



Lityum Esaslı Piller İçin Veri Toplama Ve İşleme Sistem Tasarımı

Fatma Yıldırım Dalkıran^{1*}, Yusuf Kaya²

^{1*} Erciyes Üniversitesi, Havacılık Ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8663-241X), fatmay@erciyes.edu.tr

² Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2069-2078), yusuf.ky@gmail.com

(1st International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2022, September 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1173993)

ATIF/REFERENCE: Yıldırım Dalkıran, F., Kaya, Y., (2022). Lityum Esaslı Piller İçin Veri Toplama Ve İşleme Sistem Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (40), 34-40.

Öz

En basit tanımı ile kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren pillerin kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Savunma sanayiden endüstriyel alana, bireysel kullanımdan toplumsal kullanıma kadar her alanda mobil teknolojilerin hızla gelişmesi, yüksek enerji yoğunluğuna, düşük hacme ve ağırlığa sahip depolama sistemlerinin önemini artırmıştır. 1990 yılına kadar kurşun asit, Ni-Cd ve Ni-MH altyapısına sahip depolama sistemleri yoğun olarak kullanılmakta iken mobil telefon alanında elde edilen hızlı teknolojik gelişmeler, daha hafif ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip pil ihtiyacını ön plana çıkarmıştır. Bu konuda Li-Ion piller, mobil cihazlarda bir devrime sebep olmuş ve bu piller, mobilitenin önemli olduğu her alanda hızla yayılmıştır. Li-Ion piller sahip olduğu avantajlar ile yaygınlaşırken, diğer taraftan tehlikeli yönleri ile de endişeye sebep olmuştur ve kullanımında bir dizi önlemlerin alınması zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. Önlemlerin belirlenmesi için ise kullanımda olan Li-Ion pillerin verilerinin toplanması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada deneysel düzenek kurularak, şarj ve deşarj esnasındaki pil verileri toplanmış ve işlenmiştir. Ayrıca farklı elektriksel ve sıcaklık şartları altında çalışan pillerin toplanan verileri, pil performansının belirlenmesinde ve kapasite seviyesinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pil, Veri, Depolama, Enerji, Kapasite.

Data Collection and Processing System Design for Lithium Based Batteries

Abstract

With basic definition, batteries are energy storage systems that convert chemical energy into electrical energy. The usage areas of batteries are increasing day by day. The rapid development of mobile technologies in every field has increased the importance of storage systems with high energy density, low volume, and weight. Until 1990, lead acid, Ni-Cd and Ni-MH storage systems were used extensively. However, rapid technological developments in the field of mobile telephony have revealed the need for lighter and higher energy density batteries. Li-Ion batteries have revolutionized mobile devices in this area, and these batteries have spread rapidly in every field where mobility is important. On the other hand, they also caused concern with their dangerous aspects and a series of precautions had to be taken in their use. In order to determine the precautions, the data of the Li-Ion batteries in use should be collected and evaluated. In this study, battery data during charging and discharging by setting up experimental setup were collected and processed. In addition, data of batteries operating under different electrical and temperature conditions were collected. The collected data were used to determine battery performance and calculate capacity level.

Keywords: Battery, Data, Storage, Energy, Capacity

* Sorumlu Yazar: fatmay@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Pil teknolojileri her geçen gün hayatın daha fazla içerisinde yer almaktadır. Telefonlarda, diz üstü bilgisayarlarda, tablet ve taşınabilir bütün cihazlarda olduğu gibi günümüzde şebeke seviyesinde depolama sistemleri olarak ev, ofis ve üretim sahalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. İnsan ve diğer canlıların yaşam alanlarında bu kadar yoğun kullanılan enerji depolama sistemlerinin davranışlarının analiz edilmesi, güvenli kullanım alanlarının ve sınırlarının belirlenmesi, ömür tahminlerinin yapılması önem arz etmektedir.

Günlük yaşamımızda olduğu gibi havacılık uygulamalarında da piller yoğun olarak kullanılmaktadır. Sabit kanat ve döner kanat olarak tanımlanan hava araçlarında, hacim ve ağırlık sınırlamalarından dolayı lityum esaslı piller tercih edilmektedir. Zor çalışma koşullarına sahip döner kanat ve çok motorlu drone'lar, sivil kullanımda, hobi uygulamalarında ve güvenlik güçlerinin saha operasyonlarında vazgeçilmez olmuşlardır. Ayrıca, bu hava araçlarının yer kontrol istasyonları da mobil olmakta ve enerjisi, lityum esaslı pillerden sağlanmaktadır. Söz konusu araçların uçuş süreleri ve manevra kabiliyetleri, piller ile doğrudan ilişkili olup sektörde önemli bir pazar payına sahiptirler.

Lityum pillerin şarj, deşarj ve bekleme esnasında gerilim, akım ve sıcaklık değerlerinin ölçülmesi ve pillerin kapasite hesaplamalarının yapılması ile ilgili literatürde az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan birinde veri toplama sistemi tasarlanmış ve bu sistem ile gerilim, akım ve ısı çiftlerinden elde edilebilecek her tip veri alınmış ve bu veriler, LCD ekranda gösterilmiştir. Aynı zamanda Ethernet, Modbus ve RS485 gibi farklı haberleşme protokolleri ile veri, bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Daogang ve ark., 2009). Li ve ekibi, yaptıkları çalışmada, pil verilerini toplayarak, pil ömür ve pil sağlık durumu tahminlerini yapmışlardır. Çalışmalarında, prognostik yöntemler kullanılarak yapılan tahminler ile pil ömür beklentilerinin önceden belirlenmesi sağlanmıştır (Li ve ark., 2019). Başka bir çalışmada mevcut teknikler ve gelecek trendler dikkate alınarak verisi toplanan bataryalar için durum tahmini yapılmak istenmiştir. Batarya durumu ile kastedilen parametreler, şarj durumu, enerji durumu, güç durumu, sıcaklık durumu, sağlık durumu ve güvenlik durumu olarak sıralanabilir (Hu ve ark., 2019). Bir diğer çalışmada fotovoltaiik sistemler için, düşük maliyetli, Labview tabanlı, veri toplama sistemi geliştirilmiştir. Sistem, sürekli olarak gerilim, akım ve güç değerlerini izlemiştir. Ayrıca veri toplama sistemi, gerçek test şartlarında karakteristiklerin elde edilmesine ve ortaya çıkan radyasyonun hesaplanmasına da imkân tanımıştır (Rezk ve ark., 2017). Haq ve ekibi ise doğrudan veri toplama sistem tasarımı yerine batarya yönetim sistem tasarımı konusuna odaklanmıştır (Haq ve ark., 2015). Söz konusu çalışmada, lityum demir fosfat tipi pillerin şarj durum ölçümü için akım sayma yöntemi ve pil dengeleme için de pasif dengeleme yöntemi kullanılmıştır. Başka bir çalışmada batarya ile benzer elektriksel parametrelere sahip olan solar sistemler için mikroişlemci tabanlı bir veri toplama sistemi tasarlanmıştır (Mukaro&Carelse, 1999). Çalışmada solar sistem üzerinden analog-dijital dönüştürücüler aracılığı ile toplanan veriler, bilgisayara aktarılmadan önce bir seri EEPROM hafızaya kaydedilmiş ve bütün parametrelerin ölçümleri tamamlandıktan sonra EEPROM hafızasındaki bilgiler, RS232 kullanılarak bilgisayar ortamına iletilmiştir.

Bu çalışmada Li-Ion pillerin muhtelif şartlar altında şarj ve deşarj karakteristikleri ortaya konulmuş ve analiz için veri tabanı

oluşturulmuştur. Analiz için temel oluşturacak verilerin toplanması için donanım tasarımı ve yazılımı geliştirme faaliyetleri yürütülmüştür. Tasarlanan donanım ile pilin elektriksel ve fiziksel değerleri elde edilmiş ve elde edilen değerler, bilgisayar ortamında hazırlanan bir yazılım ara yüzü ile gösterilerek, analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada gerilim, akım ve sıcaklık ölçüm yöntemleri ikinci bölümde yer almaktadır. Ayrıca bu bölümde veri toplama kartından ve hazırlanan bilgisayar yazılım arayüzünden de bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde şarj/deşarj işlemlerinde veri toplama ve elde edilen deneysel sonuçlar ile pilin çevrim testi için veri toplama ve elde edilen sonuçları yer almaktadır. Son bölümde de elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

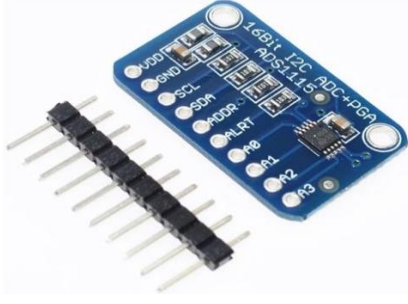
2.1. Ölçüm Yöntemleri

Pillerde veri toplama sistemleri, genel olarak akım, gerilim ve sıcaklık ölçüm sonuçlarını toplarlar. Performans ve kapasite tahmini gibi hesaplama ve öngörülerde bu üç temel ölçüm sonucuna ihtiyaç duyulur. Nem, basınç gibi fiziksel büyüklüklerinin de ölçülmesi ve kaydedilmesi mümkün iken bu çalışmada söz konusu değerlerin sabit kaldığı varsayılmıştır. Ölçümlerde elektriksel ve fiziksel değerlerin elde edilmesi için sensörler, dönüştürücüler, veri işleyici işlemci, kayıt için bilgisayar yazılımı ve veri tabanı kullanılmıştır. Sensör ve ölçüm modüllerinden elde edilen veriler, veri toplama ana kartına gönderilmiştir. Veri toplama ana kartı, UART protokolünü kullanarak USB bağlantı noktasından bilgisayara bağlanmaktadır. Bilgisayarın seri portuna iletilen ölçüm değerleri, bilgisayar yazılımı sayesinde alınmış ve bilgisayar ortamında işlenmiştir. Elde edilen verilerden öngörü ve tahminlerin çıkarılması için ise matematiksel modelleme yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen veriler, bilgisayar yazılımı sayesinde Excel dosyasına kaydedilmiş ve grafiklere dönüştürülerek analiz altyapısı oluşturulmuştur.

3.6V nominal gerilime 3500mAh nominal kapasiteye sahip olan Li-Ion pilin şarjı, güç kaynağı ile, deşarjı ise elektronik yük ile yapılmıştır. Şarj ve deşarj işlemleri süresince veri toplama işlemi de gerçekleştirilmiştir. Gerilim ölçümü, ADS115 analog-dijital dönüştürücü modülü, akım ölçümü şönt direnci, sıcaklık ölçümü ise termistör kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen ölçüm değerleri işlemci tabanlı veri toplama ana kartına, bu kartta kaydettiği ölçüm değerlerini bağlı olduğu bilgisayar yazılım arayüzüne göndermiştir. Bilgisayar yazılım arayüzü verileri, Excel dosyasına kaydederek, grafiklerinin çizdirilmesi sağlamıştır.

2.1.1. Analog-Dijital Dönüştürücü ile Gerilim Ölçüm Yöntemi

Pil geriliminin ölçülmesinde analog-dijital dönüştürücüler kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan ve Şekil 1'de de gösterilen ADS1115 analog-dijital dönüştürücü modülü, gerilim seviyesini analog olarak ölçmektedir ve 16-bit ile dijital veriye dönüştürmektedir. 5V referans voltajı kullanıldığında $7,6295 \times 10^{-5}$ V hassasiyette gerilim ölçümü yapılabilmektedir. Haberleşme protokolü olarak I2C kullanılmıştır (MCU-Turkey, 2014).



Şekil 1. ADS1115 gerilim ölçüm modülü (Figure 1. ADS1115 voltage measurement module)

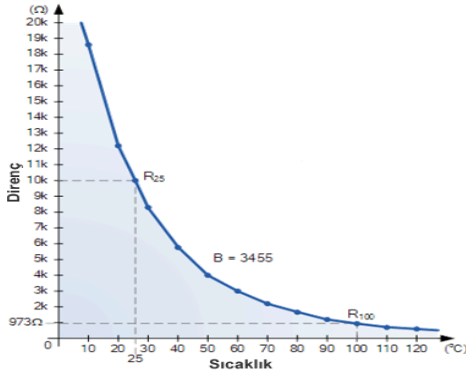
2.1.2. Şönt Direnci ile Akım Ölçüm Yöntemi

Bu yöntemde şönt direncinin taşıdığı akıma göre üzerinde genellikle mV mertebesinde bir gerilim meydana gelmektedir. Gerilimin bilinen sabit şönt direnci değerine bölünmesi ile akım hesaplanmaktadır. Direncin kutuplarında oluşan pozitif ve negatif gerilimin yönüne göre akımın şarj veya deşarj akımı olduğu diğer bir ifade ile akımın yönü tespit edilmektedir.

Şönt direnci üzerinden okunan analog gerilim değeri, analog-dijital dönüştürücü modülleri ile dijital veriye çevrilmekte ve veri toplama ana kartına iletilmektedir. Çevrim ve iletim belirli periyotlarla yapılmakta ve veri toplama sisteminin grafik oluşturmasında kullanılmaktadır (Wago, 2022).

2.1.3. Termistör ile Sıcaklık Ölçüm Yöntemi

Termistörler ile sıcaklık ölçümünün uygulamaları basit olmasından dolayı yaygın şekilde kullanılır. Termistör, 10K Ω , 100K Ω gibi birkaç değerde üretilmesine karşın, en yaygın kullanılan değeri, 10K Ω ' dur. NTC termistör direnç değeri, sıcaklığın yükselmesi ile düşer. Diğer bir ifade ile sıcaklık ile ters orantılı değişen bir direnç yapısına sahiptirler (EPOWER, 2022). Şekil 2' de termistörlerin tipik bir sıcaklık-direnç karakteristiği verilmiştir.



Şekil 2. 10K NTC için sıcaklık – direnç grafiği (Aydın, 2019) (Figure 2. Temperature-time graphic for 10K NTC(Aydın, 2019))

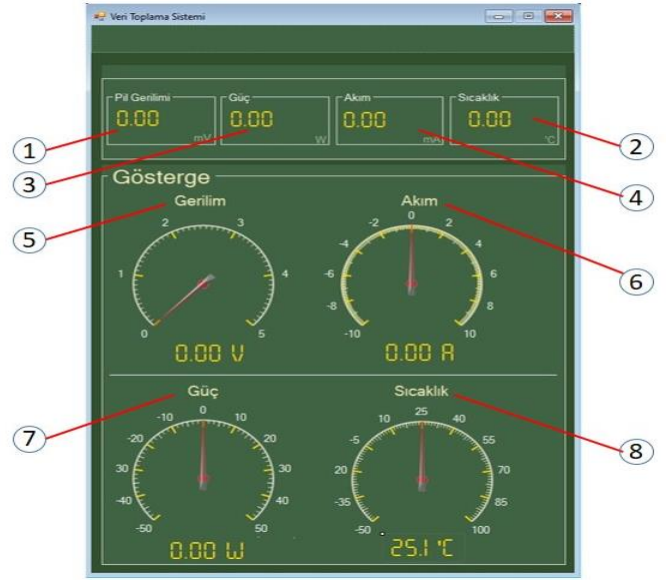
2.2. İşlemci Tabanlı Veri Toplama Kartı

Veri toplama kartı, yüksek performans ve hıza sahip ARM tabanlı işlemci modüldür. Üzerinde 128-Mbit SDRAM, 128-Mbit Quad-SPI flash hafıza, ses, mikrofon, USB, μ SD kart, Arduino Uno bulunmaktadır. Bu kart, 180MHz/225 DMIPS işlem hızı ve TFT ekran desteğine sahiptir (STMicroelectronics, 2022). Pilin şarj işlemi veya deşarj işlemi gerçekleşirken modüller tarafından gerilim, akım ve sıcaklık değerleri ölçülmektedir. Modüllerin aktif edilmesi ve hangi sıklıkla ölçüm yapılacağı, ARM tabanlı

işlemciye sahip veri toplama ana kartı tarafından belirlenmektedir (Wikipedia, 2022).

2.3. Hazırlanan Bilgisayar Yazılım Arayüzü

Bu çalışmada pilin şarjı ve deşarjı için deneysel düzenekler kurulmuş olup, bu düzenden elde edilen verilerin bilgisayar ekranında gösterilmesi için Şekil 3' de verilen ve tanımlamaları Tablo 1' de yapılan, C# programlama dili ile geliştirilen yazılım arayüzü hazırlanmıştır. Hazırlanan arayüz sayesinde elde edilen veriler, kolay anlaşılır şekilde ekrana yansıtılmıştır. Veri toplama sürecinde veri toplama ana kartı ile bilgisayar ortamındaki arayüz yazılımı haberleşerek, modüllerden alınan ölçümler, bilgisayar ortamındaki yazılıma aktarılmıştır. Yazılım, aktarılan pil gerilim, akım ve sıcaklık verilerini bir Excel sayfasına veya kendi oluşturduğu veri tabanına kaydetmiştir. C# programlama dili ile geliştirilmiş olan bu yazılım, sadece veri toplama ana kartından aldığı ölçüm değerlerini değil, batarya yönetim sisteminden aldığı dinamik verileri de gösterebilmektedir.



Şekil 3. Hazırlanan yazılım arayüzü (Figure 3. The prepared software interface)

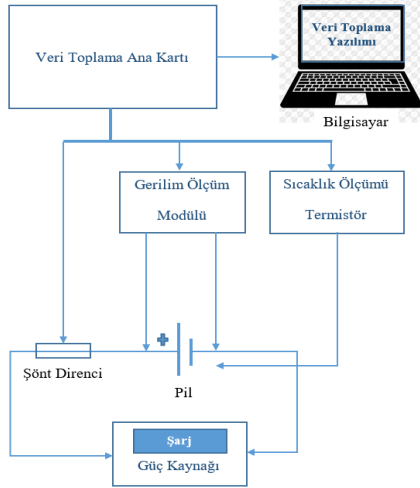
Tablo 1. Yazılım Arayüzündeki Tanımlamalar (Table 1. Descriptions in the software interface)

No	Özellik	Tanım
1	Gerilim	Pilin Anlık Gerilim Değeri
2	Sıcaklık	Pil Sıcaklığı
3	Güç	Şarj/Deşarj Gücü
4	Akım	Şarj/Deşarj Akımı
5	Gerilim Göstergesi	Pil Gerilimi İçin Kadranlı Gösterge
6	Akım Göstergesi	Şarj/Deşarj Akımı İçin Kadranlı Gösterge
7	Güç Göstergesi	Şarj/Deşarj Gücü İçin Kadranlı Gösterge
8	Sıcaklık Göstergesi	Pil Sıcaklığı İçin Kadranlı Gösterge

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

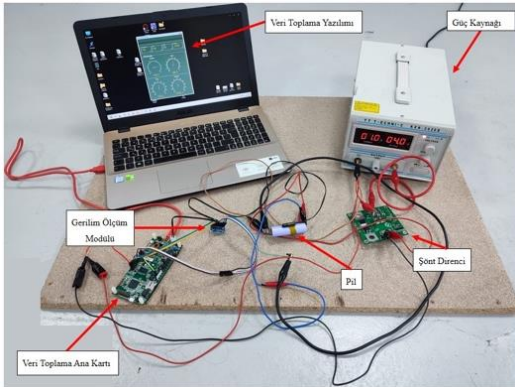
3.1. Şarj İşleminde Veri Toplama ve Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

Li-Ion pillerin şarj edilmesinde birkaç yöntem olmasına rağmen genel olarak sabit akım/sabit gerilim şarj yöntemi kullanılmaktadır. Pillerin şarjı için Şekil 4’ de verilen blok şema, Şekil 5’ de gösterilen deneysel şarj düzeneğinin oluşturulmasında referans olarak kullanılmıştır (Kaya, 2022:60).



Şekil 4. Veri toplama sisteminin şarj için blok şeması (Figure 4. Block diagram of data acquisition system for charging)

Güç kaynağı, şarj cihazı olarak kullanılmış ve çıkış değerleri 4.2V ve 1A’ e ayarlanmıştır (Engineers Edge, 2022). Şarj süresince akım, gerilim ve sıcaklık ölçüm değerleri bir Excel dosyasına kaydedilmiştir.

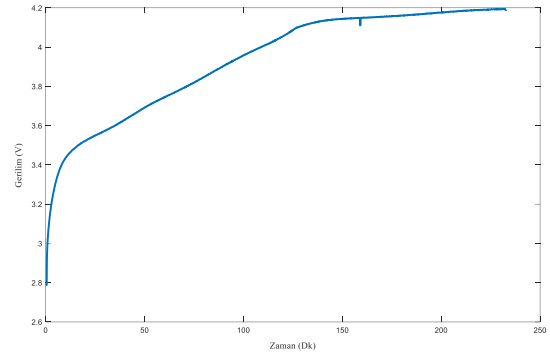


Şekil 5. Şarj esnasında akım, gerilim ve sıcaklık ölçümü için kurulan deneysel düzenek (Figure 5. Experimental setup for measurement of current, voltage and temperature during charging)

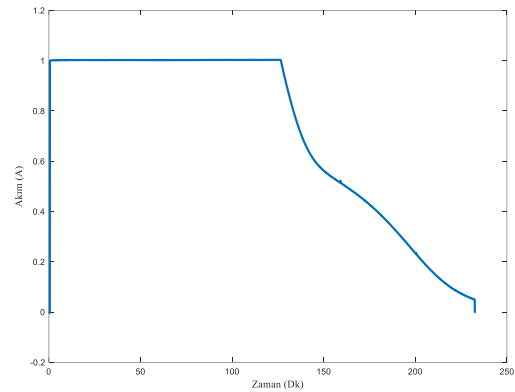
Li-Ion pilin şarj esnasındaki akım, gerilim ve sıcaklık ölçüm değerleri, Şekil 5’ de gösterilen deneysel düzenden alınmıştır. Şekil 6, şarj esnasında zamana göre gerilimin değişim grafiğini göstermekte olup, bu grafikte şarjın iki aşamadan oluştuğu görülmektedir. Sabit akım uygulandığı süreçte gerilimin yükselişte olduğu, sabit gerilim aşamasında ise gerilimin sabit kaldığı görülmüştür.

Şarj esnasında akımın zamana göre değişim grafiği Şekil 7’ de verilmiş olup, grafikte akım, ilk aşamada sabit kalmış, ikinci

aşamaya geçildiğinde gerilimin sabitlenmesi ile akım düşmeye başlamıştır.



Şekil 6. Li-Ion pilin şarj esnasında zamana göre gerilimin değişim grafiği (Figure 6. The voltage versus time variation graphic of Li-Ion battery during charging)



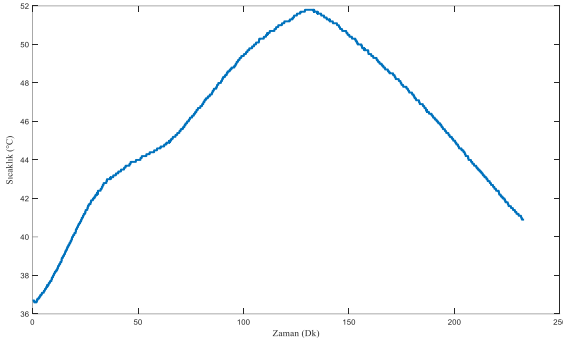
Şekil 7. Li-Ion pilin şarj esnasında zamana göre akımın değişim grafiği (Figure 7. The current versus time variation graphic of Li-Ion battery during charging)

Sıcaklık ölçümü için Şekil 8’ de gösterilen bağlantı şekli kullanılmış olup, termistör, pile ısı ölçüm doğruluğunu artırmak için geniş yüzeyden temas ettirilmiştir. Bu düzenden elde edilen verilerle oluşturulan grafik Şekil 9’ da yer almaktadır. Grafikte görüldüğü gibi akımın sabit ve en yüksek olduğu ilk aşamada pil sıcaklığı da yükselmeye başlamıştır. Gerilimin sabitlenmesi ve akımın düşmesi ile pil sıcaklığı da düşmüştür.

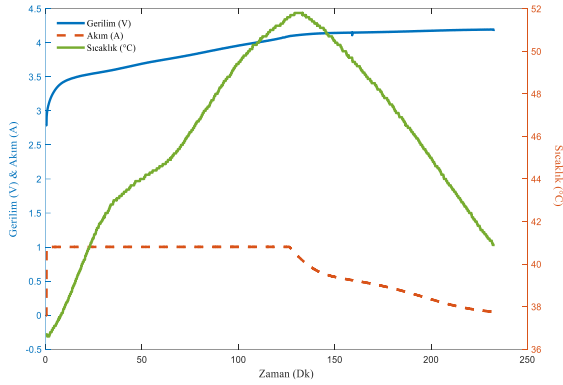


Şekil 8. Termistörün Li-Ion pil yüzeyine bağlantı şekli (Figure 8. Connection of thermistor to Li-Ion battery surface)

Şarj süresince akım, gerilim ve sıcaklık ölçümlerinden elde edilen verilerin birlikte gösterimi Şekil 10’ da verilmiştir. Akım, gerilim ve sıcaklık değerlerinin birbirlerine göre durumunu görmek ve analiz etmek bakımından önemli bir grafikdir. Şarjın ilk aşamasında akımın yüksek ve sabit olması, gerilimin ve sıcaklığın yükselişte olması, ikinci aşamada ise akımın ve sıcaklığın düşüşe geçerek gerilimin sabit kalması dikkat edilmesi gereken bir husustur.



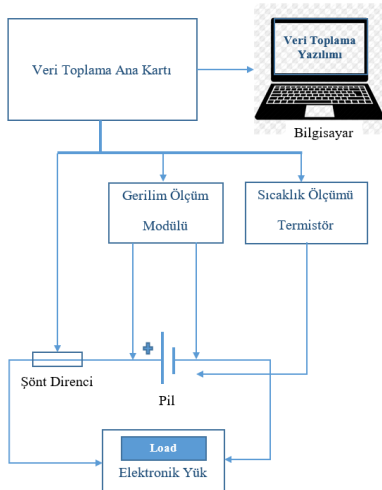
Şekil 9. Li-Ion pilin 1A/4.2V ile şarjı esnasında zamana göre sıcaklığın değişim grafiği (Figure 9. The temperature versus time variation graphic of Li-Ion battery with 1A/4.2V during charging)



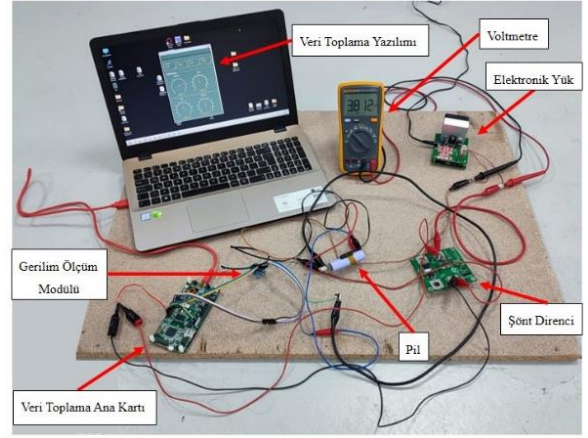
Şekil 10. Li-Ion pilin şarj esnasında gerilim, sıcaklık ve akım değerlerinin zamana göre değişim grafiği (Figure 9. The voltage, temperature and current versus time variation graphic of Li-Ion battery during charging)

3.2. Deşarj İşleminde Veri Toplama ve Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

Piller, akım, güç, sabit gerilim ve direnç ile deşarj edilebilirler (Battery University, 2021). Söz konusu yöntemlerden akım ve güç ile deşarj yöntemi en çok kullanılanlardır. Bu çalışmada deşarj işlemi için akım ile deşarj özelliğini sağlayacak elektronik yük tercih edilmiş ve elektronik yük çıkışı bir pil için gerekli olan değerlere ayarlanmıştır. Pilin deşarjı için Şekil 11’de verilen blok şema, Şekil 12’de yer alan deşarj düzeneğinin oluşturulmasında kullanılmıştır (Kaya, 2022:60).

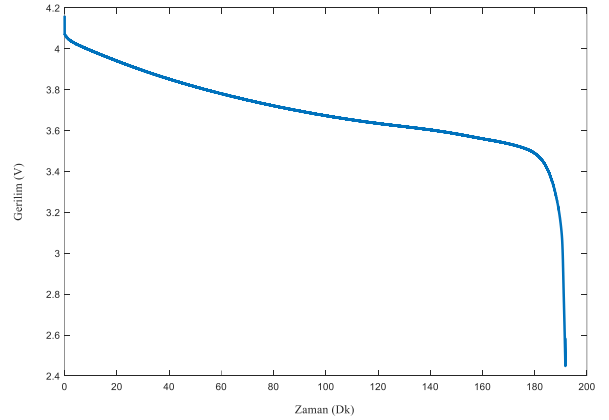


Şekil 11. Veri toplama sisteminin deşarj için blok şeması (Figure 11. Block diagram of data acquisition system for discharging)
e-ISSN: 2148-2683



Şekil 12. Deşarj esnasında akım, gerilim ve sıcaklık ölçümü için kurulan deneysel düzenek (Figure 12. Experimental setup for measurement of current, voltage and temperature during discharging)

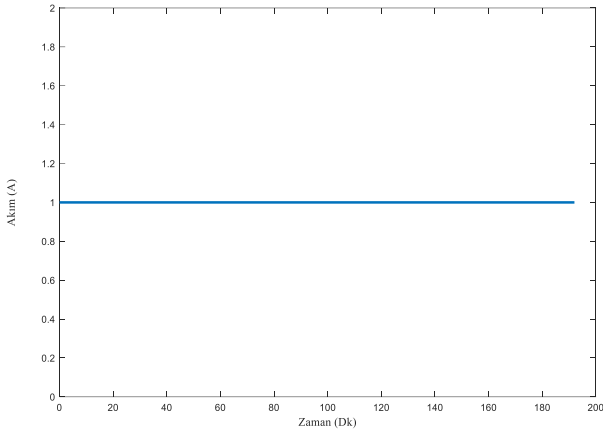
Elektronik yük, pili deşarj etmekte kullanılmış ve yük değeri sabit akım olarak 1A’ e ayarlanmıştır. Deşarj süresince akım, gerilim ve sıcaklık ölçüm değerleri bir Excel dosyasına kaydedilmiştir. Kaydedilen değerlerden elde edilen gerilimin zamana göre değişim grafiği Şekil 13’de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere deşarjın başlaması ile pilde anlık gerilim düşüşü olmuş ve 4.05V seviyesinden sonra genel olarak yatay bir grafik elde edilmiştir. Pil, deşarj süresince en uzun süre olarak ortalama 3.6V nominal gerilim seviyelerinde kalmıştır.



Şekil 13. Li-Ion pilin 1A ile deşarjı esnasında zamana göre gerilimin değişim grafiği (Figure 13. The voltage versus time variation graphic of Li-Ion battery with 1A during discharging)

Deşarj işlemi, 2.5V seviyesinde sonlandırılmış olup deşarj süresi, 192 dakika olarak ölçülmüştür. 192 dakika 3.2 saate karşılık gelmekte olup deşarj kapasitesi 3200mAh olarak hesaplanmıştır. Bu deşarj kapasite değeri, C (Kapasite)= I (Akım) x H (zaman) formülü kullanılarak bulunmuştur. Şekil 14’de deşarj süresince sabit kalan deşarj akımının zamana göre değişimi yer almaktadır. Sabit akım ile deşarj, kapasite hesaplamalarında kolaylık sağladığından genellikle kullanılan bir yöntemdir.

Deşarj işleminde sıcaklık ölçümü için Şekil 8’deki bağlantı şekli kullanılmıştır. Deşarj esnasında sıcaklığın değişim grafiği Şekil 15’de gösterilmiş olup, bu grafikte deşarjın ilk başladığı anda sıcaklığın hızla yükseldiği görülmektedir. Daha sonra sıcaklık, kısa bir süre yatay seyir izledikten sonra deşarj sonuna yaklaşırlarken tekrar yükselişe geçmiştir.



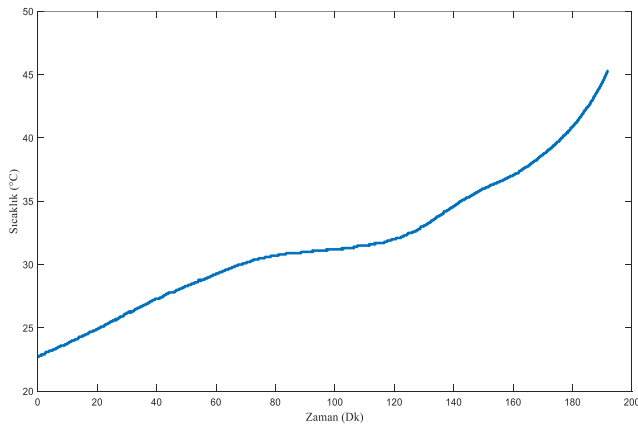
Şekil 14. Li-Ion pilin 1A ile deşarjı esnasında zamana göre akımın değişim grafiği (Figure 14. The current versus time variation graphic of Li-Ion battery with 1A during discharging)

3.3. Pilin Çevrim Testi İçin Veri Toplama ve Elde Edilen Sonuçlar

Piller için kapasite ölçümü deşarj işlemi yapılmaktadır. Veri toplama çalışması süresince kapasite ölçümü pillere sürekli uygulanmış ve bu sayede ömür testleri de yapılmıştır. Bir tam şarjı takip eden tam bir deşarj işlemi, bir çevrim olarak tanımlanmaktadır (Wenzl, 2009). Çevrim işlemi, pilin nominal kapasitesinin %60' ına düşünceye kadar sürmektedir (Garcia, 2021). %60 kapasiteye erişildiğinde elde edilen çevrim sayısı, pilin çevrim ömrü olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında kullanılan pil, kullanım ömrünün sonu olan %60 kapasiteye kadar çevrim ömrü testine tabi tutulmuştur. Çevrim ömrünün deneysel sonuçlarından elde edilen gerçek eğri, MATLAB' ın eğri uydurma yönteminden elde edilen eğri ile kıyaslanmıştır ve Şekil 16' da gösterilmiştir.

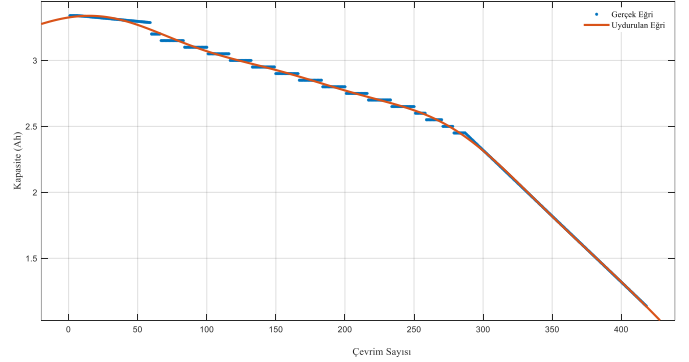
MATLAB' da eğri uydurma yöntemi, eğri uydurma toolbox' ı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçek verilerin giriş olarak kullanıldığı bu yöntemde uydurulan eğrinin elde edilen denklemi aşağıda yer almaktadır.

$$f(x)=3.538\sin(0.00378x+1.295)+0.3965\sin(0.008261x+3.597)+0.08917\sin(0.02318x+1.495)+0.01737\sin(0.04904x+0.3885) \quad (1)$$



Şekil 15. Li-Ion pilin 1A ile deşarjı esnasında zamana göre sıcaklığın değişim grafiği (Figure 15. The temperature versus time variation graphic of Li-Ion battery with 1A during discharging)

Gerçek verilerden elde edilen eğri ile uydurulan eğri arasındaki ortalama karesel hata, 0,00022 olarak hesaplanmıştır. Şekil 16' daki grafikte ilk elde edilen kapasite değeri 3200mAh' dir. Takip eden yaklaşık 60 çevrimde başlangıç kapasitesine yakın bir değer elde edilmiştir. 60 çevrimden sonra elde edilen kapasite değeri düşmeye başlamış ve 290 çevrime kadar lineer sayılabilecek bir düşüş eğimi elde edilmiştir. Takip eden çevrimlerde ise elde edilen kapasitede düşüş hızı artmıştır.



Şekil 16. Li-Ion pilin 700mA (0.2C) ile deşarjı işleminde çevrim sayısına göre kapasitenin değişim grafiği (Figure 16. The capacity versus cycle number variation graphic of Li-Ion battery with 700mA (0.2C) during discharging)

4. Sonuç

Lityum pillerin şarj, deşarj ve bekleme esnasında gerilim, akım ve sıcaklık değerlerinin ölçülmesi ve pillerin kapasite hesaplamalarının yapılması ile ilgili literatürde kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Çalışmaların birçoğu hazır Labview yazılımı kullanılarak yapılmıştır ve bu çalışmalarda genel olarak veri toplama sistemi çalışmalarında yenilenebilir enerji sistemlerinin takip edilmesi hedeflenmiştir. Literatür çalışmalarına kıyasla bu çalışmada kurulan deneysel düzenekler ile lityum pillerin şarj ve deşarj esnasındaki gerilim, akım ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Geliştirilen veri toplama sistemi ile çok daha fazla sayıda veri kaydedilmiş ve bu verilerden grafikler elde edilmiştir. Sistemden elde edilen bu veriler ile lityum pillerin kapasiteleri de hesaplanmıştır. Ayrıca, bu çalışmada veri toplama sistemine bir yazılım arayüzü hazırlanmış ve bu arayüz, verilerin anlık alınmasını ve takip edilmesini kolaylaştırmıştır. Söz konusu arayüz, donanımsal olarak elde edilen gerilim, akım, sıcaklık ve güç değerlerinin bilgisayar ekranında gösterilmesini ve veri tabanına kaydedilmesini sağlamıştır. Geliştirilen yazılım arayüzünde sadece veri toplama ana kartı ile değil, batarya yönetim sistemleri ile haberleşme altyapısı da oluşturulmuştur.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2020-10353 proje kodu ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- Aydın, M. (2019). Termistör Nedir & Nasıl Çalışır. Erişim adresi <https://www.derstagram.com/termistor-nedir-nasil-calisir/>
- Battery University (2021). BU-501a: Discharge characteristics of Li-ion. Erişim adresi <https://batteryuniversity.com/article/bu-501a-discharge-characteristics-of-li-ion>

- Daogang, P., Zhang, H., Zhang, K., Li, H., & Xia, F. (2009). Research and development of the remote I/O data acquisition system based on embedded ARM platform. *International Conference on Electronic Computer Technology*, (341-344. ss), Macau, China.
- EEPOWER (2022). NTC thermistor. Erişim adresi <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/ntc-thermistor/#>
- Engineers Edge (2022). Float charging – battery. Erişim adresi https://www.engineersedge.com/battery/float_charging.htm
- Garcia, L.J. (2021). *Cubesat Handbook: From Mission Design to Operations-Electric Power Systems*, Academic Press, 185-197.
- Haq, N.I., Saputra, R.H., Edison, F., Kurniadi, D., Leksono, E., & Yulianto, B. (2015). State of charge (SoC) estimation of LiFePO₄ battery module using support vector regression. *Proceedings of the Joint International Conference on Electric Vehicular Technology and Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering (ICEVT & IMECE)*, (16-21. ss), Surakarta, Indonesia.
- Hu, X., Feng, F., Liu, K., Zhang, L., Xie, J., & Liu, B. (2019). State estimation for advanced battery management: Key challenges and future trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114.
- Kaya, Y. (2022). *Lityum esash piller için veri toplama ve işleme sistem tasarımı*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Li, Y., Liu, K., Foley, M.A., Zülke, A., Berecibar, M., Nanini-Maury, E., Miero, J.V., & Hoster, H.E. (2019). Data-driven health estimation and lifetime prediction of lithium-ion batteries: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113.
- MCU-Turkey (2014). ADC (Analog Digital Converter) kullanımı üzerine. Erişim adresi <https://www.mcu-turkey.com/adc-kullanimi-uzerine/>
- Mukaro, R., & Carelse, X.F. (1999). A microcontroller-based data acquisition system for solar radiation and environmental monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 48, 1232-1238.
- Rezk, H., Tyukhov, I., Al-Dhaifallah, M., & Tikhonov, A. (2017). Performance of data acquisition system for monitoring PV system parameters. *Measurement*, 104, 204-211.
- STMicroelectronics (2022). STM32 32-bit Arm Cortex MCUs. Erişim adresi <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>
- Wago (2014). Akım ölçümü için geliştirilmiş 4 etkin yöntem. Erişim adresi <http://blog.wago.com.tr/akim-olcumu-icin-gelistirilmis-4-etkin-yontem/>
- Wenzl, H. (2009). Batteries-Capacity. *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, 395-400.
- Wikipedia (2022). STM32. Erişim adresi <https://en.wikipedia.org/wiki/STM32>