

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİTYUM TABANLI BATARYALARDA ŞARJ DURUMU KESTİRİMİ
İÇİN KALMAN FİLTRESİ GELİŞTİRİLMESİ

FATMA NUR DIŞCI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2018

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİTYUM TABANLI BATARYALARDA ŞARJ
DURUMU KESTİRİMİ İÇİN KALMAN
FİLTRESİ GELİŞTİRİLMESİ

FATMA NUR DIŞCI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. ABDULKADİR BALIKÇI

GEBZE
2018

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**DEVELOPMENT OF KALMAN FILTER FOR
STATE OF CHARGE ESTIMATION IN
LITHIUM ION BASED BATTERIES**

FATMA NUR DIŞCI

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ELECTRONIC ENGINEERING**

**THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. ABDULKADİR BALIKCI**

GEBZE

2018

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 27.../..06../2018 tarih ve ..2018./...33.... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ..14../.08../2018. tarihinde tez savunma sınavı yapılan FATMA NUR DIŞÇI'nin tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: PROF.DR.ABDULKADİR BALIKÇI

ÜYE

: PROF.DR.SERKAN AKSOY

ÜYE

: DOÇ.DR.UĞUR HASIRCI

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Lityum iyon temelli bataryalar yüksek enerji yoğunlukları ve uzun ömürleriyle özellikle elektrikli araçlarda diğer batarya tiplerine nazaran daha çok tercih edilir. Araçlarda kullanılan bataryalara ait durum parametreleri olarak tanımlanan şarj durumu ve sağlık durumu gibi büyüklüklerin isabetli olarak belirlenmesi, doğru pil modelinin elde edilmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada Lityum-İyon temelli bataryalar için Matlab Simulink kullanılarak şarj durumu algoritmaları geliştirilmiştir. Öncelikle batarya davranışını mümkün olduğunca doğru olarak benzetmeyi amaçlayan eşdeğer devre batarya modeli oluşturulmuştur. Model üzerinde bazı testler yapılmıştır. Sonra birinci dereceden batarya modeline RC eleman eklenerek ikinci dereceden Thevenin batarya modeli oluşturulmuştur ve batarya şarj durumu model parametresi bu çalışmada anlatılmış olan Genişletilmiş Kalman Filtresi ile tahmin edilmiştir. Kalman filtresi algoritmasının modellenen batarya karakteristiğini yakalaması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın sonunda Kalman filtresi kodunun doğru, mantıklı ve başarılı bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kalman Filtresi, Batarya Yönetim Sistemi, Batarya Matematiksel Modelleme.

SUMMARY

Lithium ion batteries are preferred especially in electric car applications over other types of batteries thank for high power and energy density. In terms of getting an accurate battery model, it is so important to be able to determine state parameters such as state of charge and state of health. In this work, battery management system algorithms were improved for Lithium Ion batteries using Matlab Simulink. First, it was came up with an equivalent circuit battery mathematical model with the aim of simulating the behavior of a lithium-ion battery as accurately as possible. Some experiments were done on this model. Then Thevenin battery model is achieved by adding an extra RC branch and the model parameters are identified by using Extended Kalman Filter(EKF) which was understood in this work. It was aim to catch the battery characterization. At the end of the work, it was provided that Kalman Filter code was accurate, reasonable and it worked successfully.

Key Words: Kalman Filter, Battery Management System, Battery Mathematical Modeling.

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőması boyunca yardımını ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Abdulkadir BALIKI'ya, bilgi ve deneyimiyle alıőma surecimde yardımcı hocam Dr. Yasser EL-KAHLOUT'a teőekkrlerimi sunarım. Gstermiő oldukları sabır ve destekten dolayı anneme ve babama teőekkr ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Bataryalar	1
2. BATARYA ŞARJ DURUMU TAHMİNİ VE MODELLEME	5
2.1. Batarya Şarj Durumu Tahmini	5
2.1.1. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopi Yöntemi	5
2.1.2. Yük Sayma Yöntemi	6
2.1.3. Açık Devre Voltaj Yöntemi	6
2.1.4. Kalman Filtresi Tabanlı Yöntemler	8
2.2. Batarya Modelleme	9
2.2.1. Elektriksel Eşdeğer Devre Modeli	9
2.2.2. Elektrokimyasal Model	10
2.2.2.1. Termal Model	10
2.2.3. Önerilen Model ve Devre Parametreleri Kestirimi	11
3. KALMAN FİLTRESİ	14
3.1 Kalman Filtresi ile Batarya Parametre Tahmini	15
4. BENZETİM SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRMALAR	21
4.1. Batarya Şarj Durumu Tahmini	21
4.2. HPPC Testi	24
4.3. FUDS Testi	25
5. SONUÇ	30
KAYNAKLAR	31
ÖZGEÇMİŞ	34
EKLER	35

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kisaltmalar</u>	
Q	: Elektrik alan vektörü
P	: Hata kovaryans matrisi
R	: Hata kovaryans matrisi
C	: Kapasite
V	: Voltaj
Ah	: Ampersaat
SA-SV	: Sabit Akım Sabit Gerilim
ADV	: Açık Devre Voltajı
BYS	: Batarya Yönetim Sistemi
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
GKF	: Genişletilmiş Kalman Filtresi
x	: Sistem durumu
u	: Sistem girişi
y	: Sistem çıkışı
k	: Zaman adımı
\hat{x}	: Tahmin edilen sistem durumu
K	: Kalman Kazancı
A	: Akım
dt	: Zaman adımı
<i>capacity</i>	: Batarya kapasitesi
HPPC	: Hibrit Darbe Güç Karakterizasyonu
FUDS	: Federal Şehir İçi Sürüş Programı
1RC	: Birinci Dereceden Batarya
2RC	: İkinci Dereceden Batarya
NiCd	: Nikel Kadmiyum
NiMH	: Nikel Metal Hidrat
Pb-Acid	: Kurşun Asit
EES	: Elektromanyetik Empedans Spektroskopisi
YSM	: Yük Sayma Metodu
EA	: Elektrikli Araç
HEA	: Hibrit Elektrikli Araç

AGKF : Adaptif Genişletilmiş Kalman Filtresi
Li-ion : Lityum İyon
BşD : Batarya şarj Durumu
BSD : Batarya Sağlık Durumu
TÜBİTAK : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Lityum iyon bataryaların diğer bataryalar ile karşılaştırılması.	4
1.2: Elektrikli araçlar için kullanılan batarya paketinden Lityum iyon batarya hücresi.	4
2.1: 11.8 Ah batarya hücresi için açık devre voltajı-batarya şarj durumu ilişkisi.	7
2.2: 100Ah batarya paketi için açık devre voltajı-batarya şarj durumu ilişkisi.	8
2.3: 1RC eşdeğer devre modeli.	9
2.4: 2RC eşdeğer devre modeli.	10
2.5: Matlab Simulink batarya elemanları kütüphanesi.	11
2.6: Simulink 2RC eşdeğer devre benzetimi.	12
2.7: Matlab optimizasyon aracını kullanarak ikinci dereceden (2RC) batarya modeli için parametre tahmini.	13
2.8: Matlab optimizasyon aracını kullanarak birinci dereceden (1RC) batarya modeli için parametre tahmini.	13
3.1: Kalman Filtresi Algoritması kapalı çevrim tahmin diyagramı.	15
3.2: Kalman Filtresi batarya dinamiği ve batarya modeli denklemleri.	17
3.3: Kalman Filtresi yinelemeli tahmin algoritması genel diyagram.	18
3.4: Matlab Simulink benzetim düzeneği.	20
4.1: 0.7 C A sabit deşarj darbesi girişli ikinci dereceden (2RC) batarya modeli sonuçları. a) Akım grafiği. b) Terminal voltajlarının karşılaştırması. c) Batarya hücresinin gerçek şarj durumu grafiği.	22
4.2: 0.7 C A sabit deşarj darbesi girişli birinci dereceden (1RC) batarya modeli sonuçları. a) Akım grafiği. b) Terminal voltajlarının karşılaştırması. c) Batarya hücresinin gerçek şarj durumu grafiği.	23
4.3: 0.5 C A sabit deşarj darbesi girişli birinci dereceden (2RC) batarya modeli sonuçları. a) Akım grafiği. b) Terminal voltajlarının karşılaştırması. c) Batarya hücresinin gerçek şarj durumu grafiği.	24
4.4: 0.5 C A sabit deşarj darbesi girişli birinci dereceden (1RC) batarya modeli sonuçları. a) Akım grafiği. b) Terminal voltajlarının karşılaştırması. c) Batarya hücresinin gerçek şarj durumu grafiği.	24

4.5:	100 Ah 57.6 V batarya modeli HPPC testi. a) HPPC Akım grafiği. b) Terminal voltaj grafiği. c) Benzetim ve gerçek batarya şarj durumu karşılaştırması. d) Tahmin hata grafiği.	26
4.6:	Bir çevrimlik FUDS testi akım grafiği.	27
4.7:	11.8 Ah 3.7 V batarya hücresi için bir çevrimlik FUDS testi. a) Akım grafiği. b) Terminal voltaj grafiği. c) Benzetim ve batarya modeli şarj durumu. d) Tahmin hata grafiği.	27
4.8:	11.8 Ah 3.7 V batarya hücresi için dört çevrimlik FUDS testi. a) Akım grafiği. b) Terminal voltaj grafiği. c) Benzetim ve batarya modeli şarj durumu. d) Tahmin hata grafiği.	28
4.9:	11.8 Ah 57.6 V batarya paketi için deneysel ve benzetim şarj durumu karşılaştırması. a) 0.5C A deşarj akımı. b) Terminal voltaj. c) Deneysel ve benzetim şarj durumu karşılaştırması. d) Tahmin hata grafiği.	29
4.10:	100 Ah 57.6 V batarya paketi için deneysel ve benzetim şarj durumu karşılaştırması. a) 0.4C A deşarj akımı. b) Terminal voltaj. c) Deneysel ve benzetim şarj durumu karşılaştırması. d) Tahmin hata grafiği.	29
4.11:	Gerçeklenen makaledeki GKF (EKF) ve AGKF (AEKF) algoritmaları sonucu ile tezde uygulanan GKF (Proposed EKF) algoritması karşılaştırması.	31

1. GİRİŞ

1.1. Bataryalar

Endüstrisi her geçen gün gelişmekte olan elektrikli araçlar (EA) tamamen elektrik enerjisiyle çalışmaları için çevreye karbondioksit salınımı yapmazlar. Çevreci otomobil türü olarak klasik otomobil türlerine göre her geçen gün daha fazla ilgi görmektedir [1]. EA bataryaları şarj edildikleri süre boyunca elektrik enerjisini kimyasal enerjiye ve deşarj edildikleri süre boyunca kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren elektrokimyasal cihazlardır.

Batarya, birçok hücrenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan pil grubudur. Bu hücreler seri ve paralel bağlantılı olabilir. MAM bünyesinde yapılan 10Ah 3.6V Lityum iyon (Li- ion) batarya hücresi Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Tezde kullanılan batarya hücresi MAM bünyesinde oluşturulan 11.8 Ah 3.6V’dir.

Bir batarya paketi içindeki seri bağlantılı hücreler hassas şekilde eşit kapasite ve voltaja sahip olmalıdır [2]. Aksi takdirde şarj-deşarj durumu görülür ve bu da hücreler arasında dengesizlik oluşmasına neden olur. Batarya yönetim sistemi (BYS), hücre dengelemede ve aşırı şarj deşarj durumlarına izin vermez. Aşırı şarj, aşırı deşarj, yüksek sıcaklık, yüksek şarj akımı ve kısa devre oluşumlarını önler. Hücre gerilimleri, toplam gerilim, toplam akım ve hücre sıcaklıklarını ölçer ve görüntüler. EA’ların güvenilirliği için batarya seçimi kadar bataryanın yönetim sistemi de önemlidir.

BYS, şarj edilebilir batarya hücrelerinin akım, gerilim, sıcaklık gibi fiziksel parametrelerini izleyen, bu değerleri kullanıcıya raporlayan ve değerlerin belirlenen sınırlar içerisinde güvenli bir şekilde çalışması için gerekli tedbirleri alan cihazlardır [3]. Bir mikroişlemci ve sensörlerden oluşur. Mikroişlemci bataryanın şarj algoritmasını içerir. Sensörler ise bataryanın gerilimi, akımı ve sıcaklığı gibi büyüklükleri ölçer [4]. Böylece bataryaların şarj-deşarj işlemleri sırasında akım ve gerilim denetimini yapar. Bataryayı belli sıcaklık aralığında tutar. Bataryayı şarj ya da deşarj edecek akımı katalogda belirtilen limitte tutmaya yardımcı olur. BYS’ler gerektiğinde bataryaların şarj durumlarını ve sağlık durumlarını raporlayabilirler ve bataryaları yüksek akımdan, yüksek gerilimden ve düşük gerilimden koruyup, bataryaların doğru bir şekilde şarj edilmelerini sağlarlar.

Lityum pillerin iyi performans göstermesi doğru yönetimine bağlıdır [5]. BYS’nin en önemli ve kritik parametreleri batarya şarj durumu (BŞD) ve sağlık

durumu (BSD) bilgisidir [6], [7]. Bu çalışmada BSD en doğru şekilde ulaşılmak adına çalışmalar yapılacaktır. 11.8Ah 3.6V bir batarya hücresi ve 100Ah 57.6V'luk batarya paketi için şarj durumu tahmini Kalman filtresi algoritması oluşturulacaktır.

BŞD'nin doğru tahmin edilmesi için doğru modelleme elzemdir [8]. Batarya modellenmesi çoğunlukla bataryaların karmaşık elektrokimyasal ve lineer olmayan yapısına bağlı olarak meşakkatli bir çalışmadır. Doğru batarya modeli ile batarya performansı tahmin edilebilir ve optimize edilebilir. Bu çalışmada batarya matematiksel modellenmesi Thevenin eşdeğer devresi modelinden yararlanarak yapılacaktır.

- Lityum İyon Bataryalar

Yüksek güç ve enerji yoğunluğu nedeniyle Li-ion bataryalar, hibrit elektrikli araçlar (HEA) ve EA gibi yenilenebilir enerji sistemlerinde önemli rol oynar [9]. EA için büyük miktarda enerji tutabilen, hızlı şarj olan ve kullanılmadığında kendiliğinden deşarj olup depolanan şarjın bitme süresi uzun olan Li-ion bataryalar kullanılır [10]. Li-ion bataryalar yüksek güç verebilmesinin yanında uzun çevrim ömrüne sahiptir. Çevrim ömrü ise bataryanın kapasitesini koruyacak şekilde şarj ve deşarj edilmesidir. Bataryanın belli bir seviyeye kadar deşarj edilip sonrasında tam şarj edilmesi ise bir çevrimdir. Lityum iyon pillerin dışında EA için kullanılan batarya türleri Nikel Kadmiyum (NiCd), Kurşun Asit (Pb-Acid), Nikel Metal Hidrat (NiMH)'tir.

- Nikel Kadmiyum Bataryalar

NiCd bataryalar zayıf şarj, deşarj verimine sahiptir. Nikel kadmiyum (Ni-Cd) batarya; pozitif nikel elektrot, negatif kadmiyum elektrot ve sulu elektrolit olarak potasyum hidroksitten oluşmuştur [11]. Nikel kadmiyum bataryalar ile kurşun asit bataryalar kıyaslandığında, nikel kadmiyum bataryaların birim ağırlık başına depoladığı enerji miktarı kurşun asit bataryalardan bir miktar daha fazladır. Şarjlı halde 1.44 V maksimum voltaja sahiptir. Boş halde ise 1.2V tutulmalıdır [12]. Bu bataryaların verimli kullanılabilmesi için 1.1V geriliminde tekrar şarj edilmeleri gerekir. Bunun yapılması için de özel düzenekleri mevcuttur. Yüksek sayıda şarj ve deşarj oranları, yüksek akım değeri gibi özellikler istendiğinde aranan bir batarya çeşididir. Bu özelliklere sahip olduğundan elektrikli araçlarda da kullanılabilir. Ni-Cd batarya Avrupa'da elektrikli taşıt pazarında en donanımlı bataryadır. Genellikle mobil telsizlerde, elektrikli aletler, tıbbi cihazlar da kullanılır.

- Nikel Metal Hidrat Bataryalar

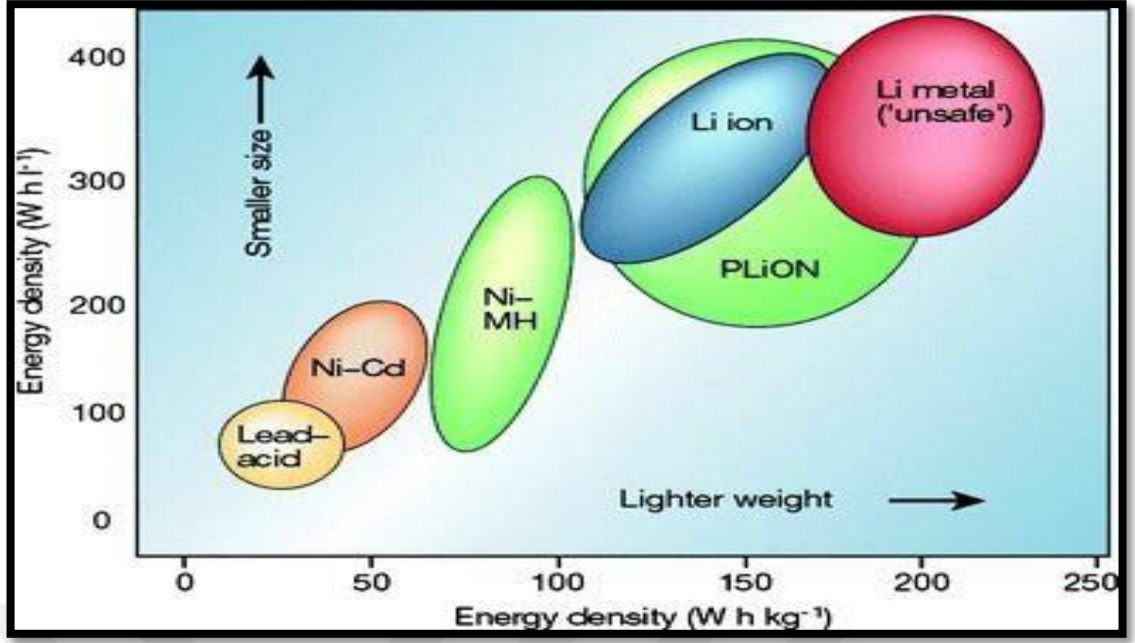
NiMH bataryalar aşırı şarj durumunda düşük güvenilirliğe sahiptir [11]. Nikel-metal hidrür bataryaların yapısının biraz karmaşık olduğu söylenebilir. Yapısında titanyum, nikel, kobalt, manganez, alüminyum, zirkonyum, krom ve demir gibi bileşikler bulundurulur. Nikel metal hidrür (NiMH) batarya, metal hidrür karışımı olan negatif elektrot, potasyum hidroksit elektroliti ve de aktif malzemesi nikel hidroksit olan pozitif elektrottan oluşmaktadır [12]. NiMH bataryalar Ni-Cd bataryalara göre daha yüksek enerji yoğunluklarına ulaşarak verimlerini 2-3 kat arttırmaları ve toksik madde içermemeleri birçok elektrikli araç uygulamasında Ni-Cd bataryanın yerini almasını sağlamıştır ve kullanım alanlarını genişletmiştir. Ancak yapı olarak Ni-Cd bataryaları ile neredeyse aynıdır. NiMH bataryaların dezavantajları olarak ise diğer bataryalara nazaran daha pahalı olması (kurşun asit bataryanın fiyatının 5 katı kadar) ve boşta kaldıklarında kendi kendine deşarj olmalarıdır.

- Kurşun Asit Bataryalar

Pb-Acid en eski yenilenebilir bataryalardır [13]. Kurşun-asit bataryalarda hücrenin anodu kurşundan, katot kısmı ise bir metal levha üzerine oturtulmuş kurşun dioksitten yapılmıştır. Her batarya birkaç bağımsız hücreden yapılmış olup, her hücrenin gerilimi 2 V'dir. Bunların da çoğu 3 veya 6 hücreli olup, batarya gerilimleri 6 V ya da 12 V'dir. Çoğu gemi, batarya grubu olarak 12 V veya 24 V kullanırlar. Pil büyüklüğünün önemli olmadığı ortamlar için ekonomik bir pil türüdür. Düşük nominal voltajı ve enerji depolama miktarına sahiptir [11].

Elektrikli araçlar için maliyet açısından bir değerlendirme yapılırsa enerji depolama konusunda en uygun batarya teknolojisinin kurşun asit olduğu ifade edilmekte. Fakat kurşun asit bataryaların aracın menzilini doğrudan etkileyen enerji yoğunluğu oldukça düşüktür. [12].

Farklı kimyasal yapıya sahip bataryaların enerji yoğunluğu açısından karşılaştırılması Şekil 1.1'de verilmiştir [14].



Şekil 1.1: Lityum iyon bataryaların diğer bataryalar ile karşılaştırılması.



Şekil 1.2: Elektrik araçlar için kullanılan batarya paketinden Lityum iyon batarya hücresi.

2.BATARYA ŞAR DURUMU TAHMİNİ VE MODELLEME

2.1. Batarya Şarj Durumu Tahmini

BŞD, bataryada kullanılabilen durumdaki yük miktarının bataryadaki maksimum sayıdaki yük miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır. Bataryanın kapasitesinden kullanılan kapasite çıkartılır, nominal kapasiteye (üretici tarafından belirlenen maksimum batarya kapasitesi) oranlanır [10], [13], [15], [16]. Bataryalar yüksek maliyetli parçalardır ve bu anlamda ömür faktörü önem kazanmaktadır. Ömür, bataryanın kaç defa şarj/deşarj edilebileceğini gösterir. Şarj/deşarj sayısı şarj vedeşarjın yüzdesine bağlı olarak değişmektedir. BŞD tahminini doğru yapmak bu bağlamda gereklidir ve birçok matematiksel metodu vardır. Batarya şarj durumu için bu metotlar iki başlık altında toplanır. Doğrudan metotlar ve dolaylı yoldan metotlardır. Doğrudan metotlar; Elektrokimyasal Empedans Spektroskopi (EES), Yük Sayma Metodu (YSM) ve Açık Devre Voltajı (ADV) olarak üçe ayrılır [17]. Dolaylı yollar ise Adaptif Filtre Tabanlı metotlardır. Adaptif Filtre Tabanlı metotlar; Kalman Filtresi Tabanlı tahminler ve Yinelenen En Küçük Kareler metodudur [18].

2.1.1. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopi Yöntemi

Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi ölçülen sistemin empedans spektrumunu kullanarak BŞD tahmini yapar. BŞD yanı sıra BSD için doğruluğu daha yüksek olan bir metottur [19]. Pb-Acid bataryalar için uygun olan bu metot Li-ion bataryalar için sadece BŞD tahmini için başlangıç aşamasında Kalman Filtresi gibi Adaptif metotlara yardımcı olarak kullanılır. EIS, birçok araştırmacı bu metodu verimli bir şekilde kullanmak için çalışmalar yapsa da BŞD tahmini için çözülmesi gereken problemleri olan bir metottur, nadir olarak tercih edilir ya da hiç kullanılmaz [20].

Bu tekniğin temel avantajı değişimler, yeterince küçük olduğu sürece cevabın yaklaşık olarak doğrusal olmasıdır [21]. Empedans, temelde yüksek frekanslar uygulandığında kapasitans ve indüktif değişikliklerden etkilenen direncin ölçümüne dayanmaktadır. EES, her zaman aynı şarj koşullarına sahip bataryalar için geçerli durum tahmin metotlarındandır. EA ya da HEA anlık olarak farklı şarj oranlarında şarj edilebildiği için, dinamik şarj grafiğine sahip olduğu için bu yöntem uygun

değildir.

2.1.2. Yük Sayma Yöntemi

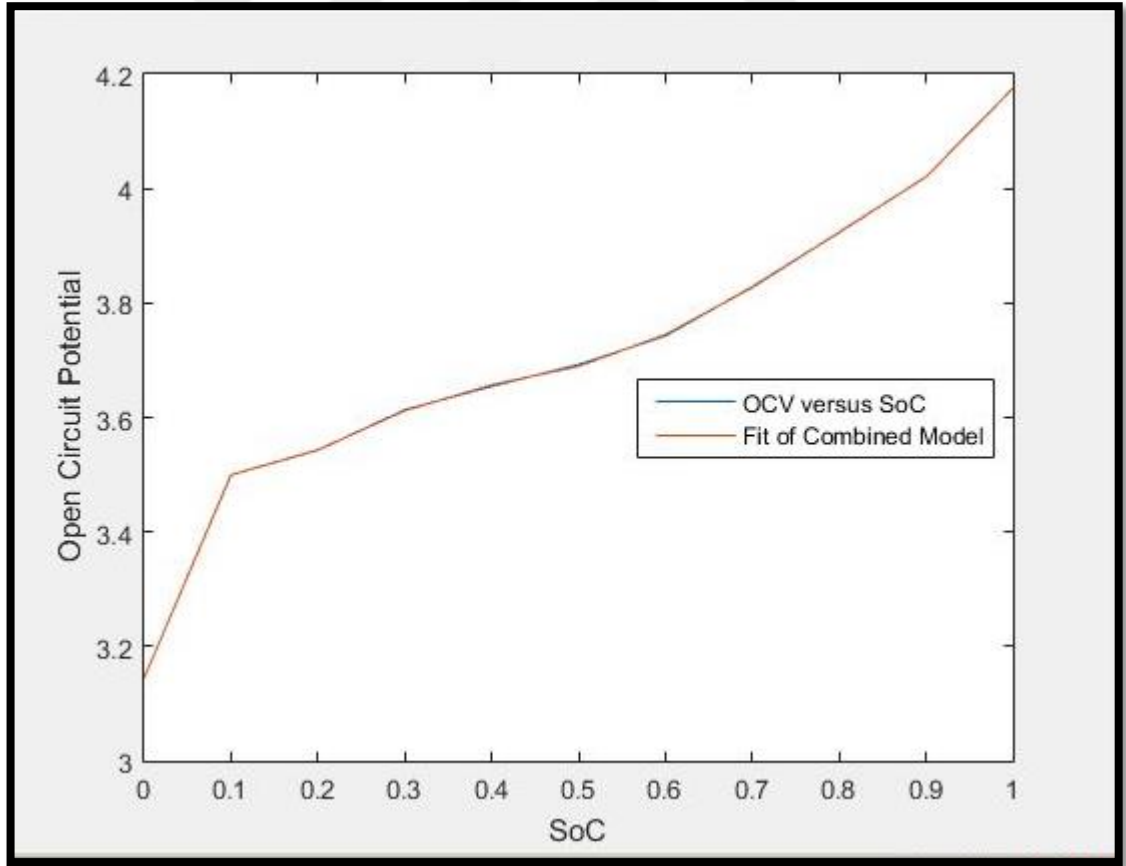
YSM, basit ve gerçek zamanlı olmayan metotlardandır. YSM'de tam dolu bir batarya için deşarj akımları sayılır ve toplanan akımlar geçen zamanla çarpılır, böylece harcanan yük bulunur [16]. Bulunan ifadenin nominal kapasiteye bölünüp yüzdelik oranının alınmasıyla da batarya şarj durumu elde edilir. Bu yöntem ilk değeri hesap edemez bu nedenle kullanılabilmesi için ilk değerin bilinmesi gerekir. İlk şarj durumu değeri sıradan bir değer olarak girilirse zamana bağlı olarak toplama yapıldığından hatalarda birikme olacaktır ve hata her bir zaman adımında büyüyecektir [3]. Ayrıca çok küçük zaman dilimlerinde gerçekleşecek akım değişimlerini göremez ve bu da şarj durumu hesabında doğru hesaplama yapamayacak demektir.

Yenilenen En Küçük Kareler metodu ölçülen ve tahmin edilen sistem çıkış değeri arasındaki hatanın deterministik toplamını en aza indiren bir modelleme algoritmasıdır. Adaptif filtrelerde filtre algoritmasını bulmak amacıyla kullanılır [18]. Her zaman adımında tahmin edilen durumu günceller. Hızlı yakınsama özelliği gösterir fakat hesaplama karmaşıklığı fazladır. Doğru bir yakınsama için doğru batarya modeli, Gauss dağılımlı gözlem gürültüsü ve doğru model parametrelerine ihtiyaç vardır. Yüksek hesaplama hem süre hem maliyet bakımından kullanımını dezavantaj kılar.

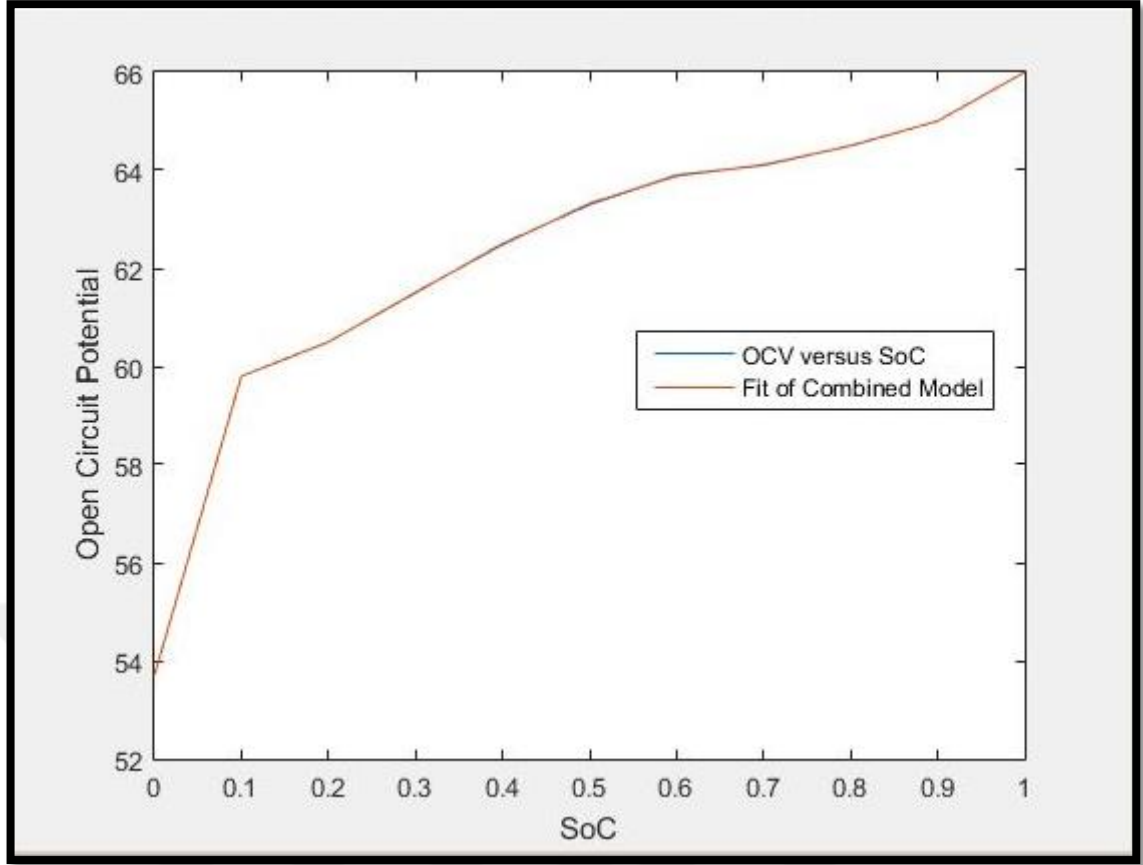
2.1.3. Açık Devre Voltaj Yöntemi

ADV metodunda voltaj ölçümü için batarya kendini toplamak adına her işlem adımında bekletilir. Bu nedenle, ADV, gerçek zamanlı test yapılan sistemler için uygun değildir. Voltaj ölçümü yapılırken batarya şarj ya da deşarj edilmek için uygun olmayacağından BŞD tahmin etmek adına pratik bir yöntem değildir [7], [15]. ADV ve BŞD ilişkisi, batarya türlerine göre değişiklik göstermesine karşın, genelde yassı bir eğri şeklindedir [2], [16]. Bu da geniş aralıklı BŞD değerlerine karşın dar aralıkta ADV değerine tekabül eder. BŞD doğru tahmin etmek bu anlamda zordur [8]. ADV ve BŞD grafiği, şarj durumu tahmininden ziyade bataryanın karakteristiğini gösteren her bataryaya özgü olan bir grafik ve bunun sonucunda eğri uydurma yöntemiyle bulunabilecek genellikle çok dereceli bir polinomdur [10].

ADV ile BŞD arasında lineer olmayan ilişki 3.7 V, 11.8 Ah olan batarya hücresi ve 57.6 V, 100 Ah batarya paketi için Şekil 2.1'de ve Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen iki batarya da kullanılmıştır. Batarya hücresi MAM Enerji Enstitüsü'ndeki batarya laboratuvarında Digatron marka döngüleyici yardımıyla çekilen akım ve dinlenmeye bırakıldıktan sonra batarya uçlarındaki voltaj ölçülür. Batarya şarj durumunun %10'luk her düşümünde terminal voltajı kaydedilir. Aralarda yer alacak değerler ise eğri uydurma yöntemi kullanılarak bulunur. Uydurulan eğri ileride bahsedeceğimiz dokuzuncu dereceden bir polinomdur. Batarya paketi için [22]'teki çalışmada kullanılan ölçümler referans alınmıştır. Batarya paketinin her bir BŞD'ye karşılık gelen ADV değerleri grafik edilmiş ve bu yöntem için en büyük dereceli dokuzuncu derece polinomun 100Ah'lık batarya modeline de uyum sağladığı görülmüştür. BŞD ölçülebilen bir parametre olmadığı için ADV üzerinden tahmini yapılır. Tahmin hatalarının voltaj farkına bakılıp belirlenmesinin nedeni budur.



Şekil 2.1: 11.8 Ah batarya hücresi için açık devre voltajı -batarya şarj durumu ilişkisi.



Şekil 2.2: 100 Ah batarya paketi için açık devre voltajı batarya şarj durumu ilişkisi.

2.1.4. Kalman Filtresi Tabanlı Yöntemler

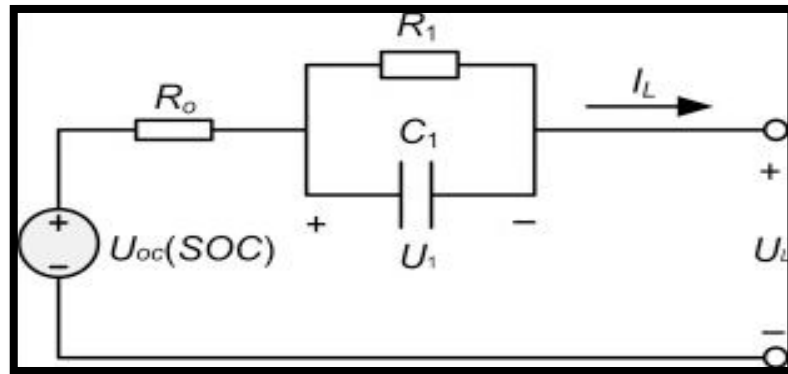
Kalman Filtresi tabanlı tahminler bu çalışmada da kullanılan gerçek zamanlı durum tahmin etme yöntemidir [1], [22]. Kalman filtresi algoritması ilk olarak 1960'lı yıllarda Kalman Filtresi Apollo Uzay programında kullanılmaya başlanmıştır [23]. Bu teknik kontrol sistemlerinde ve havacılık uygulamalarında genişçe kullanılan matematiksel bir yöntemdir. Yöntem sayesinde gürültülü ölçümlerden elde edilen sinyali filtreleyip, doğruya yakın sinyali çıkarmak mümkün olmuştur [8]. Bu algoritma gerçeklemeyi zorlayan yüksek karışıklıktaki sayısal hesaplama ve kararsızlıktan yakındır. Kalman filtresi batarya modeline ve durumu takip eden batarya yönetim sistemindeki sensör hassasiyetine büyük oranda bağlıdır. Model yapısındaki belirsizlikler ve gürültü kovaryansları modelin performansını düşürse de genel olarak anlık durum bilgisi isteyen sistemlerde tercih edilebilen bir yöntemdir. Kalman filtresi lineer sistemler için idealken lineer olmayan sistemler için sistemi doğrusallaştırmak gerekir bunun için de GKF kullanılır [2], [24]. Gauss dağılımının ortalaması etrafında denklemler doğrusallaştırılır [25].

2.2. Batarya Modelleme

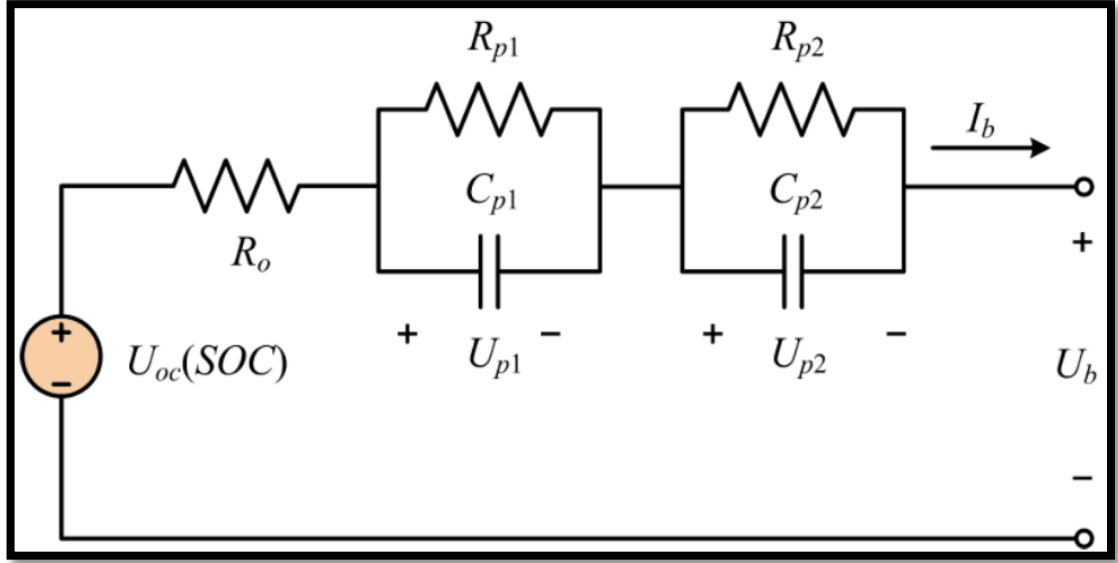
Bir batarya modeli batarya karakteristiği ile batarya iç durum parametreleri arasındaki ilişki ifade eden matematiksel denklemlerdir. Batarya modelleri Elektriksel Eşdeğer Devre modeli, Termal model ve Elektrokimyasal model olarak gruplandırılır [2], [7].

2.2.1. Elektriksel Eşdeğer Devre Modeli

Elektriksel modeller gerçekleştirme olarak karışık değildir, doğruluğu da orta düzeydedir. Gerçek zamanlı sistemlerde çok kolay oluşturulabilecek bir modeldir. En temel elektrik devre modeli ideal voltaj kaynağıdır. Yanına voltaj düşümünü simgeleyen seri bir iç direnç bağlandığında en basit batarya modeli görülür [24]. Dinamik modeli oluşturmak gerekir ki buna Thevenin eşdeğer devre modeli denmesinin sebebi de budur, bir ya da daha fazla paralel bağlı direnç kapasite (RC) elemanı eklenmelidir [21], [23]. En basit Thevenin modeli Şekil 2.3'te gösterilen elemanları sabit değerli 1RC modeldir [24]. Batarya modellerinin eşdeğer devre olarak modellenmesi genelde başarılı sonuçlanır. 2RC bir Thevenin eşdeğer devre modeli Şekil 2.4'te gösterilmiştir [25].



Şekil 2.3: 1RC eşdeğer devre modeli.



Şekil 2.4: 2RC eşdeğer devre modeli.

2.2.2. Elektrokimyasal Model

Elektrokimyasal batarya modelleri modelin içyapısının detaylı olarak yer aldığı diferansiyel denklemler kullanılarak oluşturulan yüksek doğruluklu, hassas ve modellenmesi zor batarya modelidir [26]. Çok sayıda diferansiyel denklem ve model parametresi içeren model verilen yük ile bataryanın kimyasal özelliklerinin nasıl değiştiğini her adımda vermektedir. Elektrokimyasal modeller batarya içerisinde yer alan tüm kimyasal reaksiyonları kapsar [27]. Bataryada yer alan tüm reaksiyonları detaylı olarak modele aktarır ve bu durum modelin doğruluğunu artırır. Ayrıntının fazla olması modeli karmaşık hale getirir ve denklemlerin oluşumunu zorlaştırır.

Model girişinin batarya ile alakalı detaylı bilgi ister ve gerçeklemesi zordur. Lineer olmayan denklemlerin çözülmesi modelin oluşturulmasını zorlaştırır.

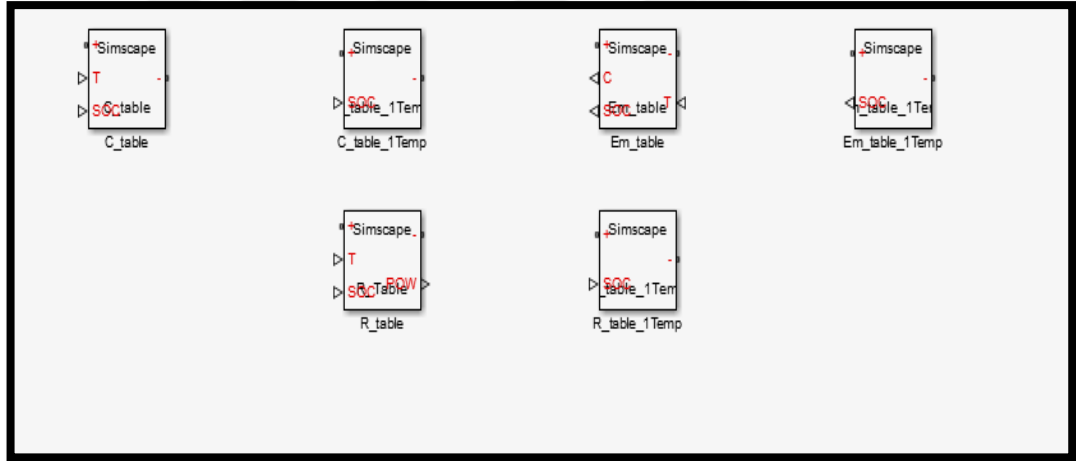
2.2.2.1. Termal Model

Termal modelleme Termal Elektrokimyasal model olarak bilinir ve sonlu elemanlar analizi kullanılır [28]. Birçok diferansiyel denklem ve hesaplama devreye girer. Bu da birçok bilinmeyen demektir aslında. Her eleman Elektrokimyasal modeldeki gibi lineer olmayan diferansiyel model ile tanımlanır.

2.2.3. Önerilen Model ve Parametre Kestirimi

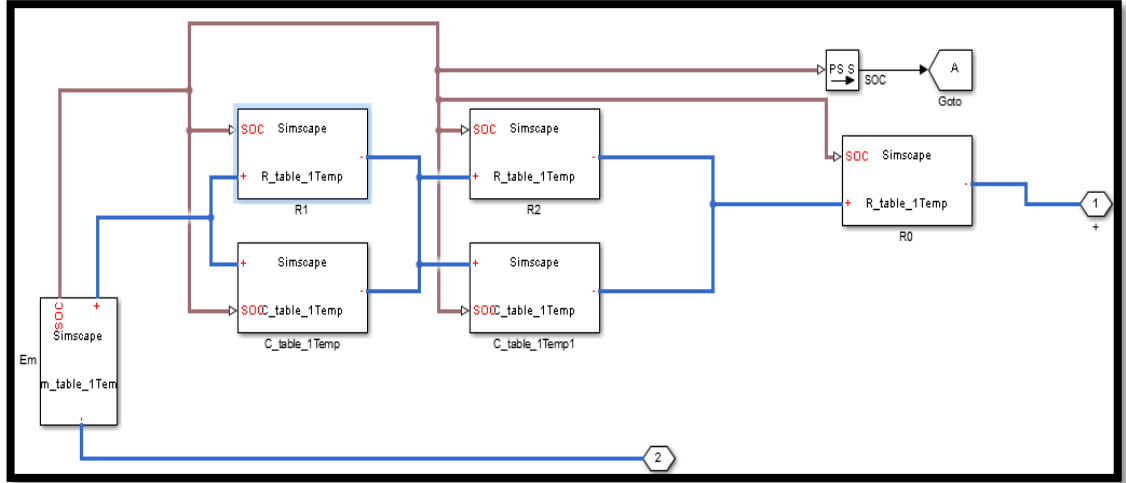
Bu çalışmada kullanılan model 1RC ve 2RC Thevenin eşdeğer devre modelidir. RC elemanı, bir voltaj kaynağı ve iç dirençten meydana gelir. Eşdeğer devrede açık devre voltajı Em olarak gösterilir ve batarya terminal voltajını verir. R0 iç direnci, bataryanın davranışını ve RC elemanı, bataryanın dinamik yapısını gösterir. Elemanların değeri şarj durumuna bağlı arama tablosu denen tabloda yer alır.

Eşdeğer devrenin her bir elemanı tek bir değere sahip değildir. Her bir eleman arama tablosu denen değer tablosuna sahiptir. Arama tablolarındaki değerler parametre tahmini için kullanılan Matlab optimizasyon aracının verdiği çıktılardır [27]. Arama tablosu ve Simscape dili kullanılarak model tasarımı için elemanların kütüphanesi oluşturulmuştur. Oluşturulan kütüphane Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Matlab Simulink batarya elemanları kütüphanesi.

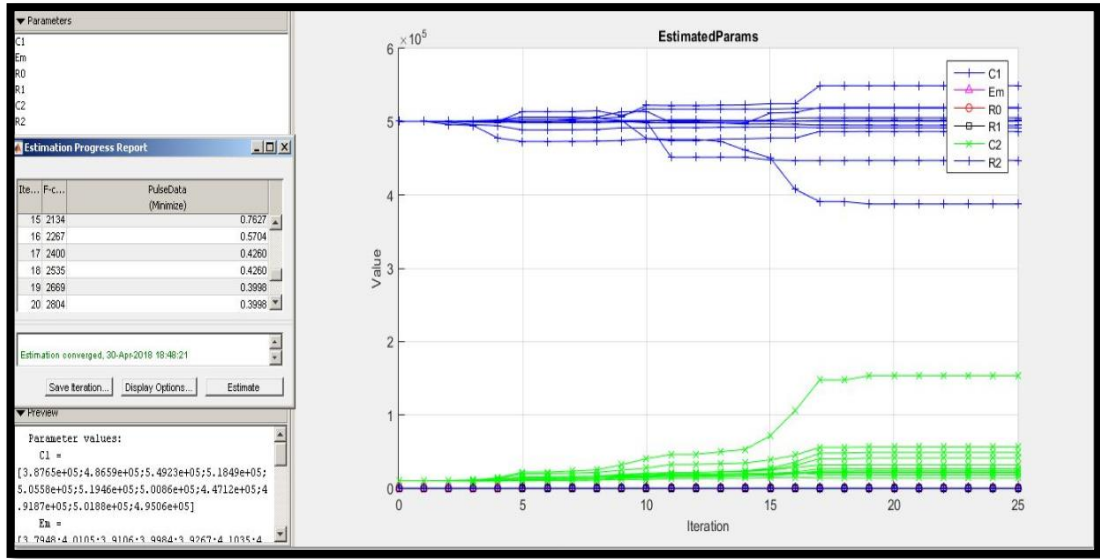
Parametre tahmininde istenen parametrelerin tahmin edilmesi için başlangıç değeri arama tablosu olarak programa girilir. Girilen değerler sadece tahmindir. Batarya modelinin şarj durumuna bağlı parametreleri Matlab optimizasyon aracı sonucu oluşan arama tablosu aracılığıyla güncellenir. Vektör halinde alınan çıktılar modele eklenerek doğru parametre değerleriyle model oluşturulma işlemi tamamlanır. Bu çalışmada parametre tahmini Matlab optimizasyon aracıyla tahmin yapılmıştır. Şekil 2.5'teki kütüphane kullanılarak Matlab Simulink'te oluşturulan 2RC eşdeğer devre modeli Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



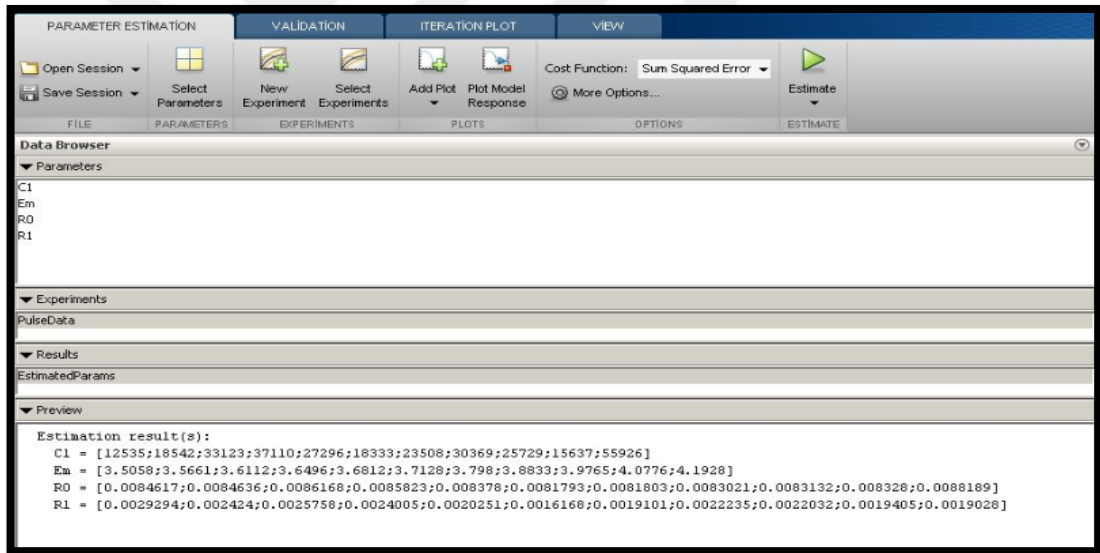
Şekil 2.6: Simulink 2RC eşdeğer devre benzetimi.

Batarya hücre modeli Matlab optimizasyon aracı yardımıyla tahmin edilmiştir ve Thevenin eşdeğer devre modeli ile geliştirilmiştir. Matematiksel modeli Simscape dili kullanılarak çıkartılmış ve gerçek batarya karakteristiği yakalanmıştır [29].

Oluşturulan eşdeğer devre modeli, tüm şarj durumu değerlerinde gerçek batarya ile uyumlu tepki göstermelidir. Batarya model tasarımı için Simscape modelin parametrelerini oluşturan Simulink tasarım optimizasyon aracı kullanılır [1], [10], [21]. Matlab optimizasyon aracında deney oluşturularak giriş ve çıkış değerleri olarak laboratuvar ortamında çekilen yük akımı ve çıkış voltajı bilgileri oluşturulan deneye girilir. Tahmin etmesini istediğimiz model parametreleri seçilir ve tahmin etme işlemini başlatmadan önce arama tablosu olarak girilen model parametrelerinin başlangıç değerleri modele eklenir. Sonrasında tekrarlamalar ile beraber girilen başlangıç değerlerinin modele uyumsuzluğu model ve deney sonucu elde edilen voltajlar karşılaştırılarak görülür. Her tekrarlamaya sonrası bu hata azalır ve hatadaki küçülme yeterli olduğunda tekrarlamaya biter. Tekrarlamaya sonucu oluşan model parametreleri başlangıç değeri yerine güncellenmiş model parametresi olarak eklenir. Doğruluğunun test edilmesi amacıyla model çıkış voltajı ile deneysel çıkış voltajı karşılaştırılır. Bu çalışmada her elemanın vektörü 0.1 BŞD adımları için oluşturuldu. Sıcaklık, deneyin yapıldığı termal odalarda sabit tutulduğu için değerler yalnızca şarj durumuna bağlıdır. Kestirilen parametreler, 1RC ve 2RC model parametreleri, bu iki model için farklı deneyler oluşturularak elde edildi. Kestirim işlemleri Şekil 2.7’de ve 2.8’de görülmektedir.



Şekil 2.7: Matlab optimizasyon aracını kullanarak ikinci dereceden (2RC) batarya modeli için parametre tahmini.



Şekil 2.8: Matlab optimizasyon aracını kullanarak birinci dereceden (1RC) batarya modeli için parametre tahmini.

3. KALMAN FİLTRESİ

Kalman Filtresi, durum uzayı modeli ile gösterilen bir dinamik sistemde, modelin önceki bilgileriyle birlikte giriş ve çıkış bilgilerinden sistemin durumlarını tahmin edilebilen filtredir. Macar asıllı matematiksel sistem teorisi sahibi Rudolf Kalman tarafından bulunmuştur. Algoritma, gürültülü, girdi gözlem veri akımları üzerinde yinelemeli olarak gerçek zamanlı çalışarak hataları en küçük kareler yöntemi ile filtre eder ve sistemin fiziksel karakteristiklerinin modellenmesi ile üretilen gelecek durumun matematiksel tahminine göre optimize eder [30], [23], [31]. Model tahmini, gözlem ile karşılaştırılır ve bu fark Kalman kazancı (K) olarak bilinen bir çarpan ile ölçeklendirilir ve daha sonra sıradaki tahminleri iyileştirmek için modele bir girdi olarak geri beslenir [8]. Kazanç, iyileştirilmiş performans için ayarlanabilir. Yöntem, gerçek bilinmeyen değerlere, tek bir ölçüme ya da sadece model tahminlerine dayanarak elde edilebilecek tahminlerden daha yakın tahminler üretmeyi amaçlar [32]. Her bir zaman adımında, Kalman Filtresi gerçek bilinmeyen değerlerin tahminlerini belirsizlikleriyle beraber üretir. Sıradaki ölçümün sonucu gözlemlendiğinde, bu tahminler, belirsizliği düşük tahminlere daha fazla ağırlık vererek, ağırlıklı ortalama ile güncellenir.

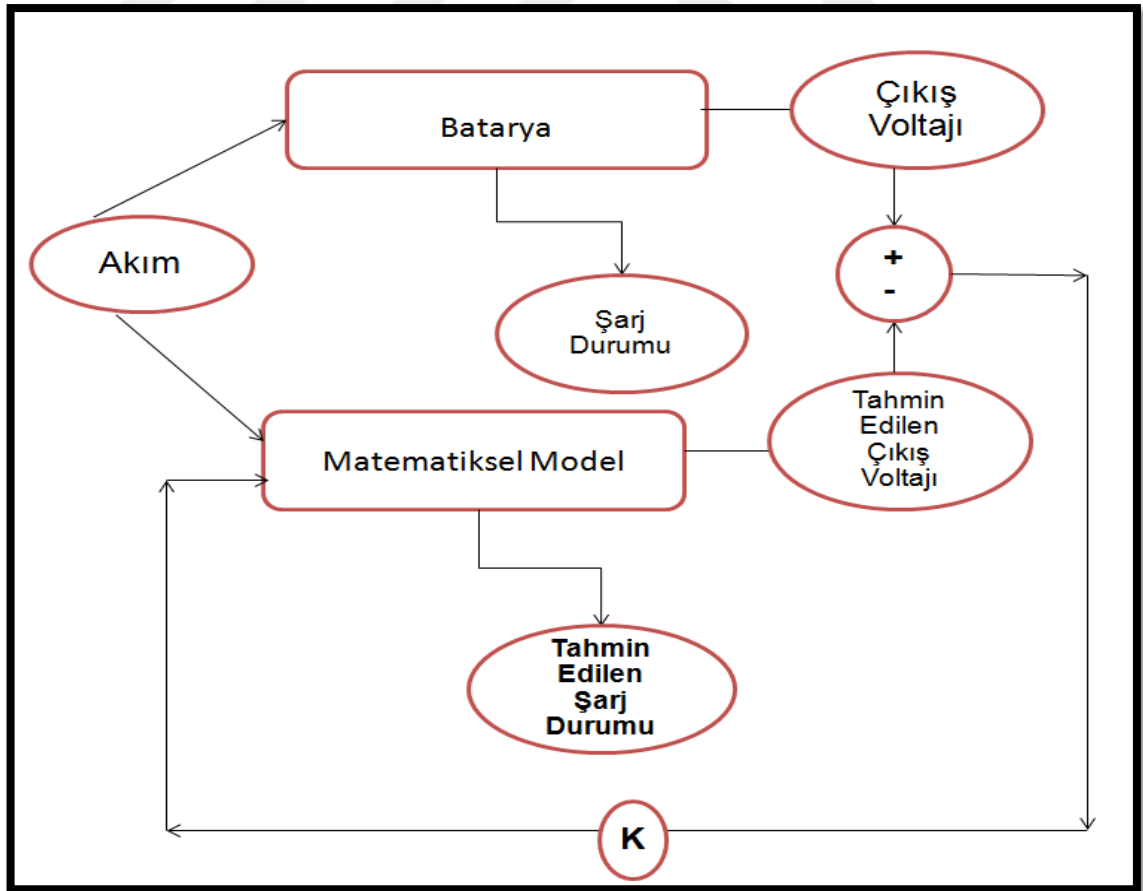
Kalman Filtresi'nin ana varsayımı alttaki sistemin doğrusal dinamik bir sistem olduğu, tüm hataların ve ölçümlerin Gauss dağılımına sahip olduğudur [23]. Modelin önceki bilgileriyle birlikte giriş ve çıkış bilgilerinden durum tahmini yapabilen filtredir. Eğer sistemin rastsal veya rastgele gürültülü yönü hesaba katılırsa Kalman Filtresi çok uygun olmaktadır. Kalman Filtresi, geleneksel tahmin edicilerde olduğu gibi filtreleme özelliğine rağmen, sistemin ölçülemeyen durumlarını tahmin etmek için çok güçlü ve yeteneklidir [33].

Kalman Filtresi direkt ölçülemeyen bir sistem durumunu tahmin etmek için kullanılan algoritmadır. Şu anki durumu tahmin etmek için tüm geçmiş durum bilgilerine ihtiyaç duymaz, bir önceki adım durum tahmini ve hata kovaryansı matrisinin bilinmesi yeterlidir. Kalman filtresi sadece lineer sistemler için kullanılır. Eğer lineer olmayan bir sistem varsa ki Lityum iyon bataryalar lineer olmayan yapılardır ve sistem durumunu tahmin etmek istiyorsak lineer olmayan durum tahmin algoritması olarak Genişletilmiş Kalman filtresi (GKF) kullanılmalıdır [1], [30], [34]. GKF, o anki durum tahmininin ortalamasında lineer olmayan fonksiyonları birinci dereceden Taylor serisini kullanarak lineerleştirir. Lineerleştirme için Jacobian matrislerinin hesaplanması gerekmektedir. Jacobian matrisleri hesaplandıktan sonra

tahmin edilen durum etrafında sistem lineerleştirilir.

3.1. Kalman Filtresi Parametre Tahmini

Matematiksel modeli doğru oluşturulmuş bir yapı için ölçülemeyen durum değişkenleri Kalman filtresi denen uygun tahmin algoritması ile tahmin edilebilir. Bataryaya giren akım değeri ve ölçülen çıkış voltajı biliniyorsa matematiksel modele verilecek aynı akım değeri ile tahmini çıkış voltajı elde edilebilir. Bu ise istenen durumu tahmin etmede kolaylık sağlar. Matematiksel modelin gerçek batarya modeline birebir benzemesi mümkün olmadığı için çıkış voltajları arasındaki hata değerini küçültmek ve dolayısıyla doğru tahmin yapabilmek için geri besleme kontrolcüsüne ihtiyaç duyulur. Bu sayede akım ile birlikte geri besleme döngüsü de denklemlere eklenir. Kalman kazancı (K), durum tahminini iyileştirmek adına kullanılır. Çıkış voltajları arasındaki farkın hangi oranda değişeceğine bu terim karar verir. Şekil 3.1’de K değerinin geri besleme ile devreye etkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Kalman Filtresi Algoritması kapalı çevrim tahmin diyagramı.

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_k + w_k \quad (3.1)$$

$$y_k = Cx_k + Du_k + v_k \quad (3.2)$$

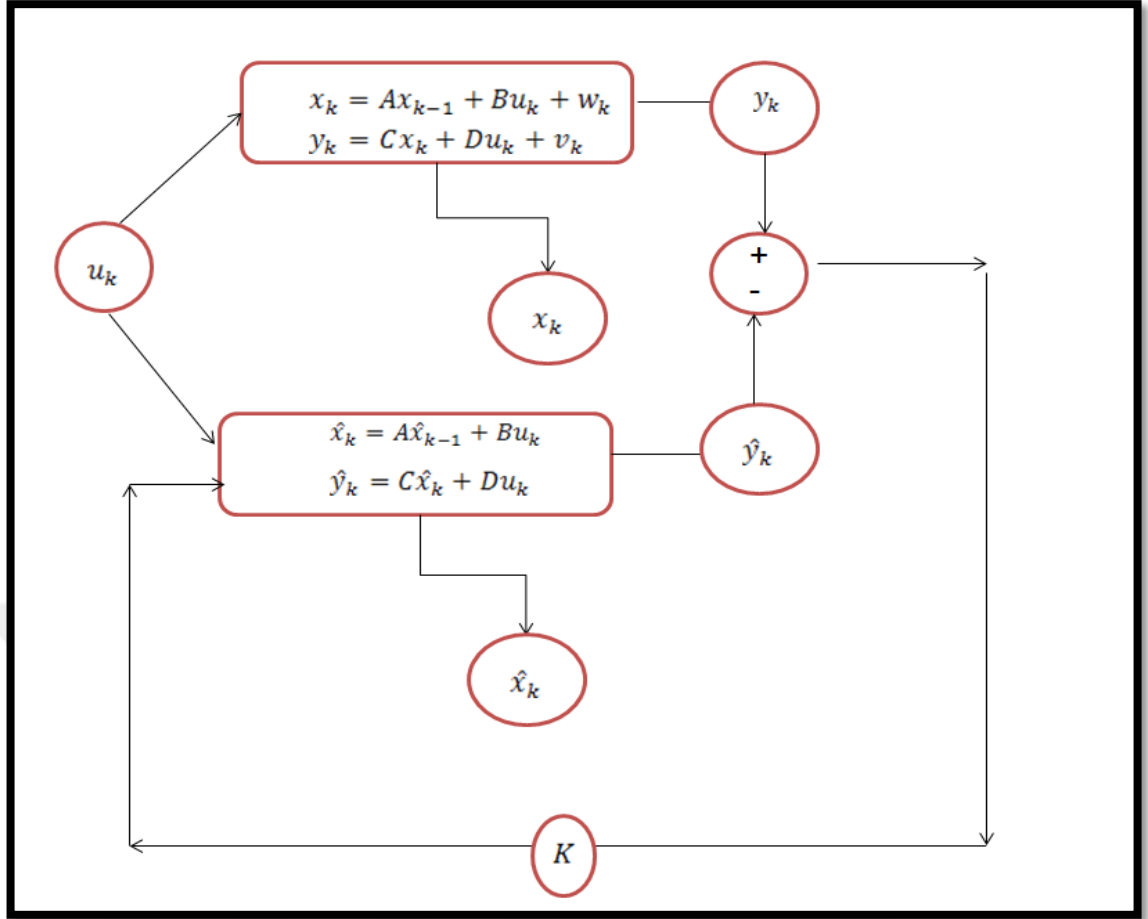
$$\hat{x}_k = A\hat{x}_{k-1} + Bu_k \quad (3.3)$$

$$\hat{y}_k = C\hat{x}_k + Du_k \quad (3.4)$$

Kalman filtresi denklemleri zaman güncelleme ve ölçüm güncelleme denklemleri olarak ikiye ayrılır [30], [23], [32]. Denklem 3.1, sistem dinamiğini yakalayan denklemdir ve x_k , k zaman adımında sistem durum vektörüdür. Bu nedenle süreç denklemi ya da durum denklemi olarak adlandırılır. u_k , sistem girişidir ve genellikle bilinir veya ölçülebilir. w_k , stokastik işlem gürültüsüdür ve u_k 'nin bilinmediği durumlarda ölçümdeki hata payını temsil eder. Ölçüm denklemi veya çıkış denklemi 3.2'de tanımlanmıştır. y_k , sistem çıkışıdır ve çoğunlukla ölçülebilir. Çıkış değerindeki ölçüm hatası v_k ile gösterilir [35].

w_k ve v_k , kovaryans matrisleri bilinen sıfır ortalamalı rastgele Gauss dağılımlı süreçlerdir. Denklem 3.1'in ve 3.2'nin 3.3'teki ve 3.4'teki durum gözleme denklemlerinden farkı, sürecin rastsal olması yani olasılığın yer almasıdır [36]. Durum gözleme denklemleri deterministik (kararlı) sistemler için kullanılır, çıkışta belirsizliklere yer verilmez. Denklemlerdeki $\hat{\cdot}$ (şapka işareti) o değerlerin matematiksel model yardımıyla tahmin edilmiş değerler olduğunu gösterir. Şekil 3.2'de batarya dinamiğine ve modele aynı giriş verilmiş, ölçülen ve tahmin edilen çıkış değerleri K ile çarpılmış, modele sonraki adımda güncellenmek üzere girdi olarak yinelemeli olarak verilmiştir.

Şekil 3.2'de batarya dinamiğine ve modele aynı giriş verilmiş, ölçülen ve tahmin edilen çıkış değerleri K ile çarpılmış, modele sonraki adımda güncellenmek üzere girdi olarak yinelemeli olarak verilmiştir.



Şekil 3.2: Kalman Filtresi batarya dinamiği ve batarya modeli denklemleri.

Kalman filtresi, ölçüm sonucu elde edilen y_k ile tahmin edilen \hat{x}_k değerini her tahmin adımında birleştirerek batarya şarj durumunun en uygun değerini bulur. Denklem 3.5, Kalman filtresinin en önemli denklemi olup durum tahmininin ölçüm güncelleme denklemi olarak bilinir.

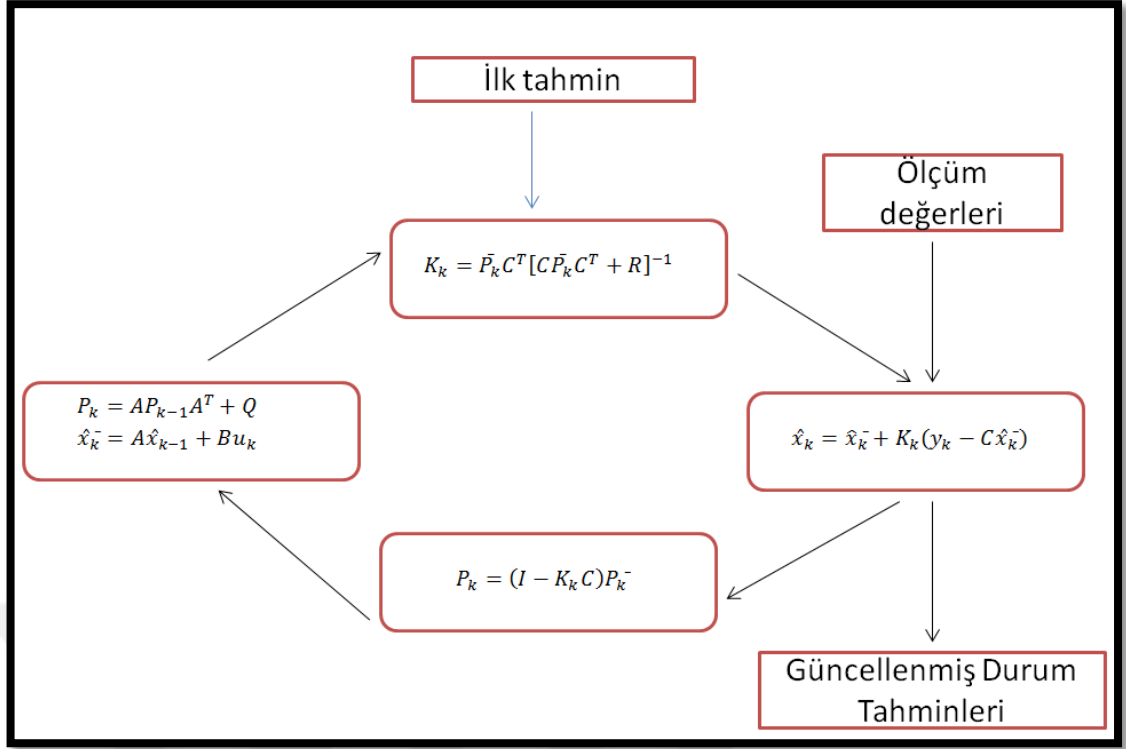
$$\hat{x}_k = A\hat{x}_{k-1} + Bu_k + K_k(y_k - C(A\hat{x}_{k-1} + Bu_k) - Du_k) \quad (3.5)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(y_k - C\hat{x}_k^-) \quad (3.6)$$

$$P_k = AP_{k-1}A^T + Q \quad (3.7)$$

$$K_k = \bar{P}_k C^T [C\bar{P}_k C^T + R]^{-1} \quad (3.8)$$

$$P_k = (I - K_k C)P_k^- \quad (3.9)$$



Şekil 3.3: Kalman Filtresi yinelemeli tahmin algoritması genel diyagram.

Denklem 3.3'te verilen denklem durum tahmini zaman güncelleme denklemidir. Bu denklemde yer alan \hat{x}_{k-1} , son ölçüm değeri dikkate alınmadan hesaplanır. Buna ölçümden önceki tahmin denir. Denklem 3.6'da \hat{x}_k ölçüm değeri hesaba katılarak ölçümden önceki tahmin değerini güncellemek adına hesaplanır ve ölçümden sonraki tahmin olarak adlandırılır. Kalman kazancı ile güncellendiği için daha doğru sonuç verecektir. Denklem 3.7, ölçüm hatası değerinin kovaryans matrisinin zaman güncelleme denklemidir. Denklem 3.8'de Kalman kazancı matrisi hesaplanmıştır ve 3.9, hata kovaryans matrisinin ölçüm sonucu güncellenme denklemidir.

v_k ölçüm gürültü fonksiyonunun kovaryansı R 'dir. w_k süreç gürültü fonksiyonunun kovaryansı ise Q 'dur. u_k , batarya giriş akımı ve y_k , çıkış voltajıdır. Kalman filtresi, v_k 'ya rağmen en iyi tahmini yapmak için kullanılır. Ölçüm sonucu elde edilen voltaj ve tahmin edilen durum tahminini birleştirerek sonraki zaman adımı için uygun durum tahminini bulmaya çalışır. a , değerleri eğri uydurma yönteminde değerleri en doğru şekilde takip eden 9.dereceden polinomun katsayılarıdır.

Algoritmada kullanılan ve model durumunu en iyi yakalayabilen denklemlerin parçası olan, durumun tahminine formülize edilmeyip tahmine yaklaşma durumuna göre ayarlanabilen A, B, C, D durum matrisleri ve x, Q ve R değerleri aşağıda verilmiştir. x , durum matrisi, bu çalışmada [22]'deki gibi RC elemanları üzerine

düşen $V1$ ve $V2$ voltajını ve BŞD parametrelerini takip edecek şekilde oluşturulmuştur, sadece $x(3)$ dikkate alınmıştır. Denklem 3.10'da yer alan $x(3)$, yazılan kodda soc ile gösterilmiştir ve bu değer \hat{x}_k 'ya eşittir. \hat{x}_k , her zaman adımında güncellenir. Denklem 3.11 ve 3.12, yayın [22]'den referans alınan durum matrislerinin genel ifadesidir. Modelin $R1$, $R2$, $C1$ ve $C2$ değerlerine göre değişim gösterir. Denklem 3.13, C matrisinin ifadesidir. Bataryanın karakteristiğini veren ve eğri uydurma yöntemiyle bulunan denklem, bu çalışmada $x(3)$ BŞD'ye eşit olduğundan, $C(3)$ 'e yazılmıştır. C matrisinin diğer iki elemanı 1 seçilmiştir ve durum takibinin yapılamaması durumunda değiştirilebilir. Denklem 3.14'teki D durum matrisi iç direnç R_0 'a eşittir. Denklem 3.15'teki Q matrisi için ve denklem 3.16'daki R matrisi için kesin bir ifade olmamakla birlikte tahmin ile yaklaşılır. Modelin gerçek duruma yakınsama oranına bakılır. Algoritma en ideal sonucu yakalayana kadar bu değer üzerinde değişimler yapılır. Batarya girişine akımın verilir modelin oluşturulduğu, durum tahmininin gerçekleştiği Kalman filtresi kodlarının bloklar halinde yazıldığı tezde kullanılan Simulink benzetim düzeneği Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

$$x_{3 \times 1} = \begin{pmatrix} V1 \\ V2 \\ soc \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

$$A_{3 \times 3} = \begin{pmatrix} e^{-(dt \div (R1C1))} & 0 & 0 \\ 0 & e^{-(dt \div R2C2)} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

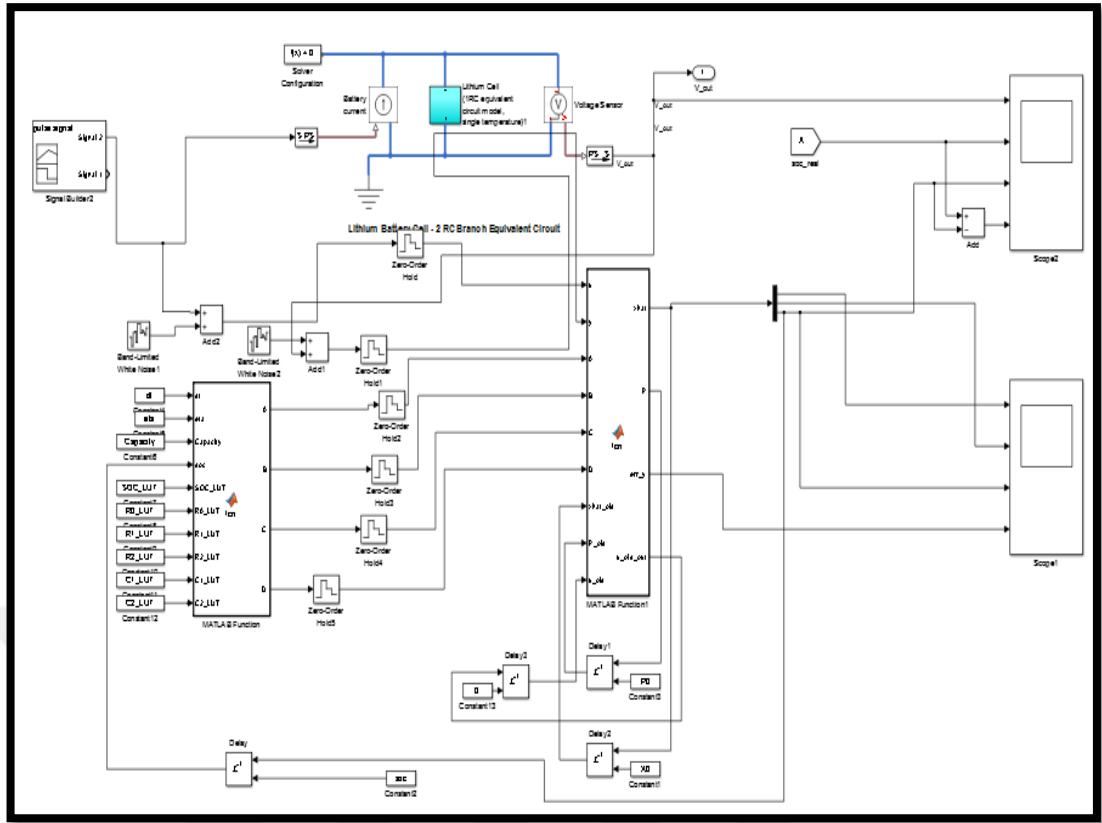
$$B_{1 \times 3} = (R1(1 - e^{-(dt \div (R1C1))}) \quad R2(1 - e^{-(dt \div (R2C2))}) \quad dt \div capacity) \quad (3.12)$$

$$C_{1 \times 3} = (1 \quad 1 \quad a_9 + a_8 \times 2 \times soc + a_7 \times 3 \times soc^2 + \dots + 9 \times a_1 \times soc^8) \quad (3.13)$$

$$D_{1 \times 1} = R_0 \quad (3.14)$$

$$Q_{3 \times 3} = \begin{pmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.000001 \\ 0 & 0 & 10 \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

$$R = 100 \times 0.01 \quad (3.16)$$



Şekil 3.4: Matlab Simulink benzetim düzeneği.

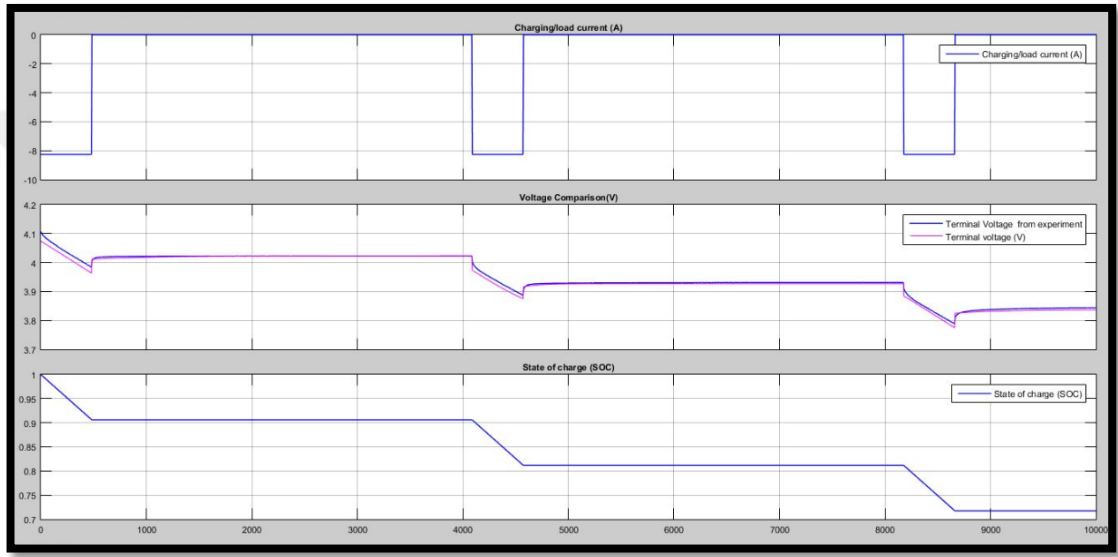
4. BENZETİM SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRMALAR

Bu çalışmada, GKF algoritmasının doğru bir şekilde elektrikli araçlarda Lityum iyon bataryaların şarj durumunu tahmin ettiği gözlemlenmiştir. Batarya durum uzay modeli matematiksel modeli oluştururken uygulanmıştır. 1RC ve 2RC modellerinin lineer olmayan davranışlarını basitleştirmek ve daha iyi analiz etmek adına batarya durum tahmininde GKF algoritması uygulanmıştır. ADV ve BŞD değerleriyle eğri uydurma yöntemi, şarj durumu değerine bağlı, 9.dereceden polinom fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Batarya terminal voltajı ile karşılaştırılması yapılmıştır. Batarya eşdeğer devre parametreleri Matlab Simulink optimizasyon ara yüzü kullanılarak elde edilmiştir. GKF prensibi ve batarya şarj durum tahmini gösterilmiştir. Batarya şarj durum tahmini doğruluğunu ve güvenilirliğini arttırmak için geliştirilmiş batarya Thevenin modeli referans alınarak bir kısım deneyler gerçekleştirilmiştir. HPPC ve FUDS dinamik testleri, uygulanan GKF metodunun doğruluğunu göstermek adına yapılmıştır. Sonuçlar, 4 çevrimlik FUDS testi ve 10 çevrimlik HPPC testinin başarılı olarak gerçek bataryadan alınan batarya şarj durumu değerlerini takip ettiğini göstermiştir. Her iki dinamik akım grafiği testi için hatanın en fazla 0,01 olduğu görülmüştür. Batarya modeli çıkış voltajı ve şarj durumu yüksek doğrulukla yakınsamıştır.

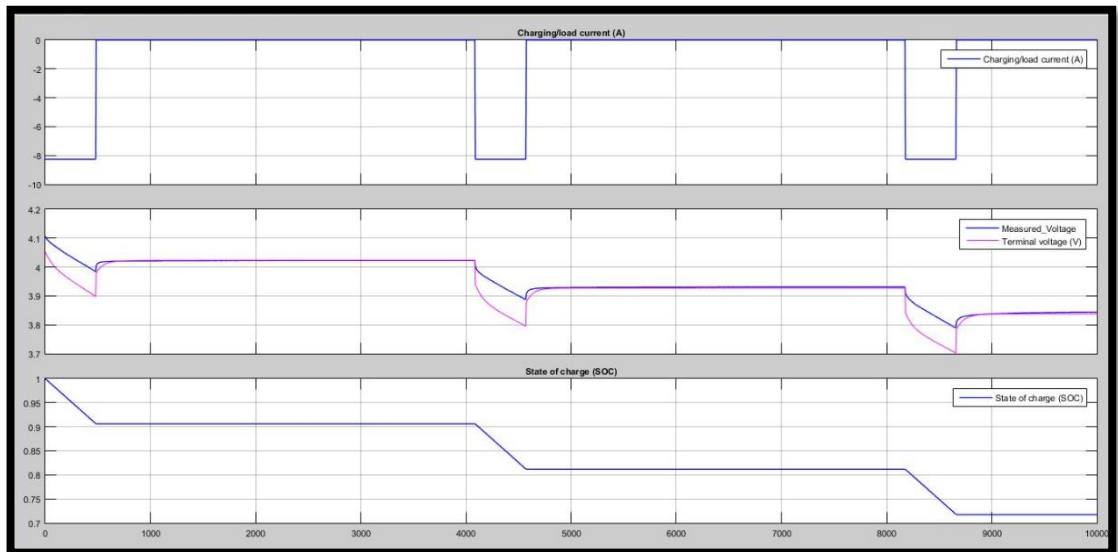
4.1. Sabit Akım Testi

Batarya model doğruluğunu göstermek için model üzerinde farklı kapasite oranlarında sabit deşarj akım darbeleri testleri yapılmıştır. Kullanılan batarya hücresi için 1C 11.8 Ah'dir. 1C, bataryanın ampersaatteki nominal kapasitesini verir. 1.C'de 1 saatte %100 dolan bir batarya 0.5C'de 2 saatte dolacaktır. Önce 11.8 Ah, 3.7 V'lik batarya hücresi standart dolunum yöntemiyle tamamen doldurulmuştur. Sonra dinlenmeye bırakılmıştır. Batarya kesim voltajına inene kadar deşarj edilmiştir. Sabit 0.7C A (8.26 A)'da deşarj sonucu gerçek voltaj değerleri ile benzetim çıkış voltaj değerleri karşılaştırılmıştır. 0.7C'de tam dolu batarya 80 dakika boyunca deşarj edilirse tamamen boşalacaktır. Her 0.1 BŞD adımında 8 dakika boyunca şarj edilen batarya için 1'er saatlik dinlenmenin ardından döngüleyici tarafından voltaj değerleri alınır. 10 defa tekrar edilen bu adım sonucunda batarya tam doluma tekrar geçebilir. Testte 8 dakika boyunca deşarj edilip voltajın 3.899 V'ye düşürülmüştür. Ardından 1

saat bekletilmiş ve tekrar 8 dakikalık deşarj ile voltaj değeri 3.78'e düşürülmüştür. Test sonucu çekilen akım değerleri modele verilmiş, çıkış voltaj değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan testler sonucunda birinci dereceden ve ikinci dereceden iki batarya modeli de gerçek voltaj değerini takip ettiği gözlemlenmiştir. Deşarj ederken başlangıç ve bitiş adımlarında hata diğer kısımlara nazaran daha fazladır. Nedeni polarizasyon sürecinde olmaları ve bataryada istenmeyen dengesizliğe sebebiyet verecek elektrokimyasal olayların oluşmasıdır. Benzetim sonuçları 2RC modeli için Şekil 4.1'de ve 1RC modeli için Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

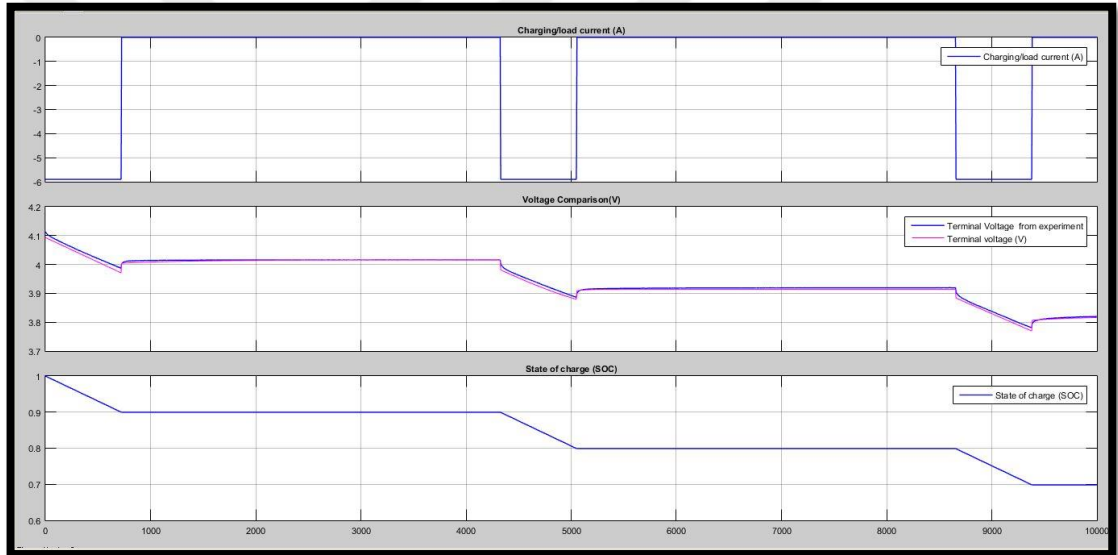


Şekil 4.1: 0.7 C A sabit deşarj darbesi girişli ikinci dereceden (2RC) batarya modeli sonuçları. a) Akım grafiği. b) Terminal voltajlarının karşılaştırması. c) Batarya hücreninin gerçek şarj durumu grafiği.

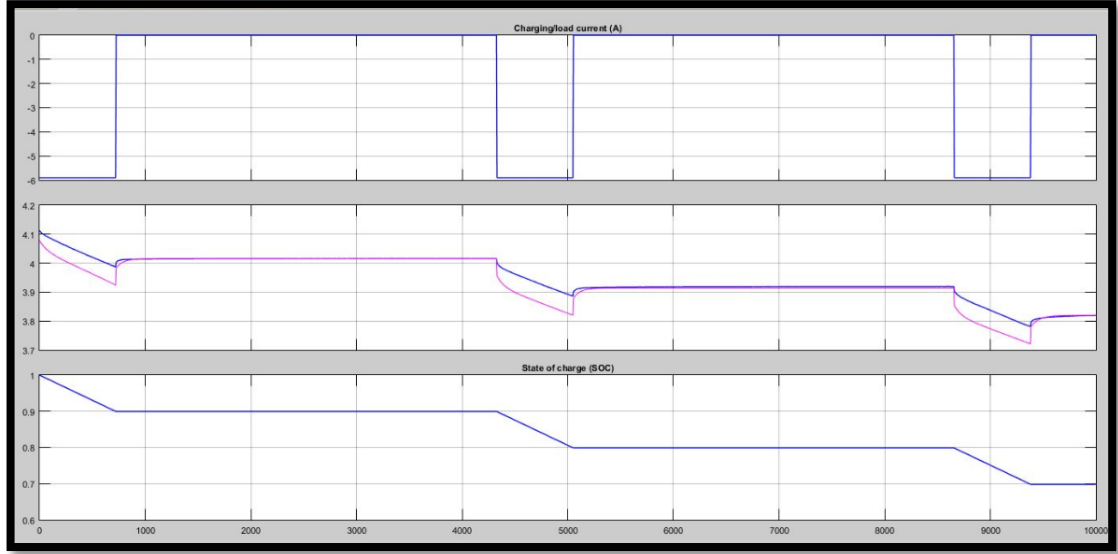


Şekil 4.2: 0.7 C A sabit deşarj darbesi girişli birinci dereceden (1RC) batarya modeli sonuçları. a) Sabit deşarj akım darbe grafiği b) Terminal voltajlarının karşılaştırması. c) Batarya hücresi gerçek şarj durumu grafiği.

Aynı test sabit 0.5C A (5.9 A)'da deşarj edilerek tekrarlandı. 0.5C'de 2 saat deşarj edilmesi şarjın tam doluyken tamamen boşalması demektir. Tamamen boşalan şarj her 0.1 BŞD adımında 12 dakika şarj edilirse tam doluma tekrar ulaşabilir. Her 12 dakikada bir dinlenmesi bataryanın kendini toplaması adına önemlidir. Bu deneyde 0.5C'de 12 dakika deşarj ile batarya voltajı 4.1V'den 3.889 V'ye kadar düşürülmüştür. 1 saat dinlenme ardından 12 dakika deşarj ile batarya voltajı 3.889 V'den 3.78 V'ye düşürülmüştür. 10 defa 12 dakika deşarj ve her 0.1 BŞD değişimi ardından 1 saat bekleme ile voltaj ve akım değerleri alınmıştır. Gerçek voltaj değerleri ile benzetim düzeneğinden okunan çıkış voltajları karşılaştırılmıştır. Benzetim sonuçları 2RC modeli için Şekil 4.3'te ve 1RC modeli için Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3: 0.5 C A sabit deşarj darbe girişli ikinci dereceden (2RC) batarya modeli sonuçları. a) Sabit deşarj akım darbe grafiği. b) Terminal voltajlarının karşılaştırması. c) Batarya hücresi gerçek şarj durumu grafiği.



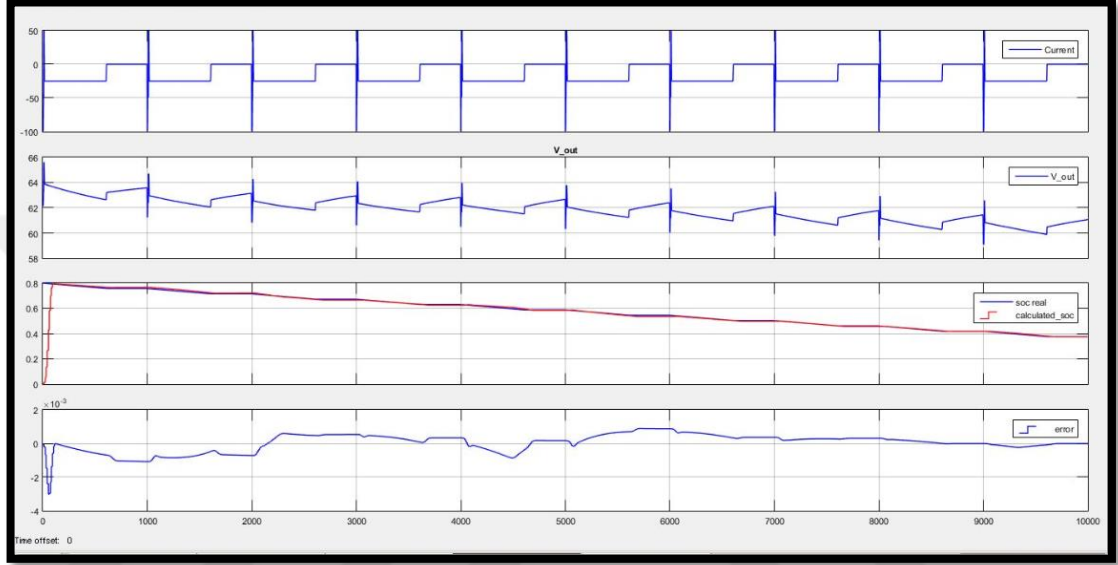
Şekil 4.4: 0.5 C A sabit deşarj darbe girişli birinci dereceden (1RC) batarya modeli sonuçları. a) Sabit deşarj akımı grafiği. b) Terminal voltajlarının karşılaştırması. c) Batarya hücresi gerçek şarj durumu grafiği.

11.8 Ah batarya hücresi 1RC ve 2RC olarak modellenmiştir. Batarya modelinin terminal voltajı, benzetim ve ölçüm sonuçları için karşılaştırılmıştır. İki batarya modeli için de çıkış voltajı hataları gösterilmiştir. Benzetim batarya modeli terminal voltajı ile ölçülen batarya terminal voltajı takibi sonucunda 1RC modelinde 2RC modeline göre çıkış voltajı hatasında büyük bir artış olmasa da hatanın arttığı görölmüştür. Basit uygulamalarda 1RC modeli kullanılması gerekirken daha karmaşık sistemler için gerçek sistem karakteristiğine daha yakın olan 2RC veya daha yüksek dereceli RC modelleri kullanılmalıdır. Derece arttıka kullanılması ve tanımlanması gereken eleman sayısı artarken modelin verdiği voltaj cevabı gerçekliğe yaklaşır. Bu da modelin daha doğru durum tahmini yapacağını demektir. Eklenen RC elemanı sisteme 2RC dinamiğini ekler. Gerçek batarya davranışına daha da yaklaşılırken daha fazla nümerik hesaplamaya gerek duyulur.

4.2. Hibrit Darbe Güç Karakterizasyonu (HPPC) Testi

Geliştirilmiş Thevenin modelinin doğruluğunu hesaplamak için, 10 çevrimlik Hibrit Darbe Güç Karakterizasyonu (HPPC) testi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bu test genelde batarya eşdeğer devre elemanlarını tahmin etmek ve bu devre elemanlarını güncel tutmak için kullanılır [37]. Bu alışmada Kalman Filtresi algoritmasının modele uygunluğunu doğrulamak adına kullanılmıştır. Batarya modeli ve benzetim modeline giriş olarak aşağıdaki akım grafiği uygulanmıştır. Başlangıç şarj durumu

%80 olarak kabul edilmiştir. 100 A (1C) uygulanarak deşarj edilmiş, 75 A ile şarj edilmiş ve bataryanın kendini toplaması için bekletilmiştir. Bu adım 10 defa tekrarlanmıştır. 57.6V'lik batarya paketi parametreleri batarya şarj durumunun gerçek değerleri doğru bir şekilde takip ettiği görülebilir. Bu test batarya parametre tahmininin ve dolayısıyla geliştirilmiş Thevenin modelinin performansını göstermiştir.



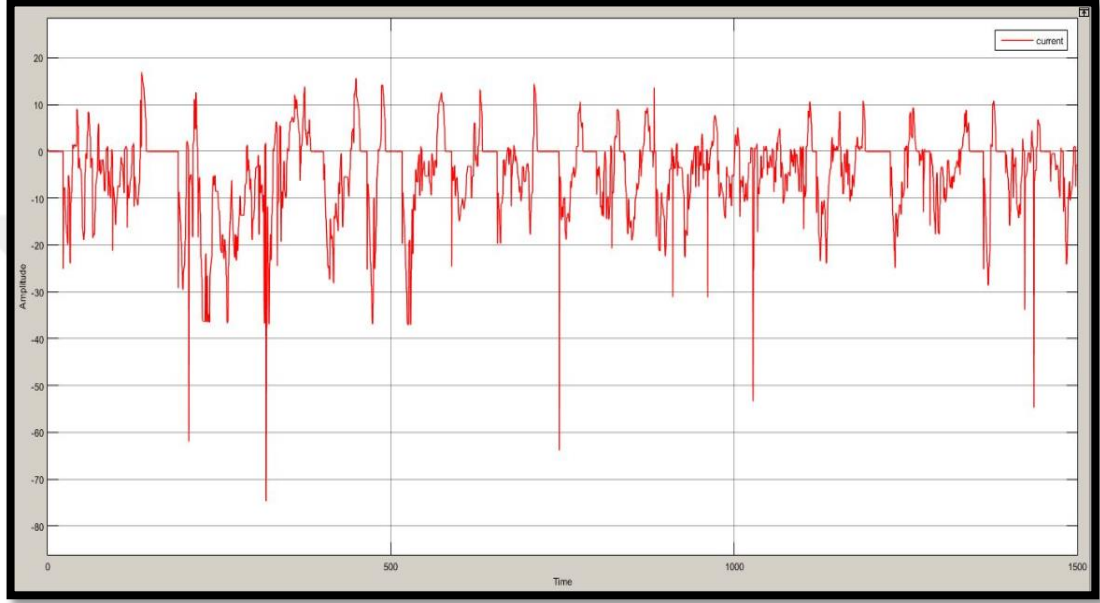
Şekil 4.5: 100Ah 57.6V 'lik batarya modeli HPPC Testi. a) HPPC akım grafiği. b) Terminal voltaj grafiği. c) Benzetim ve gerçek batarya şarj durumu karşılaştırması. d) Tahmin hata grafiği.

4.3. Federal Şehir İçi Sürüş Programı (FUDS) Testi

FUDS testi elektrikli araçlar için sürüş standardıdır [38]. Bataryanın verdiği güç miktarını veya bataryadan çekilebilen maksimum akımı görmek adına yapılan bir testtir. Kullanıcıya bir hız profili verilir ve bu sınırlarda aracı kullanması istenir. Araç tekerleklerinin ön ve arka silindirlerine tork uygulanır ve araç rampa çıkıyormuş gibi zorlanır. Elektrikli araçlar gibi karışık yapıli sistemlerde bu aracın kullanılacağı ortamların her biri göz önüne alınarak elektrikli aracın tork değerleri, bataryasından çekilen akım değerleri ve bataryasının uçlarından okunan voltaj değerleri kaydedilir. Bu değerler modeli oluşturulan hücre için ölçeklenerek hücreye uygulanır.

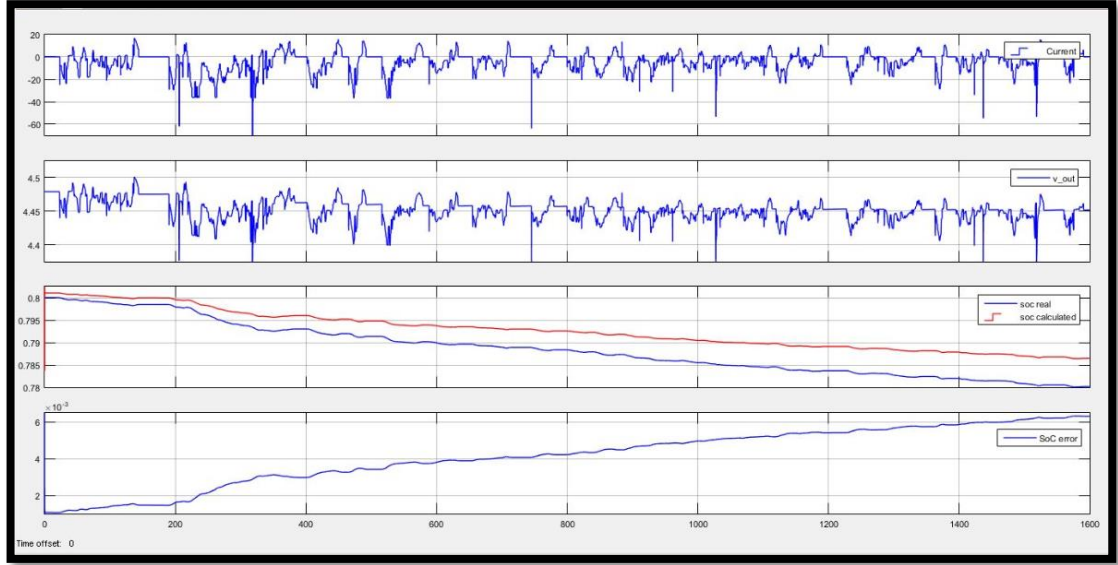
60Ah ve 350V'lik bir elektrikli araç üzerinde bekletilme verilmeden FUDS testi yapılmıştır. 3C'de (180A) akım verebilme özelliğine sahip bu batarya paketinden veriler çekilmiştir. 11.8 Ah batarya hücresine göre ölçeklenen akım değeri batarya hücresinin girişine verilmiştir ve batarya çıkışında okunan voltaj

değeri ölçeklenen akımın verileceği batarya hücre modelinin bulunduğu çalışma alanına karşılaştırılmak üzere yüklenmiştir. Kalman filtresinin dinamik ve milisaniyelerde değişen akım değerlerine karşı göstermiş olduğu şarj durumu takibi gözlemlenmiştir. Bu çalışmada bir çevrim ve dört çevrimlik akım değerleri FUDS testi yapılırken değişen BŞD tahminini test etmek için uygulanmıştır. Bir çevrimlik test için akım profili Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

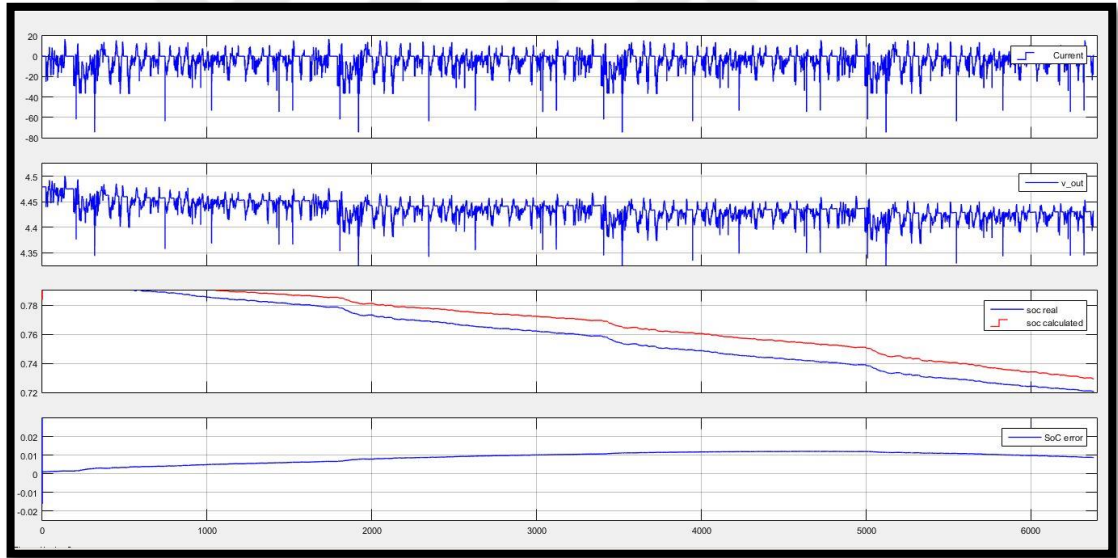


Şekil 4.6: Bir çevrimlik FUDS testi akım grafiği.

Tekrarlayan FUDS çevrimleri batarya deşarj edilirken yaklaşık 7 C'ye ulaşmıştır. 7 C, bir batarya modeli için iyi bir test girişidir. Görüldüğü gibi hata 0,005 seviyesindedir. Dört çevrimlik akım uygulandığında bu hata 0.01 civarındadır ve bu değerde sabit kalır. GKF, lineer olmayan bir sistem için hatayı hızlı bir şekilde minimize eder, parametreleri hassas olarak tahmin eder ve filtrenin güvenilirliğini artırır. Şekil 4.7 ve 4.8 modelin ve algoritmanın başarısını göstermektedir.

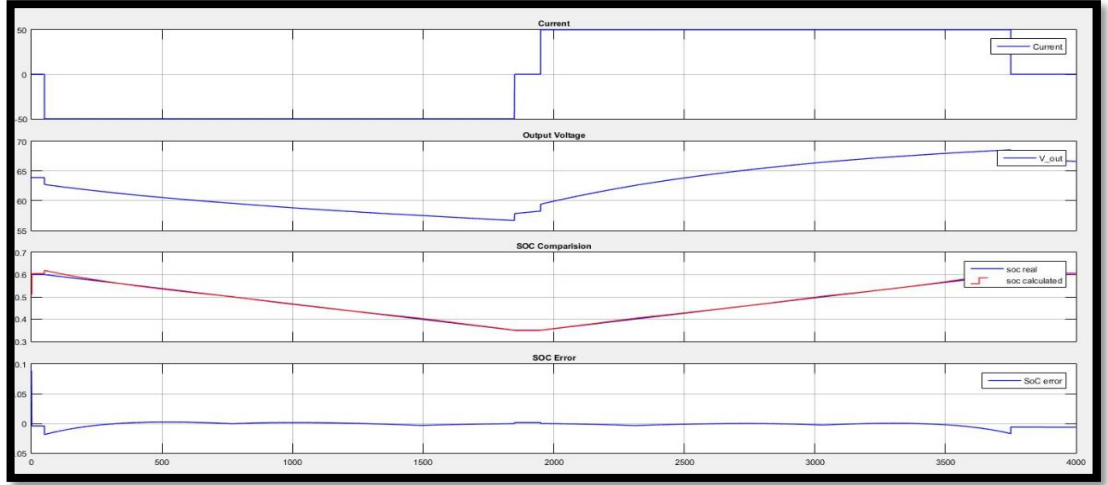


Şekil 4.7: 11.8 Ah 3.7 V batarya hücresi için bir çevrim FUDS testi. a) Akım grafiği. b) Terminal voltaj grafiği. c) Benzetim ve batarya modeli şarj durumu karşılaştırması. d) Tahmin hata grafiği.

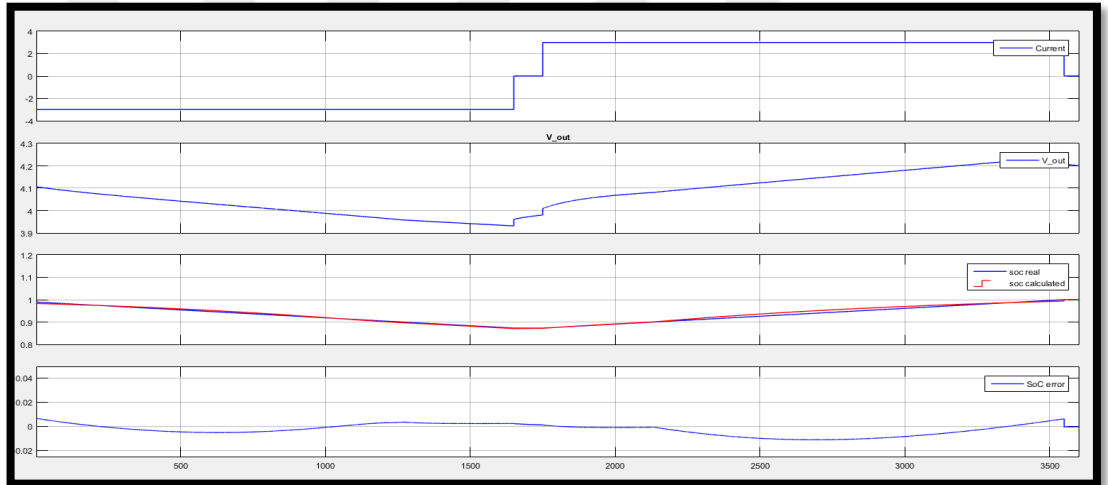


Şekil 4.8: 11.8 Ah 3.7 V batarya hücresi için dört çevrim FUDS testi. a) Akım grafiği. b) Terminal voltaj grafiği. c) Benzetim ve batarya modeli şarj durumu karşılaştırılması. d) Tahmin hata grafiği.

Şekil 4.9'da 100Ah'lik batarya modelinden çekilen akım ve çıkışta okunan voltaj değerine göre Şekil 10'da verilen batarya hücresinde olduğu gibi benzetim modeli oluşturulmuştur. Bu modele 50 A deşarj ve şarj darbeleri uygulanmış ve kısa süreli dinlenme verilmiştir. Kalman filtresi algoritması batarya paketi modelinin şarj durumunu hızlı bir şekilde yakalamıştır. Şekil 4.10'da batarya hücresine 3A deşarj ardından 3A şarj darbesi verilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.

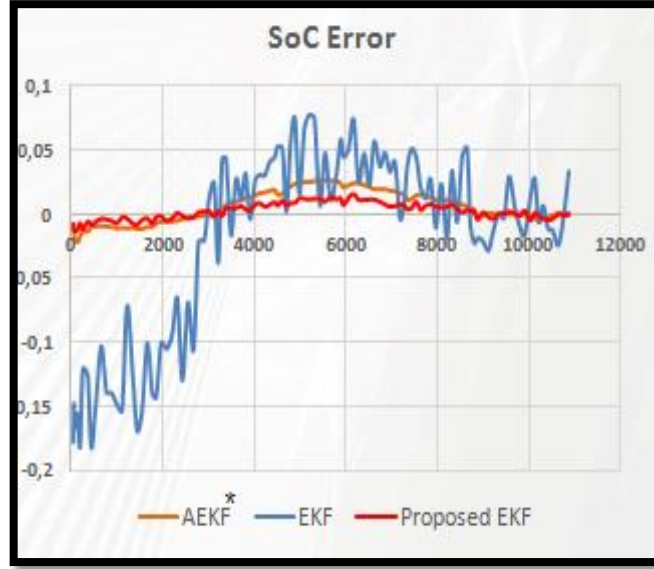


Şekil 4.9: 100 Ah 57.6 V batarya paketi için deneysel ve benzetim şarj durumu karşılaştırması. a) Sabit 0.5C A deşarj akımı. b) Terminal voltaj. c) Deneysel ve benzetim şarj durumu karşılaştırması. d) Tahmin hata grafiği.



Şekil 4.10: 11.8 Ah 3.6 V batarya paketi deneysel ve benzetim şarj durumu karşılaştırması. a) Sabit 0.4C A deşarj akımı. b) Terminal voltaj. c) Deneysel ve benzetim şarj durumu karşılaştırması. d) Tahmin hata grafiği.

Uyguladığımız GKF yöntemi ile [22]'de uygulanan GKF ve AGKF yöntemleri durum tahmini hata sonuçları Şekil 4.11'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.11: Gerçeklenen makaledeki GKF (EKF) ve AGKF (AEKF) algoritmaları sonucu ile tezde uygulanan GKF (Proposed EKF) algoritması karşılaştırması.

5. SONUÇ

Çalışmada büyük ölçüde [22] dikkate alınarak Li-ion bataryaları BŞD tahmini için GKF ve Adaptif Genişletilmiş Kalman Filtresi(AGKF) algoritmaları yazılarak karşılaştırmaları yapılmıştır. 57.6 V, 100 Ah batarya paketi ve 3.6V, 11.8 Ah batarya hücresi kullanılmıştır. Batarya modeli elemanları için kodlar Matlab Simulink Simscape diliyle yazılmıştır. Her bir eleman için bloklar oluşturulmuş ve proje dosyasına kütüphane olarak kaydedilmiştir. Eleman blokları Matlab optimizasyon aracı kullanılarak üretilmiştir. Blokların ilk değerleri her bir batarya şarj durumu adımı için rastgele seçilmiş bir vektördür ve iterasyonlarla hata belli bir seviye altında tutup güncellenmiştir. Matlab optimizasyon aracı güncellemek için giriş olarak SA-SV testi ile gerçek batarya uçlarındaki voltaj ve çekilen akım değerlerini almıştır. Bataryaya SA-SV testi yapılmış, batarya hücresi %100 doldurulmuş ve her bir batarya şarj durumu adımında termal ısı odada bekletilip çıkış voltajı Digatron döngüleyici cihazı tarafından ölçülmüştür. Her bir şarj durumu adımı için voltaj değerleri okunurken arada kalan değerlerin tespiti için eğri uydurma yöntemi kullanılmıştır. [22]'de ikinci dereceden bir polinom batarya karakteristiğini sağlamış ve değerleri takip edebilmiştir. Ölçülen çıkış voltajı ve test edilirken şarj durumu %0'a düşene kadar çekilen akım Matlab optimizasyon aracına parametre tahmini için verilmiştir. 2RC modeli için parametre tahmini yapılmış ve oluşturulan özel kütüphane bu değerlerle güncellenmiştir.

Dinamik testler yapılarak batarya modelinin ve GKF'nin doğruluğu test edilmiştir. Dinamik testlerin başında Federal Şehir İçi Sürüş Programı(FUDS) gelmektedir. Batarya modelinin doğruluğunu anlamak ve batarya girişine karmaşık akım profili uygulandığında GKF algoritmasının etkili bir şekilde uygulandığını görmek için Hibrit Darbe Güç Karakterizasyonu (HPPC) ve FUDS testleri uygulanmıştır. Tipik elektrikli araç sürüş testi olarak bilinen FUDS testi 8 çevrim boyunca batarya paketi girişine uygulanmıştır.

Çalışmada sabit deşarj akımları verilmiş ve RC modellerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Sonrasında FUDS ve HPPC testleri yapılarak modelin doğruluğu ve filtrenin verimi gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Disci F. N., El- Kahlout Y., Balıkcı A., (2017), “Li- ion Battery Modeling and SOC Estimation Using Extended Kalman Filter”, ELECO 2017 10.International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Bursa, Turkey, November 30-December 2.
- [2] Ceylan M., Sarıkurt T., Balıkçı A., (2014), “A Novel Lithium-Ion-Polymer Battery Model for Hybrid/Electric Vehicles”, Proceedings of the 28th ISCA International Conference on Computers and Their Applications, Honolulu, Hawaii, March 4-6, 2013.
- [3] Cheng K.W.E., Bp D., Wu H., Ding K., Ho H.F., (2011), “Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electrical Vehicles”, Vehicular Technology, IEEE Transactions on. 60, 76 - 88. 10.1109/TVT.2010.2089647.
- [4] Hu R., (2011). “Battery Management System For Electric Vehicle Applications”, Master Thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Windsor.
- [5] Chen J., Ouyang Q., Xu C., Su H., (2017), “Neural network-based state of charge observer design for lithium-ion batteries”, IEEE Trans. Control Syst. Technol, 1–9.
- [6] Couto L.D. Schorsch, J., Nicotra M.M., Kinnaert, M., (2016), “Soc and soh estimation for li-ion batteries based on an equivalent hydraulic model. Part I: Soc and surface concentration estimation”, 4022–4028, American Control Conference (ACC), Boston, MA, USA, 6–8 July.
- [7] Huria T., Ceraolo M., Gazzarri J., Jackey, R.A., (2012), “High fidelity electrical model with thermal dependence for characterization and simulation of high power lithium battery cells” IEEE International Electric Vehicle Conference, 1-8.
- [8] Huria T., Ceraolo M., Gazzarri J., Jackey R., (2013), “Simplified Extended Kalman Filter Observer for SOC Estimation of Commercial Power-Oriented LFP Lithium Battery Cells”, 366-369, SAE World Congress International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Detroit, Michigan, United States.
- [9] Chen J., Ouyang Q., Xu C., Su H., (2017), “Neural network-based state of charge observer design for lithium-ion batteries”, IEEE Trans. Control Syst. Technol, 1–9.
- [10] Yao L.W., Aziz J.A., Kong P.Y., Idris N.R.N., (2013), “Modeling of Lithium-ion Battery Using MATLAB/Simulink”, Industrial Electronics Society IECON 39th Annual Conference of the IEEE, 1729-1734, Vienna, Austria, 10-13 November.
- [11] Web 1, (2015), <http://www.elektrikport.com/makale-detay/batarya-ve-piller/4228#ad-image-0>, (Erişim Tarihi:25/07/2018)

- [12] Web 2, (2011), http://kisi.deu.edu.tr/aytac.goren/ELK2015/h07_Piller.pdf, (Erişim Tarihi: 25/07/2018)
- [13] Web 3, (2018), http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion, (Erişim Tarihi: 25/06/2018).
- [14] J. M. Tarascon, M. Armand, (2001), “Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries”, *Nature*, 414, 359.
- [15] Diab Y., Auger F., Schaeffer E., Wahbeh M., (2017), “Estimating Lithium Ion Battery State of Charge and Parameters Using a Continuous-Discrete Extended Kalman Filter”, *Energies*, MDPI, Open Access Journal, July.
- [16] Murnane M., Ghazel A., (2017), “A Closer Look at State of Charge (SOC) and State of Health (SOH) Estimation Techniques for Batteries” *Analog Devies Technical Article*.
- [17] Web4 ,(2018),http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_measure_state_charge, (Erişim Tarihi :22/07/2018).
- [18] Özer Ş., Sağıroğlu Ş., Kaplan A., (2004), “Ar Sitem Modellemede Farklı Algoritmaların Karşılaştırılması” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(4) , 431-43
- [19] Rodrigues S., Munichandraiah N., Shukla AK.,(2000), “A review of state-of-charge indication of batteries by means of a.c. impedance measurements”, *Journal of Power Sources*, 87(1-2),12–20, April.
- [20] Jeon S., Yun J., Bae S.,(2015), “Comparative Study on the Battery State-of-Charge Estimation Method. *Indian Journal of Science and Technology*”, 8(26),1-6, October.
- [21] Cuadras A., Kanoun O., (2009), “SOC Li-ion battery monitoring with impedance spectroscopy”, 1-5, 6th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, Djerba, Tunisia.
- [22] H. Hangowen, X.Rui, Z. Xiaowei, S. Fengchun, F. Jin Xin, (2011), “State of Charge Estimation of the Lithium- Ion Battery Using an Adaptive Extended Kalman Filter Based on Improved Thevenin Model”, 1461-1469, *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*.
- [23] Web 5, (2017), <https://www.mathworks.com/videos/series/understanding-kalman-filters.html>, (Erişim Tarihi : 12/06/2018).
- [24] Xia B., Chen C., Tian, Y., Sun W., Xu Z., Zheng W., (2014), “A novel method for state of charge estimation of lithium-ion batteries using a nonlinear observer”, *Journal of Power Sources*, 270, 359–366.
- [25] He H., Xiong R., Fan J., (2011), “Evaluation of lithium-ion battery equivalent circuit models for state of charge estimation by an experimental approach”, *Energies*, 4, 582–598.

- [26] Tian Y., Chen C., Xia B., Sun W., Xu Z., Zheng W., (2014), "An Adaptive Gain Nonlinear Observer for State of Charge Estimation of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles", *Energies*, 7, 5995-6012.
- [27] Li J., Barillas J.K., Guenter J., Clemens Danzer M., (2013), "A comparative study of state of charge estimation algorithms for LiFePO₄ batteries used in electric vehicles", *Journal of Power Sources*, 230. 244–250. 10.1016/j.jpowsour.2012.12.057.
- [28] Jongerden M.R., Haverkort B.R., (2008), "Battery modeling", Technical Report No : TR-CTIT-08-01, Department of Electrical Engineering, University
- [29] Web 6, (2017), https://www.mathworks.com/help/sldo/parameteres_timation.html, (Erişim Tarihi : 3.05.2018)
- [30] Yu Z., Huai R., Xiao L., (2015), "State-of-Charge Estimation for Lithium-Ion Batteries Using a Kalman Filter Based on Local Linearization", *Energies*, 8, 7854-7873.
- [31] Yuan,S., Wu,H., Yin,C., (2013), "State of charge estimation using the extended Kalman filter for battery management systems based on the ARX model", *Energies*, 6, 444-470.
- [32] Chaoui H., Gualous H., (2017), "Adaptive state of charge estimation of lithium-ion batteries with parameter and thermal uncertainties" *IEEE Transactions Control System Technology*, 25, 752–759.
- [33] Barcellona S., Piegari L., (2017), "Lithium Ion Battery Models and Parameter Identification Techniques", *Energies*, 10. 2007. 10.3390/en10122007.
- [34] Plett G.L., (2004), "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs: Part 3. State and parameter estimation", *Journal of Power Sources*, 134, (2), 277-292.
- [35] P. Bougerol, (1993), "Kalman filtering with random coefficients and contractions", *SIAM J. Contr.*, 31, 942-959.
- [36] V. Solo, (1996), "Stability of the Kalman filter with stochastic time-varying parameters",57-61, *Proceedings of 35th IEEE Conference on Decision and Control*, Kobe, Japan, 13 December.
- [37] Thanagasundram S., Arunachala R., Makinejad K., Teutsch T., Jossen A., (2012), "A Cell Level Model for Battery Simulation", *EEVC European Electric Vehicle Congress*, Brussels, Belgium, 20-22 November.
- [38] Web 7, (2016), <https://www.chentech.com.tw/eindex/vivamus-pellentesque-euismod-tellus-vel-laoreet-est-tempus-interdum/>, (Erişim Tarihi: 25/07/2018)

ÖZGEÇMİŞ

Fatma Nur Dişçi 1993 Adana/Yüreğir doğumludur. Haziran 2016'da GTÜ Elektronik mühendisliği bölümünden bölüm 2.si olarak mezun olmuştur. 2016 Eylül'den itibaren Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansını yapmaktadır. Lisans ve yüksek lisans tezinde batarya eşdeğer devre modeli, genişletilmiş Kalman filtresi ve uygulaması ve yüksek doğrulukta batarya şarj durumu kestirimi üzerine çalışmıştır. TÜBİTAK'ta araştırmacı olarak çalışmaktadır.



EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Disci F., El- Kahlout Y., Balikci A., (2017), “Li- ion Batter Modeling and SOC Estimation Using Extended Kalman Filter” 10.International Conference on Electrical and Electronics Engineering; November 30-December 2 2017.

Ek B: Açıklamalar

ECRES 2018 6.Avrupa konferansına 2.yayınımızı gönderdik ve kabul aldı.

