



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 02.08.2019

Kabul Tarihi : 04.11.2019

Received Date : 02.08.2019

Accepted Date : 04.11.2019

## ELEKTRİKLİ BİR ARACIN BATARYA SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

### MODELING THE BATTERY SYSTEM OF AN ELECTRIC VEHICLE

Ümit ÖZBALCI<sup>1\*</sup>, Erdal KILIÇ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ümit ÖZBALCI, umitozbalci@ksu.edu.tr

#### ÖZET

Giderek artan yakıt maliyetleri ve fosil yakıtlı araçların emisyon problemi nedeniyle otomotiv sektörü büyük bir değişim döneminden geçiyor. Bu nedenle hibrit ve elektrikli otomobiller üretilmeye başlandı. Elektrikli araçların maliyet, maksimum hız düşüklüğü, yüksek şarj süresi gibi dezavantajları ise henüz tam olarak çözüme kavuşturulmuş değildir. Lityum tabanlı bataryaların geliştirilmesi ile elektrikli araçlarda depolama bataryaları olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu bataryalar performans, dayanıklılık, güvenlik ve maliyet avantajları açısından günümüzde elektriksel sistemlerin enerji ihtiyacını karşılamak için tercih edilmektedir. Bu çalışmada, elektrikli bir araçta kullanılan batarya ve şarj sisteminin benzetim modeli kullanılarak batarya paketinin akım, gerilim ve şarj durumu grafiği elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikli araç, batarya paketi, batarya modelleme

#### ABSTRACT

The automotive sector is undergoing a major change due to the increasing fuel costs and the emission problems of fossil fuel vehicles. For this reason, hybrid and electric cars started to be produced. The disadvantages of electric vehicles such as cost, maximum speed decrease, high charging time are not yet fully resolved. Along with the development of lithium-based batteries, have being used as energy storage units in electric vehicles. These batteries are preferred to meet the energy requirements of electrical systems in terms of performance, durability, safety and cost advantages. In this paper, the current, voltage and state of charge graphs of a battery pack is obtained by using the simulation model of the battery and charging system used in an electric vehicle.

**Keywords:** Electrical vehicle, battery pack, battery modelling

#### GİRİŞ

Günümüzde enerji ve çevre sorunları nedeniyle yeni enerji teknolojileri geliştirilmektedir. Otomotiv endüstrisi de bu teknolojiler ile donatılan araçların üretimine ivme kazandırmıştır. Yeni enerji araçlarından hibrit, bataryalı ve yakıt hücreli elektrikli araçlar gelecekteki otomotiv enerji güç sistemleri için önemli gelişim teknolojileri olarak kabul edilmektedir. Elektrikli araçlar (EA) geleneksel fosil yakıtlı araçlara kıyasla daha verimli, daha temiz ve sürdürülebilir bir ulaşım alternatifi sunduklarından dolayı dünyadaki önde gelen otomotiv üreticilerinin stratejik öncelikleri haline gelmiştir (Jiang ve ark., 2015).

EA, bataryalarda depolanan gücü kullanarak elektrikli bir motorla çalışan araçtır. EA daha az hareketli parçaya sahip olduklarından bakımları minimum düzeydedir ve daha fazla enerji tasarrufu sağlamaktadırlar. EA, birçok avantajlarının yanında maliyet, hız düşüklüğü, yüksek şarj süresi, batarya ömrü gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Elektrikli araç güç aktarma organlarının temel bir bileşeni olan batarya paketleri gerçek zamanlı kontrol ve izleme gerektirir (Ahmed, 2014). Bu batarya paketleri genellikle kurşun-asit, nikel kadmiyum, nikel metal hidrat ve lityum-iyon pil hücrelerinden meydana gelmektedir. Lityum-iyon bataryalar tipik olarak yüksek güç, enerji yoğunluğu ve uzun hizmet ömrü nedeniyle tercih edilen batarya çeşididir (Zhang ve ark., 2018).

Batarya yönetim sistemi, bir bataryadaki şarj durumu, sağlık durumu, kalan faydalı ömür gibi kritik parametrelerin doğru şekilde izlenmesinden ve denetiminden sorumludur. Batarya şarj durumu, bataryadan geri alınabilen mevcut batarya kapasitesini temsil etmektedir. Bu parametre batarya yaşlanma etkilerini azaltacak şekilde bataryayı çalıştırmak ve performansını iyileştirmek için bir bataryada izlenmesi gereken en önemli durumlardan biridir (Chen ve ark., 2017).

Şarj durum tahmini için uygulanan sezgisel veya deterministik matematiksel araçların kullanıldığı çok çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Coulomb sayma yöntemi veya amper-saat (Ah) yöntemleri gibi standart ölçüm tabanlı tahmin yaklaşımlarının yanı sıra açık devre voltajı ve empedans ölçüm yöntemleri daha sezgisel ve güvenilir bir tahmin vermektedir (Gandolfo ve ark., 2015; Guo ve ark., 2018; Gadoue ve ark., 2018). Yapay sinir ağı ve bulanık mantık gibi makine öğrenmeye dayalı tahmin yöntemleri şarj durumu ile onu etkileyen faktörler arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi tanımlayarak genelde iyi bir şarj durumu tahmini vermektedir. Ancak öğrenme süreci oldukça hesaplamalı bir şekilde ağır olan bu yöntemlerin tahmin modelleri çevrimdışı oluşturulmaktadır (Zhou ve ark., 2011; Qian ve ark., 2015; Hannan ve ark., 2018). Kalman filtresi kullanan durum uzay modeli temelli tahmin yöntemleri kapalı döngü, çevrimiçi olma ve dinamik bir şarj durumu tahmin hata aralığının mevcut olması avantajları nedeniyle çok popüler bir yöntemdir (Sepasi ve ark., 2015; Zeng ve ark., 2018).

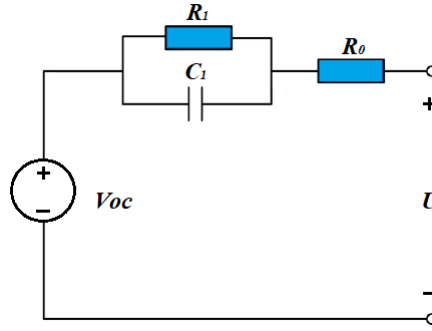
Bu çalışmada, mevcut elektrikli bir araçta kullanılan nominal gerilimi 115,2 V ve toplam kapasitesi 3525 Wh olan batarya paketinin eşdeğer devre modeli elde edilmiştir. Daha sonra batarya paketi ve şarj sisteminin modeli MATLAB/Simulink ortamında oluşturulmuştur. Bu model kullanılarak yapılan benzetim çalışmasıyla batarya paketinin akım, gerilim ve şarj durumu grafiği elde edilmiştir.

## BATARYA MODELLEME

Sağlıklı bir şarj durum tahmini, yüksek kalitede bir batarya modeli gerektirir. Batarya modeli, batarya özelliklerini gerektiği kadar doğru yakalamalı, pratik olarak tanımlanabilir model parametrelerine sahip olmalı, seçilen batarya kontrol algoritmasına uygun olmalı ve hesaplama açısından verimli olmalıdır (Ahmed ve ark., 2015; Tong ve ark., 2013).

Batarya modelleri genel olarak eşdeğer devre bazlı modeller, elektrokimyasal modeller, deneysel modeller, yapay sinir ağı ve bulanık mantık tabanlı modeller olarak sınıflandırılabilirler. Eşdeğer devre bazlı modellerde bir bataryanın şarj ve deşarj davranışını modellemek için kapasitör ve direnç gibi elemanlar kullanılır. Bu modeller parametre ve model tanımlaması açısından basit ve hesaplama yönünden verimlidir. Elektrokimyasal modeller elektrolit ve her iki elektrot içindeki lityum birleşmesini modellemek için kısmi diferansiyel denklemleri kullanır. Elektrokimyasal modeller genellikle karmaşık olmalarına rağmen batarya kimyasına fiziksel bir bakış açısı sağladıklarından, batarya sağlık durumu tahmininde ve batarya bozulmasının izlenmesinde tercih edilirler. Deneysel veya davranışsal modeller batarya hücrelerinin davranışını tanımlamak için deneysel fonksiyon ve formüller kullanılır. Daha az parametre kontrolü ile uygulanması kolaydır ve bir batarya yönetim sistemindeki gerçek zamanlı uygulamalarda kolayca kullanılabilir. Yapay sinir ağı ve bulanık mantık tabanlı modeller doğrusal olmayan ve karmaşık girdi-çıkı ilişkilerini belirleyebilen modellerdir. Bu modelleme türü deneysel eğitim verilerine ihtiyaç duyduğundan gerçek zamanlı uygulamalar için yüksek hesaplama gücü ve zaman gerektirirler (Ahmed, 2014).

Direnç ve kondansatörlerden oluşan eşdeğer devre modelleri bir bataryanın gerilim-akım davranışının benzetimi için yaygın kullanılmaktadır (Xia ve ark., 2015). Bu çalışmada lityum-iyon pillerin modelleme ve benzetimi için Şekil 1'de verilen birinci dereceden bir RC eşdeğer devre modeli kullanılmıştır (Zhang ve ark., 2017). Burada kontrollü gerilim kaynağı  $V_{OC}$  lityum-iyon pilin açık devre voltajını,  $R_0$  omik direncini,  $R_1$  polarizasyon direncini,  $C_1$  polarizasyon kapasitansını ve  $U$  ise terminal gerilimi belirtmektedir.  $R_1$  ve  $C_1$  değerleri batarya şarj durumuna ve akımına bağlıdır. Batarya modelinin gerilim değeri şarj durumu, açık devre gerilimi,  $R_0$ ,  $R_1$  ve  $C_1$  değerleri ile kontrol edilmektedir.



Şekil 1. Birinci derece RC model

Bataryanın parametreleri bataryanın akım ve gerilim değerlerinden faydalanılarak bulununmaktadır. Bu çalışmada kullanılan batarya modelinin 20°C'deki parametre değerleri Tablo 1'de verilmiştir (Web1; Ehsani ve ark., 2010).

Tablo 1. Batarya Modeli Parametreleri

Şarj Durumu (%)	R <sub>0</sub>	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	V <sub>oc</sub>
0	0,0085	0,0029	12447	3,5057
10	0,0085	0,0024	18872	3,5660
25	0,0087	0,0026	40764	3,6337
50	0,0082	0,0016	18721	3,7127
75	0,0083	0,0023	33360	3,9259
90	0,0085	0,0018	18360	4,0777
100	0,0085	0,0017	23394	4,1928

Bir bataryanın şarj durumu, bataryaya giren ve çıkan elektrik akımı miktarı göz önüne alınarak tahmin edilebilir (Ehsani ve ark., 2010).

$$SOC = SOC_0 - \int \frac{i}{Q(i)} dt \quad (1)$$

Burada *SOC* batarya şarj durumunu, *SOC<sub>0</sub>* batarya başlangıç şarj durumunu, *i* batarya akımını ve *Q* batarya kapasitesini göstermektedir.

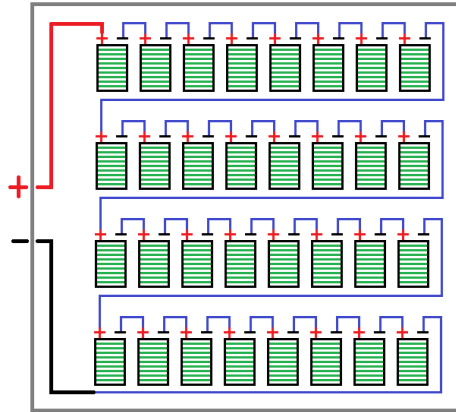
## BENZETİM ÇALIŞMALARI

Batarya paketinin modelleme ve benzetim çalışmaları elektrikli araç sisteminin ve bileşenlerinin tasarım sürecinde kolaylıklar sağlayacak ve fiziksel prototip üretmekten daha az maliyetli olacaktır. Ayrıca aracın performansı hakkında öngörüde bulunulmasını sağlayacaktır. Elektrikli aracın batarya paketinde hızlı şarj, uzun ömür ve yüksek güç yoğunluğu avantajları nedeniyle lityum iyon piller kullanılmıştır. Batarya paketinin performansını artıracak batarya karakterizasyonu, şarj durumu, batarya sağlık durumu, optimizasyon ve batarya yönetim sistemi üzerine algoritma geliştirmek amacıyla Tablo 2'de parametreleri verilen batarya paketi Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir.

Tablo 2. Batarya Paketi Parametreleri

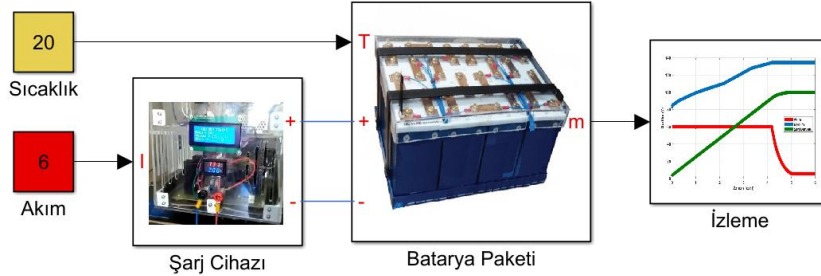
Parametre	Değeri
Pil Kapasitesi	3400 mAh
Pil Nominal Gerilimi	3,6 V
Hücre Pil Sayısı	9
Hücre Kapasitesi	30,6 Ah
Hücre Nominal Kapasitesi	110,16 Wh
Batarya Paketi	32 adet
Paket Gerilimi	115,2 V
Toplam Batarya Kapasitesi	3525 Wh
Maksimum Şarj Akımı	6,12 A
Şarj Süresi	5 Saat

Batarya paketi için her birinin kapasitesi 3400 mAh ve nominal gerilimi 3,6 V olan 9 adet lityum-iyon pil paralel bağlanarak batarya hücresi elde edilmiştir. 32 adet batarya hücresi birbirine seri bağlanarak nominal gerilimi 115,2 V ve kapasitesi 3525 Wh olan Şekil 2’de gösterilen batarya paketi oluşturulmuştur.

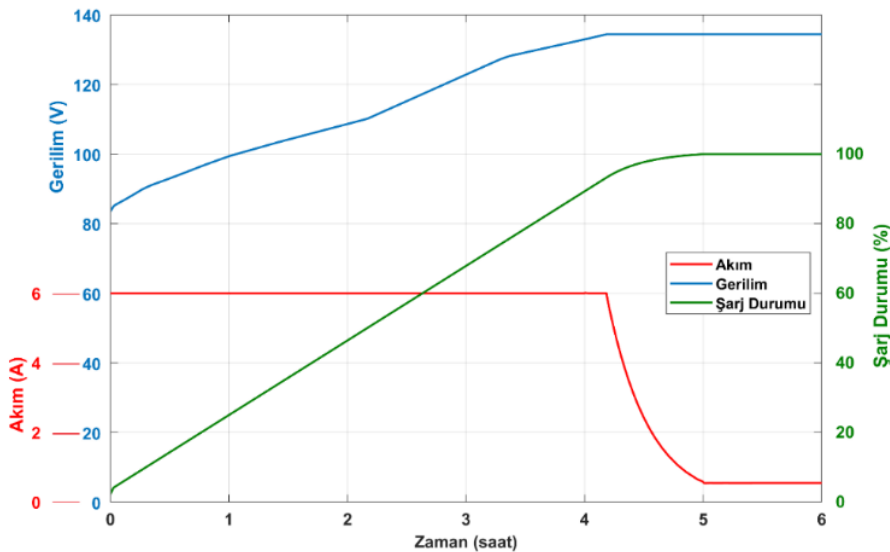


Şekil 2. Batarya paketi

Batarya paketinin şarj ve şarj durum tahmini için benzetim çalışması yapmak amacıyla Şekil 3’te verilen MATLAB/Simulink modeli oluşturulmuştur. Başlangıçta minimum kapasitede olan batarya paketi 6 A sabit akım ile şarj edilmiştir. Batarya paketi maksimum gerilim değeri olan 134,4 V’a ulaşıncaya kadar sabit akımla şarj edilmiştir. Bu gerilim değerinden sonra paket 134,4 V sabit gerilim ile şarj edilmeye devam edilmiştir. Bu durumda batarya paketinin çektiği şarj akımının zamanla azaldığı Şekil 4’te görülmektedir. Akım değeri belirlenen minimum şarj akım değerinin altına düştüğünde ise şarj işlemi tamamlanmıştır. Şarj durum tahmini incelendiğinde ise batarya paketinin yaklaşık 4 saatte %90’a yakın ve 5 saatte %100 şarj olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Batarya paket ve şarj sisteminin simulink modeli



Şekil 4. Batarya paketinin akım, gerilim ve şarj durumu grafiği

## SONUÇ

Bu çalışmada elektrikli bir aracın batarya paketi MATLAB/Simulink ortamında modellenmiştir. Batarya paketinin akım, gerilim ve şarj durumu benzetim çalışmalarıyla elde edilmiştir. Batarya paketinin sabit akım-sabit gerilim şarj yöntemiyle yaklaşık 5 saatte tam şarj durumuna ulaşmıştır. Benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçların gerçek sistemin nominal değerleri ile örtüştüğü görülmüştür.

Bu çalışma ile batarya paketinin performansını artıracak çalışmaların öncelikle benzetim yoluyla yapılmasına olanak sağlanmıştır. Ayrıca batarya paketi modeli, oluşturulacak bir batarya yönetim sistemi ve araç motor modeliyle entegre edilip araç düzeyinde benzetim çalışmaları yapılabilir.

## KAYNAKLAR

Ahmed, R., (2014). Modeling and state of charge estimation of electric vehicle batteries, (Doctoral dissertation, McMaster University).

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.

Chen, J., Ouyang, Q., Xu, C., Su, H. (2017). Neural network-based state of charge observer design for lithium-ion batteries, *IEEE Transactions On Control Systems Technology*, 26, 1.

Ehsani, M., Gao, Y., Emadi, A. (2010). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles – Fundamentals, Theory, and Design*, 2nd edition, CRC Press.

Gadoue, S., Chen, K.W., Mitcheson, P., Yufit, V., Brandon, N. (2018). Electrochemical Impedance Spectroscopy State of Charge Measurement for Batteries using Power Converter Modulation, The 9th International Renewable Energy Congress (IREC 2018).

Gandolfo, D., Brandao, A., Patino, D., Molina, M. (2015). Dynamic model of lithium polymer battery e Load resistor method for electric parameters identification, *Journal of the Energy Institute*, 88.

Guo, D., He, L., (2018). A Novel Algorithm for SOC using Simple Iteration and Coulomb Counting Method, IEEE Student Conference on Electric Machines and Systems.

Hannan, M.A., Lipu, M.S.H., Hussain A., Saad, M.H., Ayob, A. (2018). Neural Network Approach for Estimating State of Charge of Lithium-Ion Battery Using Backtracking Search Algorithm, *IEEE Access*, 6.

Huria, T., Ceraolo, M., Gazzarri, J., Jackey, R. (2012). High Fidelity Electrical Model with Thermal Dependence for Characterization and Simulation of High Power Lithium Battery Cells, IEEE International Electric Vehicle Conference.

Jiang, J., Zhang, C. (2015). Fundamentals and Applications Of Lithium-Ion Batteries In Electric Drive Vehicles.

Qian, L., Si, Y., Qiu, L. (2015). SOC estimation of LiFePO4 Li-ion battery using BP Neural Network, EVS28 International Electric Vehicle Symposium and Exhibition.

Sepasi, S., Roose, L.R., Matsuura, M.M. (2015). Extended Kalman Filter a Fuzzy Method for Accurate Battery Pack State of Charge Estimation, *Energies*, 8, 6.

Tong, S., Klein, M.P., Park, J.W. (2013). A Comprehensive Battery Equivalent Circuit Based Model For Battery Management Application, ASME 2013 Dynamic Syst. and Cont. Conf.

Xia, B., Wang, H., Wang, M., Sun, W., Xu, Z., Lai, Y. (2015). A new method for state of charge estimation of lithium-ion battery based on strong tracking cubature kalman filter. *Energies*, 8, 12.

Zeng, Z., Tian, J., Li, D., Tian, Y. (2018). An Online State of Charge Estimation Algorithm for Lithium-Ion Batteries Using an Improved Adaptive Cubature Kalman Filter, *Energies*, 11, 1.

Zhang, C., Allafi, W., Dinh, Q., Ascencio, P., Marco, J. (2018). Online estimation of battery equivalent circuit model parameters and state of charge using decoupled least squares technique, *Energy*, 142.


Zhang, L., Peng, H., Ning, Z., Mu, Z., Sun, C. (2017). Comparative research on RC equivalent circuit models for lithium-ion batteries of electric vehicles, *Applied Sciences*, 10, 7.


Zhou, Y., Bai, C., Sun, J. (2011). Application of Genetic Neural Network in Power Battery Charging State-of-Charge Estimation, *I.J. Intelligent Systems and Applications*.

Lithium Battery Model, Simscape Language and Simulink Design Optimization.

<https://ww2.mathworks.cn/matlabcentral/fileexchange/36019-lithium-battery-model-simscape-language-and-simulink-design-optimization/> Accessed 26.6.2019

## ORCID

Ümit ÖZBALCI  <https://orcid.org/0000-0003-2685-156X>

Erdal KILIÇ  <https://orcid.org/0000-0002-1572-6109>