

PAPER DETAILS

TITLE: Batarya Modelleri ve Sarj Durumu (SoC) Belirleme

AUTHORS: Efe İsa TEZDE,H İbrahim OKUMUS

PAGES: 21-25

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/555150>

Batarya Modelleri ve Şarj Durumu (SoC) Belirleme

Battery Models and State of Charge (SoC) Determination

Efe İsa Tezde¹, Halil İbrahim Okumuş²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
eitezde@ktu.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
okumus@ktu.edu.tr

Özet

Enerji Depolama Sistemi (EDS) araçlarından bataryalar, yenilenebilir enerji kaynaklarının aralıklı üretimini düzeltmek ve elektrikli cihaz ve elektrikli araçları beslemek için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Teknik özellikleri ve modelleme biçimlerine göre farklı batarya tipleri bulunmaktadır. Bataryanın şarj kontrolünü sağlamak ve kullanımı sırasında kalan enerjiye göre planlama yapabilmek için batarya şarj durumunun belirlenmesi oldukça önemlidir. Günümüzde birçok uygulamada batarya şarj durumunu (SoC) belirlemek için farklı yöntemler bulunmaktadır. Ancak uygulanması kolay ve anlaşılır olması nedeniyle bu çalışmada Coulomb Sayma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak MATLAB programında oluşturulan batarya modeli için SoC tahmini benzetimi ve laboratuvarda sırasıyla bataryanın şarj ve deşarj durumları için deneyler yapılmıştır. Bu deney sonuçları kullanılarak bataryanın şarj/deşarj karakteristikleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, bataryanın şarj ve deşarj işlemleri için SoC tahmini yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: EDS, SoC, Coulomb Sayma Yöntemi.

Abstract

Batteries for Energy Storage System (ESS) devices, are widely used to improve the intermittent production of renewable energy sources and to supply electrical appliances and electric vehicles. There are different battery types according to the specifications and modeling forms. It is very important to determine the battery state of charge (SoC) in order to provide charge control of the battery and to plan according to the remaining energy during use of the battery. Nowadays, there are different methods for determining SoC in many applications. However, Coulomb Counting method is used in this paper because it is easy and straightforward to apply. Simulation of SoC estimation for the battery model created in MATLAB program and experiments for charge and discharge states of the battery respectively in the laboratory were carried out using this method. Charge/discharge characteristics of the battery were obtained by using these test results. In addition, SoC estimation is performed for charging and discharging of the battery.

Keywords: ESS, SoC, Coulomb Counting Method.

1. Giriş

Elektrik enerjisini depolamak için farklı depolama teknikleri bulunmaktadır. Bu depolama tekniklerinin en önemlilerinden biri batarya, elektrik enerjisini kimyasal enerji dönüştürerek saklamaktadır. Teknolojisinin gelişmesiyle birlikte bataryalara yönelik ilgi her geçen gün artmaktadır. Lityum iyon batarya icat edilinceye kadar yıllarca nikel kadmiyum ve kurşun asitli bataryalar, taşınabilir elektronik cihazlar için uygun bir güç kaynağı olmuştur [1]. Ancak lityum iyon bataryaların yüksek enerji yoğunluğu, çalışma gerilimi seviyelerinin fazla değişmemesi, uzun çevrim ömrü ve hafif olması gibi avantajlara sahiptir. Bu avantajlarından dolayı taşınabilir elektronik pazarında tercih edilmektedir [2]. Yeni teknolojiye sahip lityum-iyon bataryaların kullanımı çok ekonomik olmaması nedeniyle kurşun-asit bataryalar kadar geniş bir kullanım alanına sahip değildir.

Batarya kimyasal enerji kaynağı olmasına rağmen depolanan kimyasal enerji miktarına doğrudan erişim yoktur. Bu nedenle bataryanın şarj durumunu doğrudan ölçmek oldukça zordur [3]. Batarya Yönetim Sisteminin (BYS) güç tüketim verimliliği ve batarya ömrünü arttırdığını kanıtlayan farklı çalışmalar bulunmaktadır [4, 5]. Gerçek zamanlı batarya koruması ve batarya performansının iyileştirilmesi için BYS batarya şarj ve deşarj işlemlerini düzenlemede ve batarya durumunu izlemede kullanılmaktadır [6, 7].

SoC tahmini batarya kullanımında oldukça önemlidir fakat bir o kadar da zordur. Bir bataryanın kalan kapasitesini doğru bir şekilde tahmin etmek bataryayı korur, aşırı deşarjı önler ve batarya ömrünün uzamasını sağlar [8]. Ayrıca uygulamalarda enerji tasarrufu için akıllı kontrol stratejisi oluşturmasına olanak sağlar [9]. Ancak SoC'un doğru tahmini, çok karmaşık ve uygulanması zordur. Çünkü batarya modelleri sınırlı ve modeller arasında parametrik belirsizlikler bulunmaktadır [10]. Uygulamada, SoC tahmini farklı yöntemler vardır [11].

Bu çalışmada, batarya modelleri tanımlanarak, SoC tahmininde kullanılan mevcut yöntemler ayrıntılı şekilde incelemiştir. Bunlardan Coulomb sayma kullanılarak geliştirilen test düzeneğinde deneysel veriler elde edilmiştir.

2. Batarya Modelleri

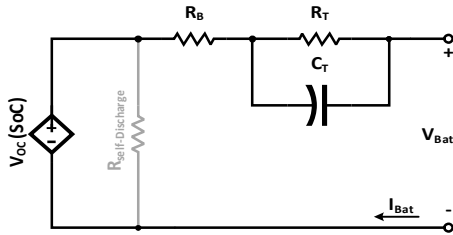
Batarya modeli, sıcaklık, gerilim, deşarj oranı ve SoH gibi olası çalışma koşullarında batarya karakteristiğini tanımlamak için kullanılır. Bu model uygulamada, bataryanın iç ve dış koşullardaki reaksiyonunu öngörmek içindir.

Batarya modeli başlıca fiziksel, elektriksel, analitik ve istatistiksel olarak dört gruba ayrılabilir. Fiziksel model, bataryanın elektrokimyasal yapısına dayanan en hassas modelleme olması nedeniyle kapsamlı fakat anlaşılması oldukça zordur. Fiziksel model, bataryanın akım ve gerilim gibi elektriksel özelliklerinin yanı sıra kimyasal parametrelerinin belirlenmesi için de kullanılır. İstatistiksel model önceden elde edilen veri örnekleri kullanılarak model oluşturma prensibine dayanır. İstatistiksel model, fiziksel model kadar net sonuçlar vermemesine rağmen daha bütünlük ve hızlıdır. Bu model yeni parametre değerleri belirlemekten ziyade daha çok verileri yorumlamayı amaçlar. Analitik model, fiziksel model ve istatistiksel modellerin bir arada kullanılmasıdır. Literatürde yaygın şekilde iki analitik model bulunmaktadır. Bunlar yayılma temelli ve kinetik modellerdir. Kinetik model batarya parametrelerini belirlemektense doğrudan kalan şarjı belirlemek üzerine kurulmuştur [13]. Elektriksel modelde batarya eşdeğer devre kullanılarak modellenir. Bu modelleme türünde model üzerinde devre parametrelerinin matematiksel eşitlikleri kullanılarak bilinmeyen parametre kestirimleri rahatlıkla yapılabilir. Bu yöntemle elde edilen model farklı sistem bileşenleriyle birlikte kullanılarak benzetimi yapılabilir. Ayrıca bilinmeyen parametre kestiriminde sayısal çözüm için bir devre analizi yazılımına ihtiyaç duyulur.

Bu çalışmada bataryanın zamana bağlı olarak akım, gerilim ve SoC değişimini belirlemek için elektriksel eşdeğer devre modeli kullanılmıştır.

2.1. Elektriksel Eşdeğer Devre

Bataryadan beslenen bir güç sisteminin, bataryadan beklentisi düşük güç kaybı ve batarya çalışma süresinin uzun olmasıdır. Batarya devre modeli kullanılarak batarya çalışma süresi, şarj durumu tahmini ve optimizasyonu rahatlıkla çözülebilir.



Şekil 1: Thevenin eşdeğer batarya modeli.

Bataryanın elektriksel eşdeğer devre modelini oluşturarak bu model üzerinden matematiksel hesaplamalar yapmak mümkündür. Batarya modelleme, bataryaların şarj/deşarj karakteristiklerinin analiz edilmesi için önemli bir faktördür. Eşdeğer devre modellerinde genellikle istatistiksel veriler kullanılmasına rağmen, elektriksel modelde batarya ve devre elemanlarının parametre değerleri kullanılarak oluşturulur. Bu parametreler batarya şarj/deşarj testlerinden elde edilmektedir. Elektriksel eşdeğer devre modelinin bazılarında devre parametreleri sabit olduğu kabul edilmesine rağmen gerçekte bu değerler sabit olmayıp batarya doluluk durumu, sıcaklık, batarya akımı, kapasite ve batarya ömrü gibi bataryanın iç

dinamiklerine bağlıdır.

$$V_{OC} = \left(\frac{1}{R_T} + \frac{1}{C_T} \right) \cdot I_B \quad (1)$$

$$V_B = V_{OC} - (R_B \cdot I_B + V_{OC}) \quad (2)$$

Batarya uçları açık devre olmasına rağmen, bir kimyasal güç kaynağının kapasitesi doğal olarak zayıflıyorsa, bu olaya kendinden deşarj denmektedir. Belirli zaman zarfında, kendinden deşarj sonrası batarya kapasitesinin, kendi kendine boşalmasından öncekine oranı, şarj tutma kapasitesi olarak adlandırılır. Kendinden deşarj ne kadar hızlı olursa, şarj tutma kabiliyeti o kadar kötü olur. Kendinden deşarj oranı veya kapasite tutma oranı, bir bataryanın kendinden boşalma hızını ölçmek için yaygın olarak kullanılır. Kendinden deşarj oranı, belli bir süre içinde, genellikle günler veya aylardaki kapasite azalma yüzdesi olarak ifade edilir. Elektrolitin parçalanma reaksiyonu ve batarya kimyasalının başlangıçtaki interkalasyon reaksiyonu, tam şarjlı bir batarya, içinde kendiliğinden deşarja neden olur. Kendiliğinden boşalma oranını etkileyen başlıca faktörler pilin saklama sıcaklığı, nem koşulları ve benzeri faktörlerdir. Şekil 1'deki Thevenin eşdeğer devre modelindeki kendiliğinden deşarj direnci göz ardı edilmiştir.

3. Batarya Şarj Durumunu (SoC) Belirleme

Bir bataryada kapasite, amper-saat (Ah) cinsinden belirli enerjiyi gösterir. Teorik kapasite, içerdiği aktif maddenin miktarına bağlı olarak bataryadan çıkarılan azami şarj miktarıdır. Kalan kapasite, batarya belirli bir yük ve sıcaklık koşullarında boşaltıldığında batarya geri kalan şarj miktarıdır. Tam şarj kapasitesi, boşalma döngüsünün başlangıcında tam dolu bir bataryanın kalan kapasitesidir. Tam tasarım kapasitesi yeni bir hücrenin tam yüklü kapasitesidir. Teorik kapasite maksimum batarya kapasitesidir. Doğrusal olmayan batarya kapasitesi etkileri ve doğrusal olmayan devre özellikleri nedeniyle, tam yüklü kapasite tipik olarak teorik kapasiteden daha düşüktür.

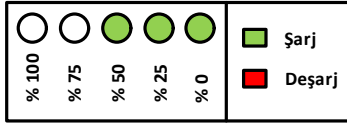
SoC, bataryada geri kalan enerjiyi tanımlamak için kullanılır ve genellikle yüzde cinsinden ifade edilen bir terimdir. Yeni bir batarya tamamen şarj edildiğinde SoC nominal kapasitesinin %100'ü olarak kabul edilir. Öte yandan tamamen boşaltıldığında, SoC %0 olarak kabul edilir. SoC bilgisi, elektrikli araçların şarj kontrol yöntemi ve batarya dengeleme sistemleri için dikkate alınması gereken bir kriterdir. Bir bataryanın SoC'sini belirlemek için kullanılan birçok yöntem vardır. Kullanılan bu yöntemlerden bazıları şunlardır.

3.1. Doğrudan Ölçme

Bir bataryanın SoC'u, laboratuvar ortamında batarya nominal akımla boşaltılması yoluyla doğrudan ölçülebilir. Ancak bu yöntem çok doğru olmasına rağmen pratik uygulamalarda fazla tercih edilmez. Çünkü SoC, belirlenmeden önce bataryadaki enerjinin tamamı boşaltılmalıdır. Bu nedenle doğrudan ölçüm yöntemi sadece üreticiler tarafından bataryayı test etmek amacıyla kullanılır. Bu yöntemin kullanıldığı bileşenin en büyük avantajı, bataryaya sürekli bağlı olmak zorunda değildir. Ölçümler, bataryaya bağlanıldığında gerçekleştirilebilir [14].

3.2. Gerilim Tabanlı SoC Belirleme

Gerilim tabanlı SoC belirleme yöntemi çok basittir. Batarya boşalırken, batarya geriliminin düşmesi ilkesine dayanır. Gerilim doğrusal olarak azalmamasına rağmen gerilim seviyesini yaklaştırmak için birkaç nokta seçilebilir ve parçalı doğrusallaştırma kullanılabilir. Açık devre gerilimi ile şarj durumu arasındaki ilişkiyi bilmek, bataryanın doğru şarj seviyesini bilmemize olanak sağlar. Bu yöntem birçok düşük maliyetli batarya göstergesinde kullanılır. Bataryaların SoC'sini görüntülemek için birkaç kademe LED kullanılır. SoC'yi göstermek için SoC kademelerini belirlerken ilgili LED'lerin eşik gerilim değerleri kullanılır.



Şekil 2: Gerilim tabanlı SoC gösterimi

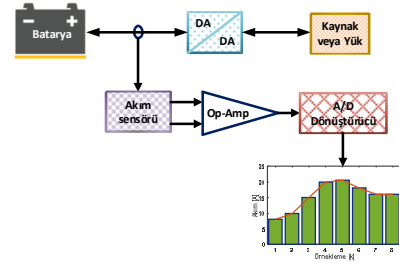
Bu yöntemim en büyük dezavantajı, batarya açık devre geriliminin, SoC'tan farklı etkenlere de bağlı olmasıdır. Bu etkenleri de bilmek, bataryanın şarj durumunu kesin olarak bilmemize olanak verir. Ancak her uygulamada, bu şartları tekrar tekrar hesaplayıp, işlemlere dahil etmek zahmetlidir. SoC'a gerilim seviyesine bakarak karar vermek için, batarya kapasitelerindeki çok küçük gerilim değişimlerini algılayabilecek ölçme cihaz ve devrelere ihtiyaç duyulur. Batarya şarj/deşarj işlemleri sonucu zamanla hücrelerin açık devre gerilimleri ve kapasiteleri arasındaki ilişkiler değişeceğinden, doğru kestirim yapabilmek için bir süre sonra ya algoritmanın ya da bataryanın değiştirilmesi gerekir.

3.3. Coulomb Sayma Yöntemiyle SoC Belirleme

Bu yöntem bataryada kalan kapasitesini belirlemek için bataryaya giren ve çıkan akımları ölçer ve bu akımların toplamsal olarak hesaplanmasıyla göreceli SoC bilgisi verir. Bataryanın şarj durumunu tam belirlemek için hesaplama başlamadan bir başlangıç değeri bilinmesi gerekmektedir. Gerçek şarj durumu bataryaya giren ve çıkan akımın başlangıç noktasına göre hesaplanmasıyla bulunabilir.

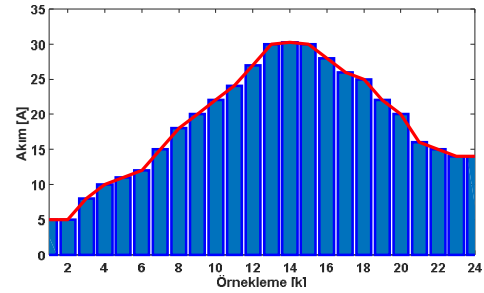
$$SoC = SoC(0) \mp \frac{1}{C_{SoC}} \int_0^t i_b(t).dt \quad (3)$$

Eşitlik (3) ile t anındaki batarya doluluk durumunu ifade etmektedir. Burada $SoC(0)$ başlangıçtaki doluluk durumunu, i_b batarya akımını, C_{SoC} batarya kapasitesini temsil eder. Coulomb sayma metoduyla doğru sonuçlar elde edilebilir. Bunlar hücrelerdeki kaçak akımın sensör üzerinden geçmemesi nedeniyle hesaplamalara dahil edilememesi ve batarya akımının ölçümünde kullanılan sensördeki kaymanın gerçek şarj durumunda da kaymaya sebep olmaktadır.



Şekil 3: Coulomb saymaya dayalı örnekleme yöntemi.

Bu yöntemin uygulamasında şarj verimliliği oldukça önemlidir. Coulomb sayma yöntemini kullanarak gelen şarj enerjisini ölçerken, bataryanın şarj verimliliği %100'den farklı olması durumunda hatalar oluşur. Bu hataları ortadan kaldırmak için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Yaygın olarak batarya modeli ve sıfırlama yöntemleri kullanılır. Coulomb sayma yöntemi uygulaması, zaman içinde geçerli entegrasyonu yapar. Analog-dijital dönüştürücü (ADC) gömülü mikro denetleyiciler, Coulomb sayımı için, örnekleme yöntemini kullanır. Akım ölçümü, paralel direnç veya salınım sensörü kullanılarak yapılabilir. Hall sensörü, paralel dirence kıyasla güç kaybına neden olmayacağından bataryada daha çok kullanılır. Örnekleme yöntemine dayalı Coulomb sayma yönteminin uygulanışını şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 4: Coulomb saymaya dayalı akım ölçümü.

Batarya modeli temelde farklı çalışma koşullarında bataryanın davranışını ve bataryanın zaman içindeki performansını açıklar. Batarya tam şarj olduğunda sıfırlama ölçümlemesi, coulomb sayımı için pratik bir yöntemdir. Batarya tamamen dolduğunda, sıfırlama kalibre yöntemi, coulomb sayımını sıfırlayabilir ve sisteme bataryanın %100 SoC'ye sahip olduğunu söyleyebilir.

$$Q[k] = I[k].T[k] \quad (4)$$

$$Q_T = \sum_{k=1}^K I[k].T[k] \quad (5)$$

Bataryanın şarj veyadeşarj sırasında akım sensörü üzerinden geçen akımın örnekleme işlemi şekil 4'te görülmektedir. Eşitlik (4) her bir örnekleme aralığındaki kapasitenin değişim miktarını verirken, eşitlik (5) ise toplam örnekleme işlemi sonucundaki kapasiteyi vermektedir. Burada; Q kapasite (Ah), I akım (A) ve T örnekleme süresini ifade etmektedir.

3.4. Diğer SoC Belirleme Yöntemleri

Batarya doğrusal olmayan bir sistem olduğundan şarj ve deşarj işlemlerinin kesin bir matematiksel modelini oluşturmak zordur. Bu nedenle, doğrusal olmayan problemler için iteratif yöntemler kullanılarak yakınsamalı çözümler bulunur. Kalman filtresi, yapay sinir ağı ve uyarlamalı bulanık mantık yöntemleri bu tür problemlerin çözümleri için literatürde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Kalman filtre yöntemi, çözümün özyinelemeli hesaplandığı ve kendi kendine uyarlanabilirlik özelliğine sahip sistemi tanımlamak için bir durum uzayı yöntemi kullanır [15]. Doğrusal sistem için Kalman filtresi aşamalı olarak kararlıdır. Bir bataryanın doğrusal olmayan karakteristiği için Taylor formülü, Kalman yinelemeli yöntemiyle hesaplanır ve ardından doğrusallaştırma yapılır. Bu işlem Genişletilmiş Kalman Filtresi (GKF) olarak bilinir. GKF'nin hesaplanması ile SoC'yi tahmin etmek için: Önce, uygun bir batarya eşdeğer modeli seçilir. Daha sonra karmaşık darbenin deneysel verilerini kullanarak devre modeli parametresini tanır ve uygun bir durum değişkeni seçerek devre modelinin durum denklemini ve gözlem denklemini oluşturur. Son olarak, SoC'yi Kalman filtre yöntemiyle tahmin eder.

Bir sinir ağı basit doğrusal olmayan karakter, paralel yapı ve öğrenme kabiliyetine sahiptir. Harici uyarıya tepki olarak bu sinir ağı karşılık gelen çıktılar verebilir. Böylece bataryanın dinamik özelliğini benzetebilir ve SoC'yi tahmin edebilir [16]. Bulanık çıkarım, kontrol edilen nesnenin tam bir matematiksel modeline bağlı değildir. Ancak uzman bilgisi ve operatör deneyimi bilgi gösteriminde ve çıkarımında güçlü bir yeteneğe sahiptir. Bu bilgi ve deneyim, kurallarla tanımlanabilir ve durulaştırılabilir. Bulanık mantık çıkarımıyla bir insaninkine benzer bir karar süreci, batarya karakteristiğinin simülasyonu için gerçekleştirilebilir. Ancak bunun dezavantajı kendi kendine uyarlanabilirlik özelliğinin sınırlı olmasıdır [17].

4. Test Çalışmaları

4.1. Deney Düzenekinin Oluşturulması

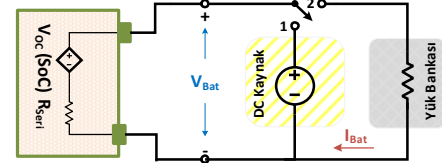
Bu çalışmada 12V, 7Ah (20HR) kurşun-asit batarya kullanılmıştır. Buradaki 20HR ifadesi, bataryanın amper-saat cinsinden kapasitesine oranı, bataryanın kaç saat boyunca akım verebileceğini anlatmaktadır. Bu batarya için 7Ah/20HR oranı 0,35A olarak hesaplanmıştır. Bir başka deyişle, bataryadan ortalama 0,35A akım çekilirse 20 saat enerji sağlayabilir. Bu batarya için 0,35A/7Ah oranı bataryanın kaç C ile deşarj edildiğini ifade eder ve 20 saat için 0,05C olarak hesaplanır. Ancak bu çalışmada 1A deşarj akımı için bu oran 0,143C olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan bataryaya ait katalog bilgileri tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Batarya çalışma parametreleri

Parametre Türü	Değeri
Batarya Gerilimi (V)	12
Çalışma Gerilimi (V)	10,5-13,2
Nominal Kapasite (Ah)	7
Hücre Sayısı (Adet)	6
Şarj Gerilimi (V)	14,4
Şarj Kesme Gerilimi (A)	15

Standart Şarj Akımı (A)	2,1
Deşarj Gerilimi (V)	12
Deşarj Kesme Gerilimi (V)	10,5
Standart Deşarj Akımı (A)	0,35-20
İç direnci (mΩ)	26,5
Çevrim Ömrü (%100 DoD)	200

Bu çalışmada kullanılan batarya ve test düzeneği şekil 5'te görülmektedir. Burada S anahtarı, 1 konumunda iken batarya DC kaynak tarafından şarj edilmektedir. S anahtarı 2 konumuna getirildiğinde ise batarya, yük bankasıyla sabit akımla deşarj olmaktadır. Test düzeneğindeki akım ve gerilim sensörleri aracılığıyla bataryanın şarj ve deşarj işlemlerinde akım ve gerilim değerleri 180 saniyelik periyotlarla bilgisayar veri tabanına alınmaktadır.

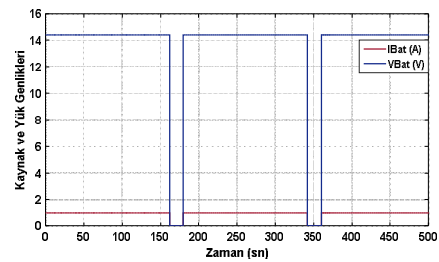


Şekil 5: Batarya şarj/deşarj test düzeneği

Şekil 6'daki grafikte şarj işlemi sırasında batarya uçlarına 14,4V şarj gerilimi (V_{Bat}) uygulanmaktadır. V_{Bat} gerilimi 162s uygulandıktan sonra bataryanın açık devre gerilimini (V_{OC}) ölçmek için 18s boyunca kesimde kalmaktadır. V_{OC} gerilimi bataryanın doluluk durumuna göre değişmektedir. V_{Bat} gerilimi 14,4V seviyesinde sabit kalırken V_{OC} gerilimindeki değişim, batarya iç direncinin değişmesine neden olmaktadır. Bu değişim miktarı eşitlik (6) ile hesaplanmaktadır. Ayrıca şekil 5'deki grafikte deşarj işlemi sırasında elektronik yük bankası kullanılarak bataryanın 1A'lık bir akımla boşaltılması sağlanmaktadır. Burada V_{OC} ve V_{Bat} gerilimleri zamanla değişeceği için ölçülen gerilim değerlerine bağlı olarak batarya iç direnç değeri eşitlik (7) ile hesaplanmaktadır.

$$R_{seri} = \frac{V_{Bat} - V_{OC}}{I_B} \quad (6)$$

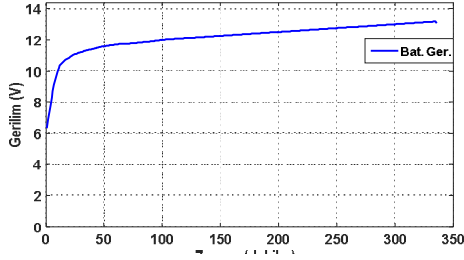
$$R_{seri} = \frac{V_{OC} - V_{Bat}}{I_B} \quad (7)$$



Şekil 6: Batarya şarjı/deşarjındaki akım ve gerilim seviyeleri

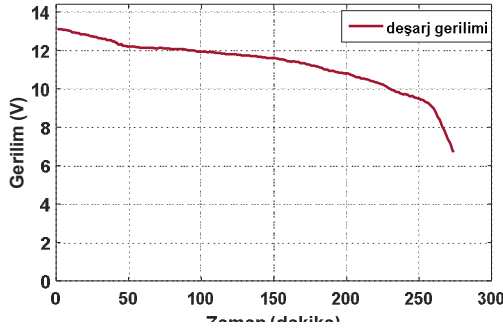
Bilgisayara alınan batarya akım ve gerilim değeri için Matlab yazılımı kullanılarak batarya şarj/deşarj grafikleri elde edilmiştir. Bataryanın şarj edilirken V_{OC} geriliminin zamana göre değişimi Şekil 7'de görülmektedir. Bataryanın şarj işlemine başlamadan önce V_{OC} gerilimi 6.30V olarak ölçülmüştür. Bataryanın şarj işlemi toplamda 336 dakika

sürmüştür. Şarj işlemi tamamlandığında V_{OC} gerilimi 3.18V ölçülmüştür. Şarj gerilimindeki değişim miktarı başlangıçta oldukça büyük olmasına rağmen doluluk oranı arttıkça bu miktarın azaldığı ve kararlı şekilde değiştiği gözlemlenmiştir.



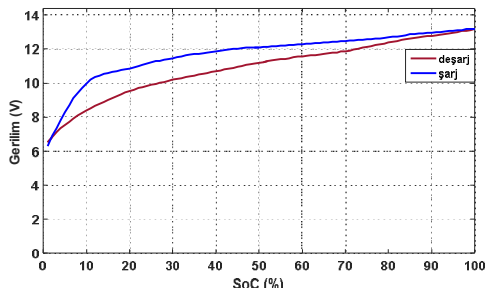
Şekil 7: Bataryanın zamana göre şarj gerilimi.

Batarya boşalırken V_{OC} geriliminin zamana göre değişimi Şekil 8'de görülmektedir. Deşarj işlemine başlamadan önce V_{OC} gerilimi 13.12V ölçülmüştür. Bataryanın deşarj işlemi 272 dakika sonunda tamamlandığında V_{OC} gerilimi 6.72V olarak ölçülmüştür. Şarj gerilimindeki değişim miktarı başlangıçta küçük olmasına rağmen doluluk oranı azaldıkça bu miktarın oldukça arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 8: Bataryanın zaman göre deşarj gerilimi.

Sınırlı bir akım kaynağı olan bataryada depolanan enerji miktarının batarya kapasitesine oranı, bataryanın doluluk oranını temsil eder. Bu çalışmada batarya doluluk oranı Coulomb sayma yöntemine göre belirlenmiştir. Bataryanın dolma ve boşalma süreleri dikkate alındığında herhangi bir andaki doluluk oranındaki gerilim seviyeleri Şekil 9'da gibidir.



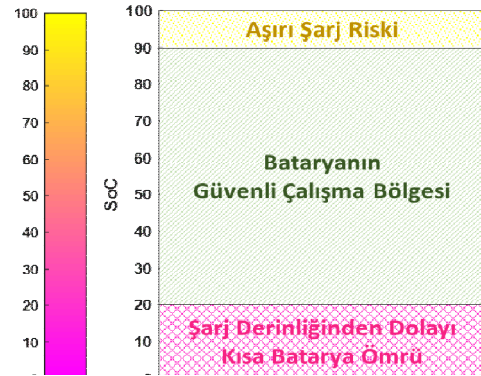
Şekil 9: Bataryanın doluluk durumuna göre gerilim seviyesi.

Batarya şarj olurken başlangıçta boş olacağından doluluk durumu %0 iken, deşarj olurken ise tam dolu olacağından doluluk oranı %100 hesaplanmıştır. Bu çalışmada bataryanın şarj ve deşarj verimliliği göz ardı edilmiştir.

5. Batarya Sağlık Durumunu (SoH) Belirleme

Batarya sağlığı (State of Health (SoH)), bataryanın yüke enerji verme yeteneğini tanımlamak için kullanılan terimdir. Bir başka deyişle, bataryanın değiştirilmesi gerekip gerekmediğini veya bataryanın değiştirilmeden ne kadar kullanılabileceğini gösteren bir göstergesidir. Bataryanın kapasitesi, batarya kullanıldıkça (yaşlandıkça) kademeli olarak azalmaktadır. Bu nedenle uzun süre kullanılan batarya tam doldurulduğunda şarj durumu %100 göstermesine rağmen yeni alındığındaki tam kapasitede depoladığı enerjinin yaklaşık %75-%80 değerleri kadar enerji depolayabilmektedir. Bir bataryanın sağlıklı şekilde şarj/deşarj olması ve ömrü azalmadan sağlıklı şekilde kullanılabilmesi için bataryanın belli bir SoC aralığında çalıştırılması gerekir. Bu çalışma aralığı bataryanın kullanım yeri ve şarj/deşarj sıklığına bağlı olarak değişebilir. Ancak birçok uygulamada Şekil 10'da görüldüğü gibi bu çalışma aralığı $20 \leq \text{SoC} \leq 90$ şeklinde tanımlanmıştır. Çünkü batarya aşırı şarj/deşarj edildiğinde batarya plakaları aşırı ısınacağından batarya plakalarının aşınmasına sebep olacaktır. Bu aşınmadan dolayı bataryanın iç direncinde bazı kimyasal değişimler meydana gelir. Bu durum batarya tekrar şarj edildiğinde fazla şarj tutmamasına sebep olmaktadır. Bu tür olumsuzluklardan kaçınmak için bataryalar mümkün olduğunca güvenli çalışma bandı içerisinde çalıştırılmalıdır.

SoH ölçümü, batarya paketinin mevcut kapasitesini yeni bir batarya kapasitesiyle karşılaştırarak yapılabilir. Ancak bu SoH belirleme işlemi için sistemin geçmiş kapasite bilgisinin erişilmesi gerekir veya önceden belirlenmiş bir kapasite değeri sağlanmalıdır. SoH'u belirlemek için diğer yöntemler dahili direnç değişiklikleri, kendi kendini deşarj oranı değişiklikleri vb. ölçümlerdir.



Şekil 10: Bataryanın güvenli çalışma aralığı.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, enerji depolamada en çok kullanılan bataryalara ait literatürdeki batarya modelleri ve SoC belirleme yöntemleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Batarya şarj durumu belirlenmesinde kolay ve anlaşılır olması nedeniyle Coulomb sayma yöntemi tercih edilmiştir. Laboratuvarında batarya sabit akım ve gerilim ile şarj/deşarj deneyleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneylerin sonuçları,

veri toplama kartı aracılığıyla bilgisayar ortamına alınmıştır. SoC belirlemesi için bilgisayarda MATLAB yazılımı kullanılarak bir algoritma geliştirilmiştir. Bataryanın değişen şarj ve deşarj değerleri için grafiksel sonuçlar Matlab'ta çizdirilmiştir. Bataryanın şarj akımı deşarj akımından daha küçük olması nedeniyle şarj süresi deşarj süresinden daha uzun sürmüştür. Bu çalışmada bataryanın şarj ve deşarj verimliliği göz ardı edilmiştir.

Batarya ömrünü uzatmak için aşırı şarj ve deşarj durumlarından kaçınarak, batarya güvenli çalışma bölgesi sınırları içerisinde kullanılmalıdır. Batarya bu sınırlar içerisinde kullanıldığında verimliliğinin arttığı ve sabit akımla şarj/deşarj edildiğinde batarya hızlı dolup boşalmaktadır. Elektrikli araçlarda hızlı şarj cihazı kullanımı buna en iyi örneklerinden biridir.

7. Kaynaklar

- [1] Sinkaram C., Asirvadam V. S., Nor N. B. M., "Capacity Study of lithium ion Battery for Hybrid Electrical Vehicle (HEV) A Simulation Approach", IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA), 2013.
- [2] Erdinc, O., Vural, B., Uzunoglu, M., "A dynamic lithium-ion battery model considering the effects of temperature and capacity fading," Clean Electrical Power, 2009 International Conference, 2009, s:383-386.
- [3] V. Spath, A. Jossen, H. Doring, and J. Garche, "The detection of the state of health of lead-acid batteries," in Telecommunications Energy Conference, INTELEC 97, s:681-686, 1997.
- [4] M. Dubarry, V. Svoboda, R. Hwu, and B. Liaw, "Capacity loss in rechargeable lithium cells during cycle life testing: The importance of determining state-of-charge," Journal of Power Sources, Cilt:174, No. 2, s:1121-1125, 2007.
- [5] F. Conte, "Battery and battery management for hybrid electric vehicles: a review," Elektrotechnik und Informationstechnik, Cilt. 123, No. 10, s:424-431, 2006.
- [6] J. Chiasson and B. Vairamohan "Estimating the state of charge of a battery" IEEE Trans. Control Syst. Technol., Cilt: 13, No: 3, s:465-470, 2006.
- [7] G. L. Plett "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs: Part 3. State and parameter estimation" J. Power Sources, Cilt: 134, No: 2, s:277-292, 2004.
- [8] H. W. He, R. Xiong, and H. Q. Guo, "Online estimation of model parameters and state-of-charge of LiFePO4 batteries in electric vehicles," Applied Energy, Cilt: 89, No: 1, s:413-420, 2012.
- [9] Z. H. Cai, G. F. Liu, and J. Luo, "Research state of charge estimation tactics of nickel-hydrogen battery," in Proceedings of the International Symposium on Intelligence Information Processing and Trusted Computing (IPTC '10), s: 184-187, 2010.
- [10] A. A. A. Elgammal and A. M. Sharaf, "Self-regulating particle swarm optimised controller for (photovoltaic-fuel cell) battery charging of hybrid electric vehicles," IET Electrical Systems in Transportation, Cilt: 2, No: 2, s: 77-89, 2012.
- [11] V. Prajapati, H. Hess, E. J. William, "A literature review of state of-charge estimation techniques applicable to lithium poly-carbon monofluoride (Li/CFx) battery," in Proceedings of the India International Conference on Power Electronics (IICPE '10), s:1-8, 2011.
- [12] M. R. Jonerden and B. R. Haverkort, "Which battery model to use," Software, IET, Cilt. 3, s:445-457, 2009.
- [13] J. F. Manwell and J. G. McGowan, "Lead acid battery storage model for hybrid energy systems," Solar Energy, Cilt: 50, s:399-405, 1993.
- [14] Bergveld H J, Kruijt W S and Notten P H L, Battery Management Systems, Design by Modelling Philips Research Book Series, 2002
- [15] Plett, G. L., "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs Part 3. State and parameter estimation." Journal of Power Sources, Cilt:134, s:277-292, 2004.
- [16] Cheng-Hui, C., Dong, D., Zhi, Y., "Artificial Neural Network in Estimation of Battery State-of-Charge (SoC) with Non-Conventional Input Variables Selected by Correlation Analysis." Proceedings of International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2002, s:1619-1625.
- [17] Cai, C.H., Du, D., and Liu, Z.Y. "Battery State-of-Charge (SoC) Estimation Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)." Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Fuzzy Systems. 2003, s: 1068-1073.