



Araştırma Makalesi / Research Article

İkinci Dereceden Bir Transfer Fonksiyonu Kullanılarak Elektrikli Araç Bataryalarının Modellenmesi

Modelling of Electric Vehicle Batteries Using a Second-order Transfer Function

Mohammed MOHAMMED ^{1,*}, Hasan BAYINDIR ²

¹ Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

² Dicle Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

<https://doi.org/10.55007/dufed.1438887>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 17 Şubat 2024

Revize, 12 Temmuz 2024

Kabul, 23 Temmuz 2024

Online Yayınlama, 15 Aralık 2024

Anahtar Kelimeler

Elektrikli araçlar, Transfer fonksiyonu, Termal model, Elektrikli araç pillerinin modellenmesi, Eşdeğer devre modelleri

ARTICLE INFO

Article History

Received, 17 February 2024

Revised, 12 July 2024

Accepted, 23 July 2024

Available Online, 15 December 2024

Keywords

Electric vehicles, Transfer function, Thermal model, Modeling of electric vehicle batteries, Equivalent circuit models

ÖZ

Son yıllarda, küresel ısınma ve fosil yakıt kaynaklarının hızla azalması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında artış gözlenmektedir. Bu bağlamda, araştırmacılar, bilim insanları ve hükümetler tarafından elektrikli ve hibrit araçlar büyük ilgi görmektedir. Elektrikli araçların temel bileşenlerinden biri güç bataryasıdır. Elektrikli araçların karşılaştığı en büyük zorluk, verimli sürüş, hızlı şarj olabilmeye ve uzun menzil sunabilen uygun bir enerji depolama cihazı bulmaktır. Mevcut teknolojiye göre, elektrikli araçların enerji kaynakları arasında lityum polimer piller, nikel metal hibrit piller ve lityum iyon piller yaygındır. Lityum iyon piller, yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömür, hafiflik, düşük deşarj oranı, uygun maliyet ve hafıza etkisi olmaması gibi birçok avantaja sahiptir. Ayrıca, lityum iyon piller, zararlı emisyon üretmeyen çevre dostu malzemelerden yapılmıştır ve yüksek güvenlik sunar. Ancak, bu pilleri tasarlamak ve davranışlarını tahmin etmek hala tam olarak çözülememiş bir mühendislik sorunudur. Bu çalışmada, elektrikli araçlarda kullanılan lityum iyon pillerin davranışını tahmin etmek için basit ve etkili bir yaklaşım olan ikinci dereceden transfer fonksiyonu yaklaşımı kullanılmıştır. Sonuçlar, önerilen yaklaşımın olumlu sonuçlar verdiği termal eşdeğer devre modellenmesiyle karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin ana avantajlarından biri, hesaplama belleğine olan ihtiyacı azaltmasıdır. Bu durum, basitleştirilmiş modelin elektrikli araçların enerji depolama sistemlerinin verimliliği, performansı ve güvenliğini çeşitli işletme koşullarında iyileştirmek için kullanılmasına olanak tanır.

ABSTRACT

In recent years, there has been an increase in the use of renewable energy sources due to global warming and the rapid depletion of fossil fuel

*Sorumlu Yazar

E-posta Adresleri: mohammed053455@gmail.com (Mohammed MOHAMMED), hbayindir@dicle.edu.tr (Hasan BAYINDIR)

resources. In this context, electric and hybrid electric vehicles attract have great attention from researchers, scientists and governments. One of the key components of electric vehicles is the power battery. The biggest challenge faced by electric vehicles is finding an efficient energy storage device that can provide efficient driving, fast charging capabilities, and long range. According to current technology, lithium polymer batteries, nickel metal hydride batteries and lithium-ion batteries are common among the energy sources of electric vehicles. Lithium-ion batteries have many advantages such as high energy density, long life, light weight, low discharge rate, affordable cost and no memory effect. In addition, lithium-ion batteries are made of environmentally friendly materials that do not produce harmful emissions and offer high safety. However, designing these batteries and predicting their behavior is still an engineering problem that has not been fully solved. In this study, the second-order transfer function approach, which is a simple and effective approach, is used to predict the behavior of lithium-ion batteries used in electric vehicles. The results are compared with the thermal equivalent circuit modeling, where the proposed approach gives positive results. One of the main advantages of the proposed method is the reduction in the need for computational memory. This allows the simplified model to be used to improve the efficiency, performance, and safety of energy storage systems in electric vehicles under various operating conditions.

1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın sonlarından günümüze çevre kirliliği ve enerji krizi iki küresel sorun haline gelmiş ve bunda ulaştırma sektörünün payı büyük olmuştur [1]. Bunun nedeni, dünyanın enerji ihtiyacını karşılamak için büyük ölçüde küresel enerji gereksiniminin büyük bir kısmını karşılayan petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlara olan bağımlılık, çevre kirliliği ve insan sağlığına zarar verme potansiyeli taşımasıdır. Fosil yakıtların geniş çapta tüketimi ve üretimindeki hızlı artış, çevre kirliliği ile insan sağlığının olumsuz etkilenmesine yol açabilmektedir. Ayrıca, fosil yakıtların hızla tükenmesi, araştırmacıları, bilim insanlarını ve endüstrileri enerji depolama stratejileri kullanarak daha verimli, ekonomik ve çevre dostu enerji kaynakları arayışına yönlendirmiştir [2,3].

Fosil bazlı yakıt tüketen araçların yerini alacak bir teknolojik uygulama, yenilenebilir yakıtlarla çalışan elektrikli araçların kullanılması bir çözüm olarak görülmektedir. Günümüzde dünyanın genel olarak tüm alanlarda, özel olarak da enerji ve ulaşım alanında tanık olduğu hızlı gelişim ve ileri teknoloji ile elektrikli araç, içten yanmalı motorlu araçlara göre çevre dostu ve daha verimli olmasıyla ön plana çıktığı görülmektedir [4]. Ayrıca işletim sırasında sera gazı emisyonu üretmemesi, daha düşük çalıştırma ve bakım maliyetlerinin yanı sıra ve daha sessiz çalışma avantajları da vardır [5].

Elektrikli araçların tarihi, Thomas Davenport'un 1835'te Amerika'da bilinen ilk elektrikli arabayı (lokomotif) ürettiği on dokuzuncu yüzyıla kadar uzanmaktadır [4]. Son yıllarda, tam elektrikli araçlar (EV), hibrit elektrikli araçlar (HEV) ve fişli hibrit elektrikli araçlar (PHEV) gibi temiz enerji araçları, daha yüksek verimlilik ve çevre dostu özellikleriyle dikkat çekerek hızlı bir gelişme

göstermiştir. Bu araçların, fosil yakıtlara kıyasla daha çevre dostu ve enerji verimli olduğu bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Bu da temiz enerji araçlarının yaygın olarak tercih edilmesini sağlamaktadır. Bu özellikleriyle elektrikli araçlar, günümüzde kullanılan konvansiyonel içten yanmalı motorlu araçlarla rekabet edebilecek bir konuma gelmiştir [3,6]. Elektrikli araçların hızla büyümesiyle birlikte, diğer enerji depolama türleriyle karşılaştırıldığında, yüksek enerji yoğunluğuna sahip güç pillerine olan talep hızla artmıştır [7]. Bataryalar, bu kaynaklardan gelen sürekli enerjiyi depolamak için uygun bir çözüm haline gelmiştir. Güç bataryası, elektrikli araçlar için önemli bir yer tutmaktadır. EV'ler için temel zorluk, kat edilecek uzun mesafe, hızlı şarj zamanı ve verimli sürüşü destekleyebilen uygun bir enerji depolama cihazı bulmaktır [8]. Şu anda, Kurşun Asit (LA), Nikel Metal Hidrit (NiMH), Nikel Kadmiyum (NiCd), Sodyum Sülfür (NaS) ve Lityum-iyon (Li-ion) gibi enerji depolamak için ticari olarak temin edilebilen çeşitli pil türleri bulunmaktadır [9,10].

Şarj edilebilir lityum-iyon batarya, hibrit elektrikli araçlar (HEV) ve tam elektrikli araçlar (EV) tarafından dayatılan enerji depolama uygulamalarının gereksinimlerini karşılayabildiği için en umut verici çözümlerden biridir. Bunun nedeni, enerji tüketimini azaltmaları ve sera gazı emisyonlarını düşürmeleridir. Bu durum, Li-ion pillerin olağanüstü performansı ve diğer batarya teknolojilerine kıyasla yüksek enerji yoğunluğu, yüksek şarj ve deşarj kapasitesi, kendi kendine düşük deşarj oranı, yüksek çevrim ömrü, verimlilik ve hafıza etkisi olmaması gibi özelliklerinden kaynaklanmaktadır [11-17]. Ancak, lityum-iyon bataryaları tüketici elektroniği pazarında hâkimiyet kurmuş olsa da Ev'ler ve HEV'ler için kullanılan teknoloji henüz tam anlamıyla olgunlaşmamış ve daha fazla geliştirilmeye ihtiyaç duymaktadır.

Lityum-iyon pil teknolojisi üzerine yapılan araştırmalar, araçların performansını, maliyetlerini ve diğer kritik unsurlarını iyileştirmek için büyük önem taşımaktadır. Elektriksel, termal ve mekanik yöntemler, çeşitli pil modellerini ve dinamiklerini oluşturmak için kullanılmaktadır. Termoelektrik modelleme, bataryanın akımı ve sıcaklığı arasındaki ilişkiyi incelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık, ihtiyaçtan fazla şarj ve deşarj gibi yanlış işlemleri önlemek amacıyla, pil davranışını farklı çalışma senaryoları altında tahmin etmek için uygun bir pil modeli oluşturmak büyük önem taşımaktadır. Batarya modellemeleri ayrıca bakım ve kontrol tekniklerinin tasarımına da yardımcı olabilir. Batarya modellemesinin bir diğer önemi, doğrudan ölçülemeyen batarya sağlık durumu ve şarj durumu gibi temel çalışma durumlarını model tabanlı tahmin teknikleri kullanarak tahmin edebilmesidir. Araştırmacılar, yıllar içinde farklı doğruluk ve karmaşıklık seviyelerine sahip çeşitli batarya modelleri geliştirmişlerdir. Bu modeller arasında şunlar bulunmaktadır: Beyaz kutu modelleri; elektrokimyasal modeller gibi, bu modeller bataryadaki iç süreçleri tanımlamak için kimyasal ve elektriksel denklemlere dayanır. Bu modeller, batarya davranışını tahmin etmede daha yüksek doğruluk sağlar, ancak karmaşık hesaplamalar gerektirebilir. Kara kutu modelleri; Yapay sinir ağı

modelleri gibi, bu modeller batarya performansını tahmin etmek için yapay sinir ağı modelleri oluşturmaya dayanır. Bu modeller, batarya performansının uzun vadeli tahminini gerektiren uygulamalarda geniş çapta kullanılır. Gri kutu modelleri; elektriksel eşdeğer devre modelleri (EECMs) gibi, bu modeller bataryanın elektriksel özelliklerini temsil etmek için dirençler ve kapasitörler gibi elektriksel bileşenlere dayanır. Bu modeller, batarya davranışını temsil etmek için yaygın olarak kullanılır çünkü basitlikleri ve diğer yöntemlerle entegre edilebilme yetenekleri nedeniyle tercih edilir. Ek parazit dallar olmaksızın Lityum hücreleri için genellikle tek veya iki RC bloğu modelinin kullanılması tercih edilir. Bu modeller, hesaplama açısından basit olmaları ve Coulomb sayma ile OCV/SOC bağlantısı gibi diğer yöntemlerle kolayca entegre edilebilme özellikleri nedeniyle tercih edilir. Ayrıca, bu modeller, genişletilmiş Kalman filtresi (EKF) gibi adaptif yöntemlerin kullanımına uygun olabilir [9,18,19,20]. Bu çalışma, elektrikli araçlarda kullanılan lityum-iyon pilin davranışını tahmin etmek için ikinci dereceden transfer fonksiyonunu kullanarak kolay ve basit bir yöntem sunmaktadır. Ayrıca, yöntem ve sonuç bölümlerinde araştırmanın en önemli bulguları özetlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

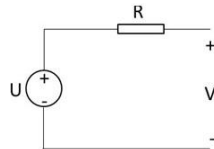
Bu bölüm, pilleri modellemek için kullanılan yöntemleri netleştirmek ve önerilen yöntemi açıklamak için birkaç alt bölüme ayrılmıştır.

2.1 Eşdeğer Devre Modeli

Eşdeğer Devre Modeli ECM'nin çeşitli modelleri vardır ve pil davranışları, farklı elektrik elemanlarına sahip eşdeğer elektrik devreleri kullanılarak temsil edilebilir. Bu çalışmada, ECM pil hücrelerini modellemek için kullanılmıştır.

2.1.1 0 RC devre modeli

Şekil 1, ideal gerilim kaynağı U , hücre iç direnci R ve terminal gerilimi V 'den oluşan 0 RC devre modelini göstermektedir. Bu model, hızlı hesaplama için iyi sonuç vermektedir. Çünkü belirlenecek tek bir parametre vardır, o da iç direnç R 'dir. Ancak bu model, bataryanın dinamik tepkisini düzgün bir şekilde yakalayamamaktadır.

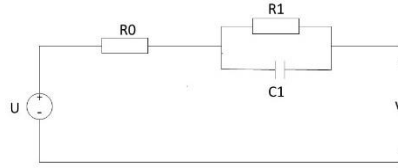


Şekil 1. 0 RC devre modeli

2.1.2. 1 RC devre modeli

Şekil 2, ideal voltaj kaynağı U, hücre iç direnci R₀, terminal voltajı V ve bir RC dalından (R₁ ve C₁) oluşan 1 RC devre modelini göstermektedir. Ek RC dalı, bu modelin 0 RC modeline kıyasla daha iyi bir dinamik davranışa sahip olmasını sağlayan zaman sabitine katkıda bulunur.

$$G(s) = \frac{R_0 + sR_0R_1C_1 + R_1}{1 + sR_1C_1} \quad (1)$$

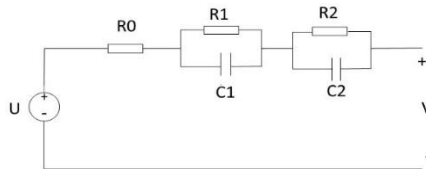


Şekil 2. 1RC devre modeli

2.1.3 2 RC devre modeli

Şekil 3, ideal voltaj kaynağı U, hücre iç direnci R₀, terminalin V ve iki RC dalını (R₁ + C₁ ve R₂ + C₂) içeren 2 RC devre karakteri göstermektedir. İki RC dalı, iki farklı zaman sabiti anlamına gelir, dolayısıyla bu model, 1 RC devre modeline kıyasla pilin daha hassas bir dinamik davranışını temsil edebilir.

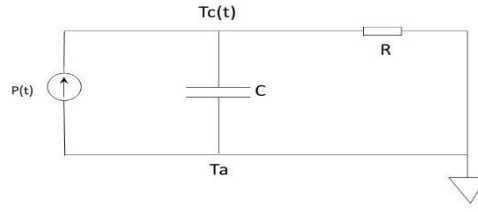
$$G(s) = \frac{s^2R_0R_1R_2C_1C_2 + sR_1R_2C_1 + sR_0R_1C_1 + sR_0R_2C_2 + sR_1R_2C_2 + R_0 + R_1 + R_2}{s^2R_1R_2C_1C_2 + sR_1C_1 + sR_2C_2 + 1} \quad (2)$$



Şekil 3. 2 RC devre modeli

2.2 Termal Model

Toplu parametre modeli, termal modeli tanımlamak için kullanılır. Bu durum, fiziksel deneyde mevcut bulunan geçici ısı transferinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4, birleştirilmiş parametre için termal modeli göstermektedir, burada P, pilde üretilen ısıtma gücüdür, C, pilin ve kurulumun termal kapasitesidir, R, yalıtımın termal direncidir, T_c, pilin sıcaklığı ve T_a, ortam sıcaklığıdır.



Şekil 4. Tipik bir toplu parametrelili termal model

Çevre ile ısı alışverişi yapan homojen bir cisim için ısı denkleminin çözümünden, aşağıdaki denklemlerle temsil edilen iç hücre sıcaklığı hesaplanabilir.

$$C \frac{dT_c(t)}{dt} = p + \frac{T_a - T_c(t)}{R} \quad (3)$$

Adım girişi P için, (3)'ün çözümü şu şekildedir:

$$T_c(t) = PR \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) + T_a \quad (4)$$

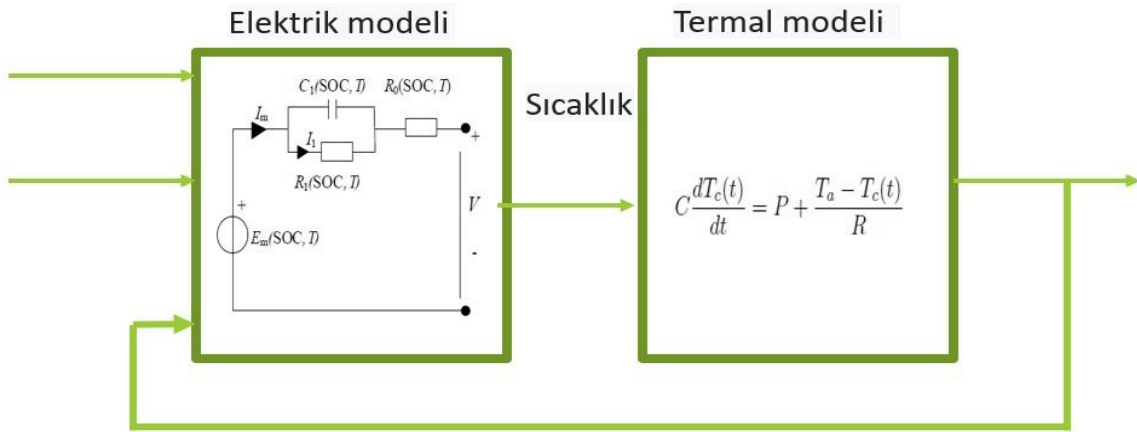
Batarya sıcaklığı $T_c(t)$ 'nin üstel denkleme karşılık geldiği görülebilir. Denklem (4) göre, bu, sabit durum sıcaklığı ile başlangıç ortam sıcaklığı arasındaki farkın yalıtımın R ısı direnci tarafından belirlendiği, halbuki geçici pil sıcaklığının başlangıçta tamamen termal kapasite C ve R tarafından belirlendiği anlamına gelir [21].

2.3 Eşdeğer Devre Modeli Artı Termal Model

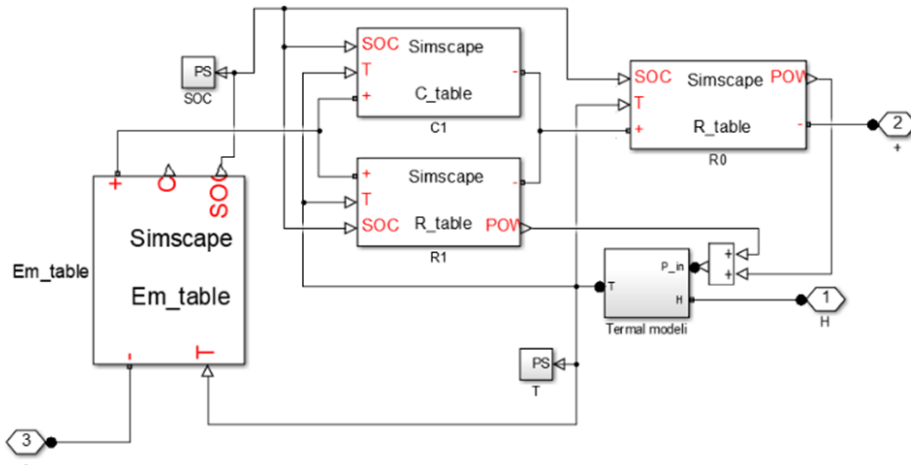
Eşdeğer devre modeli, pilin pratik davranışını daha doğru bir şekilde temsil etmek için termal modellerle ilişkilendirilmiştir. Bahsi geçen modellerin birbirine bağlanması nispeten yenidir ve bu konudaki ilk araştırmalardan biri de araştırmacı Huria ve arkadaşlarının ortaya koyduğu çalışmadır [20]. Geliştirilen yeni model, pilin durumu üzerindeki farklı etkileri daha doğru bir biçimde temsil ettiği ve davranışını mükemmel bir şekilde tahmin etmesine izin verdiği için pil alanında bilimsel bir sıçrama oluşturmaktadır.

Batarya elektro-termal modelinin genel diyagramı Şekil 5'te gösterilmektedir. Elektriksel modelin girdileri deşarj akımı, SOC seviyesi ve sıcaklıktır. Elektriksel modelin girdileri, termal modele bir ısı sinyali verir ve bu da termal modelden bir sıcaklık çıkış sinyaline neden olur. Ardından, yeni sıcaklık iç direnç, kapasitans vb. gibi elektriksel parametreleri etkilediğinden, yeni sıcaklık elektrik modeline geri beslenir.

Termal eşdeğer devre modeli, Huria ve diğerleri tarafından lityum hücrenin tüm dinamik özelliklerinin modelleneceği şekilde daha doğru bir şekilde modellenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin parametre değerleri, gerçek bir batarya için şarj ve deşarj darbeleri uygulandıktan sonra deneysel veriler kullanılarak belirlenmiştir. Pilin çıkış voltajını ve şarj durumunu tahmin etmek için de bir yöntem geliştirilmiştir. Termal eşdeğer devre modeli, bir voltaj kaynağı ve tek bir RC dalına sahip bir seri direnç kullanılarak oluşturulmuştur. Huria, geliştirilen modeli modellemek için MATLAB programını ve Simscape TM aracını kullanmıştır. Gerçek sonuçlar, gerilimin ve şarj durumunun gerçek tepkilerinin simülasyon yanıtlarıyla ne ölçüde eşleştiğini gösteren simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Şekil 6, ve 7, Matlab Simulink'teki pilin elektrik modelini ve termal modelini göstermektedir. Tablo 1'de Huria'nın çalışmasında kullandığı ve bu çalışmada da kullanılan lityum pilin teknik özellikleri yer almaktadır.



Şekil 5. Elektro-termal modeli



Şekil 6. Elektro model

Batarya çıkış voltajı için son denklem aşağıdaki gibidir.

$$U(S)=OCV+G(S)I(S) \quad (6)$$

Başarılı bir şekilde Matlab sistem tanımlama aracı kullanılarak pil modellemesi için transfer fonksiyonu türetilmiştir.

Bu süreç, deneysel çalışmalar serisiyle doğrulanmış olup, ikinci dereceden bir transfer fonksiyonunun pilin termal eşdeğer devre davranışını doğru bir şekilde yansıttığı belirlenmiştir. Ayrıca, MATLAB ortamındaki model tanımlama aracı etkin bir şekilde kullanılarak transfer fonksiyonunun parametreleri beşinci denklemde belirtilmiştir. Bu aracın nasıl kullanıldığı Şekil 8’de açıklanmıştır.

Şekil 9, voltaj ve akım giriş desenlerini göstermektedir. Modelin doğru bir şekilde belirlenmesi için tahmin (Estimate) seçeneği kullanılmıştır. Ayrıca, Şekil 10, 11, 12 ve 13’te gösterildiği gibi, transfer fonksiyonu seçeneği dikkatle seçilmiştir. Tanıma işlemini gerçekleştirdikten sonra aşağıdaki transfer fonksiyonu elde edilmiştir.

Bu denklemin elde edilme süreci, MATLAB Tanımlama Aracı ve termal eşdeğer devre modeli (Huria ve diğerleri) verilerinin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. MATLAB profilindeki parametreler deneysel olarak belirlenmiştir. Bu ayarlama sürecinde, farklı parametre kombinasyonları test edilmiş ve en yüksek performansa sahip transfer fonksiyonu seçilmiştir. Sonrasında, transfer fonksiyonu simüle edilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

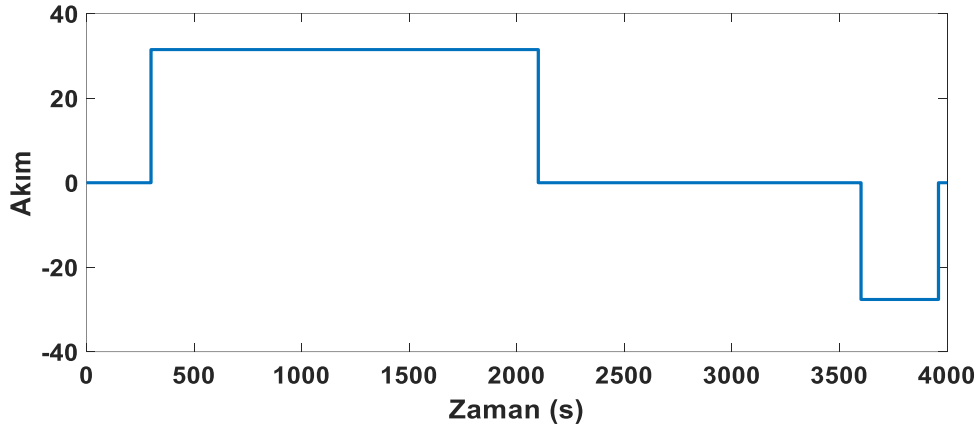
$$G(s) = \frac{0.0016045s + 1.445e - 06}{s^2 + 0.1688s + 3.615e - 07} \quad (7)$$

Şekil 14, çalışmada belirtilen transfer fonksiyonu kullanılarak elde edilen simülasyon gerilimini göstermektedir, ayrıca (Huria et al.) ve diğerlerinin çalışmalarında incelenen karşılaştırmalı gerilim yanıtını da içermektedir. Bu karşılaştırma sonucunda, gerilim değerlerinin çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, önerilen transfer fonksiyonunun pil davranışını iyi bir şekilde temsil ettiğini göstermektedir. Çıkış gerilim fonksiyonunu belirlemeye benzer şekilde pil şarj durumunu tahmin etmek için, bir transfer fonksiyonu kullanılarak matematiksel bir ilişki formüle edilmiştir. Huria’nın simülasyon modeline dayanarak, bu matematiksel ilişki çıkış gerilimi ve pil şarj durumu üzerinden türetilmiştir. Bu bağlamda, transfer fonksiyonuna giren parametre çıkış gerilimi olarak tanımlanırken, transfer fonksiyonunun çıkışı pilin şarj durumunu temsil etmektedir. Huria’nın MATLAB model teşhis aracı kullanılarak Huria simülasyon modelinden transfer fonksiyonlarıyla ilgili giriş ve çıkış verileri çıkarılmıştır. Çıkış gerilim fonksiyonu türetilirken kullanılan adımların benzerleri uygulandıktan sonra, aşağıdaki matematiksel ilişki (Eşitlik 8) elde edilmiştir. Şekil 15, transfer fonksiyonunu kullanarak

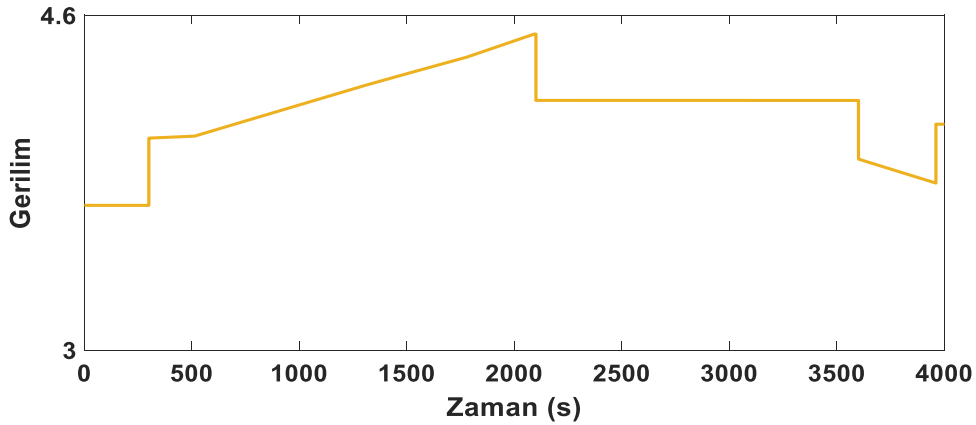
önerilen yöntemi izleyerek pilin şarj durumunu göstermektedir. Şekilde gösterilen sonuçlar pozitif bir eğilim göstermektedir; ancak, bu sonuçlar Şekil 14’te gösterilen önerilen gerilim transfer fonksiyonundan elde edilenlere göre biraz daha düşük doğruluk sergilemektedir.

Bu bağlamda, “şarj durumu” terimi pilin şarj seviyesini ifade eder ve “transfer fonksiyonunu kullanarak önerilen yöntem” bu durumu modellemek veya tahmin etmek için kullanılan yaklaşımı göstermektedir. Şekil 15, bu yöntemin pilin şarj durumunu tahmin etmedeki performansını görsel olarak temsil etmektedir.

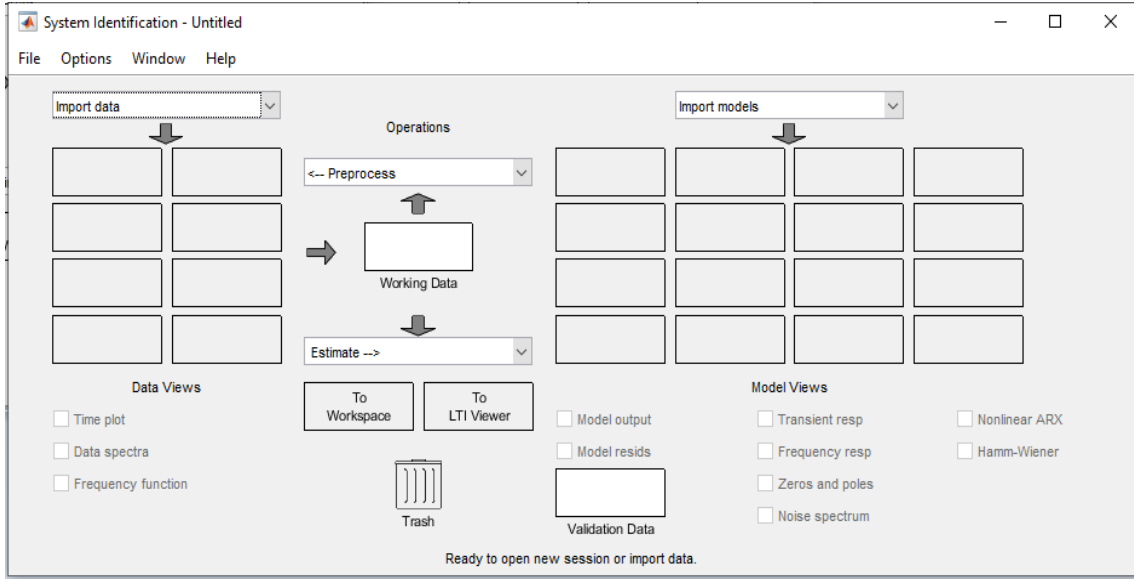
$$G(S) = \frac{0.0831s^2 + 0.0177s + 0.0009479}{s^2 + 0.08449s + 0.004582} \quad (8)$$



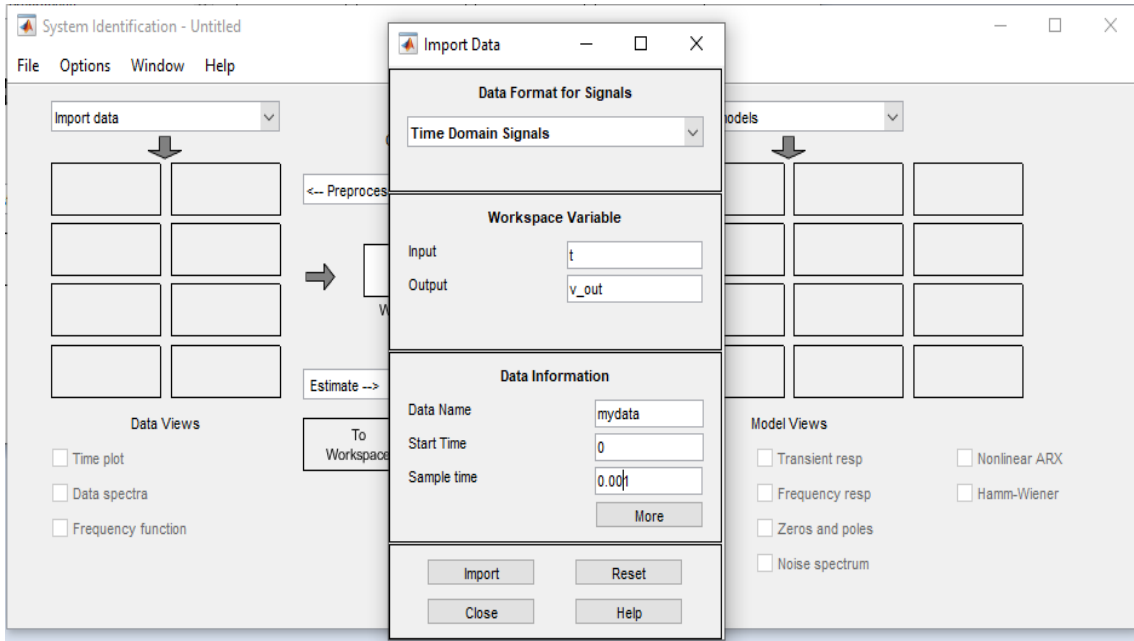
Şekil 8. Batarya akımı birimi darbe ve deşarj



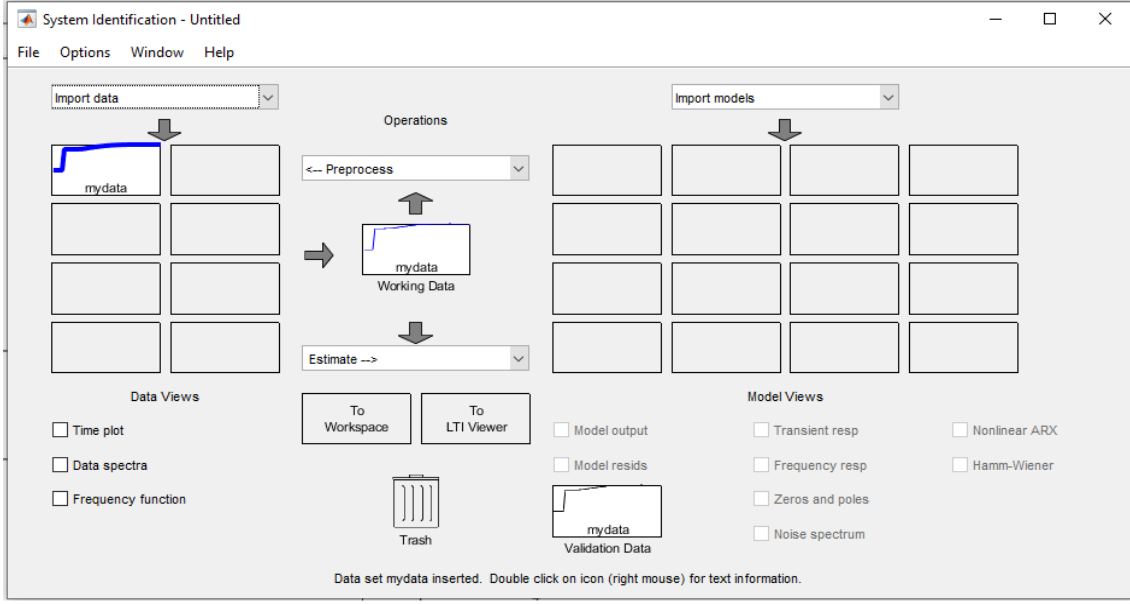
Şekil 9. Batarya gerilimi



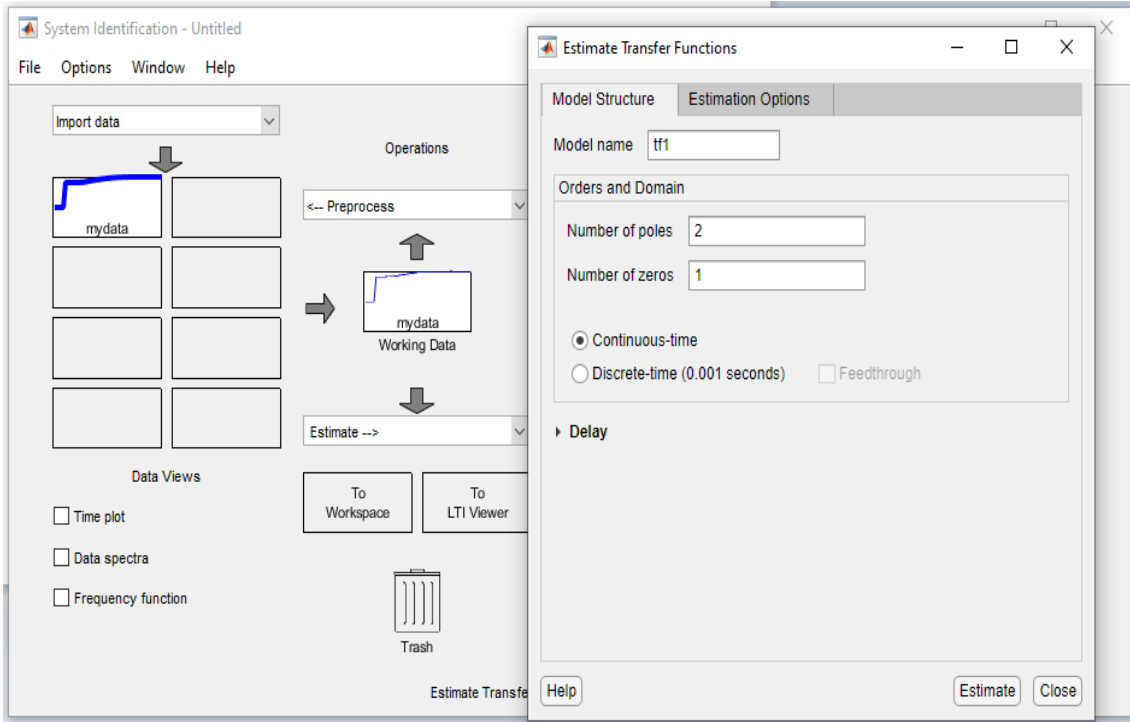
Şekil 10. MATLAB'deki model tanımlama aracını



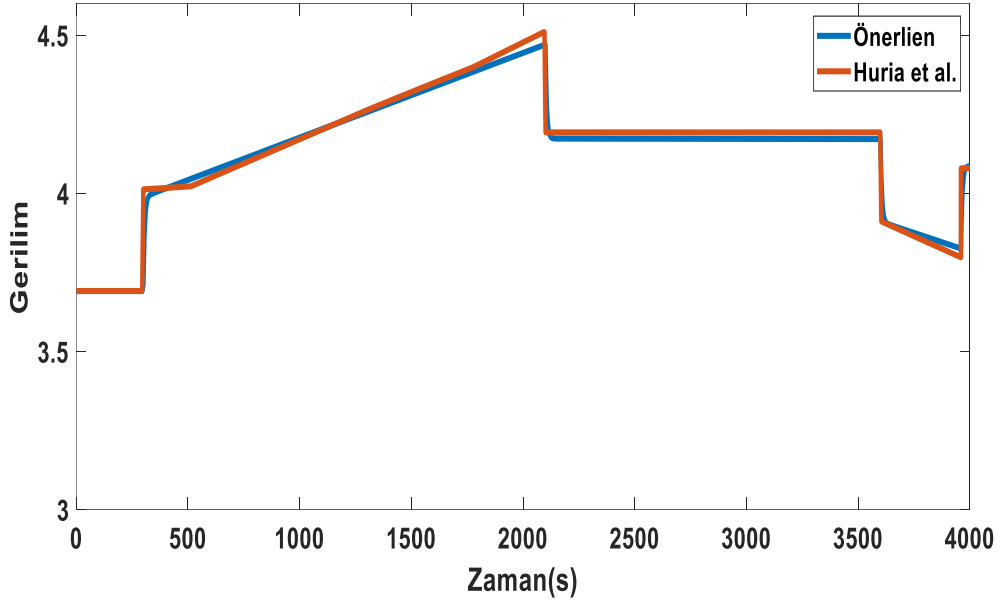
Şekil 11. MATLAB'deki model tanımlama aracı (ilk adım)



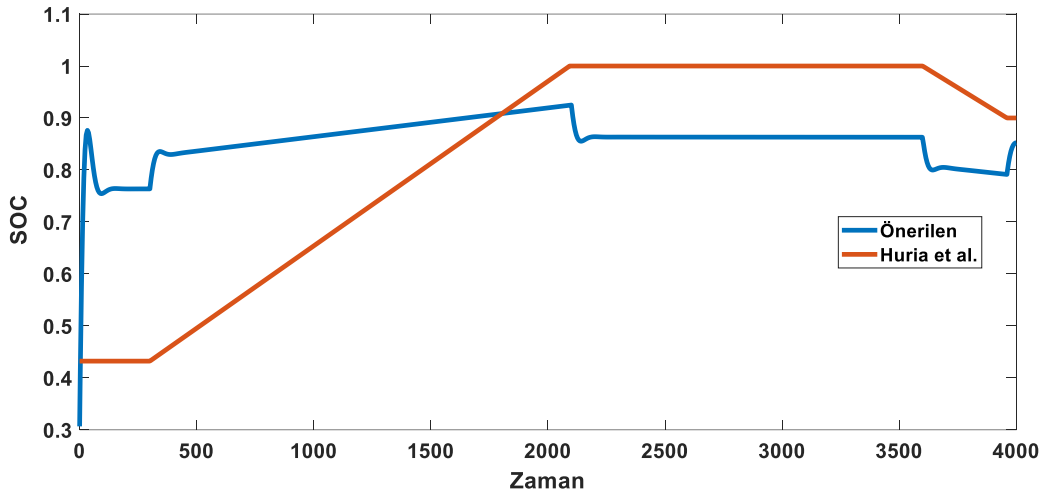
Şekil 12. MATLAB'deki model tanımlama aracı (ikinci adım)



Şekil 13. MATLAB'deki model tanımlama aracı (üçüncü adım)



Şekil 14. Termal eşdeğer devre modeli voltajı (Huria et al.) ve bu çalışma için önerilen voltaj



Şekil 15. Termal eşdeğer devre modeli şarj durumu (Huria et al.) ve bu çalışma için önerilen şarj durumu

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, bataryanın davranışını modellemek için denklem 7'de tanımlanan transfer fonksiyonunu kullanarak bir yöntem önerilmiştir. Bu transfer fonksiyon, bataryanın dinamik tepkisinin analizi temel alınarak belirlenmiştir. Amacı, bataryanın performansını iyileştirmek ve gerçek zamanlı durumunu tahmin etmek için kullanılacak doğru bir model sağlamaktır. Bu transfer fonksiyonunun incelenmesi, farklı işletim koşullarında pilin elektriksel ve termal özelliklerini derinlemesine anlamamıza yardımcı olabilir, bu da elektrikli araç enerji depolama sistemlerinin verimliliğini ve güvenliğini artırmaya katkıda bulunabilir.

Bu çalışmada, önerilen yöntemin etkinliği ikinci dereceden transfer fonksiyonu kullanılarak, Huria ve diğerleri tarafından sunulan ve termal eşdeğer devre modeline dayanan yöntemle karşılaştırılmıştır [20]. Bu karşılaştırma, bataryanın davranışını temsil etmede önerilen fonksiyonun doğruluğunu ve verimliliğini, termal eşdeğer devre modeli yöntemi ile karşılaştırarak analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu karşılaştırma sayesinde, farklı çalışma koşulları altında sistemlerin performansı ve verimliliği analiz edilmiş olup, pil modelleme sürecini iyileştirmek ve pratik uygulamalarda daha yüksek doğruluk ve güvenilirlik seviyelerine ulaşmak için en iyi yöntemlerin seçilmesine yönelik kapsamlı görüşler sunulmuştur.

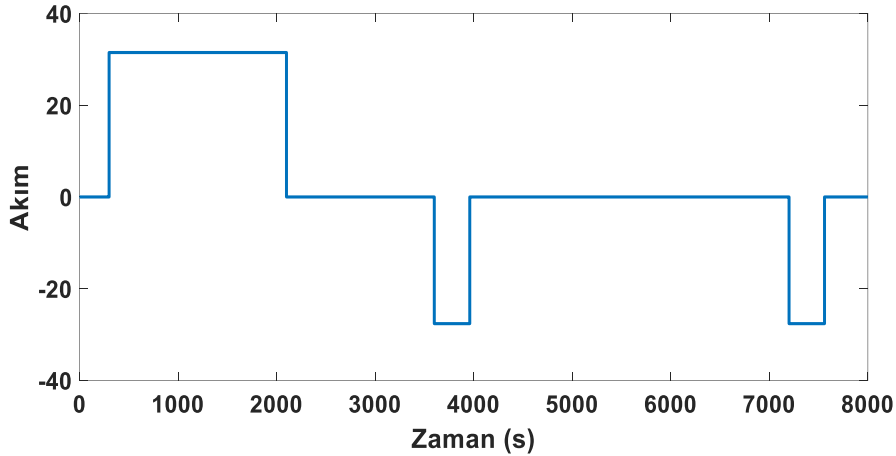
Başlangıçta, Huria ve diğerlerinin yöntemi hakkında bilgiler sunulmuştur. Bu yöntem, 2.3 başlığı altında verilen bilgiye ve Şekil 6 ile 7'de açıklanan eşdeğer devre modeli ile termal modelin bir kombinasyonu olan elektro termal modele dayanmaktadır. Şekil 6, eşdeğer elektrik devre modelini, Şekil 7 ise termal modeli göstermektedir. Bu yöntem, MATLAB programında bataryanın dinamik davranışını temsil etmek için kullanılır ve termal ve elektriksel etkilerin bütünleştirilerek kapsamlı bir model sunulmasını sağlar.

Huria ve diğerlerinin araştırma çalışmasında sunduğu yöntem, bataryanın davranışını temsil etmek için 28 adet parametre kullanarak termal eşdeğer devre modeline dayanır. Buna karşılık, ikinci dereceden transfer fonksiyonu kullanılarak önerilen model, denklem 7'de tanımlanan transfer fonksiyonunun parametrelerini belirlemek için sadece yedi değişkene ihtiyaç duyar. Bu, tarafımızdan önerilen modelin daha az hesaplama belleği tüketmesini sağlayarak hesaplama verimliliğini ve hızını artırır. Modellerin etkinliğini test etmek için, Şekil 16'da gösterildiği gibi akım dalgaları içeren bir giriş sinyali uygulanmıştır. Bu karşılaştırmanın amacı, farklı işletim koşulları altında bataryanın davranışını tahmin etmede önerilen modelin doğruluğunu ve verimliliğini diğer yöntemle karşılaştırarak değerlendirmektir. Böylece, hesaplama karmaşıklığının azaltılması ve bataryanın davranışını tahmin etmede doğruluğun artırılması gibi potansiyel faydaların belirlenmesi hedeflenmektedir. Şarj darbeleri belirli zaman aralıklarında (300-2100 saniye) ve deşarj darbeleri sırasıyla (3600, 3950, 7200 ve 7560 saniye) gerçekleştirilmiştir.

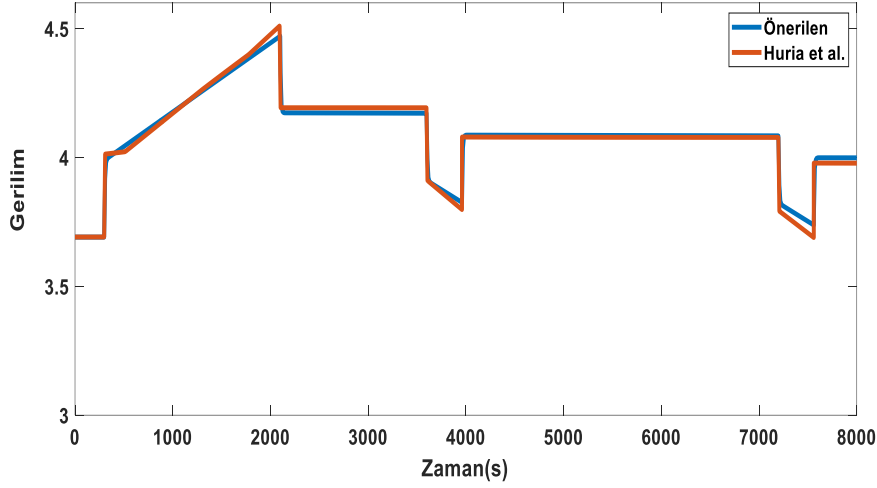
Bu çalışmada, Şekil 17'de eşdeğer termal devre gerilimi ve önerilen yöntemin gerilimi açıklanmıştır. Önerilen yöntemin sonuçları, (Huria et al.) ve diğerleri tarafından önerilen yöntemle karşılaştırıldığında olumlu sonuçlar göstermiştir. Diğer modelle karşılaştırılarak önerilen modelin tepkisini değerlendirmek ve performansını analiz etmek için belirtilen zaman sinyalleri kullanılmıştır. Bu karşılaştırma, şarj ve deşarj dinamiklerinin pil davranışına etkisini derinlemesine anlamamıza yardımcı olur, bu da elektrikli araçlardaki pil performansını öngörmek için kullanılan modellerin doğruluğunu artırmaya katkıda bulunur. Şekil 17'de Huria ve diğerleri tarafından sunulan termal eşdeğer devre modelinin voltajı ve bu çalışmada önerilen yöntemin voltajı 8000 saniyelik bir süre için ikinci

dereceden transfer fonksiyonu kullanılarak gösterilmektedir. Şekilde gösterilen sonuçlar, önerdiğimiz yöntemin doğru ve olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir. Çünkü iki çaba, yani önerdiğimiz yöntemin çabası ve onunla karşılaştırılan çaba birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu karşılaştırma, önerilen modelin pil davranışını doğru ve etkili bir şekilde temsil etmedeki etkinliğini vurgulamakta ve bu da performansını güvenilir bir şekilde tahmin etme yeteneğini artırmaktadır.

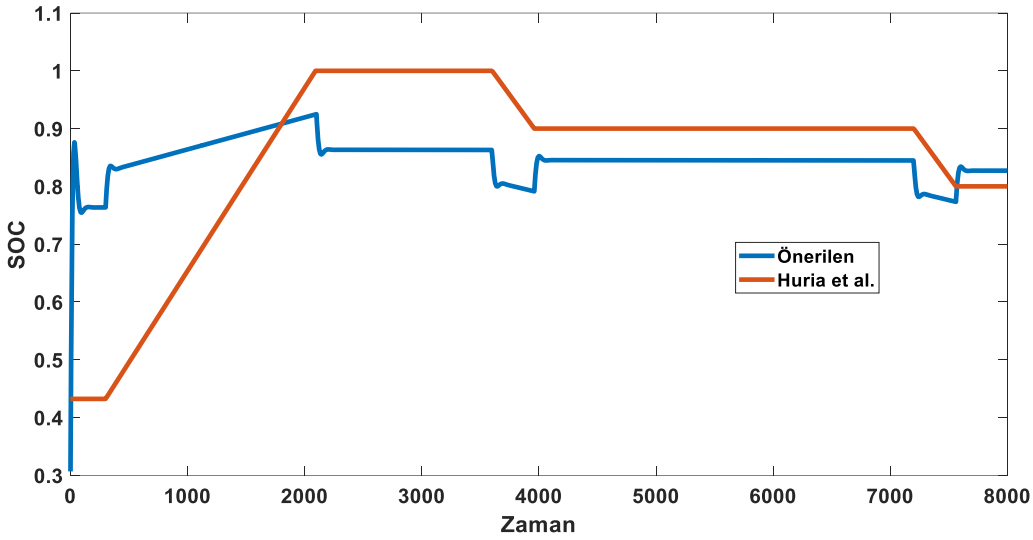
Ayrıca, bu çalışmada önerilen yöntemin önceki modellere kıyasla getirebileceği iyileştirmelere dikkat çekilmektedir. Önerilen yöntemin Huria ve diğerleri tarafından sunulan yönteme göre daha az programlama çabası gerektirdiğini de belirtmekte fayda vardır. Huria ve arkadaşlarının sunduğu çalışmada 28 adet değişken kullanılırken, bu çalışmada kullanılan yöntem yalnızca 7 değişkenle sınırlandırılmıştır. Değişken sayısındaki bu azalma, hesaplamaların verimliliğini artırmakta ve elektrik pili çalışmalarında uygulama sürecini ve veri analizini kolaylaştırmaktadır. Şekil 18’de, bu çalışmada önerilen şarj durumunun sonuçları, yine tatmin edici pozitif sonuçlar veren Huria ve diğerleri tarafından önerilen termal eşdeğer devre modelinin şarj durumuyla karşılaştırıldığında transfer fonksiyonu kullanılarak gösterilmektedir. Elde edilen ve Şekil 18’de gösterilen bu sonuçlar, batarya şarj durumunu temsil etme doğruluğunun iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, değişen koşullar altında batarya davranışını tahmin etmede modelin verimliliğinin artırılması önerilen teklifin potansiyel faydalarını vurgulamaktadır.



Şekil 16. İki darbe şarjı ve bir deşarj için batarya akımı



Şekil 17. Termal eşdeğer devre modeli voltajı (Huria et al.) ve bu makalede önerilen voltaj



Şekil 18. Termal eşdeğer devre modeli şarj durumu (Huria et al.) ve bu makalede önerilen şarj durumu

4. SONUÇLAR

Elektrikli araçların kullanımı, içten yanmalı motorlu araçların neden olduğu ulaşım kaynaklı sorunların çözümünde potansiyel bir alternatif sunmaktadır. Elektrikli araçlar alanındaki hızlı teknolojik gelişmelere ve bu alana yönelik artan ilgiye rağmen, mevcut teknoloji, geleneksel içten yanmalı motorlu araçlarla karşılaştırıldığında henüz eşdeğer bir seviyeye ulaşmamıştır. Batarya sorunları, elektrikli araç teknolojisinin ilerlemesinin önündeki en büyük engellerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada batarya modellemesine odaklanılmıştır, çünkü elektrikli araç bataryalarının modellenmesi, alternatif enerji kaynakları alanında önemli bir araştırma konusu olarak değerlendirilmektedir.

Bu bağlamda, elektrikli araç bataryasının davranışını tahmin etmek için ikinci dereceden transfer fonksiyonuna dayanan basit ve etkili bir metodoloji geliştirilmiştir. Batarya çıkış voltajını ve

şarj durumunu doğru bir şekilde tahmin etmek amacıyla matematiksel bir ilişki oluşturulmuştur. Bu ilişkinin (şarj durumu ilişkisi ve batarya voltajı ilişkisi) ikinci dereceden transfer fonksiyonu kullanılarak modellenebileceği belirlenmiştir. Transfer fonksiyonlarının parametrelerini elde etmek için MATLAB'ın model tanımlama aracı kullanılmış ve simülasyon sonuçları, bu yöntemin önceki araştırmalarda bulunan yöntemlere kıyasla daha az parametre kullanarak daha az hesaplama belleği gerektirdiğini göstermiştir. Bu durum, yöntemi pratik uygulamalar için uygun bir seçenek haline getirmektedir.

Her iki yöntem de akım dalgalarıyla bir giriş sinyali uygulayarak test edilmiştir. Sırasıyla belirli anlar arasında şarj ve deşarj darbeleri uyguladıktan sonra, uygulanan yöntemin Huria vd. (2012) yöntemine göre daha az programlama çabası gerektirdiği için tatmin edici sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Tarafımızdan önerilen yöntem, sisteme birçok mekanik ve elektriksel fayda sağlayabilir. Bunlar arasında tahmin ve kontrol doğruluğunu artırmak, şarj durumu ve gerilim durumunu doğru bir şekilde tahmin etme yeteneğini güçlendirmektedir. Bu da sistemin enerji talebini tahmin etme ve akım ile gerilimleri hassas bir şekilde ayarlama kapasitesini artırarak verimliliğini yükseltmekte ve sistemin etkin olmayan ayarlarından kaynaklanan maliyetlerini azaltmaktadır. Enerji verimliliğinin artırılması, şarj durumunun hassas tahminine dayalı olarak voltaj ve akımların doğru kontrol edilmesiyle sağlanır. Bu, enerji kullanım verimliliğini artırır, maliyetleri düşürür ve sistemin çevresel sürdürülebilirliğini iyileştirir. Sistem kararlılığının artırılması: şarj durumunun hassas bir şekilde tahmin edilmesi, akım ve voltajdaki beklenmedik dalgalanmaları azaltır. Bu durum, elektrik sisteminin kararlılığını ve güvenilirliğini artırarak sistem arızalarının azalmasını sağlar. Bakım maliyetlerinin azaltılması: şarj durumunun doğru tahmini, gereksiz bileşen değişimlerinin azaltılmasına yardımcı olarak sistemin durumunu korur ve uzun vadede maliyetleri düşürür.

Bununla birlikte, önerilen yöntemin şarj durumu tahmininin doğruluğunu olumsuz etkileyebilecek bazı mekanik ve elektriksel dezavantajları olduğu vurgulanmalıdır. Örneğin, pil şarj durumunun tahmininde elde edilen sonuçlar, voltaj tahminine kıyasla daha az doğru bulunmuştur. Bu durum, pilin şarj durumunu tahmin etmenin, voltajı tahmin etmekten daha karmaşık olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, önerilen yöntemde düşük dereceli bir transfer fonksiyonu kullanılması da bu durumu etkilemiştir.

Bu sorunu çözmek ve gelecekte şarj durumu tahmininde daha doğru sonuçlar elde etmek için yapay sinir ağlarından yararlanılabilir. Bu tekniğin kullanımı, şarj durumu tahmininin doğruluğunu artırarak modelin etkinliğini önemli ölçüde geliştirebilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedirler.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uyduklarını, ilgili yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Mohammed MOHAMMED: Yazma-gözden geçirme ve düzenleme, veri toplama, verinin düzenlenmesi, görselleştirme. Hasan BAYINDIR: Kavramsallaştırma, metodoloji, doğrulama, analiz, düzenleme, gözetim ve liderlik sorumluluğu.

KAYNAKLAR

- [1] G. Xia, L. Cao, and G. Bi, “A review on battery thermal management in electric vehicle application,” *J. Power Sources*, vol.367, pp. 90–105, 2017, doi: 10.1016/j.jpowsour.2017.09.046.
- [2] J. Jaguemont and J. Van Mierlo, “A comprehensive review of future thermal management systems for battery-electrified vehicles,” *J. Energy Storage*, vol. 31, no. January, pp. 101551, 2020, doi: 10.1016/j.est.2020.101551.
- [3] M. Malik, I. Dincer, and M. A. Rosen, “Review on use of phase change materials in battery thermal management for electric and hybrid electric vehicles,” *Int. J. Energy Res.*, vol. 40, no. 8, pp. 1011–1031, 2016, doi: <https://doi.org/10.1002/er.3496>.
- [4] M. Kaba, O. Kalkan, and A. Celen, “Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar ve termal yönetim sistemlerinin incelenmesi,” *Konya J. Eng. Sci.*, vol. 9, no. 4, pp. 1119–1136, 2021, doi: 10.36306/konjes.945819.
- [5] K. Vidyanandan, “Batteries for Electric Vehicles.” *Energy Scan A House e-Journal Corp. Planning*, vol. 2, no. November, pp. 362–364, 2019, doi: 10.1017/cbo9781316090978.
- [6] D. Chen, J. Jiang, G. H. Kim, C. Yang, and A. Pesaran, “Comparison of different cooling methods for lithium ion battery cells,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 94, pp. 846–854, 2016, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.10.015.
- [7] J. Lin, X. Liu, S. Li, C. Zhang, and S. Yang, “A review on recent progress, challenges and perspective of battery thermal management system,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 167, pp. 120834, 2021, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120834.
- [8] P. R. Tete, M. M. Gupta, and S. S. Joshi, “Developments in battery thermal management systems for electric vehicles: A technical review,” *J. Energy Storage*, vol. 35, no. December 2020, p. 102255, 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.102255.

- [9] G. Şefkatand M. A. Özel, “Elektrikli araçlarda kullanılan pili hücre sinelektiriksel ve termal modeli,” *Uludağ Univ. J. Fac. Eng.*, vol. 25, no. 1, pp. 51–64, 2020, doi: 10.17482/uumfd.541391.
- [10] M. A. Jusoh and M. Z. Daud, “Accurate battery model parameter identification using heuristic optimization,” *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 11, no. 1, pp. 333–341, 2020, doi: 10.11591/ijpeds.v11.i1.pp333-341.
- [11] H. Miniguano, A. Barrado, A. Lazaro, P. Zumel, and C. Fernandez, “General parameter identification procedure and comparative study of Li-Ion battery models,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 1, pp. 235–245, 2020, doi: 10.1109/TVT.2019.2952970.
- [12] J. Jaguemont, A. Nikolian, N. Omar, S. Goutam, J. Van Mierlo, and P. Van Den Bossche, “Development of a two-dimensional-thermal model of three battery chemistries,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 32, no. 4, pp. 1447–1455, 2017, doi: 10.1109/TEC.2017.2697944.
- [13] M. Dubarry, N. Vuillaume, and B. Y. Liaw, “From single cell model to battery pack simulation for Li-ion batteries,” *J. Power Sources*, vol. 186, no. 2, pp. 500–507, 2009, doi: 10.1016/j.jpowsour.2008.10.051.
- [14] R. Kantharaj and A. M. Marconnet, “Heat Generation and Thermal Transport in Lithium-Ion Batteries: A Scale-Bridging Perspective,” *Nanoscale Microscale Thermophys. Eng.*, vol. 23, no. 2, pp. 128–156, 2019, doi: 10.1080/15567265.2019.1572679.
- [15] K. Li, B. H. Soong, and K. J. Tseng, “A high-fidelity hybrid lithium-ion battery model for SOE and runtime prediction,” *Conf. Proc. - IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo. - APEC*, Tampa, Florida, pp. 2374–2381, March 26-30, 2017, doi: 10.1109/APEC.2017.7931032.
- [16] R. Zhang et al., “A study on the open circuit voltage and state of charge characterization of high capacity lithium-ion battery under different temperature,” *Energies*, vol. 11, no. 9, 2018, doi: 10.3390/en11092408.
- [17] W. Wu, S. Wang, W. Wu, K. Chen, S. Hong, and Y. Lai, “A critical review of battery thermal performance and liquid based battery thermal management,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 182, no. December 2018, pp. 262–281, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2018.12.051
- [18] C. Wang et al., “Cooperative co-evolutionary differential evolution algorithm applied for parameters identification of lithium-ion batteries,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 200, pp. 117192, 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2022.117192.
- [19] C. Zhang, K. Li, S. McLoone, and Z. Yang, “Battery modelling methods for electric vehicles - A review,” 2014 *Eur. Control Conf. ECC 2014*, Strasbourg, France, pp. 2673–2678, June 25-27, 2014, doi: 10.1109/ECC.2014.6862541.
- [20] T. Huria, M. Ceraolo, J. Gazzarri, and R. Jackey, “High fidelity electrical model with thermal dependence for characterization and simulation of high power lithium battery cells,” 2012 *IEEE Int. Electr. Veh. Conf. IEVC 2012*, Greenville, SC, United States, March 4-8, 2012, doi: 10.1109/IEVC.2012.6183271.
- [21] Q. Sun and C. Tang, *Battery Cell Electro-Thermal Modeling and Cooling System Design*. (2018). Accessed: May 16, 2024 [Online]. Available: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/256167/256167.pdf>
- [22] B. Kumaran. *Kokam Cell 31ah (SLPB78216216H)*, Accessed: May 20, 2024 [Online]. Available: http://www.kokam.com/new/kokam_en/sub01/sub01_01.html

Copyright © 2024 Mohammed and Bayındır. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).