



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 29.11.2019
Kabul Tarihi : 27.12.2019

Received Date : 29.11.2019
Accepted Date : 27.12.2019

DA-DA YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜ İLE ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYA ŞARJ CİHAZI TASARIMI

DESIGN OF ELECTRICAL VEHICLE BATTERY CHARGER USING DC-DC CONVERTER

Erdal KILIÇ^{1,*} (ORCID: 0000-0002-1572-6109)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Erdal KILIÇ, ekilic@ksu.edu.tr

ÖZET

Günümüzde ana enerji kaynağı olarak en çok kullanılan fosil yakıtlar, yüksek fiyat, sınırlı kaynak ve çevresel kirliliği gibi birçok sorunu barındırması nedeniyle alternatif enerji kaynak arayışları artmıştır. Birçok ülke bu sorunların üstesinden gelmek için özellikle otomotiv sektöründe elektrikli araçları geliştirmeye ve kullanmaya başlamıştır. Elektrikli araçların yaygınlaşması ile birlikte batarya teknolojisi, hızlı ve kaliteli şarj cihazları, batarya yönetim sistemleri önemli araştırma konuları olmuştur. Bir elektrikli aracın bataryasının ömrü ve şarj süresi gibi bazı özellikleri doğrudan şarj cihazıyla ilgilidir. Bu durum batarya şarj cihazlarını, elektrikli araç endüstrinin gelişimi için kritik bileşenlerden biri yapmaktadır. Bu çalışmada DA-DA yükselten tip dönüştürücü kullanılarak elektrikli araçlar için bir batarya şarj cihazının tasarımı ve simülasyon işlemi sunulmaktadır. Batarya paketi ve şarj cihazının modellemesi, kontrol şeması tasarımı ve performansının değerlendirilmesi Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç, DA-DA dönüştürücü, batarya şarj cihazı.

ABSTRACT

Nowadays, the search for alternative energy sources has increased since it contains many problems such as fossil fuels, high prices, limited resources and environmental pollution, which are the most commonly used energy sources. To overcome these problems, many countries have begun to develop and use electric vehicles, especially in the automotive sector. With the widespread use of electric vehicles, battery technology, fast and high-quality chargers and battery management systems have become important research topics. Some features of an electric vehicle, such as battery life and charging time, are directly related to the charger. This makes battery chargers a critical component for the development of the electric vehicle industry. In this study, the design and simulation of a battery charger for electric vehicles is presented using DC-DC boost type converter. Modeling, control chart design and performance evaluation of the battery pack and charger were performed in Matlab / Simulink environment.

Keywords: Electric vehicle, battery charger, DC-DC converter

GİRİŞ

Dünya çapındaki ekonomik genişlemenin ve büyüyen nüfusun etkileriyle birlikte, toplum refahını artırma çabaları, ileri sanayi ve teknoloji enerji talebinde küresel artışa neden olmaktadır. Temelde sanayi, ulaştırma ve elektrik sektörlerinden kaynaklanan atmosferdeki sera gazı birikimi küresel ısınma ve iklim değişikliğinin ana nedenini oluşturmaktadır (Kahraman, 2019; Iclodean ve ark. 2017). Küresel ısınma ve oluşturduğu çevresel etkileri azaltmak amacıyla dünya çapında farklı önlemler önerilmekte ve uygulanmaktadır. Bu sorunun çözümüne katkıda bulunmak için fosil yakıtları kullanan mevcut araçların yerine çevre dostu ve verimli elektrikli araçların kullanımı teşvik edilmektedir (Sang ve Bekhet, 2015; Silva ve ark., 2009). Elektrikli araç (EA)'lar, devlet teşvikleri sayesinde, sadece yenilikçi bir alternatif sunmak için değil aynı zamanda işletme maliyeti için de küresel otomotiv pazarında giderek daha fazla yer almaktadır (Steinhilber, 2013; Haddadian, 2015).

Bataryaların yeniden şarj edilmesi için kullanılan elektrik enerjisinin üretimi yenilenebilir kaynaklardan yapılmadığı sürece EA'ların kullanımı dolaylı olarak fosil yakıt kullanan araçlar kadar olmasa da bir miktar sera gazı üretmektedir. EA teknolojisinin yükselmesiyle birlikte bataryaların kapasite, şarj süresi, güç yoğunluğu, faydalı ömür gibi bileşenlerinin araştırılması ve geliştirilmesi önem kazanmıştır (Diouf ve Pode, 2015).

Günümüzde EA'larda genellikle kurşun-asit, nikel kadmiyum, nikel metal hidrat ve lityum iyon temelli bataryalar kullanılmaktadır. Yüksek enerji kapasitesine ihtiyaç duyulan ve batarya desteğiyle çalışacak şekilde tasarlanmış sistemlerde lityum tabanlı batarya hücreleriyle oluşturulmuş batarya paketleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde lityum tabanlı batarya hücreleri kullanılmasının en büyük nedenlerinden biri bu bataryaların yüksek enerji yoğunluklarına sahip olmalarıdır (Indukala ve Bincy, 2019; Miao ve ark. 2019; Noh, 2017).

Bataryaların kapasite, şarj süresi, enerji yoğunluğu, faydalı ömür, maliyet ve ağırlık bakımından iyileştirilmesi EA'ların geliştirilmesinde kritik bir öneme sahiptir (Wang ve ark., 2016). Yüksek enerji kapasiteleri elde etmek için, batarya hücreleri birbirlerine seri ve paralel bağlanarak, istenilen gerilim seviyesinde istenilen kapasite ayarlanmaya çalışılır.

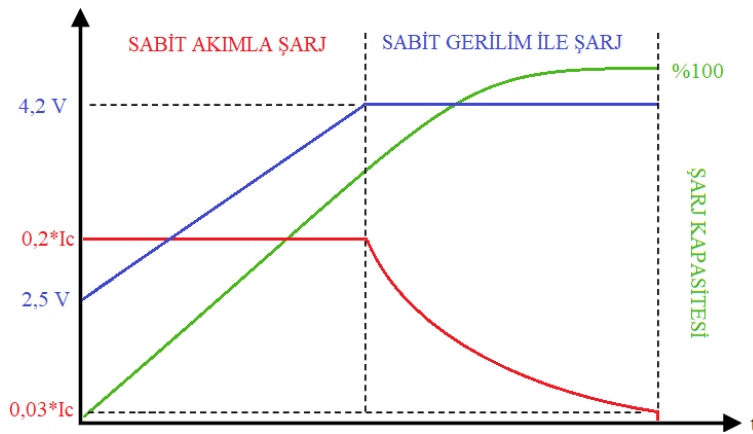
EA'lara olan ilgi sürekli artış göstermesine rağmen özellikle yüksek şarj süreleri ve uzun menzilli yolculuklar için yetersiz batarya kapasitesi nedeniyle elektrikli araçların kullanımı henüz istenilen seviyeye ulaşmamıştır. Hem şehirlerde hem de yollarda yakıt istasyonlarına benzer şekilde yerleştirilen şarj istasyonlarına sahip olmak bu sorunları kısmen azaltacaktır (Özbalcı, 2019; Kerem, A., 2014). Ayrıca EA kullanımını desteklemek için hızlı şarj cihazlarının geliştirilmesi ve iyileştirilmesinin çok önemli olduğu kabul edilebilir. Literatürde, hızlı şarj istasyonları için geliştirilen ve kayıpları azaltan topolojiler aracılığıyla, şarj işleminin etkinliğini arttırmayı amaçlayan farklı DA-DA dönüştürücü topolojileri bulmak mümkündür (Frey, 2019; Mahalingam, 2019; Tan, 2019; Xuan, 2019).

Batarya paketinin şarj edilmesini hedefleyen bir DA-DA dönüştürücü tasarlanırken bataryayı bir yük olarak kullanmanın etkisinin anlaşılması gereklidir. Çünkü bataryanın sistemde bir değişken yük gibi davranması tasarımı zorlaştıracaktır. Bu çalışmada, bir EA'nın lityum-iyon batarya paketini sabit akım-sabit gerilim yöntemiyle şarj etmek amacıyla DA-DA yükselten tip dönüştürücü esas alınarak bir şarj cihazının tasarımı ve simülasyon sonuçları sunulmuştur.

BATARYA ŞARJ CİHAZI TASARIMI

Bir batarya şarj cihazı, bataryanın tipine göre gerekli akım ve gerilim kontrolünü sağlayarak güvenli bir şekilde şarj işlemi yapan bir cihazdır. Batarya şarj cihazı EA'ların geliştirilmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bataryalar genellikle sabit gerilim, sabit akım, kontrolsüz akım, darbe yükü, negatif darbeleri, damlama, şamandıra, rastgele, sabit akım-sabit gerilim gibi yöntemlerle şarj edilmektedir (Erdal ve ark., 2019).

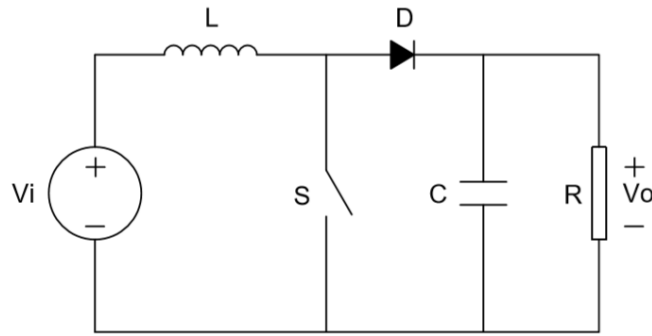
EA endüstrisinde çok çeşitli şarj edilebilir piller geliştirilmiştir, ancak mevcut tüm tipler arasında özellikleri ve performansları nedeniyle lityum-iyon pillerin en iyi olduğu düşünülmektedir. Bu piller için en popüler batarya şarj prosedürü sabit akım - sabit gerilim yöntemidir. Lityum-iyon pilin sabit akım – sabit gerilim şarj karakteristiği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Lityum-İyon Pilin Şarj Karakteristiği

Sabit akım şarjı, bataryanın zarar görmeden dayanabileceği maksimum şarj oranıdır. Şarj oranını en üst seviyeye çıkarmak ve aynı zamanda aşırı şarjdan kaçınarak bataryanın tam olarak şarj olmasını sağlamak için özel önlemler alınması gerekir. Bu nedenle, hücre gerilimi üst sınırına ulaşmadan önce şarj yöntemi sabit gerilimle değiştirilir. Bu durum lityum iyon hücreleri şarj cihazlarının şarj akımını ve batarya gerilimini kontrol edebilmesini gerektirmektedir. Sabit akım modunda şarj doluluk oranı batarya geriliminin üst sınırına ulaşılan kadar çok hızlı bir şekilde gerçekleşir. Batarya gerilimi üst sınıra ulaştıktan sonra sabit gerilim moduna geçilir ve şarj gerilimi bu seviyede tutulur. Bu sabit gerilim periyodu boyunca, şarj akımı düşmeye başlar. Önceden belirlenmiş bir minimum akım noktasına ulaşıldığında ise (genellikle şarj akım değerinin %3'ü ile %5'i) kesim gerçekleşir ve bu da bataryanın tam şarj doluluk oranına ulaştığını gösterir. Lityum-iyon pillerin nominal gerilimi 3,6 V'tur ve genelde 4,2 V'a kadar şarj edilirler. Burada I_c pilin kapasitesi olan amper-saat (Ah) değeridir.

Son zamanlarda elektrikli araç bataryalarının şarj edilmesi için de kullanılan DA-DA dönüştürücüler, girişindeki DA gerilimi bir seviyeden diğer bir gerilim seviyesine dönüştüren elektronik cihazlardır. Şekil 2'de temel topolojisi verilen DA-DA yükselten tip dönüştürücüler sürekli bir giriş gerilimini çıkışında daha yüksek bir gerilime dönüştürmektedir (Keçecioglu ve ark., 2019a).



Şekil 2. Yükselten Dönüştürücü Topolojisi

Dönüştürücü çıkışı bir referans değer ile karşılaştırılarak elde edilen hata ile genellikle sabit bir anahtarlama frekansında çalışan sistemin görev döngüsü (D) değeri ayarlanır (Keçecioglu ve ark., 2019b). Çıkış gerilimi değeri eşitlik (1)'de verilmiştir.

$$V_o = \frac{V_i}{1 - D} \quad (1)$$

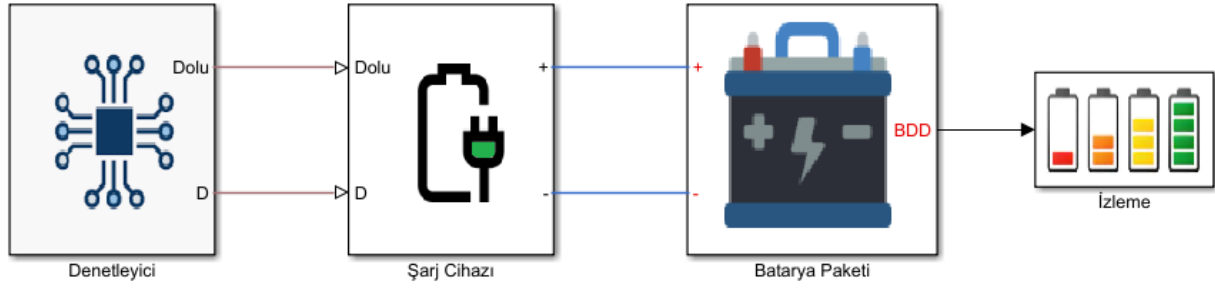
Batarya paketi 9 adet lityum-iyon pil paralel bağlanarak oluşturulan modüllerden 32 adetinin seri bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Batarya paketi özellikleri Tablo 1'de görülmektedir (Özbalcı ve Erdal, 2019).

Tablo 1. Batarya Paketi Parametreleri

Parametre	Değeri
Pil Kapasitesi	3400 mAh
Pil Nominal Gerilimi	3,6 V
Modül Pil Sayısı	9
Modül Nominal Kapasitesi	30,6 Ah / 110 Wh
Modül Sayısı	32 adet
Nominal Gerilimi	115,2 V
Maksimum Gerilimi	134,4 V
Toplam Kapasitesi	3525 Wh

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

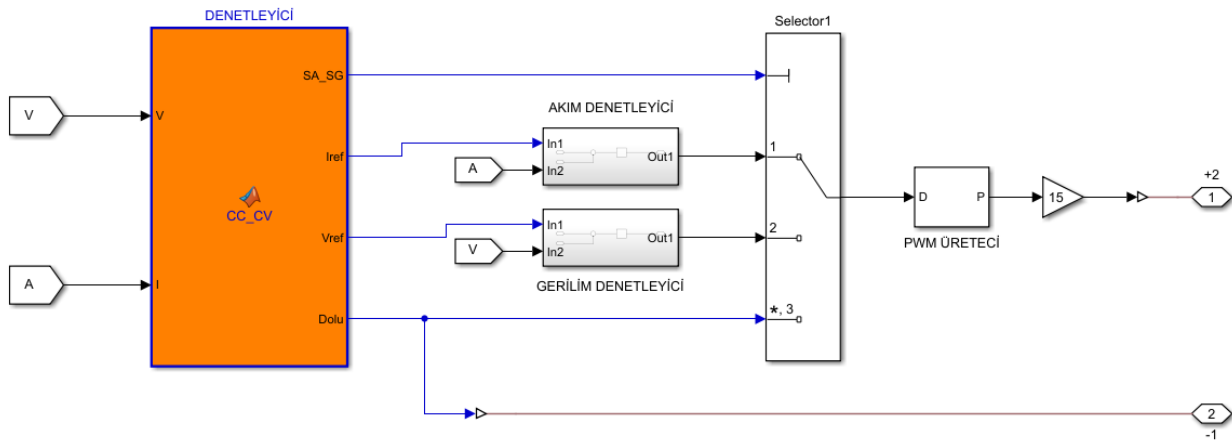
Bu bölüm, elektrikli aracın batarya paketi ve tasarlanan şarj cihazının MATLAB/Simulink ortamındaki modellenmesini ve simülasyon çalışmalarını göstermektedir. Sistemin simulink modeli Şekil 3'te verilmiştir. Denetleyici batarya paketinin ölçülen akım ve gerilim değerlerine göre şarj cihazını kontrol ederek bataryayı şarj etmekte ve batarya dolduğunda ise şarj işlemini bitirmektedir.



Şekil 3. Batarya Şarj Sistemi Modeli

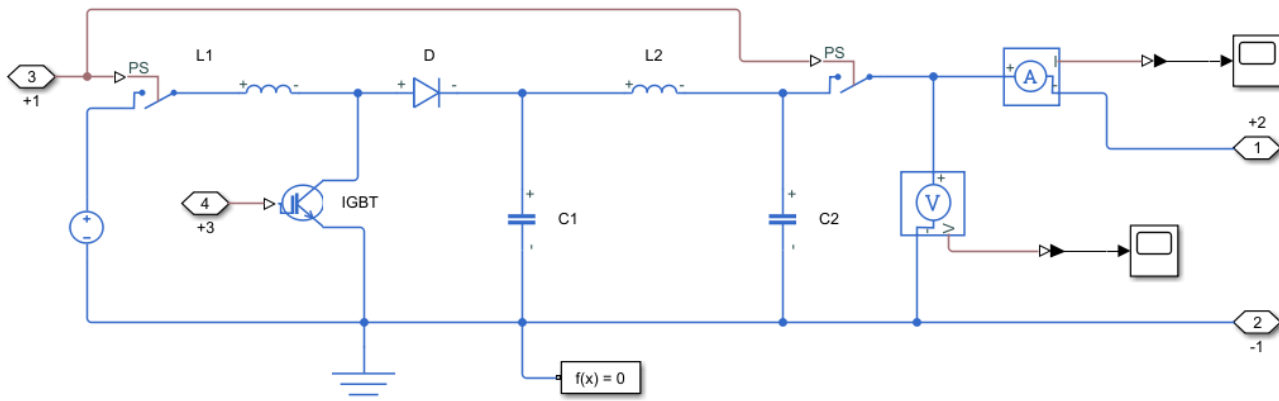
Batarya şarj sistemi sabit akım-sabit gerilim yöntemiyle çalışmakta ve akım ile gerilim kontrolü PID denetleyici tarafından yapılmaktadır. Batarya paketi, 134,4 V maksimum şarj gerilim değerine ulaşıncaya kadar batarya paketi 15 A sabit akım ile şarj edilmektedir. Çıkış gerilimi maksimum şarj gerilim seviyesine ulaştıktan sonra batarya paketi sabit gerilim ile şarj edilmeye devam etmektedir. Çekilen akım değeri maksimum akım değerinin %3'üne düştüğünde ise şarj işlemi kesilmektedir.

Şarj sisteminin denetim modeli Şekil 4'te verilmiştir. Batarya akımı ve gerilimi sürekli ölçülerek şarj işlemi sabit akım veya sabit gerilimle yapılmaktadır. Batarya paketi tam doluluk seviyesine ulaştığında ise şarj kesim sinyali üretilmektedir. Denetleyici çıkışlarında oluşan görev döngüsü değerine göre PWM sinyali elde edilmektedir.



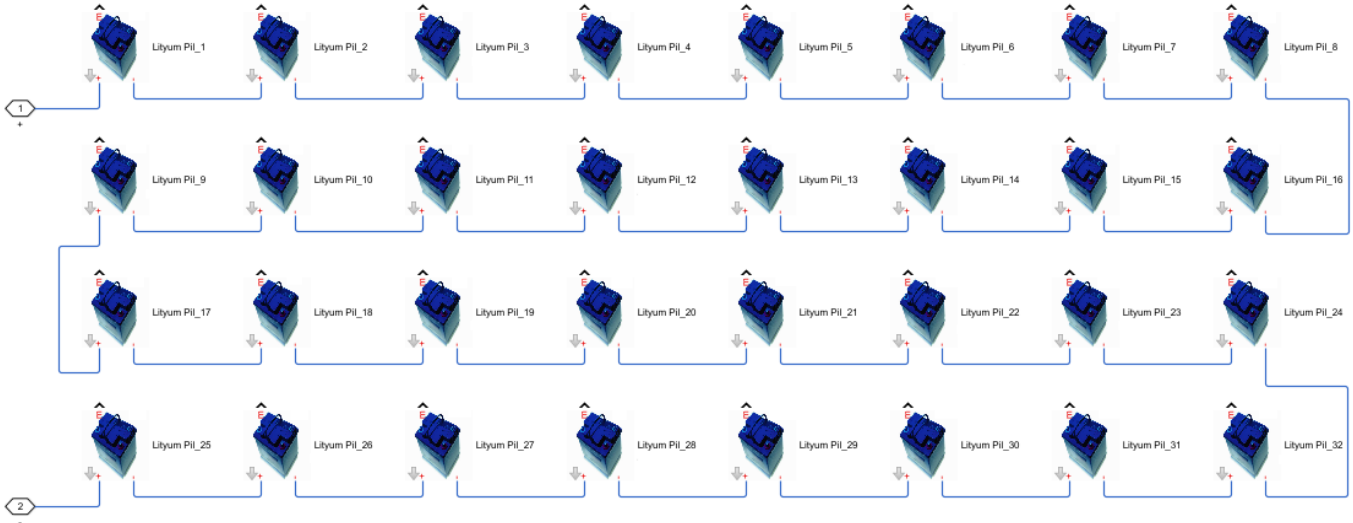
Şekil 4. Denetleyici Modeli

Şekil 5'te DA-DA yükselten tip dönüştürücü kullanılarak tasarlanan şarj cihazının modeli verilmiştir. Dönüştürücü tasarım aşamasında devre parametreleri belirlenirken giriş gerilimi 60 V, çıkış gerilimi 80-150 V, çıkış akım 0-15 A, anahtarlama frekansı 20 kHz, giriş akım dalgalanması %10, çıkış gerilim dalgalanması %1 olarak kabul edilmiştir. Devre parametrelerinin minimum değerleri Keçecioğlu ve ark. (2019a)'a göre belirlenmiştir. Dönüştürücü modelindeki pasif devre elemanlarından $L_1=75\text{mH}$, $C_1=330\mu\text{F}$, $L_2=5\text{mH}$ ve $C_2=1\text{mF}$ olarak seçilmiştir.



Şekil 5. DA-DA Yükselten Tip Dönüştürücü Modeli

Tablo 1'deki batarya paketi özellikleri dikkate alınarak Şekil 6'da batarya paketi modeli oluşturulmuştur. Lityum-iyon piller, birinci dereceden bir RC eşdeğer devre kullanılarak modellenmiştir (Ahmed ve ark., 2015). Aracın batarya paketi 32 adet seri modülden oluşmaktadır.

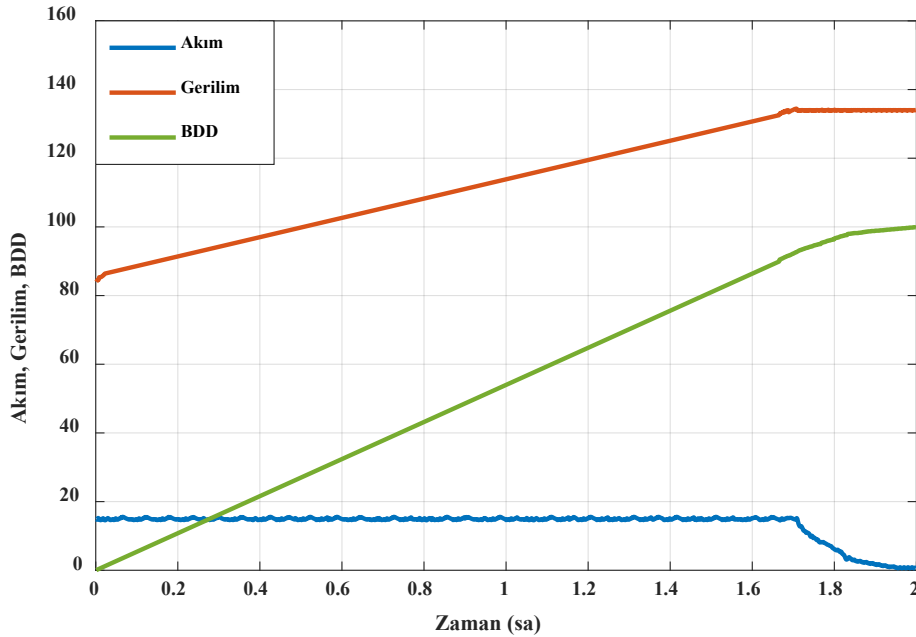


Şekil 6. Batarya Paketi Modeli

Simülasyon çalışmasında her modülün kapasitesi nominal değerinin altında 27,6 Ah olarak alınmış ve batarya paketinin başlangıçta boş olduğu kabul edilmiştir. Paketin batarya doluluk durumu (BDD) eşitlik (2)'deki ifade kullanılarak amper-saat sayma yöntemi ile tespit edilmiştir.

$$BDD(t) = BDD(t_0) + \frac{1}{Q_{maks}} \int_{t_0}^t I_b(t) dt \quad (2)$$

Burada; BDD_0 başlangıç anındaki batarya doluluk durumunu, I_b batarya akımını ve Q_{maks} bataryanın maksimum kapasitesini ifade etmektedir. Simülasyon çalışmasında elde edilen akım, gerilim ve BDD değerleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Batarya Paketini Şarj Cevabı

Batarya paketinin gerilim değeri maksimuma ulaşana kadar 15 A sabit akım ile şarj işlemi yapılmıştır. Bu sırada BDD yaklaşık %90 değerine ulaşmıştır. Daha sonra gerilim değerinin sabit kaldığı ve batarya şarj olmaya devam ederken akım değerinin giderek düştüğü görülmektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, elektrikli bir aracın lityum-iyon pillerden oluşan batarya paketi ile DA-DA dönüştürücü esaslı bir şarj cihazı tasarlanmıştır. Sistem modeli MATLAB/Simulink ortamında oluşturulmuştur. Şarj yöntemi olarak sabit akım-sabit gerilim tekniği kullanılmıştır. Yapılan çalışmada batarya paketi başarılı bir şekilde şarj edilmiştir. Batarya paketi 1,7 saatte yaklaşık %90 doluluk oranıyla sabit akım modundan sabit gerilim moduna geçmiştir. Yaklaşık 2 saatte ise tam dolu duruma ulaşmıştır. Sabit akım modunda 15 A referans değeri ile yapılan şarj işleminde %7 civarında akım dalgalanması meydana gelmiştir. Sistemde PID tipi klasik denetleyici yerine yapay zekâ temelli denetleyiciler kullanılarak akım dalgalanmasının daha da düşürülebileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, R., Gazzarri, J., Onori, S., Habibi, S., Jackey, R., Rmezien, K., Tjong, J., & LeSage, J. (2015). Model-Based Parameter Identification of Healthy and Aged Li-ion Batteries for Electric Vehicle Applications, *SAE Int. J. Alt. Power*, 4, 2.
- Diouf, B., & Pode, R. (2015). Potential of lithium-ion batteries in renewable energy, *Renewable Energy*, 76, 375-380.
- Frey, D. (2019). Boost converter DC to DC, MATLAB Central File Exchange. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/60523-boost-converter-dc-to-dc/> Accessed 25.12.2019.
- Haddadian, G., Khodayar, M., & Shahidepour, M. (2015). Accelerating the Global Adoption of Electric Vehicles: Barriers and Drivers, *The Electricity Journal*, 28, 53-68.
- Iclodean, C., Varga, B., Burnete, N., Cimerdean, D., & Jurchiş, B. (2017). "Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles". IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 252(1): 012058.
- Indukala M.P, & Bincy M.M. (2009), A Study on Electric Vehicle Battery, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6, 309-314.
- Kahraman, G., (2019). Türkiye’de Kentleşmenin Enerji Tüketimi ve Karbon Salınımı Üzerine Etkisi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9,1559-1566.
- Keçecioglu, Ö.F, Gani, A., & Kılıç, E. (2019a). Robust Control of Boost Converter using Interval Type-2 TSK Fuzzy Logic Controller, *CISSET-2nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology*, 10-12 October, Mersin/ TURKEY.
- Keçecioglu, Ö.F., Gani, A., Kılıç, E. (2019b). Negatif Çıkışlı Yüksek Kazançlı Luo Dönüştürücünün Denetiminde Tip -2 Sinirsel-Bulanık Denetleyicinin Performansının İncelenmesi, *4th International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2019)*, April 25-27, 2019 – Alanya, Antalya / TÜRKİYE.
- Kerem, A. (2014). Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5, 1-13.
- Kılıç, E., Doğmuş, O., Keçecioglu, Ö.F., Güneş, M. & Gani, A. (2019). Elektrikli Araç İçin Yerleşik Şarj Ünitesi Tasarımı, *International Symposium on Advanced Engineering Technologies- (ISADET)*, 02-04 May, Kahramanmaraş, Turkey.
- Mahalingam, H. (2019). Multiphase boost converter in solar battery charger, MATLAB Central File Exchange. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/48118-multiphase-boost-converter-in-solar-battery-charger/> Accessed 25.12.2019.
- Miao, Y., Hynan P., Jouanne A.V., & Yokochi A. (2019). Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements, *Energies*, 12: 1074.
- Noh, M. H. (2017). Fast-charging of Lithium-ion batteries with ohmic-drop compensation method, Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes.
- Özbalcı, Ü., & Kılıç, E. (2019). Elektrikli Bir Aracın Batarya Sisteminin Modellenmesi, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, 64-69.
- Sang, Y.N., & Bekhet, H.A. (2015). Modelling electric vehicle usage intentions: an empirical study in Malaysia, *Journal of Cleaner Production*, 92, 75-83.

Silva, C., Ross, M. &Farias, T. (2009). Evaluation of energy consumption, emissions and cost of plug-in hybrid vehicles, *Energy Conversion and Management*, 50, 1635–1643.

Steinhilber, S., Wells, P., & Thankappan, S. (2013). Socio-technical inertia: Understanding the barriers to electric vehicles, *Energy Policy*, 60, 531-539.

Tan, R., (2019). Lithium Battery Charger Block, MATLAB Central File Exchange.

<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/72570-lithium-battery-charger-block/> Accessed 25.12.2019.

Wang, Q., Jiang, B., Li, B., & Yan, Y. (2016). A critical review of thermal management models and solutions of lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 106-128.

Xuan, T.N., (2019). Charger for Battery 48V from DC source 32V with two mode CC and CV, MATLAB Central File Exchange. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/35735-charger-for-battery-48v-from-dc-source-32v-with-two-mode-cc-and-cv/> Accessed 25.12.2019.