

# BATARYA KAPASİTE KESTİRİMİ

**Cüneyt BARLAK ve Yakup ÖZKAZANÇ**

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Beytepe, 06800, Ankara, Türkiye  
[cuneytbarlak@gmail.com](mailto:cuneytbarlak@gmail.com), [yakup@ee.hacettepe.edu.tr](mailto:yakup@ee.hacettepe.edu.tr)

(Geliş/Received: 29.04.2010; Kabul/Accepted: 08.07.2010)

## ÖZET

Bu çalışmada, yeniden doldurulabilir bataryalar için batarya kapasitesinin radyal tabanlı fonksiyonlarla kestirimine yönelik bir yöntem önerilmektedir. Batarya modeli olarak genel bir elektriksel devre modeli kullanılmaktadır. Batarya model parametrelerinin kestirimi, Kalman filtre tabanlı bir algoritma kullanılarak yapılmaktadır. Kestirilen model parametrelerine, radyal tabanlı fonksiyonlar uygulanarak elde edilen batarya kapasite kestirim sonuçları, deneysel olarak ölçülen batarya kapasite değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin batarya kapasite kestiriminde kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeniden doldurulabilen bataryalar, batarya kapasitesi, genişletilmiş Kalman filtre, radyal tabanlı fonksiyonlar.

## BATTERY CAPACITY ESTIMATION

### ABSTRACT

In this work, a battery capacity estimation method with radial basis functions is proposed for rechargeable batteries. A generic electrical circuit model is used as a battery model. Battery model parameters are estimated with a Kalman filter based algorithm. Battery capacity values estimated with radial basis functions are compared with the measured values. Results show that the proposed method can be used to estimate the battery capacity.

**Keywords:** Rechargeable batteries, battery capacity, extended Kalman filter, radial basis functions.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde taşınabilir elektronik cihazların kullanımının yaygınlaşması ile bataryalara olan ihtiyaç artmış ve bataryalar büyük önem kazanmıştır. Bu durumun bir sonucu olarak, bataryadan maksimum performansın sağlanabilmesi amacıyla, batarya yönetim sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Batarya sağlık durumunun (State of Health, SOH) belirlenmesi de batarya yönetim sistemlerinin önemli bir konusunu oluşturmaktadır. Batarya sağlık durumu, bataryanın kullanılabilir maksimum kapasitesidir. Batarya kapasitesinin kestirimi, beklenen performansın bataryadan elde edilip edilemeyeceği konusunda bilgi vermesi nedeniyle önemlidir.

Batarya kapasitesinin kestiriminin yapılabilmesi için bir batarya modeli kullanılmalıdır. Literatürde farklı batarya modelleri mevcuttur. Elektrokimyasal modeller [1, 2], elektriksel devre modelleri [3-8], matematiksel modeller [9] ve empedans tabanlı

modeller kullanılarak batarya modeli oluşturulabilmektedir [10]. Bu çalışmada, batarya modeli olarak genel bir elektriksel devre modeli kullanılmaktadır [11, 12]. Önerilen batarya modeli literatürdeki devre modellerinin [3, 7] melezinde yeni bir modeldir.

Batarya sağlık durumunun dolayısı ile batarya kapasitesinin belirlenmesine yönelik olarak, literatürde değişik çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları empedans ölçüm yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalardır [10]. Elektrikli araç teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak son zamanlarda, batarya sağlık durumunun kestirimi için, empedans ölçüm yönteminden farklı çalışmalar da yapılmaktadır. Bu çalışmalarda batarya kapasitesi, dinamik sistemin bir durum değişkeni olarak modellenip kestirilmektedir [8, 13].

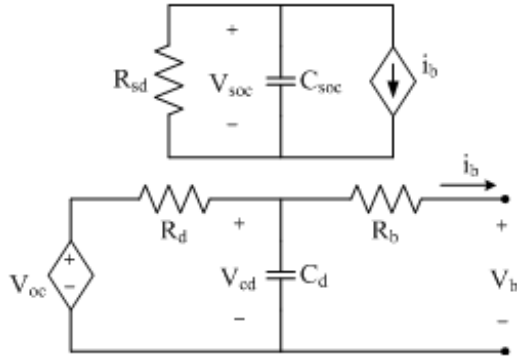
Bu çalışmada, batarya kapasite kestirimi, literatürdeki mevcut çalışmalardan farklı olarak yeni bir yaklaşımla

incelenmektedir. Bu önerilen yöntemle batarya kapasite kestirimi radyal tabanlı fonksiyonlar kullanılarak çok değişkenli aradeğerleme yöntemi ile yapılmaktadır. Batarya model parametreleri, Kalman filtre tabanlı bir algoritma kullanılarak kestirilmektedir. Önerilen batarya kapasite kestirim yaklaşımı, Ni-Mh bataryalar üzerinde denenmekte ve kestirim sonuçları ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmaktadır.

## 2. BATARYA MODELİ (BATTERY MODEL)

Batarya kapasitesinin kestirimi için ilk olarak bir batarya modeli oluşturulmuştur. Bu çalışmada batarya modeli olarak Şekil 1'de gösterilen elektriksel devre modeli kullanılmıştır [11, 12]. Önerilen devre modeli, batarya tipinden bağımsız olarak, yeniden doldurulabilir bataryaların temel yapısını ve dinamiğini içeren genel bir batarya modelidir [12].

Şekil 1'deki elektriksel devre batarya modeli, birbirine bağımlı iki elektriksel devreden oluşmaktadır. İlk devrede,  $i_b$  batarya akımına bağımlı olarak çalışan bir akım kaynağı bulunmaktadır.  $V_{soc}$  gerilimi,  $C_{soc}$  kapasitörü üzerindeki gerilim düşümüdür ve 0V ile 1V arasında değerler almaktadır.  $V_{soc}$ 'un değeri 0V iken batarya tamamen boş, 1V iken batarya tamamen dolu konumdadır.  $C_{soc}$  kapasitörünün büyüklüğü, amper-saniye cinsinden batarya kapasitesinin değeri olarak seçilmektedir.  $R_{sd}$  direnci, batarya iç boşalma direncini göstermektedir.



Şekil 1. Yeniden doldurulabilir batarya modeli (Rechargeable battery model)

Batarya modelini oluşturan ikinci devrede,  $V_{oc}$  açık devre gerilimine bağımlı olarak çalışan bir gerilim kaynağı vardır. Literatürde, batarya açık devre gerilimi ile batarya yük durumu arasında

$$V_{oc} = mV_{soc} + n \quad (1)$$

şeklinde bir ilinti olduğu gösterilmiştir [3]. Burada  $m$  ve  $n$  sabitleri, batarya tipine göre değişen nominal değerlerdir. Batarya tamamen boş olduğu zaman  $V_{soc}$  gerilimi 0V olduğu için

$$n = V_{oc} \quad (2)$$

şeklinde  $n$  sabitinin değeri bulunur. Batarya tam dolu iken  $V_{soc}$  gerilimi 1V olur. Bu durumda  $m$  sabitinin değeri şu şekilde hesaplanır:

$$m = V_{oc} - n \quad (3)$$

$R_b$  direnci bataryanın iç direncidir.  $C_d$  kapasitörü ile  $R_d$  direncinin çarpımından batarya geçici durum tepkime zaman sabiti  $T_d$  hesaplanmaktadır.  $V_b$  ve  $i_b$  sırasıyla batarya terminal gerilimi ve batarya terminal akımıdır.

## 3. PARAMETRE KESTİRİMİ (PARAMETER ESTIMATION)

Bu çalışmada kullanılan ve Şekil 1'de verilen yeniden doldurulabilir batarya modelinin durum denklemleri şu şekildedir:

$$\dot{V}_{cd} = -\frac{1}{R_d C_d} V_{cd} + \frac{m}{R_d C_d} V_{soc} + \frac{n}{R_d C_d} - \frac{1}{C_d} i_b \quad (4)$$

$$\dot{V}_{soc} = -\frac{1}{R_{sd} C_{soc}} V_{soc} - \frac{1}{C_{soc}} i_b \quad (5)$$

Burada,  $R_{sd}$  iç boşalma direnci, çok büyük olduğu için ihmal edilecektir. Durum değişkenleri aşağıdaki gibi seçilirse,

$$x_1 = V_{cd} \quad (6)$$

$$x_2 = V_{soc} \quad (7)$$

$$x_3 = \frac{1}{C_d} \quad (8)$$

$$x_4 = R_b \quad (9)$$

durum denklemleri şu şekilde yazılabilir:

$$\dot{x}_1 = -\frac{1}{T_d} x_1 + \frac{m}{T_d} x_2 + \frac{n}{T_d} - x_3 i_b \quad (10)$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{1}{C_{soc}} i_b \quad (11)$$

$$\dot{x}_3 = 0 \quad (12)$$

$$\dot{x}_4 = 0 \quad (13)$$

Burada,  $T_d$  batarya geçici durum tepkime zaman sabiti, basit bir açık devre testi ile kestirilebilir [12].  $C_{soc}$  kapasitansı, bataryanın amper-saniye cinsinden nominal kapasitesidir.  $m$  ve  $n$  sabitleri, bu çalışmada Ni-Mh bataryalar için denklem (1) ile hesaplanan

nominal değerlerdir. Devrenin çıkış denklemi de şu şekildedir:

$$y = V_b = x_I - x_4 i_b \quad (14)$$

Görüldüğü gibi, durum uzayı modeli denklem (10) ve denklem (14) nedeni ile doğrusal bir model değildir. Girdisi batarya akımı  $i_b$  ve çıktısı batarya terminal gerilimi  $V_b$  olan bu dinamik modele, genişletilmiş Kalman filtre uygulanarak model parametreleri  $R_b$  ve  $C_d$  ile batarya doluluk durumunun birlikte kestirimi yapılmıştır.

### 3.1. Genişletilmiş Kalman Filtresi (Extended Kalman Filter)

Doğrusal olmayan bir sistemin dinamik modeli ve çıkış denklemi sırasıyla denklem (15) ve denklem (16)'da verilmiştir.

$$x_{k+1} = f(x_k) + w_k \quad (15)$$

$$y_{k+1} = g(x_{k+1}) + v_{k+1} \quad (16)$$

burada,

$$E(w_k) = 0 \quad (17)$$

$$E(w_k w_m') = Q_k \delta_{km} \quad (18)$$

$$E(v_k) = 0 \quad (19)$$

$$E(v_k v_m') = R_k \delta_{km} \quad (20)$$

$$\delta_{km} = \begin{cases} 1 & , k = m \\ 0 & , k \neq m \end{cases} \quad (21)$$

Burada,  $f(x)$  fonksiyonu, durum uzay modelinin dinamiğini ifade etmektedir.  $w$  işlem gürültüsü,  $v$  ise ölçüm gürültüsüdür.  $Q$  matrisi işlem gürültüsü kovaryans matrisi,  $R$  ise ölçüm gürültüsü kovaryans matrisidir.

Genişletilmiş Kalman filtre yönteminin ilk bölümü zaman güncellemesidir [14, 15]:

$$\hat{x}_{k+1}^- = f(\hat{x}_k) \quad (22)$$

$$P_{k+1}^- = A_k P_k A_k' + Q_k \quad (23)$$

$$A_k = \left. \frac{\partial f(x_k)}{\partial x_k} \right|_{x_k = \hat{x}_k} \quad (24)$$

Burada  $P$  matrisi hata kovaryans matrisidir. Bu çalışmada  $P$  ve  $Q$  matrisleri  $R_b$  ve  $C_d$ 'nin zamanla değişiminin kestirimine olanak sağlayacak şekilde pozitif tanımlı olarak seçilmiştir. Genişletilmiş Kalman filtre yönteminin ikinci bölümü ise ölçüm güncellemesidir.

$$K_{k+1} = P_{k+1}^- C_{k+1}' (C_{k+1} P_{k+1}^- C_{k+1}' + R)^{-1} \quad (25)$$

$$P_{k+1} = (I - K_{k+1} C_{k+1}) P_{k+1}^- \quad (26)$$

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_{k+1}^- + K_{k+1} (y_{k+1} - g(\hat{x}_{k+1}^-)) \quad (27)$$

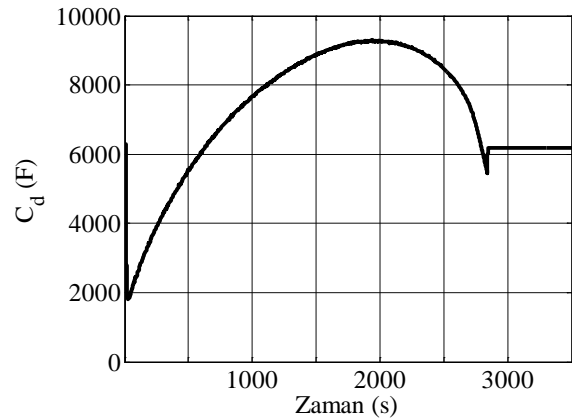
$$C_{k+1} = \left. \frac{\partial g(x_{k+1})}{\partial x_{k+1}} \right|_{x_{k+1} = \hat{x}_{k+1}^-} \quad (28)$$

Burada,  $g(x)$  fonksiyonu çıkış denklemini ifade etmektedir.  $K$  Kalman kazanç matrisidir. Bu çalışmada ölçüm gürültüsü kovaryans matrisi  $R$ 'nin değeri, kullanılan deney düzeneğinin ölçüm hassasiyetine uygun olarak seçilmiştir.

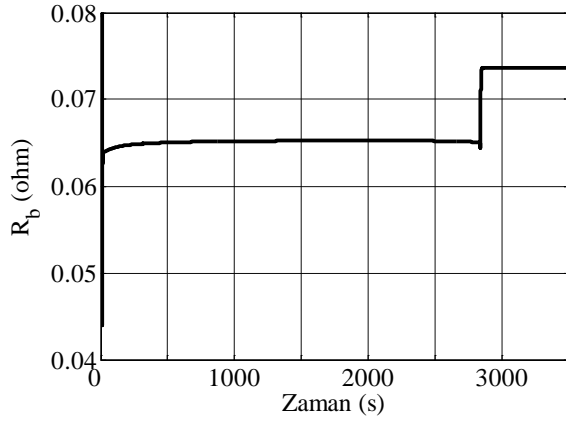
### 3.2. Parametre Kestirim Sonuçları (Parameter Estimation Results)

Batarya parametre kestirimi için yapılan deneysel çalışmada 2.1 Ah'lik Ni-Mh bataryalar kullanılmıştır.  $R_b$  ve  $C_d$  parametrelerinin kestirimi için bataryalar 2.1 amperlik sabit akımda boşaltılarak yukarıda anlatıldığı şekilde genişletilmiş Kalman filtre yöntemi uygulanmıştır. Bir Ni-Mh test bataryası için kestirilen  $C_d$  ve  $R_b$  batarya model parametre değerleri Şekil 2 ve Şekil 3'te görülmektedir.

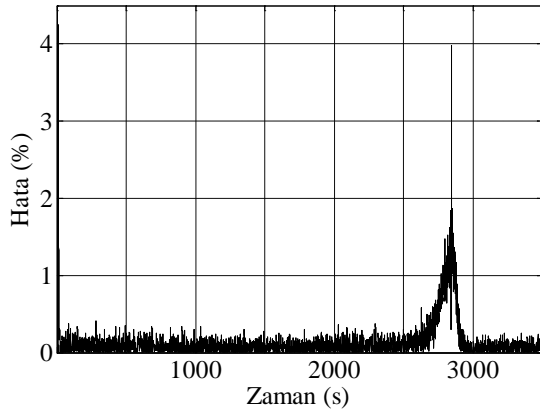
Batarya parametre kestirimi sırasında ölçülen batarya terminal gerilimi ile genişletilmiş Kalman filtresi ile kestirilen batarya terminal gerilimi arasındaki mutlak hata grafiği Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 2. Test bataryası için kestirilen  $C_d$  değeri (Estimated  $C_d$  of the test battery)



**Şekil 3.** Test bataryası için kestirilen  $R_b$  değeri (Estimated  $R_b$  of the test battery)



**Şekil 4.** Batarya terminal gerilimi kestirimindeki bağıl mutlak hata (Relative absolute error in battery terminal voltage estimation)

Ölçülen batarya terminal gerilimi ile genişletilmiş Kalman filtresi ile kestirilen terminal gerilimi arasındaki ortalama mutlak hata oranı %0.12 olarak hesaplanmıştır. Batarya terminal geriliminin, bataryadan ölçülebilen tek değer olduğu dikkate alındığında, hata oranının bu derece küçük olması, önerilen batarya modelinin, batarya dinamiğini tutarlı bir şekilde modelleyebildiğinin bir kanıtı niteliğindedir.

#### 4. ÇOKDEĞİŞKENLİ ARADEĞERLEME (MULTIVARIABLE INTERPOLATION)

Bu çalışmada, batarya kapasitesinin kestirimi, radyal tabanlı fonksiyonlar kullanılarak çok değişkenli aradeğerleme ile yapılmaktadır.

Radyal tabanlı fonksiyonlar (radial basis functions), aldıkları değerlerin yalnızca fonksiyonun hesaplandığı noktanın uzayın orijininden olan uzaklığına bağlı olduğu skaler fonksiyonlardır.  $d(x,y)$ ,  $R^n$  uzayı üzerinde tanımlanmış bir uzaklık fonksiyonu ise

$$\varphi(x) : R^n \rightarrow R \quad (29)$$

$$\varphi(x) = \Phi(d(x,0)) \quad (30)$$

şeklinde ifade edilebilen tüm fonksiyonlar bir radyal fonksiyondur. Doğal olarak, uzaklık fonksiyonu olarak ilgili uzay üzerinde tanımlanmış herhangi bir norm da kullanılabilir:

$$\varphi(x) = \Phi(d(x,0)) = \Phi(\|x\|) \quad (31)$$

$u$  fonksiyonu,  $R^n$  üzerinde tanımlanmış bir fonksiyon olsun.  $u$  fonksiyonunun  $R^n$  uzayında  $x_k$  noktalarında aldığı değerler

$$u_k = u(x_k), \quad k=1,2,\dots,M \quad (32)$$

ile gösterilsin. Bu durumda,

$$u(x) = \sum_{k=1}^M a_k \Phi(d(x, x_k)) \quad (33)$$

olarak ifade edilen fonksiyon, radyal tabanlı fonksiyon ağı (radial basis function network) olarak anılmaktadır [16]. Radyal tabanlı fonksiyon ağını bir aradeğerleme fonksiyonu olarak kullanmak için,  $a_k$  ile gösterilen ağırlıklandırma katsayılarını

$$u_i = u(x_i) = \sum_{k=1}^M a_k \Phi(d(x_i, x_k)), \quad i=1,2,\dots,M \quad (34)$$

eşitliği sağlanacak şekilde belirlemek gerekmektedir.

$$\Phi(d(x_i, x_k)) = g_{ik} \quad (35)$$

şeklinde ifade edilirse; yukarıdaki eşitlik

$$u_i = \sum_{k=1}^M g_{ik} a_k \quad (36)$$

olarak yazılabilir. Bu ifade,

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ u_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \cdot & \cdot & g_{1M} \\ g_{21} & g_{22} & \cdot & \cdot & g_{2M} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ g_{M1} & g_{M2} & \cdot & \cdot & g_{MM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_M \end{bmatrix} \quad (37)$$

ile gösterilebilecek doğrusal denklem setine eşdeğerdir. Bu eşitliği,

$$u = Ga \quad (38)$$

şeklinde yazarak, aradeğerleme katsayılarının bulunduğu vektör ( $a$ )

$$a = G^{-1}u \quad (39)$$

şeklinde elde edilir. Böylece,  $u_k = u(x_k)$  eşitlikleri sağlanmış olur ve denklem (33) çokdeğişkenli bir aradeğerleme fonksiyonu olarak kullanılabilir. Ayrıca literatürde,

$$u(x) = \sum_{k=1}^M a_k \left( \frac{\Phi(d(x, x_k))}{\sum_{i=1}^M \Phi(d(x, x_i))} \right) \quad (40)$$

olarak tanımlanmış fonksiyon ağırları da kullanılmaktadır [12]. Burada,

$$\frac{\Phi(d(x, x_k))}{\sum_{i=1}^M \Phi(d(x, x_i))} \quad (41)$$

olarak tanımlanan fonksiyonlar ise normalize radyal taban fonksiyonları olarak anılmaktadır.

### 5. KAPASİTE KESTİRİMİ (CAPACITY ESTIMATION)

Bu çalışmada, radyal tabanlı fonksiyonlarla çok değişkenli aradeğerleme kullanılarak batarya kapasitesinin kestirimi için, 16 adet 2.1Ah Ni-Mh hiç kullanılmamış batarya edinilmiş ve önceki bölümlerde anlatılan şekilde parametre kestirimi yapılarak her bir batarya için  $R_b$ ,  $C_d$  ve  $T_d$  parametreleri belirlenmiştir. Bu çalışmada bataryalar, bu üç parametre cinsinden denklem (42)'de verilen şekilde parametrik olarak karakterize edilmektedir.

$$x = [R_b, C_d, T_d]^T \quad (42)$$

Batarya sağlık durumunun belirlenmesinde kullanmak amacı ile hiç kullanılmamış bataryalardan seçilen 8 adet bataryaya eskitme testi uygulanarak bataryalar yıpratılmış ve bu bataryaların tekrar parametre kestirimi yapılmıştır [12]. Hiç kullanılmamış bataryalardan 8 ve yıpratılmış bataryalardan 8 olmak üzere toplam 16 batarya kullanılarak batarya kapasite kestirimi yapılmıştır. Batarya kapasite kestirimi yapılırken, bu bataryaların her birinin ölçülmüş olan parametreleri ve kapasiteleri esas alınmıştır.

Batarya kapasite kestiriminde kullanılmak üzere radyal fonksiyon olarak, literatürde yaygın olarak kullanılan gauss fonksiyonu esas alınmış ve radyal taban fonksiyonları

$$\Phi(d(x, x_k)) = \Phi(\|x - x_k\|) = \exp(-\beta \|x - x_k\|^2) \quad (43)$$

olarak seçilmiştir. Norm olarak, batarya parametrelerinin uygun şekilde ölçeklenmesi olarak yorumlanabilecek olan

$$\|x\|^2 = \sum_{i=1}^3 \left( \frac{x - x_i}{\sigma_i} \right)^2, \quad \sigma_i > 0 \quad (44)$$

ölçeklenmiş kartezyen norm kullanılmıştır. Böylece batarya kapasitesi için

$$C = C(x) = \sum_{k=1}^M a_k \exp(-\beta \|x - x_k\|^2), \quad \beta > 0 \quad (45)$$

şeklinde ifade edebileceğimiz aradeğerleme fonksiyonu elde edilmiştir. Bu aradeğerleme fonksiyonunun başarımını sınamak için, her bir bataryanın kapasitesi, bu bataryayı dışarıda bırakarak oluşturulan 15 bataryalık gruba dayanılarak yapılan aradeğerleme kestirimi ile karşılaştırılmıştır. Böylece 16 bataryanın her biri için ölçülen ve kestirilen kapasite değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Radyal tabanlı fonksiyonlar kullanılarak elde edilen kapasite kestirim sonuçları. (Capacity estimation results with radial basis functions)

Batarya	C <sub>ölçüm</sub> (A-s)	C <sub>kestirim</sub> (A-s)	Mutlak Hata (%)
01	5898	5919	0,35
02	5927	5915	0,20
03	5953	5918	0,60
04	5944	5986	0,70
05	5902	5951	0,83
06	5912	5904	0,14
07	5905	5902	0,05
08	5918	5921	0,04
09	5230	5216	0,26
10	5681	5426	4,49
11	5814	5496	5,47
12	5512	5519	0,13
13	5842	6170	5,61
14	5847	5707	2,40
15	5855	5940	1,45
16	5927	5855	1,21

Tablo 1'de verilmiş olan batarya kapasite kestirim değerleri için ortalama mutlak hata oranı %1,50 olarak hesaplanmıştır. 10 numaralı batarya hesaplamalara dahil edilmezse, radyal tabanlı fonksiyonlarla çokdeğişkenli aradeğerleme kullanılarak batarya kapasitesinin kestiriminde 15 test bataryası için ortalama mutlak hata oranı %0,49 olarak bulunmaktadır. Bu durumda her bir batarya için elde edilen yeni kapasite kestirim değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Radyal tabanlı fonksiyonlar kullanılarak elde edilen kapasite kestirim sonuçları. 10 numaralı batarya hesaplamalara dahil edilmemiştir. (Capacity estimation results with radial basis functions. The battery labeled 10 is taken out as an outlier)

Batarya	C <sub>ölçüm</sub> (A-s)	C <sub>kestirim</sub> (A-s)	Mutlak Hata (%)
01	5898	5896	0,03
02	5927	5927	0,01
03	5953	5980	0,45
04	5944	5932	0,20
05	5902	5922	0,34
06	5912	5903	0,16
07	5905	5906	0,02
08	5918	5918	0,01
09	5230	5229	0,01
11	5814	6019	3,52
12	5512	5523	0,19
13	5842	5863	0,35
14	5847	5778	1,17
15	5855	5820	0,60
16	5927	5910	0,30

Bu çalışmada ayrıca, normalize radyal tabanlı fonksiyonlar kullanılarak bir kez daha batarya kapasite kestirimi yapılmıştır. Batarya kapasitesi için

$$C(x) = \sum_{k=1}^M a_k \left( \frac{\exp(-\beta \|x - x_k\|^2)}{\sum_{i=1}^M \exp(-\beta \|x - x_i\|^2)} \right) \quad (46)$$

olacak şekilde normalize radyal tabanlı aradeğerleme fonksiyonu oluşturulmuş ve test grubundaki bataryaların her biri için, ilgili bataryayı dışarıda bırakarak kestirimler yapılmıştır. Kestirilen batarya kapasite değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3'teki batarya kapasite kestirim değerleri için, 10 numaralı batarya yine hesaplamalara dahil edilmemiştir. Bu durumda normalize radyal tabanlı fonksiyonlarla çokdeğişkenli aradeğerleme kullanılarak batarya kapasitesinin kestiriminde 15 test bataryası için ortalama mutlak hata oranı %0,51 olarak bulunmaktadır.

Tablo 2 ve Tablo 3'ten de görüldüğü gibi, batarya kapasite kestiriminde her bir batarya için mutlak hata oranı da oldukça düşüktür. Bu sonuçlar, önerilen yöntemin batarya kapasite kestiriminde uygulanabilir olduğunun bir göstergesi durumundadır.

**Tablo 3.** Normalize radyal tabanlı fonksiyonlar kullanılarak elde edilen kapasite kestirim sonuçları. (Capacity estimation results with normalized radial basis functions)

Batarya	C <sub>ölçüm</sub> (A-s)	C <sub>kestirim</sub> (A-s)	Mutlak Hata (%)
01	5898	5895	0,04
02	5927	5927	0,01
03	5953	5980	0,45
04	5944	5932	0,20
05	5902	5922	0,34
06	5912	5902	0,17
07	5905	5906	0,02
08	5918	5918	0,01
09	5230	5266	0,7
11	5814	5995	3,12
12	5512	5512	0,01
13	5842	5865	0,40
14	5847	5766	1,38
15	5855	5827	0,47
16	5927	5907	0,33

## 6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, batarya sağlık durumunun diğer bir ifade ile bataryanın kullanılabilir kapasitesinin kestirimine yönelik bir yaklaşım sunulmuştur. Önerilen yöntem, literatürde mevcut olan batarya kapasite kestirim metotlarından farklı yeni bir yöntemdir. Bu yöntemle göre, batarya parametrik olarak karakterize edilmekte ve bu parametrelere radyal tabanlı fonksiyonlarla çok değişkenli aradeğerleme yöntemi uygulanarak, batarya kapasitesinin amper-saniye cinsinden kestirimi yapılmaktadır. Batarya modeli olarak genel bir elektriksel devre modeli kullanılmış; model parametrelerinin kestirimi Kalman filtre tabanlı bir algoritma kullanılarak yapılmıştır. Önerilen batarya kapasite kestirim yöntemi, Ni-Mh test bataryaları kullanılarak sınanmış ve kestirim sonuçları, ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kestirilen ve ölçülen kapasite değerleri arasındaki ortalama mutlak hata oranının düşük olması, önerilen kapasite kestirim yaklaşımının uygulanabilir bir yöntem olduğunun bir göstergesi olarak yorumlanabilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Rao, R., Vruthula, S. ve Rakhmatov, D.N., "Battery modeling for energy-aware system design", **IEEE Computer**, Cilt 36, No 12, 77-87, 2003.

2. Santhanagopalan, S. ve White, R.E., "Online estimation of the state of charge of a lithium ion cell", **J. Power Sources**, Cilt 161, 1346-1355, 2006.
3. Pang, S., Farrell, J., Du, J. ve Barth, M., "Battery state-of-charge estimation", **Proc. Amer. Control Conf.**, Cilt 2, 1644-1649, Jun. 2001.
4. Salameh, Z.M., Casacca, M.A. ve Lynch, W.A., "A mathematical model for lead-acid batteries", **IEEE Trans. Energy Conversion**, Cilt 7, 93-96, Mar. 1992.
5. Chiasson, J. ve Vairamohan, B., "Estimating the state of charge of a battery", **IEEE Trans. Control Systems Technology**, Cilt 13, No 3, 465-470, May. 2005.
6. Barsali, S. ve Ceraolo, M., "Dynamical models of lead-acid batteries: implementation issues", **IEEE transactions on Energy Conversion**, Cilt 17, No 1, 16-23, March 2002.
7. Chen, M. ve Rincón-Mora, G.A., "Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance", **IEEE Trans. Energy Conversion**, Cilt 21, No 2, 504-511, June 2006.
8. Bhangu, B.S., Bently, P., Stone, D.A. ve Bingham, C.M., "Nonlinear observers for predicting SoC and SoH of lead-acid batteries for hev's", **IEEE Trans Vehicular Technol.**, Cilt 54, No 3, 783-794, May 2005.
9. Plett, G., "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs. Part 2. Modeling and identification", **J. Power Sources**, Cilt 134, 262-276, 2004.
10. Huet, F., "A review of impedance measurements for determination of the state-of-charge or state-of-health of secondary batteries", **J. Power Sources**, Cilt 70, 59-69, 1998.
11. Barlak, C. ve Özkazanç, Y., "Batarya yük durumunun Kalman filtre ile kestirimi", **TOK2008**, İstanbul, 742-747, 13-15 Kasım 2008.
12. Barlak, C., **Batarya Model Parametrelerinin, Doluluk Durumunun, Sağlık Durumunun Kestirimi ve Ni-Mh Bataryalara Uygulanması**, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
13. Plett, G., "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs. Part 3. State and parameter estimation", **J. Power Sources**, Cilt 134, 277-292, 2004.
14. Gelb, A., **Applied Optimal Estimation**, The M.I.T Press, Massachusetts, 1989.
15. Anderson, B.D.O. ve Moore, J.B., **Optimal Filtering**, Dover Publications, INC, Mineola, New York, 2005.
16. Buhmann, M.D., **Radial Basis Functions: Theory and Implementation**, Cambridge University Press, 2009.

