

Elektrikli Araç Teknolojisinde Kullanılan Kurşun Asit ve Li-iyon Bataryaların Galvanostatik Test Sonuçlarının Karşılaştırılması

Esra BALCI^{1*}, Gürkan GÜNDÜZ², Sebahat ALTUNDAĞ³, Serdar ALTIN⁴

¹ Fizik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

² Enerji ve Teknolojileri Anabilim dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

^{3,4} Fizik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

*¹ eesra0122@gmail.com, ² grkngndz123@gmail.com, ³ sebahat.altundag@inonu.edu.tr, ⁴ serdar.altin@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 29/05/2023;

Kabul/Accepted: 24/07/2023)

Öz: Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekliliğini sağlamak ve içten yanmalı motorlar yerine elektrikli araçların kullanılması çevre ve yaşam kalitesini direk etkilemektedir. Farklı metaller katılarak geliştirilmesi amaçlanan bataryalar üzerinde çalışmalar hala sürmektedir. Yüksek performans sergileyen ve uzun hizmet ömrü sunabilen bataryalar günümüzde her alanda talep edilmektedir. Bu çalışmada Li-iyon bataryalar ve kurşun-asit aküler hakkında genel bilgilendirme sunulması hedeflenmiştir. Pillerin elektrokimyasal davranışlarının analizi galvanostatik yöntem kullanılarak (100 çevrimde; sabit akım altında) gerçekleştirilmiştir. Hazır üretim olan pillerin; kapasite-döngü sayıları ile şarj-deşarj eğrileri incelendiğinde; Li-iyon türü batarya grubunda yer alan pilin (Sony VTC5) daha yüksek kapasite sergileyerek daha uzun hizmet ömrü sunacağını göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Kurşun asit aküler, Li - iyon bataryalar, Galvanostatik, EA.

Comparison of Galvanostatic Test Results of Lead Acid and Li-ion Batteries Used in Electric Vehicle Technology

Abstract: Ensuring the continuity of renewable energy sources and using electric vehicles instead of internal combustion engines directly affects the environment and quality of life. Studies on batteries that are intended to be developed by adding different metals are still in progress. Batteries with high performance and long service life are demanded in every field today. It also contains important information about the style of writing. In this study, it is aimed to provide general information about Li-ion batteries and lead-acid batteries. The analysis of the electrochemical behavior of the batteries was carried out using the galvanostatic method (100 cycles; under constant current). Fabricated batteries; When the capacity-cycle numbers and charge-discharge curves are examined; It has been shown that the battery (Sony VTC5) in the Li-ion type battery group will offer a longer service life by exhibiting a higher capacity.

Key words: Lead acid batteries, Li - ion batteries, Galvanostatic, EV.

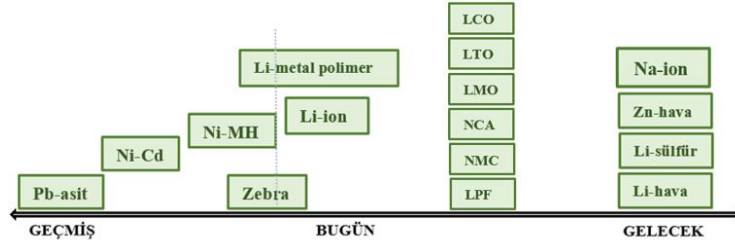
1. Giriş

Günümüzde hızla ilerleyen teknoloji ve bunu destekleyen enerji kaynaklarına ilave olarak düşünülen yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar artmaktadır. Enerji depolama görevi yapan tüm sistemler insan varlığının devam etmesi konusunda oldukça önemli rol oynamaktadır [1]. Aküler; elektrik enerjisini depolamada kullanılan en önemli ve verimli yollardan biri olarak kabul edilmektedir. Endüstrinin hemen hemen her alanında kullanılan pek çok farklı pil çeşiti mevcuttur, içerdikleri elektrot ve seçilen elektrolitlerine bağlı olarak her biri farklılık göstermektedir. Şekil 1'de gösterildiği gibi elektrikli araçların (EA) pil (Pb-asit: kurşun-asit, Ni-Cd: nikel-kadmium, NiMH: nikel-metal hidrit, Zebra: sıfır emisyon batarya araştırma faaliyeti, Li-iyon: lityum-iyon, LCO: lityum-kobalt-oksit, LMO: lityum-manganez-oksit, LTO: lityum-titanat, NMC: lityum-nikel-manganez-kobalt, NCA: lityum-nikel-kobalt-alüminyum, LPF: lityum-demir-fosfat, Na-ion: sodyum iyon, Li-hava: lityum hava, Li-sülfür: lityum sülfür, Zn-hava: çinko hava bataryalar) gelişimlerinin zaman çizelgesindeki temsili gösterimi verilmektedir [2].

Her akünün ise kendine özgü farklı pil kimyaları bulunmaktadır. Piller ise; kimyasal enerjiyi içerisinde barındıran ve depolamış olduğu kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilen araçlardır [3]. Uygulanabilen bu dönüşümler tek yönlü ise birincil (primer) piller, çift yönlü (yani tersinir dönüşüm özelliğine de sahip) ise ikincil

* Sorumlu yazar: eesra0122@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-0127-7602, ² 0000-0002-3067-6576, ³ 0000-0002-4777-8376, ⁴ 0000-0002-4590-907X

(secondar) piller olarak tanımlanır. İkincil piller genellikle; Kurşun-asit (Pb-asit), Nikel-kadmiyum (Ni-Cd), Nikel-demir (Ni-Fe), Gümüş-çinko (Ag-Zn), Nikel-çinko (Ni-Zn), Çinko-mangan (Zn-Mn), Gümüş-kadmiyum (Ag-Cd), Nikel- metal hidrit (Ni-MH) ve Lityum-iyon (Li-ion) formunda olacak şekilde üretimleri gerçekleştirilmektedir [4]. Talepler doğrultusunda daha yüksek düzeyde geliştirilen batarya sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaçlar özellikle endüstriyel alanda elektrikli araçlar ve çoğu elektrikli küçük, taşınabilir cihazlar olmak üzere sıralanabilir. Benzinli araçların, EA yerine tercih edilmesinin nedenleri arasında bunların daha yavaş ve daha maliyetli olmaları, menzillerinin daha az olmaları ve pil ömürlerinin düşük enerji yoğunluğu, az dayanıklılık ve uzun şarj gerektirmesi gibi durumlardır [5-7]. Ancak yaşanan petrol krizleri ve fosil yakıt kaynaklarının sınırlı hale gelmesi, EA üzerine olan çalışmalarını tetiklemiştir [8, 9]. Elektrikli araçların üretimine yönelik çalışmalar 1800'lü yıllardan beri sürmektedir [10].



Şekil 1. Elektrikli araçlarda kullanılan pillerin temsili zaman çizgileri [2]

Kurşun-asit aküler hem otomotiv hem de endüstriyel uygulamalarda enerji depolamak için kullanılırken, teknolojik gelişmelerle birlikte Li-iyon batarya sistemleri, sodyum-kükürt aküleri gibi yeni teknolojiler kurşun akülerin yerini almaya başlamıştır. Her iki sisteminde kazandırmış olduğu avantajlardan faydalanılırken sistemlerde kullanım amaçlarına ve yerlerine göre bazen bazı dezavantajlarda var olabilir. Günümüzde içten yanmalı motorlara sahip olan çoğu aracın, elektrikli araçlara (EA) dönüşmesi ekolojik, sağlık ve maddi kazanç sağlaması bakımından önemlidir [11-13]. Kurşun- asit (Pb-asit) piller ya da kurşun asit aküler olarak tanımlanan bu grup piller ıslak pillerdir. 1859 yılında kurşun-asit piller Fransa' da Gaston Plente tarafından icat edilmiştir [14]. Kurşun-asit aküler uzun döngü ve raf ömrüne sahiptir. Elektrokimyasal bir enerji depolama sistemi olarak kullanılan kurşun piller, güvenilir ve düşük maliyetli olmasıyla önem arz eder [15]. Son yıllarda, pilin tam şarjlı duruma getirilmediği koşullarda bile daha uzun döngü ömürlerine sahip olacak şekilde geliştirilmiştir. Kısa süreli depolamalar için yüksek verimlilik kurşun pillerle karşılanabilir. Kurşun en verimli şekilde geri dönüştürülen metallere dendir ve kurşun akülerin %99'undan fazlası Avrupa ve ABD'de toplanıp geri dönüştürülmektedir [16-21]. Genellikle otomotiv aküleri ve endüstriyel akülerde kullanılmaktadır. Kısa süreli enerji depolamaları için istenilen yüksek verimliliğin kurşun pillerle karşılanması mümkündür. Kurşun asit batarya sistemleri kullanılırken negatif plakaları üzerinde korozyon meydana gelmesinden dolayı akülerin hizmet ömrünü azaltabilir [22, 23].

Lityum iyon bataryalar (Li-ion) bir çeşit yeniden doldurulabilir pil grubundandır. Lityum- iyon bataryaların temeli 1970 yıllarında M.Stanley Whittingham tarafından ortaya çıkmıştır [24]. Depolayabildiği enerji miktarı, birim hacmine göre oldukça yüksek verimlilik sağlayan bu grup bataryalar genellikle cep telefonları, müzik çalarlar, dizüstü bilgisayarlar gibi taşınabilir cihazlarda kullanılır [25]. Günümüzde ise ilave teknolojiler sayesinde BMW İ3, Tesla, Nissan gibi elektrikli araçlarda kullanımı mevcuttur [26]. Verebildikleri yüksek kapasitedeki enerji ile en iyi batarya çeşitleri arasında yer almakla beraber, günümüzde kullanımı oldukça yaygın hale gelmektedir [27]. Hafif olmaları, diğer bataryalara göre onlara avantaj kazandırır. Bu da onları küçük ve taşınabilir yapar. Ayrıca bu grup bataryaları şarj etmek için tam olarak boşalmalarını beklemek gerekmemektedir. Bu batarya gruplarının EA'larda kullanımı sera gazı emisyonlarını önemli derecede azaltacağı düşünülmektedir [28]. Li-iyon bataryalarda hafıza etkisi yoktur ve kullanılmadıkları zamanlarda enerji kayıpları Nikel bazlı şarj edilebilir pillere göre daha yavaştır. Bununla birlikte uygunsuz kullanılmaları halinde tehlikeli olabilirler. Eğer gerekli önlemler alınmaz ise diğer pil türlerine göre ömürleri daha kısa olabilir. Lityum iyon bataryaların en belirgin kusuru kullanım ömürlerinin üretim tarihlerinden itibaren başlamasıdır. Üretildiklerinden sonra şarj edilseler de edilmeseler de ömürleri üretim tarihinden itibaren azalmaya başlamaktadır. %100 şarj seviyesindeki ve çoğunlukla 25 °C derece sıcaklıkta bulunan tam dolu tipik bir dizüstü bilgisayar pili, geri dönüşü olmayacak şekilde her yıl kapasitesinin %20 sini kaybeder [22, 29].

Bu çalışmada EA teknolojisinde yaygın olarak kullanılan Kurşun asit akülerin ve Li-iyon bataryaların geliştirilmesi ile kazandırılan özellikler sonucunda; elektrokimyasal performans analiz testinden elde edilen sonuçlar ile her iki batarya üzerindeki avantaj ve dezavantajlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

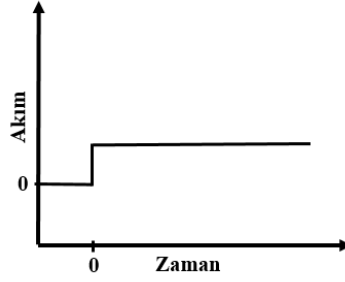
2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan; Sony VTC5 batarya ve Orbus 6V7Ah pil hazır üretimdir. Tablo 1’de verildiği üzere; Sony VTC5 batarya ve Orbus 6V7Ah pil hakkında genel özellikler verilmiştir.

Tablo 1. Sony VTC5 batarya ve Orbus 6V7Ah pil genel özellikleri [30].

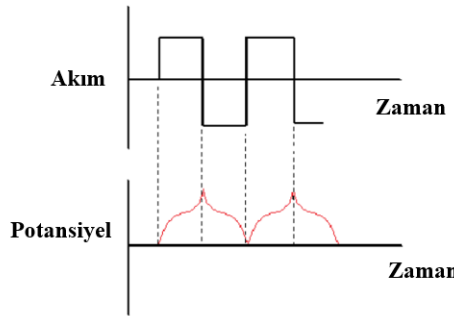
Marka	Sony VTC5	Orbus 6V 7Ah
Kimyası	Şarjlı pil – Li-iyon	Kuru akü- Kurşun-asit
Ölçüler	65x18,25 mm	150x34x94 mm
Voltaj	3,7 V	6 V
Kapasite	2,5 Amper	7 Amper
Ağırlık	48,50 gr	1250 gr

Çalışmada kullanılan pillerin elektrokimyasal test analizleri için gerçekleştirilen şarj- deşarj testleri galvanostatik yöntem ile uygulanmıştır. Galvanostatik test yöntemleri, temelinde kronopotansiyometrik (en temel sabit akım deneyi) yöntemi içinde barındıran bir tekniktir. Sabit bir akım elektrokimyasal hücre yardımıyla uygulanırken elde edilen grafikler referans olarak ele alınan elektrota göre potansiyelinde meydana gelen bir değişimin zamana karşı fonksiyonudur. Şekil 2’de gösterildiği üzere kronopotansiyometreye göre uygulanan akımın zamana bağlı değişiminin temsili gösterimi verilmektedir [31].



Şekil 2. Kronopotansiyometreye göre uygulanan akımın zamana bağlı değişimi [31].

Başka bir ifade ile üretilen piller, açık devre voltajından başlanarak (OCP) deşarj edilirler. Sabit bir akım değerinde, belirlenen voltaj değerleri arasında pillerin şarj ve deşarjı gerçekleştirilir. Bu işlem istenilen sayıda uygulanabilir. İşlemler sonucunda elde edilen sonuçlara göre elektrotların kapasitesi birim yüzey alanı ya da birim ağırlık cinsinden tanımlanabilir. Bu sonuçlara ilave olarak; voltaj-zaman-kapasite ya da kapasite- çevrim sayısı gibi grafiklerde elde edilebilir. Şekil 3’te gördüğü gibi temsili olarak bir galvanostatik şarj-deşarj yönteminde uygulanan akıma karşı potansiyel değişim grafiği verilmiştir [32].



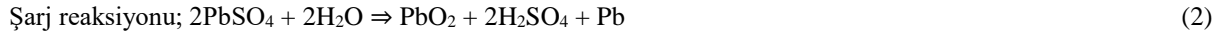
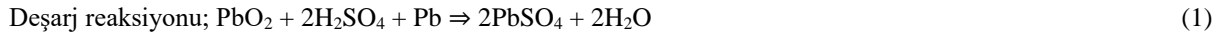
Şekil 3. Galvanostatik şarj-deşarj yönteminde uygulanan akıma karşı temsili potansiyel değişim grafiği [32].

Bu çalışmada elektrokimyasal çalışmaların genelinde kullanılan Gamry Reference tipi analiz cihazı kullanılmıştır. Sony VTC5 ve Orbus 6V7Ah bataryaların galvanostatik şarj-deşarj profilleri; 100 devire kadar sabit akım altında (CC) tutularak gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

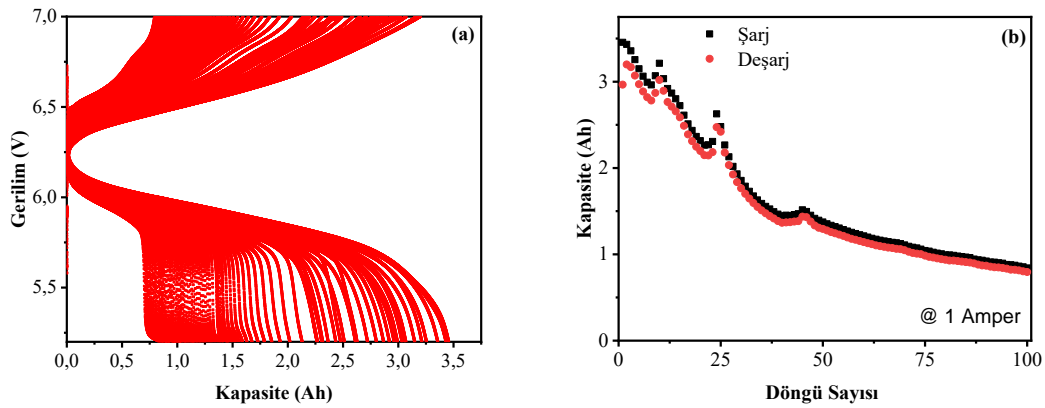
3.1. Kurşun asit teknolojisi ve batarya performans analizleri

Genellikle EV, botlar, motosikletlerde ve çoğu endüstriyel uygulama alanlarının çalışma, aydınlanma ve başlatılmasında kullanılan sistematiği için oluşturulan bu batarya grubu; yapısal olarak içinde barındırmış olduğu sülfirik asit elektrolitlerini içine alan Pb elektrotlarından meydana gelmektedir. Katot plakada kurşun oksit (PbO_2), anot plakada ise kurşun bulunmaktadır [33]. Bu grupta yer alan bir akünün şarj vedeşarj reaksiyonları sırasıyla Denklem 1 ve Denklem 2'deki gibi ifade edilir.



Bu pil gruplarının Dünya üzerinde geniş bir alanda kullanılmasının temel nedenleri arasında üretimlerinin kolay ve maliyetlerinin az olmasıdır. Diğer pil gruplarına göre daha küçük, ergonomik boyutlarda olması, neredeyse hiç bakım istememeleri onları daha güvenli ve tercih edilir yapmaktadır [34]. Yakıt ekonomisinde tasarruf ve sera gazı emisyonlarını en aza indirmek için Pb-asit akülerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar hızla artmaktadır. Kullanılan araçların hareketleri esnasında motor birçok kez çalışır ve durur. Aküler ise sürekli olarak döngüye girmektedir. Motor ve çalışan aküler arasında uyum sağlamadığı sürece kullanılan pilin ömrü bir müddet sonra azalır [35]. Ömürleri ortalama 1200 ile 1800 şarj-deşarj döngüsü içerisinde kalmakla birlikte 5-15 yıl arasında değişim gösterir [36]. Bir Pb-asit pilinin anma gerilimi 2V kadar olup, %85 ile %90 oranında yüksek enerji verimliliği göstermektedir [37].

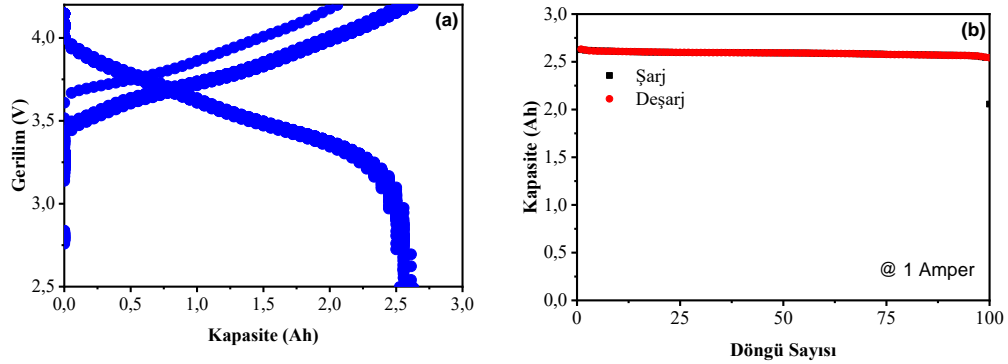
Şekil 4(a) ve (b)'de gösterildiği gibi Orbus 6V 7Ah pili için elektrokimyasal performans analiz testinden elde edilen grafikler verilmiştir. Şekil 4(a)'da verilen Orbus 6V 7Ah pili için 0,5 C kapasite test grafiği, Şekil 4(b)'de ise verilen Orbus 6V 7Ah pili için kapasiteye karşı-döngü sayıları gösterilmiştir. Buradan elde edilen sonuçla; 5,5 ile 7 volt aralığında gerilim-kapasite grafiğinde bu pilin kapasite değerinin 3,4 Ah'e kadar uzandığı ve doldurma-boşaltma eğrilerinde döngü sayısının artmasıyla kapasitesindeki düşüş açıkça görülmektedir. 100 döngüye kadar alınan bu ölçümlere göre, şarj-deşarj eğrilerinin döngü sayısı arttıkça, kapasite değerinin düşmesi; pilin kullanım ömrünün kısa olacağını ön görmektedir.



Şekil 4. (a) Orbus 6V 7Ah pili için 0,5 C kapasite test grafiği, (b) Orbus 6V 7Ah pili için kapasiteye karşı - döngü sayıları

3.2. Lityum İyon bataryalar ve batarya performans analizleri

Deşarj süreleri %5 oranında oldukça düşük olan bu bataryalar, 1500 döngüye kadar uzanan pil ömrüne sahip olan Li-iyon bataryaların [7], ana bileşenleri katot (örneğin; $\text{LiCoO}_2, \text{LiMn}_2\text{O}_4$) ve anot (örneğin; grafit) olan elektrotlar, ayırıcı ve sulu bir elektrolittir (örneğin; E2C) [38]. Elektrolitler, katot ve anot arasında artı yüklü iyonları taşıma görevi üstlenmektedir. Seperatör yani ayırıcı olarak kullanılan bölümde ise, sıvı elektrolitin kuruması sonucunda anot ve katot plakaların kısa devre olması ihtimalini ortadan kaldırmak için sistemde yer edinmektedir. Şekil 5(a) ve (b)'de gösterildiği gibi Sony VTC5 bataryası için elektrokimyasal performans analiz testinden elde edilen grafikler verilmiştir. Şekil 5(a)'da gösterildiği gibi Sony VTC5 bataryası için 0,5 C kapasite test grafiği, Şekil 5(b)'de ise verilen Sony VTC5 bataryası için kapasiteye karşı - döngü sayıları gösterilmiştir. Buradan elde edilen sonuçla; 2,5 ile 4,3 volt aralığında gerilim-kapasite grafiğinde bu pilin kapasite değerinin 2,7 Ah'e kadar uzandığı ve doldurma-boşaltma eğrilerinde döngü sayısının artmasıyla kapasitesindeki düz eğriler oldukça önemlidir. 100 döngüye kadar alınan bu ölçümlere göre, şarj-deşarj eğrilerinin döngü sayısı arttıkça, kapasite değerinin hemen hemen her noktada sabit kalması; pilin kullanım ömrünün uzun olacağını ön görmektedir.



Şekil 5 (a). Sony VTC5 bataryası için 0,5 C kapasite test grafiği, (b) Sony VTC5 bataryası için kapasiteye karşı - döngü sayıları.

Yapılan taramalar ve kapasite grafikleri de göz önüne alınarak, genel çerçevede Sony VTC5 ve Orbus 6V 7Ah bataryanın avantaj ve dezavantajlarını gösteren bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Li-iyon bataryalar ve Kurşun-asit pillerin genel olarak avantaj ve dezavantajları [39].

Sony VTC5/ Orbus 6V7Ah	Li-iyon Bataryalar	Kurşun-Asit Piller
	Avantaj	Dezavantaj
Çevresel Etki	+	-
Yüksek Verimlilik	+	+
Çevrim Ömrü	+	-
Kapasite	+	-
Bakım Gereksinimi	+	-
Taşınabilirlik ve Hafiflik	+	-
Maliyet	-	+
Enerji İsrافی	+	-

Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar işgal edeceği hacim ve uzun hizmet ömrü sunabilmeleri için gereken kapasite açısından kilit faktör olarak rol oynar. Elektrikli araçlarda istenilen güç ya da enerji ihtiyacını karşılamak için akü modülleri paralel veya seri olarak istenilen şekilde bağlanabilir. 100 çevrim döngüsüne kadar alınan bu ölçümlerde ağırlıkları 1250 gramı bulan kurşun-asit akülerin 7 amper ve 6 volta kadar uzanan bu kapasite değeri; Li-iyon batarya grubunda yer alan Sony VTC5 türü 3 pili 2'ser gruplar halinde paralel ve bu gruplar da kendi

aralarında seri bağlanırsa; toplamda 7,5 amper ve 7,4 volt değerinde kapasiteleri yükselir, toplamdaki ağırlığı ise 291 grama kadar düşürülmesi mümkündür.

4. Sonuç

İlerleyen teknoloji ile daha yüksek verimlilik, az maliyet ve daha az bakım gerektiren yeni batarya türleri; farklı metaller ile katkılanarak günümüzde geliştirilmeleri son hızda devam edilmektedir. Sadece elektrikli araçların motor bölümleri değil, araçların teknik gereksinimlerini karşılamak içinde bataryalar oldukça önemli rol oynar. Kurşun-asit akülerin uzun zamandan beri kullanılıyor olması, maliyetlerinin düşük ve uzun raf ömrüne sahip olmalarından dolayıdır. Li-iyon bataryalar ise; yüksek verimlilik, daha uzun çevrim ömrü, daha az bakım gereksinimi, sera gazı emisyonunu düşürmesi ile çevreye olumlu etkisi, taşınabilirlik ve ağırlık açısından kurşun-asit akülere göre kullanımını ön plana çıkartmıştır. Bu çalışmada Li-iyon bataryalar ve kurşun-asit aküler hakkında genel bilgilendirme sunulması hedeflenmiştir. Pillerin elektrokimyasal davranışlarının analizi galvanostatik yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiş ve kapasite ile şarj-deşarj eğrileri incelendiğinde; Li-iyon türü batarya grubunda yer alan pilin daha yüksek kapasite sergileyerek daha uzun hizmet ömrü sunacağını göstermiştir. Lityum piller mevcut en hızlı şarj olan pil gruplarından bazılarıdır. Lityum piller ayrıca diğer pillere göre daha az yerleştirme sorununa sahiptir. Saklanması ve çok az endişe ile paketlenmesi kolaydır. Bakımı iyi yapılmış bir lityum pil paketi, 2000 ile 5000 döngü arasında herhangi bir yerde dayanabilme özelliğine sahiptir. Ayrıca; Lityum pil paketlerine sahip cihazların satın alınması, bu cihazların daha uzun süre tam kapasitede çalışmasına yardımcı olabileceği sonucuna varılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi (Proje No: FYL-2022-2852) tarafından desteklenmiştir. Bu makale, Gürkan Gündüz'ün mevcut yüksek lisans çalışmasının bir parçasıdır. Bu çalışmaya olan katkılar sırasıyla; S.A. fikir sahibidir, G.G. ve S.A deneyleri gerçekleştirmiştir E.B., G.G. ve S.A. sonuçları yorumlamıştır, E.B. ve G.G. makaleyi yazmıştır.

Kaynaklar

- [1] Tang W, Liu L, Tian S, Li L, Yue Y, Wu Y, Guan S, and Zhu K. Nano-LiCoO₂ as cathode material of large capacity and high rate capability for aqueous rechargeable lithium batteries, *Electrochemistry Communications* 2010; 12: 1524-1526.
- [2] Catenacci M, Fiorese G, Verdolini E, and Bosetti V. Going electric: Expert survey on the future of battery technologies for electric vehicles, in *Innovation under Uncertainty*, Edward Elgar Publishing 2015; 6:110-138.
- [3] Brodd R. What are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors, *Chemical Reviews* 2005; 105: 1021.
- [4] Turan D, and Yönetken A. Enerji depolama sistemlerinin araştırılması ve analizi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2016; 16: 113-121.
- [5] Nor J.K. Art of charging electric vehicle batteries. In *Proceedings of Wescon'93. IEEE 1993; San Francisco, CA, USA:293.*
- [6] Xiao Q, Li B, Dai F, Yang L, and Cai M. Application of lithium ion battery for vehicle electrification, *Electrochemical Energy: Advanced Materials and Technologies* 2015;1-29.
- [7] Özcan Ö.F, Karadağ T, Altuğ M, and Özgüven Ö. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Pil Kimyasallarının Özellikleri ve Üstün Yönlerinin Kıyaslanması Üzerine Bir Derleme Çalışması, *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation* 2021;8: 276-298.
- [8] Lukic S.M, Cao J, Bansal R.C, Rodriguez F, and Emadi A. Energy storage systems for automotive applications, *IEEE Transactions on industrial electronics* 2008;55: 2258-2267.
- [9] Muratoğlu Y. and Alkaya A. Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi-İnceleme, *Elektrik Mühendisliği* 2016;458: 10-14.
- [10] Chan C. An overview of electric vehicle technology, *Proceedings of the IEEE* 1993;8: 1202-1213.
- [11] Etacheri V, Marom R, Elazari R, Salitra G, and Aurbach D. Challenges in the development of advanced Li-ion batteries: a review, *Energy & Environmental Science* 2011; 4: 3243-3262.
- [12] Demir U. and Akuner M. Design and optimization of in-wheel asynchronous motor for electric vehicle, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2018; 33: 1517-1530.

- [13] Güneş D, Tekdemir İ.G, Karaarslan M.Ş, and Alboyacı B. Assessment of the impact of electric vehicle charge station loads on reliability indices, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2018; 33: 1073-1084.
- [14] Soloveichik G.L. Battery technologies for large-scale stationary energy storage, *Annual review of chemical and biomolecular engineering* 2011; 2: 503-527.
- [15] Daniel C. and Besenhard J.O. *Handbook of battery materials*, John Wiley & Sons 2012.
- [16] Palizban O. and Kauhaniemi K. Energy storage systems in modern grids—Matrix of technologies and applications, *Journal of Energy Storage* 2016; 6: 248-259.
- [17] Luo X, Wang J, Dooner M, and Clarke J. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation, *Applied energy* 2015; 137: 511-536.
- [18] Tan X, Li Q, and Wang H. Advances and trends of energy storage technology in microgrid, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 2013; 44: 179-191.
- [19] Chen H, Cong T, Yang W, Tan C, Li Y, and Ding Y. Progress in electrical energy storage system: A critical review 2009; 19: 291-312.
- [20] Ibrahim H, Ilinca A, and Perron J. Energy storage systems—Characteristics and comparisons, *Renewable and sustainable energy reviews* 2008;12:1221-1250.
- [21] Hall P.J. and Bain E.J. Energy-storage technologies and electricity generation, *Energy policy* 2008; 36: 4352-4355.
- [22] Moseley P.T. and Garche J. *Electrochemical energy storage for renewable sources and grid balancing*, Newnes 2014.
- [23] Pavlov D. *Lead-acid batteries: science and technology*, Elsevier 2011.
- [24] Yoshino A. The birth of the lithium-ion battery, *Angewandte Chemie International Edition* 2012; 51: 5798-5800.
- [25] Lin D, Liu Y, and Cui Y. Reviving the lithium metal anode for high-energy batteries, *Nature nanotechnology*, 2017; 12: 194-206.
- [26] Vidyanandan K. *Batteries for electric vehicles*, Power Management Institute 2019.
- [27] Tarascon J.M. and Armand M. Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries, *nature* 2001; 414: 359-367.
- [28] Vikström H, Davidsson S, and Höök M. Lithium availability and future production outlooks, *Applied energy* 2013; 110: 252-266.
- [29] Kruse R.E. and Huls T.A. *Development of the federal urban driving Schedule* 1973.
- [30] Traub L.W. Calculation of constant power lithium battery discharge curves, *Batteries* 2016; 2: 17.
- [31] Kılıç, R. Farklı elektrokimyasal yöntemlerle sentezlenen poli (1-5, diaminonaftalin) filmlerinin süperkapasitör özelliklerinin incelemesi, Ph.D. thesis, ESOGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü 2014.
- [32] Amanov A, Cho I.S, Kim D.E, and Pyun Y.S. Fretting wear and friction reduction of CP titanium and Ti–6Al–4V alloy by ultrasonic nanocrystalline surface modification, *Surface and Coatings Technology* 2012; 207: 135-142.
- [33] Vest H. *Fundamentals of the Recycling of Lead-Acid Batteries*, Gate Information Service 2002;6: 1-2.
- [34] Canis B. *Battery manufacturing for hybrid and electric vehicles: Policy issues*, Congressional Research Service Washington, DC, USA 2013.
- [35] Moseley P.T, Rand D.A, and Peters K. Enhancing the performance of lead–acid batteries with carbon–In pursuit of an understanding, *Journal of Power Sources* 2015; 295: 268-274.
- [36] Cano Z.P, Banham D, Ye S, Hintennach A, Lu J, Fowler M, and Chen Z. Batteries and fuel cells for emerging electric vehicle markets, *Nature Energy* 2018; 3: 279-289.
- [37] Hadjipaschalis I, Poullickas A, and Efthimiou V. Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications, *Renewable and sustainable energy reviews* 2009; 13: 1513-1522.
- [38] Duffner F, Mauler L, Wentker M, Leker J, and Winter M. Large-scale automotive battery cell manufacturing: Analyzing strategic and operational effects on manufacturing costs, *International Journal of Production Economics* 2021; 232: 107982.
- [39] Gençten M, Kurşun asit akülerin performanslarının artırılması, Ph.D. thesis, Anadolu University (Turkey) 2016.