekler, oksijenin negatif plakaya aktarımını sağlamak üzere bulunur. AGM ayırıcılar, hem şarj hem de deşarj anında iyonların hızlı aktarımına izin vererek iç direnci minimuma indirmek için plakalarla en yakın konumda olmalıdırlar. Yeterli teması sağlamak için, plaka grubu akü kutusuna sık bir biçimde oturtulmak suretiyle sıkıştırılır (Rand vd., 2004).

Jel ve AGM VRLA tip akülerin sulu tip akülere göre avantaj ve dezavantajları Tablo 1'de gösterilmiştir.

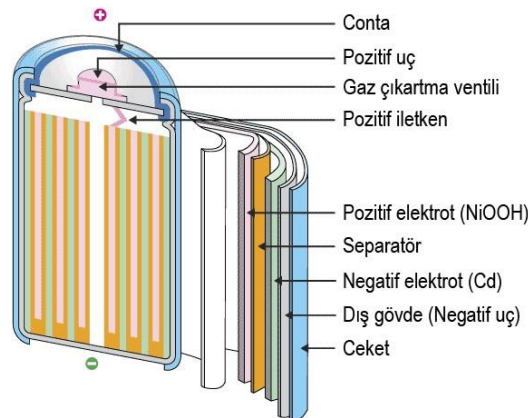
Tablo 1. Jel ve AGM Tip Akülerin Sulu Tip Akülere Göre Avantaj ve Dezavantajları
(Advantages and Disadvantages of Gel and AGM Batteries Compared to Water Type Batteries)

Madde	Avantajlar	Dezavantajlar
1	Asit ve su eklemek gerekmemesi	Dikkatli şarj edilmesi gerekmektedir
2	İhmal edilebilir asit dumanları	Sıcaklık dengelemesi daha önemli (Özellikle AGM tipi akülerde)
3	Taşıma kolaylığı	Pil kapasitesini tamamen doldurmak için yüksek voltajlarla şarj edilme gereksinimi
4	Özel havalandırma gerektirmemesi	Çevrim sayısının düşük olması
5	İhmal edilebilir asit katmanlaşması (Jel tipi)	Bağlı yoğunluk ölçülemiyor
6	Oda sıcaklığında daha düzenli çalışma	Maksimum 2 yıllık raf ömrü
7	Yüksek verimde deşarj kapasitesi (Akü deşarj olduktan sonra içeriğinde artık gerilim barındırmaması demektir)	-

2.2. Nikel Kadmiyum Piller (Nickel Cadmium Batteries)

İlk keşfedilen sekonder pil teknolojilerinden biridir. Elektrik yükü ile yüklükten artı kutupta nikel hidroksit vardır, eksi kutupta ise sadece kadmiyumdur mevcuttur. Potasyum hidroksit elektrolit çözeltisidir. Ni-Cd bataryaların, kendinden sonra keşfedilen sekonder pil türlerine göre öncelikli bazı avantajları çok güvenilir olmaları, hızlı şarjda güvenli olmaları, daha fazla şarj edilebilmeleri ve sıfırın altındaki sıcaklıklarda dahi sorunsuzca kullanılabilir olmaları. Bu avantajlarından dolayı Ni-Cd bataryalar özellikle taşınabilir kablosuz enerji depolama cihazlarında kullanılmaktadır (Hung vd., 2018).

Ancak yapısındaki büyük miktarlardaki kadmiyum elementinden dolayı yeni uygulamaların çoğunda nikel kadmiyum bataryalar yerine metal hidrür bataryalar kullanılmaktadır. Kullanımının azalmasına neden olan başlıca dezavantajlarından bir diğeri de birincil alkali mangan ve lityum bataryalarına kıyasla düşük gerilim üretmeleridir (Yu vd., 2000). Nikel kadmiyum pillerin kullanımında karşılaşılan avantaj ve dezavantajların geneli Tablo 2'de görülebilir.



Şekil 2. Nikel Kadmiyum Pil Kesit Görüntüsü (Section View of Nickel Cadmium Battery) (<https://tap.org.tr>)

Nikel kadmiyum bataryalara özgü bir sorun olan klasik hafıza etkeni de bu pillerin kullanımındaki sorunlardan bir diğeridir. Hafıza etkeni kabaca pilin deşarj olmuş hali ile kalarak yeniden şarj edilebilme yetisini kaybetmesi demektir. Bu soruna pildeki eksi kutbu oluşturan kadmiyum elementi neden olmaktadır. Olumsuz bir etmen olan hafıza etkeni bataryanın doğru kullanılmaması halinde kapasitede azalmaya neden olabilir. Bu oluşumun nedeni bataryanın uzun süreler boyunca düşük akımla şarj olması ya da bataryanın deşarj edilirken kapasitesinin büyük kısmının boşaltılmamasından dolayı eksi kutup olan kadmiyum çevresinde kristalleşmelerin meydana gelmesidir. Kristalleşme arttıkça eksi kutbun çevresi sarılır ve batarya kapasitesini ve gerilimini sadece çok kısa dakikalar boyunca üretebilir. Kristalleşme sorununun önüne geçmek için şarj edilmiş haldeki bataryaya şarj yüklemesi yapılmaması ayrıca teçhizat kullanılamaz hale gelinceye kadar bataryanın boşaltılması gerekmektedir. Günümüzde kullanmakta olduğumuz şarj aletlerinin pildeki şarj seviyesini ve şarj edilebilir kapasitesini ölçebilmesi sebebiyle hafıza sorunu, bu yeni şarj cihazlarıyla büyük oranda engellenebilmektedir (Özdoğan, 2010).

Tablo 2. Ni-Cd Bataryaların Kullanımındaki Avantaj ve Dezavantajlar
(Advantages and Disadvantages of Using Ni-Cd Batteries) (Uz, 2019)

Madde	Avantajları	Dezavantajları
1	İç gerilimi yüksek olmadığı için yüksek akım elde edilebilmektedir.	Spesifik hacimleri küçüktür.
2	Kendi kendine deşarj olma özelliği diğer pillere göre daha düşüktür.	Klasik hafıza durumunda ani gerilim dalgalanmalarında problemler yaratabilmektedir.
3	Soğuk ortamlarda verimli çalışabilmektedir.	İçerdiği toksik maddeler nedeniyle çevre dostu bir yapıya sahip değildir.

2.3. Nikel Çinko Piller (Nickel Zinc Batteries)

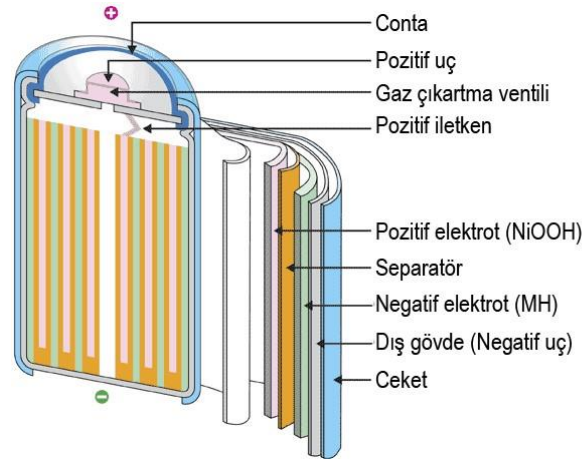
Şarj edilebilen Ni-Zn piller 1920'lerde keşfedilmiştir, ancak Ni-Zn piller yalnızca 2008 yılında tüketici pazarı için AA boyutunda satışa sunulabilmiştir (<https://reactual.com>). Ni-Zn pil pozitif ucun çinkodan, negatif ucun nikel oksitten oluştuğu elektrokimyasal bir enerji depolama kaynağıdır. Potasyum hidroksit, iletken materyalin verimini yükseltmek için lityum hidroksitin eklendiği bu tip hücrelerde potasyum hidroksit bir elektrolit olarak çalışmaktadır (<https://technoluxpro.com>).

Yakın dönemde yapılan bazı araştırmalarda, yüksek güç kapasitesi ayrıca yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasından dolayı hibrit taşıtlarda Ni-Zn bataryaların kullanılabilme şansı doğmuştur. Ayrıca pilin -39 ile +81°C gibi oldukça geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahip oluşu büyük bir avantajdır. Enerji yoğunluğu 70 Wh/kg ve güç yoğunluğu 150 W/kg olmasına rağmen bu pillerdeki başlıca sorun dendrit uzantıları görülmesi sebebiyle pilin ömrünün düşmesidir. Pil şarj durumundayken çinko anotta dendrit oluşumları gözlenmektedir bu da pilin çevrim sayısını düşürdüğü için, bu pillerin yaygınlaşmasının önüne geçmiştir (Aras, 2009).

Bununla birlikte, Ni-Zn pillerin uzun bir ömrü yoktur yaklaşık 30-50 şarjdan sonra, kolayca tükenme eğilimindedirler. Ni-Zn piller ayrıca kimyaları için optimize edilmiş özel bir şarj cihazı gerektirir. Genel olarak Ni-Zn piller, yüksek güçlü, yüksek voltajlı bir pilin gerekli olduğu ve uzun ömürlülüğün gerekli olmadığı durumlarda iyi bir seçimdir (<https://technoluxpro.com>).

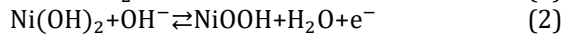
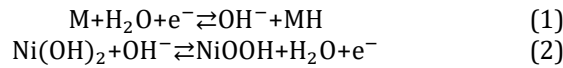
2.4. Nikel-Metal Hidrit Piller (Nickel-Metal Hydride Batteries)

Nikel-metal hidrit (Ni-MH) piller günümüzde tüketici elektroniği ve elektrikli araçlar alanında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır ve Ni-Cd ve Li-ion pillere göre çeşitli avantajlara sahiptir. Ni-MH piller yüksek enerji depolama yoğunluğuna sahiptir ve yüksek akım yoğunluklarında ve düşük sıcaklıklarda çalıştırılabilir. Kimyasal elementleri toksik değildir (Ledovskikh vd., 2003). Ni-MH piller, özellikle enerji yoğunluğu ve yaşam döngüsü açısından diğer ikincil pil türlerine göre birçok avantaja sahiptir. Bununla birlikte, NiMH pilinin maliyeti çok yüksektir (yaklaşık 250 \$ / kWh). Bu nedenle uygulamalarda elektrikli ve hibrit arabalar için güç kaynağı olarak kullanımları sınırlanmaktadır (Ying vd., 2006).



Şekil 3. Ni-MH PİL Kesit Görüntüsü (Section View of Ni-MH Battery) (<https://tap.org.tr>)

Temel Ni-MH pil elektrokimyası aşağıdaki reaksiyonlarda gösterilmiştir:



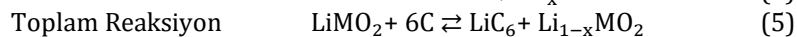
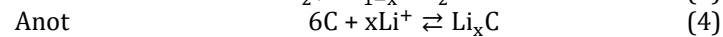
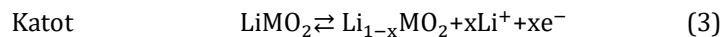
Negatif elektrotta (anot) meydana gelen reaksiyon Denklem (1)'de açıklanmaktadır. M, hidrojeni tersine çevrilebilir şekilde depolayabilen bir metal hidrit (MH) alaşımıdır ve MH, karşılık gelen hidridlenmiş metaldir. Şekil 3'te Ni-MH pile kesit görüntüsü ve pile ait elemanlar gösterilmiştir. Şarj sırasında, eklenen voltaj su molekülünü bir proton ve bir hidroksit iyonuna böler. Potansiyel ve difüzyon farkı tarafından yönlendirilen protonlar, elektrolitten MH alaşım partiküllerinin yüzeyine ve daha sonra alaşım yığına aktarılır. Deşarj sırasında protonlar ters yönde hareket ederler. Denklem (2), pozitif elektrottaki (katot) reaksiyonu temsil eder. Şarj sırasında protonlar $Ni(OH)_2$ 'den ayrılır, daha sonra katot yüzeyine hareket eder ve son olarak elektrolit içindeki hidroksit iyonlarıyla yeniden birleşir (Yan vd., 2017).

2.5. Lityum İyon Piller (Lithium Ion Batteries)

2.5.1. Lityum İyon Pillerin Çalışma Prensibi (Working Principle of Lithium Ion Batteries)

Lityum iyon bataryalar pozitif, negatif elektrot ve elektrolit olarak üç ana yapıdan oluşmaktadır. Hem anot hem de katot lityum iyonlarının geçişlerini engellemeyen mikro gözenekli polimer membran olan bir ayırıcı ile ayrılmaktadır. Katot genellikle katmanlı ya da oluklu yapıya sahip metal oksitlerden meydana gelir. Anot da katmanlı yapılardan meydana gelir. Anot ve katotun bu şekilsel yapıları sayesinde bataryanın şarj ve deşarj olduğu anlarda lityum iyonları anot ve katot arasında iki yönlü olarak hareket edebilmektedir. İki yönlü olarak gerçekleşen bu hareket topotaktik tepkimesi olarak adlandırılır. Topotaktik olarak adlandırılan bu tepkimede aktif maddeler pozitif ve negatif elektrotlar olarak lityum için bir nevi konak görevi görür lityum ise anot ve katot arasında hareket etmektedir (Polat ve Keleş, 2013).

Şarj esnasında lityum iyonları pozitif elektrottan koparak elektrolit vasıtasıyla ayırıcıdan geçer ve negatif elektrot ile bileşik meydana getirirler. Buna benzeyen bir biçimde pozitif elektrottan kopan elektronlar dış bir devre yoluyla negatif elektrot tarafından yakalanırlar (Miller, 2015). Bu reaksiyonların tersinir olmasından dolayı, sistem deşarj edilebilir olarak geçmektedir (Nitta vd., 2015). Şarj ve deşarj devam ederken elektrotlardaki potansiyel dalgalanmaları alt seviyelerde kalmalıdır. Bahsedilen kimyasal süreçler boyunca oluşan redoks reaksiyonları Denklem (3), (4) ve (5)'te görülebilir (Scrosati ve Garche, 2010).



2.5.2. Lityum İyon Pillerin Geleceği (The Future of Lithium Ion Batteries)

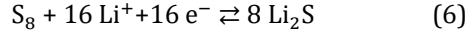
Lityum iyon bataryalar yakın gelecekte de elektrikli gereçler, (bilgisayar, ev aletleri, endüstriyel ürünler, telefonlar) elektrikli taşıtlar, insansız hava araçları, robotik teknolojiler gibi birçok alanda en yoğun kullanılan

enerji depolama sistemi olmaya devam edecektir. Fakat araştırmacılar, maliyet azaltmak, güvenli ve daha verimli elektrokimyasal pil gelişmeleri için yeni nesil lityum iyon sonrası batarya araştırmaları yapmaktadırlar (Yu vd., 2018).

Dünyada elektrikli taşıt satışlarının artışı, bundan 5 yıl önce öngörülenden yavaş artmıştır ki bu durum, elektrokimyasal pil sanayisinin yüz yüze kaldığı zorluğu göstermektedir: alıcılar, menzile (ve bağlantılı olarak enerji konsantrasyonuna) ve elektrikli taşıtlara ödedikleri ücretlere oldukça dikkat etmektedir. Tersinir bir pilin enerji konsantrasyonu öncelikli olarak negatif ve pozitif plakaların özel kapasiteleri ve çalışma potansiyelleri üzerinden belirlendiğinden, aktif materyallerin yakın tarihteki araştırmaların temel konusu olmasına neden olmuştur (Choi ve Aurbach, 2016).

2.5.3. Lityum Kükürt Piller (Lithium Sulfur Batteries)

1675 mAh/g kadar yüksek teorik gravimetrik kabiliyette olması, uygun fiyatı ve değerlendirilebilirliğinin kolaylığı nedenleriyle kükürdün bataryalarda tercih edilme oranı artmaktadır (Hatipoğlu, 2019). Li-İyon bataryaların yatırım giderinin % 40'ının katot materyalinin yüksek maliyetlerinden olduğunu değerlendirerek, katot madde olarak hem ucuz hem de yüksek gravimetrik yetenekteki sülfürün tercih edilmesi, giderleri düşürmede etkili bir yöntem olabilir. Lityum sülfür piller, řu an için ticari bir değer olmaktan ciddi anlamda uzaktadır. Sülfür katodu, çok kademeli komplike bir dönüşüm tepkimesi ile kullanılabilir duruma gelirken, anot genellikle şarj ve deşarj anlarında yüzeyinin kaplanmasına ve soyulmasına maruz kalan Li metalidir. Geri çevrilebilir sülfür lithasyonu alttaki Denklem (6)'da ki eşitlik ile meydana gelir ve potansiyeli hemen hemen 2,2 V (Li/Li⁺)'dur (Middlemiss ve Holland, 2018).



Geçmişten günümüze deneyler lithasyon anında meydana gelen %80 hacimsel genişlemesi buna bağlı elektrik iletkenliğindeki azalışa ve komplike tepkimeleri sebebiyle pozitif elektrot olarak kullanılan sülfüre odaklanmıştır. Lithasyon anında, orta ve yüksek çözünürlüğe sahip polisülfid, katot ve anot arasında hareket edebilir, bu nedenle negatif elektrotta aktif materyal eksilmesi oluşur ve pozitif elektrotun etkisizleşmesine yol açar. Bu etkilerin giderilmesi ile ilgili detaylı deneyler yapılmıştır (Wang vd., 2013).

Sülfürün pozitif elektrot olarak kullanılmasında ciddi gelişmeler yakalanmış olsa da, lityum-sülfür bataryasının çevrim sayısının negatif olarak kullanılan lityumdan doğan kullanım süresi ile kısıtlanması muhtemeldir. Yeni araştırmaların çoğunluğunda pozitif elektrot olan sülfürün gelişmesi ön planda olsa da, negatif elektrotun stabilitesinin geliştirilmesi ile ilgili araştırmalar da artış göstermektedir. Negatif elektrotun kararlılığı ile ilgili başka bir konu, negatif elektrota yönelen polisülfitlerin negatif elektrot üzerinde korozif etki yaratmasıdır. Bilhassa yüksek akımın yoğun olduğu anlarda kayda değer bir sorun olan Lityum elektrotta dendrit yapılarının oluşumu ve gelişimi gözlenebilir. Bu, toz lityum meydana gelmesini sağlar, toz haldeki bu lityum ve dendrit oluşumundan dolayı büyüyen yüzey alanı sebebiyle fazlaca polarizasyon ve elektrolit harcanmasına sebebiyet verir. Ayrıca, bu olumsuzluklar sistemde kısa devre oluşabilmesi gibi emniyet açısından sakıncalar ortaya çıkarmaktadır. Dendrit oluşumunu azaltmak için katı elektrolit ara yüzey plakasının meydana getirilmesiyle negatif elektrot dengesini yükseltebilmek için elektrolite ek maddeler katılmıştır (Cheng vd., 2018). Eter bazlı elektrolitlerde LiNO₃'ün dendrit oluşumlarını azaltmada yararlı olduğu verilmiştir, fakat büyük oranda sülfür iyonu hareketlenmesinde zararlı tepkimelerin önüne geçmek için yetersiz kalmaktadır ayrıca, negatif elektrotta 1,6 V değerinin altında bozunmaya uğrayabilir (Cheng vd., 2017).

2.5.4. Sodyum İyon Piller (Sodium Ion Batteries)

Sodyum iyon (Na-iyon) bataryalar, Lityum iyon pillere daha düşük maliyetli, daha emniyetli ve daha uzun yıllar kullanımına devam edilebilir bir seçenek olarak görülmektedir. Dünya'da lityum cevherinin yaklaşık 1000 katı sodyum cevheri var olduğundan ayrıca sodyumu deniz suyu gibi tuzlu su olarak adlandırdığımız sulardan da basitçe açığa çıkarabildiğimizden, sodyum ile lityum sürdürülebilirlik açısından kıyaslandığında sodyum tercih edilmektedir (Slater vd., 2012). Ek olarak da, lityum iyon bataryalarda negatif elektrotta elektron toplayıcısı olarak çalışan bakırın yerine daha düşük maliyetli alüminyum tercih edilebilmektedir (Yabuuchi vd., 2012). Alüminyum kullanımının nedeni, sodyum ve alüminyum arasında alaşım gerçekleştirmek üzere herhangi bir tepkime gerçekleşmemesidir. Na-iyon bataryalar üzerinde ısı firarlarının daha nadir görülmesinden dolayı yapısal olarak bakıldığında emniyet olarak daha üstün oldukları kabul edilmektedir (Xia ve Dahn, 2012). Ayrıca, sodyum iyon bataryaların enerjisi boşalmış haldeyken (%0 şarj) şarj edilebilirler, diğer piller tamamen boşaldığında kapasitelerini kaybetmeye başlarlar örneğın nikel kadmiyum pillerdeki hafıza etkisi bu duruma örnektir. Enerjisini tamamen boşaltabilme özelliği sayesinde sodyum iyon bataryaların transfer işlemleri daha güvenli olmaktadır. Bir diğer kayda değer avantaj, iki tek değerlikli iyon meydana getiren alkali metallerin

birbirine yakın kimyasal özelliklere sahip olmasından dolayı, önümüzdeki zamanlarda Na-iyon batarya üretiminin Li-iyon batarya alt yapısını kullanarak daha hızlı ve kolay bir şekilde yapılabileceği ön görülmektedir. Fakat, lityum iyon bataryalar yerine ek bir seçenek olarak kullanılması düşünülen Na-iyon bataryaların araştırma geliştirme çalışmalarında bir takım sorunlarla karşılaşmıştır (Tablo 3) (Deng vd., 2017).

Tablo 3. Na-İyon Bataryalardaki Sorunlar (Issues of Na-Ion Batteries) (Deng vd., 2017)

Katot
Kararlılık (Doğrudan H ₂ O / CO ₂ ile reaksiyona girer)
Tatmin etmeyen elektrokimyasal performans (düşük spesifik kapasite, düşük çevrim sayısı)
Düşük sodyum içeriği (Na _{0.67} Ni _{0.33} Mn _{0.67} O ₂ , Na _{0.67} Cu _{0.14} Mn _{0.86} O ₂ , P2-tipi katmanlı metal oksitler gibi)
Uygun parçacık boyutu dağılımı ve yüzey alanı
Anot
Düşük ilk kulombik verimlilik
Tatmin etmeyen elektrokimyasal performans (düşük spesifik kapasite, düşük çevrim sayısı)
Kararlı katı elektrolit ara yüz katmanı gerektirir
Uygun parçacık boyutu dağılımı ve yüzey alanı
Elektrolit (Sulu Sistem)
Düşük enerji yoğunluğu
Düşük çalışma potansiyeli
Elektrolit (Kuru Sistem)
Güvenlik sorunları
Yüksek maliyet
Ayırıcı ile uyumluluk

Tablo 3'te de görülebileceği gibi sodyum iyon pillerin kullanılabilir hale gelmesi için anot ve katot geliştirilmesine ek olarak elektrolit üzerine de çalışmalar yapılması gerekmektedir (Hatipoğlu, 2019).

Bir Na-İyon bataryada, negatif elektrot çoğunlukla sertliği yüksek bir karbondan imal edilir, bu sert karbon için grafit seçilemez çünkü grafitte karbon plakalarının birbirine uzaklığı, Na⁺ iyonlarının interkalasyonu için yeterli bir mesafe sağlamamaktadır. Lityum iyon bataryalardaki gibi, sodyum iyon bataryalarda da katı elektrolitlerin elektrokimyasal kapasitesi büyük oranda sıvı elektrolitlerin elektrokimyasal seviyesinin altında kalmaktadır, bu sebeple araştırmalara konu olan elektrolitler genellikle organik çözücüler ya da iyonik sıvı karışımlarıdır. Beklentilerin en yoğunlaştığı iki grup olan ve en dikkat çekici ve en çok gelişmenin meydana geldiği polianyonik malzemeler ve tabakalı geçiş metal oksitler ile oldukça fazla olası Na-İyon negatif elektrot materyal çeşitleri incelenmiştir. Polianyonik bileşiklerin yapısal sağlamlığı, istikrarlı bir yapıda oldukları ve sodyum iyonlarının iletimini kolaylaştıran kanal yapıları olduğu anlamına gelir. Katmanlı NaT_MO₂ (T_M=Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni) metal oksitlerin sentezinin görece basit olduğu, ek olarak yüksek enerji yoğunluğu ve yüksek voltaj sağlayabildiği görülmüştür (Yabuuchi vd., 2014).

2.5.5. Metal Hava Pilleri (Metal Air Batteries)

Metal-hava hücreleri, negatif elektrot malzemesi için havadan oksijen çekmesi sebebiyle spesifik enerjide kayda değer bir yükseliş vaat etmektedir. Lityum hava bataryaları, en iyi tersinir özelliğe sahiptir ama çevrim sayısının azlığı, verimsizliği ve düşük hızda çalışabilme özelliğine sahiptir. Geri dönüşümlü lityum hava bataryasının çalışma sistemi Denklem (7)'deki gibidir ve elektriksel potansiyeli takriben 2,91 V (Li/Li⁺)'dır (Rahman vd., 2013):



Lityum hava bataryalarında lityum eksi elektrotu, karbon bir hava pozitif elektrot ve susuz elektrolit ile ıslatılmış cam mikrofiber bir ayırıcıdan meydana gelir. Aktif katot materyali havadan çekilen O₂'dir ve karbon sadece O₂'nin katalitik indirgenmesi ve deşarj ürünlerinin birikmesi maksadıyla bir hacim olarak çalışır. Deşarj işlemlerinde, Li⁺ iyonları dış devreden gelen elektronlarla ve havadan çekilen O₂ ile birleşerek poroz O₂ elektrodunda Li₂O₂ oluştururlar (Mirzaeian ve Hall, 2009). Şarj sırasında ise, deşarj sırasında oluşan bu Li₂O₂ bileşeni Li ve O₂ olarak ayrışır (Algül, 2015).

Hem anotta hem de katotta dengede bir elektrolitin tercihi ve en gelecek vadeden seçeneklerden biri olan iyonik sıvılar, öncelikli araştırılma gereksinimindedir. Sistemde biriken, elektrokimyasal açıdan yalıtkan Li₂O₂'de kapasitenin üst sınırını düşürecek için geliştirilerek aşılmalıdır. Karbon karası çoğunlukla sistemde hava elektrodu olarak görev yapar ve çevrim ömrünü, başlangıçtaki kapasitenin % 90'ına çeker. Katot çözücünün ve tasarımın, başlangıç kapasitesi ve çevrim ömrü açısından da önem arz ettiğini görülmüştür (Ma vd., 2015).

3. Şarj Edilebilir Pillerin Kullanım Alanları (Usage Areas of Rechargeable Batteries)

Günümüzde insansız hava araçları, insansız su altı araçları, robotik ve otonom cihazlar, hibrit ve elektrikli taşıtlar, taşınabilir bilgisayarlar, ileri teknoloji cep telefonları, küçük dijital kameralar, askeri yenilikler ve kablosuz cihazlar oldukça yaygınlaşmıştır. Bu nedenle, bu teçhizatlar için enerji depolaması sorunu oluşmuştur ve bu sorunun çözümü için şarj edilebilir pillerden faydalanılmıştır.

3.1. Kurşun Asit Pillerin Kullanım Alanları (Usage Areas of Lead Acid Batteries)

3.1.1. Otomobil Aküleri (Accumulators)

Otomobil üretim endüstrisi yan kollarından olan aküler; elektrokimyasal olarak enerji sağlayan tersinir bir sistemdir. Akülerin çok farklı çeşitleri olmakla birlikte en yaygın kurşun-asit aküdür. Kurşun asit akü 1956 yılına geldiğinde Gaston Plante isimli mucit tarafından ilk defa kullanılabilir olarak geliştirilmiş ve bu gelişmenin ardından ticari olarak yaygınlaşmıştır (Demirci vd., 2019).

Deniz araçları, otobüs, kamyon, iş makineleri, jeneratörler, askeri araçlar vb. taşıtlarda kullanılmak üzere 12 ve 6 volt üretilen kurşun asit pillere verilen genel isim otomobil aküsüdür. Ticari anlamda en geniş pazara sahip akü çeşididir (Özermiş, 2010).

3.1.2. Sabit Tesis Aküler (Stationary Batteries)

Endüstriyel tipteki akülerdir. Sabit tesis aküler bakımsız tipteki kurşun asit pillerdendir, 25 amper 5000 amper aralığında ve 2 voltluk hücre yapıları halinde OpzS (tüplü), OGI (sıvama) tip üretilerek ihtiyaç duyulan gerilim değerine göre birleştirilmektedir. 12 ve 6 volt değerlerinde kalıp yapılarında 300 Ah' e kadar üretilmektedir. Güneş pilleri, rüzgar türbinleri (Başaran vd., 2011), hastane, haberleşme, kontrol sistemleri, güç istasyonları, pompa ve sulama merkezleri, güvenlik aydınlatmaları gibi sürekli enerjiye ihtiyaç duyan yerlerde kullanılmaktadır (Özermiş, 2010).

Bu aküler aldığı isimden de anlaşılacağı gibi, hareketsiz/sabit sistemlerde kullanılmak üzere üretilmektedir. Basitçe temelde kurşun asit aküler olarak adlandırılırsalar da, fiziksel yapılarından ve içyapılarından kaynaklanan farklılıklarla birçok çeşide sahiptir. Bakımsız olarak adlandırılan tipi en yaygın kullanılanıdır. Fiziki olarak küçük kapasite olarak düşük türleri var olduğu gibi, çalışma yapısı olarak tamamen aynı prensibe sahip büyük kapasite ihtiyaçlarını da karşılayacak şekilde üretilmektedir. Bakımsız valf ayarlı tipin kullanımı, hava temassız kapalı koşullar için çok önemlidir. Bu şekilde normal şartlarda aküden gaz çıkışı yada sızıntısı beklenmemektedir (Özermiş, 2010).

3.1.3. Çekici Aküler (Traction Batteries)

Tüplü pozitif plakalı (PzS) üretilen çekici olarak adlandırılan yüksek güç verebilen akülerdir. Materyallerin kaldırılması ve taşınmasında, ambalaj stantları ve yükseltmelerinde, elektrikli araçlarda, robotik taşıtlarda ve bazı spesifik hareket yapılarında kullanılabilirler. Yüksek verimli çevrim kapasitesi ve marş kapasitesi yüksek olan bu akülerin forklifte tercih edilen çeşidine ek olarak, alevlenmez kutu kapalı olarak özel üretilen dizel lokomotiflerin ve vagonların aydınlatmasında yararlanılan tipleri de mevcuttur (Özermiş, 2010).

3.2. Nikel Kadmiyum Pillerin Kullanım Alanları (Usage Areas of Nickel Cadmium Batteries)

3.2.1. Hibrit ve Elektrikli Taşıtlarda (Hybrid and Electric Vehicles)

Nikel kadmiyum piller, elektrikli taşıtlar için şarj durumu, akım ve sıcaklık gibi bazı özellikleri bakımından çeşitli ortam koşullarında incelenmiştir. Bu pillerin enerji yoğunluğu ve güç kapasitesi oldukça yüksektir ve bu sebeple uygun bir pil olarak kullanılabilir (Omar vd., 2014). Elektrikli bir araçta performansın üst seviyelerde tutulabilmesi içinde geliştirilen nikel kadmiyum piller mevcuttur (Jeyaseelan vd., 2020).

Fransız Saft firması da, uzun yıllardır elektrikli taşıtlarla ilgilenmektedir ayrıca hibrit otobüsler için bazı çözümlerin denemelerini gerçekleştirdi. Hibrit otobüslerdeki ilk denemeler, çelik konteynerlerde sinterlenmiş pozitif ve negatif elektrotlu hava soğutmalı nikel kadmiyum pilleri kullanımıydı. Sonrasında Saft firması, hava soğutmalı plastik kaplı negatif elektrotta sahip NiCd piller geliştirdi. Bu çözüm, pillerin hafiflemesine ve çevrim kapasitelerinde çok büyük artışa sahip olmalarını sağlamıştır. Bu yenilikler hibrit otobüsler için NiCd bataryaların kullanımının önünü açacaktır (Disosway, 1998).

3.2.2. Uçaklarda (Airplanes)

Nikel kadmiyum pilin, şarj hızı, raf ömrü, boşaltma hızı, maliyeti, ağırlığı, bakımı, hacmi gibi özelliklerinden dolayı, ticari ve kurumsal uçaklarda kullanımı görülebilmektedir. Genellikle hava taşıtlarında havalandırma tipi bataryalar kullanılmaktadır ve 12-24 volt değerini elde etmek için seri olarak birbirine bağlanır. Uçaklarda ayrıca, bir arıza gözlemlendiğinde otomatik olarak kapanan bataryanın durumunu izleyen bir arıza koruma sistemi vardır (Jeyaseelan vd., 2020).

3.2.3. Kablosuz Cihazlarda (Wireless Devices)

Elektrikli diş fırçaları, traş makineleri, radyo kontrollü oyuncaklar, telsizler, cep telefonları gibi birçok kablosuz cihazın enerji gereksinimini karşılamada nikel kadmiyum piller kullanılmaktadır. Bu cihazlarda nikel kadmiyum piller, yüksek sıcaklıklarda sorunsuz çalışabilmesi, taşınabilirliğinin olması (küçük boyutlu), yüksek çevrim sayısına sahip oluşu (1000 çevrime kadar), çoklu olarak bağlanarak düşük dirençlerle yüksek akım sağlayabilmeleri gibi özelliklerinden dolayı kullanılabilir. Hafıza etkisine sahip olması nedeniyle kısa devrelere yol açabilmesi, içeriğindeki kadmiyumun toksik bir madde olması, tamamen boşaltılmadan şarj edildiğinde kapasitesinin düşmesi gibi nedenlerden dolayı kullanım oranı azalmıştır (Jeyaseelan vd., 2020).

3.3. Nikel-Metal Hidrit Pillerin Kullanım Alanları (Usage Areas of Nickel-Metal Hydride Batteries)

3.3.1. Hibrit ve Elektrikli Taşıtlarda (Hybrid and Electric Vehicles)

Elektrikli araçlar için sağlıklı bir Ni-MH pilin temelde sahip olması gereken özellikler, enerji yoğunluğunun yüksek olması, yanlış kullanımları tolere edebilmesi, geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahip olması, hızlı şarj edilebilmesi ve hidrojeni katı hidrit formda depolayabilmesi şeklinde sıralanabilir (Arya ve Verma, 2020).

Elektrikli taşıtların ve benzinli taşıtların sunmuş olduğu sürüş deneyimleri birbirine çok yakın olmasına karşın, elektrikli taşıtların yatırım maliyeti benzinli taşıtlardan çok daha yüksektir. Konvansiyonel kurşun asit pillerle birlikte ayrıca, birçok otomobil şirketi nikel-metal hidrit piller kullanarak elektrikli taşıtlar geliştirmiştir. Binek araçlarda, pilin yerleştirileceği alanın kısıtlı olması sebebiyle, her şarj başına 200 km'den fazla sürüş menzili yalnızca Li-iyon ve Ni-MH batarya sistemleri ile mümkündür. Sadece elektrik enerjisi kullanan taşıtlar için batarya sistemlerindeki zorunlu faktör, akü hacmi başına enerji yoğunluğudur. Elektrikli taşıtların kullanımının artmasıyla karbon dioksit emisyonunun da düşürülebilmesi bekleniyor. Kısa menzili, ciddi maddi yatırımı gibi elektrikli araçlarla ilgili dezavantajlar, elektrikli araçların yaygınlaşmasının önüne geçmektedir. Batarya maliyetlerini düşürmek için, 100 km gibi bir menzille "Toyota e-com" (Sakai vd., 1999) tanıtıldı. Ancak ticari elektrikli araç üretimi için ekonomik bir sistem gereklidir (Arya ve Verma, 2020).

3.3.2. Kablosuz Cihazlarda (Wireless Devices)

1997 yılına gelinene kadar cep telefonlarında genellikle ana güç kaynağı olarak Ni-Cd piller kullanılmaktaydı. Ni-Cd pillerin sahip olduğu, hafıza etkisi, çalışma esnasında ısınma, kadmiyum elementinden kaynaklı yüksek toksisite, yeterli gücü sağlamak için gereken büyük boyut (telefon ağırlığının yaklaşık yarısı) gibi dezavantajlarından dolayı yeni bir şarj edilebilir pil teknolojisine ihtiyaç doğmuştur. Bu ihtiyaca karşı 1997'de Motorola firması Ni-MH pil teknolojisine sahip "166C" modelini piyasaya sürdü. Bu Ni-MH piller, Ni-Cd pillere kıyasla daha ince, daha hafif, toksik olmayan, daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması ve daha düşük hafıza etkisi gibi özelliklerinden dolayı ön plana çıktı. Ayrıca enerji depolama kapasitelerinde 950 mAh'den (Ni-Cd piller) 1300 mAh'ye (Ni-MH piller) önemli bir artış vardır. Bekleme süresi (telefon ile arama ya da başka bir işlem yapmadan sadece bekleme yapılarak telefonun açık kalabildiği süre) Ni-MH tabanlı cep telefonlarında 50 saate çıkarıldı (Arya ve Verma, 2020).

Fotoğraf makinelerinde piksel çözünürlüğünü artırmak ve cihaz üzerinde sabit olarak yer alabilecek flaşları da eklemek için yüksek kapasiteli pillere ihtiyaç vardır. Bu ihtiyacı karşılamak için 1998 yılında, Nikon markası Ni-MH pil tabanlı dijital tek lensli refleks kamera modeli "D1" piyasaya sürdü. Ni-MH piller ayrıca, tıbbi cihazlar ve donanımlar, video kameralar, elektrikli traş makineleri, çağrı cihazları gibi bazı taşınabilir cihazlarda kullanılmaktadır ayrıca telekomünikasyon, akıllı şebeke ve UPS gibi yüksek güçlü statik uygulamalarda kullanım alanlarındandır (Arya ve Verma, 2020).

3.4. Lityum İyon Pillerin Kullanım Alanları (Usage Areas of Lithium Ion Batteries)

Sony firması Lityum iyon pilleri ilk kez ticari olarak piyasaya süren firmadır, Sony firmasının arkasından kısa süre sonunda bazı başka şirketlerde lityum iyon pil üretimini başlatarak ticari olarak bu piyasaya dâhil oldu.

Lityum iyon pil ticari olarak piyasalara hızlı bir giriş yaparak yüksek satışlara sahip olmuştur. Takvimler 1998'i gösterdiğinde sadece Japonya içinde yıllık 2,1 milyar dolar ederinde 190 milyon Li-İyon pil üreticiler tarafından piyasaya sürülmekteydi. Günümüze bakarsak Li-iyon pillerin farklı ülkelerde üretimine devam edilmektedir ve her yıl kabaca 500 milyon Li-iyon pil üretimi yapılmaya devam edilmektedir. Üretimi yapılan bu piller temel olarak dijital kameralarda, cep telefonlarında ve laptop bilgisayarlarda kullanılmaktadır (Turhan, 2011). Ayrıca kişisel taşımacılıkta (motosiklet, bisiklet vb.), otobüs ve toplu taşımacılıkta, ağır iş kamyonlarında, robotik ve otonom sistemlerde, deniz altı ve deniz üstü araçlarda, hava uzay teknolojilerinde de kullanılmaktadır (Warner, 2015).

Li-iyon piller 3,7 volt gerilim üretebilmektedir ve nikel-kadmiyum, nikel-metal hidrit gibi pillerin kabaca 3 katı gerilim üretebilmektedirler. Başka sekonder piller ile karşılaştırıldığında hacimsel ve kütleli enerjilerinin yoğunluklarının yüksekliği, daha fazla gerilim üretmeleri, kullanılmadığında deşarj olma durumunun az olması, hafıza etkisinin görülmemesi gibi pozitif özelliklerinden dolayı en yaygın kullanımdaki pil çeşitlerinden biridir (Er, 2016).

4. Şarj Edilebilir Pillerin Şarj Metotları (Rechargeable Batteries Charging Methods)

4.1. Geleneksel Yöntemler İle (With Conventional Charging)

Bir pili şarj etmek için geleneksel yaklaşımda kullanılan birkaç teknik vardır. Tüketici ürünlerinde ilk ve en yaygın olanı, sabit akım damlama yüküdür. Bu şarj yöntemi, bataryaya çok düşük, sabit bir akım oranı sağlar ve batarya tam kapasiteye döndüğünde şarjı durdurmak için kullanıcı müdahalesine güvenir. Bu yavaş, "gece şarj cihazları" genellikle bir pili yaklaşık on saat içinde tamamen şarj edecek şekilde tasarlanmıştır. Çok ekonomiktirler ve tasarımları basittir ancak pilin performansını optimize edebilecek bir özellikleri yoktur. Düşük şarj hızları, kimyasal reaksiyonların elektrot yüzeyinde sınırlandırılmış olmasına ve dendrit büyümesi potansiyeline sebebiyet verir (Cope ve Podrazhansky, 1999).

Geleneksel yöntemlerden bir diğeri, sabit voltaj ile beslemedir. Pilin ne zaman tam olarak şarj edildiğini belirleyecek ve şarjı sonlandırarak olan ilkel şarj kontrol devresinin eklenmesini gerektirir. Bu yöntemin avantajı, eşdeğer bir şarjın sadece iki ila üç saat içinde elde edilmesidir. Bununla birlikte, bu yaklaşım aynı zamanda pil içindeki elektrokimyasal süreci de göz ardı ederek uzun vadede önemli olumsuz etkilere neden olur (Cope ve Podrazhansky, 1999). Bu yöntemde, işlem boyunca sabit bir voltaj korunur. Sabit voltaj korunurken, başlangıç akımı çok yüksek olur. Yüksek bir başlangıç akımı, yüksek sıcaklık artışlarına neden olur ve bu nedenle pilin ömrü etkilenir. Ancak bu şarj yönteminin çok kararlı bir çıkış voltajına sahip olması gerekir. Bu şarj yöntemi, yüksek maliyetle sonuçlanan yüksek akım kapasitesi gereksinimi nedeniyle pratik değildir (Lavety vd., 2020).

Sabit akım şarj yaklaşımındaki bir sapma, sabit akım/sabit voltaj şarj metodudur. Bu düzenleme altında, akü voltajı önceden belirlenmiş bir değere yükselene kadar sabit bir akım uygulanır, bu noktada şarj voltajı sabit tutulur ve akım azalır. Akım minimum değere ulaştığında şarj durur. Bu yaklaşım, reaksiyona girecek daha az elektrot yüzeyi olduğunda ve toplam iyon konsantrasyonu daha düşük olabileceğinde, şarjın son aşamasında akımı düşürür. Bu yaklaşım, sabit şarj rejimi ile aynı sorunlardan biraz daha az derecede muzdariptir (Cope ve Podrazhansky, 1999).

4.3. Darbe Yöntemi İle (With Pulse Method)

Darbe yükleme teknikleri iki moddan oluşur; birinci moda, yüksek pozitif akımın aküye aktığı şarj aşaması denir. İkinci mod, elektrolit reaksiyon sürecinin iyileştirilmesi nedeniyle aküden hiçbir akımın akmadığı dinlenme aşaması olarak adlandırılır. Darbeli şarj yöntemi, şarj sırasında sülfatlama plakalarını yüksek frekansta kaldıracaktır (üst üste bindirilmiş yöntem). Bu yöntem iki aşamadan oluşmaktadır; birinci fazın pozitif bir değeri vardır, bu da akünün içindeki akımı geçirmek ve şarj etmek için kullanılır. İkinci faz, aküye herhangi bir voltaj uygulamaz. Kimyasalını geliştirmek için pilin rahat bir aşamasıdır ve bu şekilde ölü pilleri geri yüklemek için kullanılabilir. Bunun nedeni elektrotlar üzerinde biriken kükürdün giderilebilmesidir (Serhan ve Ahmed, 2018).

4.4. Hızlı Şarj Yöntemi İle (With Boostcharging Method)

Elektronik cihazlar insanların günlük yaşamında giderek daha önemli hale gelirken, hızlı şarj yöntemine olan ihtiyaç bir zorunluluk haline geldi. Güvenlik koşulları ve çevrim ömrü gereksinimleri nedeniyle, standart şarj yöntemi ile şarj süreleri uzundur. Bu gerçek günümüzde kabul edilemez. Bu nedenle Li-iyon piller için ultra hızlı şarj yöntemi olarak "boostcharging" adı verilen bir şarj yöntemi geliştirilmiştir, bu sayede neredeyse tamamen boşalmış piller çok yüksek akımla kısa süreliğine yeniden şarj edilebilir. Pili yüksek akımla şarj etmenin zararlı

etkisi dikkate alınır, böylece boostcharge yöntemi herhangi bir olumsuz bozulma etkisi yaratmaz (Ayoub ve Karami, 2015)

5. Sonuç (Result)

Piller uzun süredir piyasada olmasına rağmen, performanslarını yöneten temel yapı-özellik ilişkilerinin temel bir anlayışı ancak son birkaç on yılda elde edilmiştir. Bu şekilde, elektrokimyasal süreçlerin ve reaksiyon mekanizmalarının daha derinlemesine anlaşılması, kimyagerlere alanda ilerleme sağlamak için yeterli araçları sağlamıştır. Pillerin kimyası konusu, hali hazırda performans olarak ilerleme sağlamış olan yoğun araştırma faaliyetlerinin konusudur. Bunlar, seçilen uygulamaların (yani taşınabilir elektroniklerin) geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir; elektrikle çalışan taşıtların kullanımı için parlak umutlar vaat ediyor ve gelecek yıllarda kesinlikle yeni enerji depolama konseptlerini ortaya çıkaracak (Palacin, 2009).

Hibrit ve elektrikli araçların üretiminde başarıyı yakalamak için güvenilir, ucuz bir enerji depolama sistemi kaçınılmazdır. Bu makalede, bunun gibi enerji depolama sisteminden kaynaklanan sorunları çözmek için farklı seçenekler özetlenmiştir. Kurşun asit gibi eski ama hala geçerli pillerin ve lityum iyon pil gibi yeni geliştirilen enerji depolama sistemlerinin sunduğu farklı senaryolar gözden geçirildi. Her bir elektrokimyasal pilde sunulan avantaj ve dezavantajlar; yüksek güce, yüksek kapasiteye ve sonsuz çevrim döngüsüne sahip mükemmel bir pilin var olmadığını göstermiştir (Conte, 2006).

Önümüzdeki kısa zaman içerisinde, lityum iyon bataryaların pozitif elektrotunun enerji yoğunluğunda kademeli artışlarla (ve bunun etkisiyle maliyet düşüşleri) iyileştirmelerin devam etmesi muhtemeldir. Ayrıca, yapılmakta olan çalışmalara bakıldığında elektrokimyasal enerji depolama teknolojisinin çehresini radikal bir biçimde değiştirebilecek daha çok merak uyandıran gelişmiş pil kimyası araştırmaları vardır. Lakin Li-Hava gibi bu araştırmaların birçoğu, ticari gelişmelerden uzak kalmaya devam etmektedir. Yakın gelecekte, ülkelerin enerji depolamayla ilgili araştırma gündemlerine girmeyi başaran Na-İyon ve Li-S bataryaların kullanımında olabilecekleri düşünülmektedir (Middlemiss ve Holland 2018).

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Algül, H., 2015. Lityum Hava Pilleri İçin Ag/Mg Katkılı Anot Malzemelerinin Geliştirilmesi (Development of Increased Corrosion Resistance Anode Materials for Lithium Air Batteries), Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 74s, Sakarya.
- Aras, U.T., 2009. Hibrit Elektrikli Araçların Batarya Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Performans Analizi (Computer Aided Performance Analysis of Battery Systems of Hybrid Electrical Vehicles), Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 43s, Kocaeli.
- Arya, S., Verma, S., 2020. Nickel-Metal Hydride (Ni-MH) Batteries, Rechargeable Batteries, ss.131-176.
- Ayoub, E., Karami, 2015. Review on The Charging Techniques of a Li-ion Battery, Third International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering.
- Başaran, K., Çetin, N.S., Çelik, H., 2011. Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Sistemi Tasarımı ve Uygulaması (Wind-Solar Hybrid Power System Design and Application), Conference: 6th International Advanced Technologies Symposium.
- Cheng, X.-B., Huang, J.-Q., Zhang, Q., 2018. Review—Li Metal Anode in Working Lithium-Sulfur Batteries, Journal of the Electrochemical Society, 165(1), 6058-6072.
- Cheng, X.-B., Zhang, R., Zhao, C.-Z., Zhang, Q., 2017. Toward Safe Lithium Metal Anode in Rechargeable Batteries: A Review, Chemical Reviews, 117(15), 10403-10473.
- Choi, J.W., Aurbach, D., 2016. Promise and Reality of Post-Lithium-Ion Batteries With High Energy Densities, Nature Reviews Materials, 1(4).
- Conte, F.V., 2006. Battery and Battery Management for Hybrid Electric Vehicles: A Review, e&i Elektrotechnik und Informationstechnik, 123(10), 424-431.
- Cope, R. C., Podrazhansky, Y., 1999. The Art of Battery Charging, Fourteenth Annual Battery Conference.
- Dell, R.M., Rand, D.A.J., 2001. Understanding Batteries, The Royal Society of Chemistry, ss.100-101.
- Demir, U., Aküner, M.C., 2018. Design and Optimization of In-Wheel Asynchronous Motor for Electric Vehicle, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33(4), 1517-1530.
- Demirci, O., Demirci, B.A., Taşkın, S., 2019. Battery Cell Measurement and Fault Diagnosis System for Detection of Problem in Automotive Batteries, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 25(5), 546-552.
- Deng, J., Luo, W.-B., Chou, S.-L., Liu, H.-K., Dou, S.-X., 2017. Sodium-Ion Batteries: From Academic Research to Practical Commercialization, Advanced Energy Materials, 8(4), 17014128.
- Din, E., Schaef, C., Moffat, K., Stauth, J.T., 2017. A Scalable Active Battery Management System With Embedded Realtime Electrochemical Impedance Spectroscopy, IEEE T. Power Electr., 32 (7), 5688-5698.

- Disosway, M., 1998. Development of High Power Nickel-Cadmium Batteries for Hybrid Vehicles, In Thirteenth Annual Battery Conference on Applications and Advances, Proceedings of the Conference.
- Er, M., 2016. Sn-Sb-Cu-C ve Sn-Co-C Sentezi ve Lityum İyon Pil Anot Materyali Olarak Kullanılmalarının İncelenmesi (Synthesis of Sn-Sb-Cu-C and Sn-Co-C and Investigation of Them Using as Anode Material for Lithium Ion Batteries), Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 95s, Sakarya.
- Etacheri, V., Marom, R., Elazari, R., Salitra, G., Aurbach, D., 2011. Challenges in the Development of Advanced Li-Ion Batteries: a Review, *Energ. Environ. Sci.*, 4 (9), 3243-3262.
- Gençten, M., 2013. Kurşun Asit Akülerin Performanslarının Artırılması (Increasing the Performance of Lead Acid Batteries), Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 134s, Eskişehir.
- Güneş, D., Tekdemir, İ.G., Karaarslan, M.Ş., Alboyacı, B., 2018. Assessment of the Impact of Electric Vehicle Charge Station Loads on Reliability Indices, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(3), 1073-1084.
- Hatipoğlu, G., 2019. Lityum İyon Piller İçin Metalurjik Silisyum/KNT/Grafen Çok Fonksiyonlu Anotların Geliştirilmesi (Development of Metallurgical Silicon / CNT / Graphene Multifunctional Anodes for Lithium Ion Batteries), Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 242s, Sakarya.
- <https://tap.org.tr/pil-atik-pil/sss/pil-nedir/> Erişim Tarihi: 12.05.2021
- <https://technoluxpro.com/tr/akkumulyatory/batarei/nizn.html> Erişim Tarihi: 16.05.2021
- <https://reactual.com/portable-electronics/nizn-batteries.html> Erişim Tarihi: 15.05.2021
- Hung, Y., Yin, L., Wang, J., Wang, C., Tsai, C., Kuo, Y., 2018. Recycling of Spent Nickel-Cadmium Battery Using a Thermal Separation Process, *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 39 (2), 645-654.
- Jeyaseelan, C., Jain, A., Khurana, P., Kumar, D., Thatai, S., 2020. Ni-Cd Batteries, *Rechargeable Batteries*, s.177-194.
- Kocaman, A.S., 2019. Optimization of Hybrid Energy Systems With Pumped Hydro Atorage- A Case Study for Turkey, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(1), 53-67.
- Lavety, S., Keshri, R. K., Chaudhari, M. A., 2020. Evaluation of Charging Strategies for Valve Regulated Lead-Acid Batteries, *IEEE Access*, 8, 164747-164761.
- Ledovskikh, A., Verbitskiy, E., Ayeb, A., Notten, P.H.L., 2003. Modelling of Rechargeable NiMH Batteries, *Journal of Alloys and Compounds*, 356-357, 742-745.
- Ma, Z., Yuan, X., Li, L., Ma, Z.-F., Wilkinson, D.P., Zhang, L., Zhang, J., 2015. A Review of Cathode Materials and Structures for Rechargeable Lithium-Air Batteries, *Energy and Environmental Science*, 8(8), 2144-2198.
- Middlemiss, L., Holland, A., 2018. A Review of Post-Lithium-Ion Batteries, *EPSRC CDT in Energy Storage & Its Applications*.
- Miller, P., 2015. Automotive Lithium-Ion Batteries, *Johnson Matthey Technology Review*, 59(1), 4-13.
- Mirzaeian, M., Hall, P.J., 2009. Preparation of Controlled Porosity Carbon Aerogels for Energy Storage in Rechargeable Lithium Oxygen Batteries, *Electrochimica Acta*, 54(28), 7444-7451.
- Moralı, U., Erol, S., 2020. Electrochemical Impedance Analysis of 18650 Lithium-Ion and 6HR61 Nickel-Metal Hydride Rechargeable Batteries, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(1), 297-309.
- Morimoto, K., Nagashima, I., Matsui, M., Maki, H., Mizuhata, M., 2018. Improvement of Electrochemical Properties and Oxidation/Reduction Behavior of Cobalt in Positive Electrode of Ni-Metal Hydride Battery, *J. Power Sources*, 388, 45-51.
- Mulder, G., Omar, N., Pauwels, S., Meeus, M., Leemans, F., Verbrugge, B., De Nijs, W., Van den Bossche, P., Six, D., Van Mierlo, J., 2013. Comparison of Commercial Battery Cells in Relation to Material Properties, *Electrochim. Acta*, 87, 473-488.
- Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T., Yushin G., 2015. Li-ion Battery Materials: Present And Future, *Materials Today*, 18, 252-264.
- Omar, N., Firouz, Y., Monem, M.A., Samba, A., Gualous, H., Coosemans, T., Van den Bossche, P., Mierlo J.V., 2014. Analysis of Nickel-Based Battery Technologies for Hybrid and Electric Vehicles, *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*, Elsevier.
- Özdoğan, E., 2010. Atık Nikel Kadmiyum Pillerin Geri Kazanımına Yönelik Proses Geliştirilmesi (Development of a Recycling Process for Waste Nickel Cadmium Batteries), Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 102s, İstanbul.
- Özermiş, M.E., 2010. Kurşun Asit Akülerin Optimum Şarj Olmasını Sağlayan Şarj Devresi (Charging Circuit Providing Optimum Charging of Lead Acid Batteries), Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 80s, Denizli.
- Palacin, M.R., 2009. Recent Advances in Rechargeable Battery Materials: A Chemist's Perspective, *Chemical Society Reviews*, 38(9), 2565-2575.
- Polat, B.D., Keleş, Ö., 2013. Lityum İyon Pil Teknolojisi (Technology of Lithium Ion Battery), *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Metalurji Mühendisleri Odası*, 162, 42-48.
- Rahman, M.A., Wang, X., Wen, C., 2013. High Energy Density Metal-Air Batteries: A Review, *Journal of the Electrochemical Society*, 160(10), 1759-1771.
- Rand, D.A.J., Moseley, P.T., Garche, J., Parker, C.D., 2004. Valve-Regulated Lead-Acid Batteries, Elsevier, s. 1-14, s.121-122.
- Sakai, T., Uehara, I., Ishikawa, H., 1999. R and D on Metal Hydride Materials and Ni-MH Batteries in Japan, *Journal of Alloys and Compounds*, 293-295, 762-769.
- Scrosati, B., Garche, J., 2010. Lithium batteries: Status, Prospects and Future, *Journal of Power Sources*, 195, 2419-2430.
- Serhan, H. A., Ahmed, E. M., 2018. Effect of the Different Charging Techniques on Battery Life-time: Review, 2018 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE).
- Slater, M.D., Kim, D., Lee, E., Johnson, C.S., 2012. Sodium-Ion Batteries, *Advanced Function Materials*, 23(8), 947-958.
- Turhan, M., 2011. Li-İyon Pil Destekli Yakıt Pili Güç Sisteminin Su Üstü Platforma Uygulanması (Application of a Power Control With a Li-Ion Battery Supported Powerful Fuel Cell to Surface Ship), Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 161s, Kocaeli.
- Uz, U., 2019. Hexacopter Yapısında Bir İnsansız Hava Aracı İle Elektronik İlaçlama/Sulama Sisteminin Oluşturulması (The Production of Electronic Pharmaceutical / Irrigation System With an Unmanned Aerial Vehicle in Hexacopter Structure), Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 84s, İstanbul.

- Wang, D.-W., Zeng, Q., Zhou, G., Yin, L., Li, F., Cheng, H.-M., Gentle, I.R., Lu, G.Q.M., 2013. Carbon-Sulfur Composites for Li-S Batteries: Status and Prospects, *Journal of Materials Chemistry A*, 1, 9382-9394.
- Warner, J., 2015. *The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design*, Elsevier, ss.177-210.
- Xia, X., Dahn, J.R., 2012. Study of the Reactivity of Na/Hard Carbon with Different Solvents and Electrolytes, *Journal of the Electrochemical Society*, 159(5), 515-519.
- Yabuuchi, N., Kajiyama, M., Iwatate, J., Nishikawa, H., Hitomi, S., Okuyama, R., Usui, R., Yamada, Y., Komaba, S., 2012. P2-type $\text{Na}_x[\text{Fe}_{1/2}\text{Mn}_{1/2}] \text{O}_2$ Made From Earth-Abundant Elements for Rechargeable Na Batteries, *Nature Materials*, 11(6), 512-517.
- Yabuuchi, N., Kubota, K., Dahbi, M., Komaba, S., 2014. Research Development on Sodium-Ion Batteries, *Chemical Reviews*, 114(23), 11636-11682.
- Yan, S., Nei, J., Li, P., Young, K., Simon Ng, K.Y., 2017. Effects of Cs_2CO_3 Additive in KOH Electrolyte Used in Ni/MH Batteries, *Batteries, Nickel Metal Hydride Batteries 2017*, 3(4), 41.
- Ying, T., Gao, X., Hu, W., Wu, F., Noreus, D., 2006. Studies On Rechargeable NiMH Batteries, *International Journal of Hydrogen Energy*, 31, 525-530.
- Yu, J., Lee, H., Lee, P.S., Lee, J., 2000. Effect of Cu Powder as an Additive Material on the Properties of Zr-Based Pasted Alloy Electrodes for Ni/MH Batteries, *Journal of The Electrochemical Society*, 147 (7), 2494-2497.
- Yu, Y., Ji, X., Fan, H., 2018. Post Lithium Ion Batteries for Emerging Energy Storage Technologies, *Green Energy and Environment*, 3, 1.
- Zhu, W.H., Zhu, Y., Tatarchuk, B.J., 2014. Self-Discharge Characteristics and Performance Degradation of Ni-MH Batteries for Storage Applications, *Int. J. Hydrogen Energ.*, 39 (34), 19789-19798.