

**BATARYA - SÜPERKAPASİTÖR HİBRİT  
SİSTEMLERİNDE PROGRAMLANABİLİR SOC İLE GÜÇ  
YÖNETİMİ**

**POWER MANAGEMENT WITH PROGRAMMABLE SOC  
IN BATTERY – SUPERCAPACITOR HYBRID SYSTEMS**

**EŞREF YAVUZ PEKMEZ**

**DOÇ. DR. DİNÇER GÖKCEN**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı için öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

## ÖZET

### **Batarya – Süperkapasitör Hibrit Sistemlerinde Programlanabilir SoC ile Güç Yönetimi**

**Eşref Yavuz PEKMEZ**

**Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Dinçer GÖKCEN**

**Ocak 2022, 108 sayfa**

Günümüzde artan çevresel etmenlerden dolayı fosil yakıt tüketiminin düşük seviyelerde tutulması önem arz etmektedir. Bu bağlamda özellikle otomotiv endüstrisinde elektrikli sistemlerinin kullanımı giderek önem kazanmıştır. Büyük ölçekli sistemlerden düşük boyutlardaki taşınabilir elektronik cihazlara kadar batarya kullanımının yaygınlaştığı aşikardır. Ancak batarya ve enerji depolama sistemlerindeki gelişmeler uygulamaya bağlı enerji yönetim konfigürasyonlarını öne çıkarmıştır. Günümüzde yüksek enerji yoğunluğuna sahip Li-iyon pillerin yanında yüksek güç yoğunluğuna sahip süperkapasitörlerin hibrit kullanımı önemli araştırma alanları arasında yer almaktadır. Bataryaların ömrünü uzatmak için tampon işlevi gören süperkapasitörler askeri amaçlar için kullanıma çok uygundur. Süperkapasitörler düşük sıcaklıklarda çalışabilen, şarj imkanının olmadığı veya şarj için yeterli sürenin bulunmadığı durumlarda ihtiyacı karşılayabilen en uygun enerji depolama aygıtıdır. Bu tez çalışması kapsamında süperkapasitör ve Li-iyon pillerinde hibrit kullanım için bir batarya yönetim sistemi ilk kez bir programlanabilir SoC kullanılarak geliştirilmiştir. PSoC, özellikle birçok analog arabirimi içerdiği için batarya yönetiminde oldukça önemli kazanımlar sağlamaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda süperkapasitör ve üç Li-iyon pilin kontrollü şarj-deşarjları yapılmış, piller arasında doluluk oranları muhafaza edilebilmiştir. Geliştirilen yazılımı ve donanım farklı enerji depolama sistemlerinde kullanıma olanak sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** PSoC, batarya, süperkapasitör, batarya yönetimi, dengeleme, güç yönetimi

## **ABSTRACT**

### **Power Management with Programmable SoC in Battery – Supercapacitor Hybrid Systems**

**Eşref Yavuz PEKMEZ**

**Master of Science, Department of Electric and Electronic Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dinçer GÖKCEN**

**January 2022, 108 pages**

Keeping fossil fuel consumption at low levels is vital due to increasing environmental issues. In this context, electrical systems have become increasingly important, especially in the automotive industry. The use of batteries is widespread, from large-scale systems to small-sized portable electronic devices. However, developments in battery and energy storage systems have highlighted application-dependent energy management configurations. Today, besides Li-ion batteries with high energy density, hybrid use of supercapacitors with high power density is among the critical research areas. Supercapacitors, which act as buffers to prolong the life of the batteries, are very suitable for military purposes. Supercapacitors are the most suitable energy storage devices that can operate at low temperatures and meet the need in situations where there is no charging opportunity or there is not enough time for charging. Within the scope of this thesis, a battery management system for hybrid use in supercapacitor and Li-ion batteries was developed using a programmable SoC. PSoC provides significant gains in battery management, especially since it contains many analog interfaces. In the experimental studies, controlled charge-discharge of the supercapacitor and three Li-ion batteries was made, and the charge-discharge rate between the batteries could be maintained. The developed software and hardware allow use in different energy storage systems.

**Keywords:** PSoC, battery, supercapacitor, battery management, balancing, power management

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarımın her aşamasında sonsuz tecrübesini, bilgisini ve manevi desteğini esirgemedikleri için Sayın Doç. Dr. Dinçer Gökçen'e,

Yüksek lisans ve tez yazım sürecimde anlayışlarını esirgemeyen Aselsan AŞ, yöneticilerine ve sevgili çalışma arkadaşlarıma,

Bütün eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ailem Nuran Özçiçek Pekmez, Kadir Pekmez ve Ceyda Tuğba Pekmez'e

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Enerji depolama sistemleri .....	4
2.1.1. Piller ve Bataryalar .....	4
2.1.2. Pil eşdeğer devre modeli .....	7
2.1.3. Süperkapasitörler.....	9
2.1.4. Süperkapasitör Şarj Modeli.....	12
2.2. Batarya Yönetim Sistemleri .....	14
2.2.1. Batarya Paketi Topolojisi .....	14
2.2.2. Batarya Yönetim Sisteminde Tasarım Gereksinimleri.....	15
2.3. DC-DC Dönüştürücüler.....	33
2.3.1. Düşürücü dönüştürücüsü .....	34
2.3.2. Yükseltici dönüştürücüsü .....	35
2.3.3. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüsü .....	35
2.4. Programlanabilir SoC.....	37
2.5 Güç Yönetim Yazılımları .....	38
2.5.1. Kural tabanlı yaklaşım .....	39
2.5.2. Optimizasyon yaklaşımı .....	40
2.5.3. Yapay zeka uygulamaları .....	40
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	41
3.1. Şarj Devre Tasarımı .....	41

3.2. Algılama ve Kontrol Devre Tasarımı .....	42
3.3. Hücre Dengeleme Devre Tasarımı .....	44
3.4. Hücre Şarj Durum Kestirimi Gerçeklenmesi.....	45
3.5. PSoC Gömülü Devre Gerçeklenmesi .....	46
3.6. Kullanıcı Arayüz Gerçeklenmesi.....	49
3.7. Güç Yönetim Yazılım Gerçeklenmesi.....	50
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	55
4.1. PSoC ile pillerin şarj ve deşarjı.....	55
4.1.1. Pil şarjı .....	55
4.1.2. Pil deşarjı .....	57
4.1.3. Üç pilin ardışık şarj ve deşarjı .....	59
4.2. PSoC ile süperkapasitörün şarj ve deşarjı.....	61
4.2.1. Süperkapasitörün şarjı.....	61
4.2.2. Süperkapasitörün deşarjı.....	63
4.2.3. Süperkapasitörün ardışık şarj ve deşarjı .....	65
4.3. PSoC ile pil dengeleme ve şarj durum kestirimi.....	68
4.3.1. Pil dengeleme.....	68
4.3.2. Şarj durum kestirimi .....	69
4.4. PSoC ile Batarya ve süperkapasitör hibrit sisteminde şarj ve deşarj.....	69
4.4.1. Batarya ve süperkapasitör hibrit sisteminin şarjı .....	69
4.4.2. Batarya ve süperkapasitör hibrit sisteminin deşarjı .....	71
5. YORUM.....	74
6. KAYNAKLAR .....	76
EKLER.....	80
EK 1 – Kod .....	80
EK 2 – Baskı devre kartı.....	105
EK 3 - Tez Çalışması Orjinallik Raporu.....	107
ÖZGEÇMİŞ .....	108

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Daniel pili çalışma ilkeleri .....	5
Şekil 2.2. Lityum-iyon pilin şeması .....	7
Şekil 2.3. Pekiştirilmiş kendinden düzeltmeli eşdeğer devre modeli .....	8
Şekil 2.4. Farklı elektrik enerjisi depolama teknolojileri için güce karşı enerji performanslarını gösteren Ragone çizimi .....	9
Şekil 2.5. Kapasitör ve Süperkapasitörlerin şematik gösterimi, yük transfer ve elektrik enerjisi depolama temelleri .....	11
Şekil 2.6. Poli(3-metiltiyofen) iletken polimeri ve karbon-bağlayıcı içeren kompozit elektrotlardan oluşturulan simetrik süperkapasitör .....	12
Şekil 2.7. Faradaik olmayan mekanizma ile çifte tabakada elektrostatik şarj depolanması .....	13
Şekil 2.8. Batarya paketi içinde batarya yönetim sistemi örneği .....	16
Şekil 2.9. Gerilim bölücü devre .....	18
Şekil 2.10. Akım şöntü ile akımın algılanması .....	18
Şekil 2.11. Hall etkisi sensörü ile akımın algılanması .....	19
Şekil 2.12. İzolasyonun ölçümü .....	20
Şekil 2.13. Akım – sıcaklık korumasının tasarımı .....	21
Şekil 2.14. Batarya yönetim sisteminin ana kontrol döngüsü .....	22
Şekil 2.15. Modele dayalı tahmin yaklaşımı şeması .....	24
Şekil 2.16. Dengede olmayan bir hücre çifti .....	26
Şekil 2.17. Sabit şönt resistör tasarımı .....	28
Şekil 2.18. Anahtarlı şönt resistör tasarımı .....	29
Şekil 2.19. Kayıpsız dengelemede çoklu şalterli kapasitör tasarımı .....	30
Şekil 2.20. Düşürücü dönüştürücüsü .....	35
Şekil 2.21. Düşürücü dönüştürücüsü .....	35
Şekil 2.22 Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüsü .....	36
Şekil 2.23. Düşürücü-Yükseltici evirmeyen dönüştürücüsü .....	36
Şekil 2.24. PSoC yapı birimleri.....	37
Şekil 3.1. Şarj devre tasarımında kullanılan iki anahtarlı buck-boost devre.....	41
Şekil 3.2. Anahtarlama devresi tasarımı.....	42
Şekil 3.3. Batarya ve süperkapasitör gerilim ve akım algılayıcı devrelerin tasarımı.....	43

Şekil 3.4. Sıcaklık algılamasında kullanılan termistörler .....	44
Şekil 3.5. Hücre dengeleme devresinin genel yapısı .....	45
Şekil 3.6. SOC gerilim ölçümü için kullanılan PWM yapısı.....	46
Şekil 3.7. PSoC 4 modelleri ve bu çalışmada kullanılan CY8CKIT-043'a ait pin konfigürasyonu .....	46
Şekil 3.8. PSoC blok şeması .....	47
Şekil 3.9. PSoC sistem kontrol bağlantıları .....	48
Şekil 3.10. PSoC sistem haberleşme bağlantıları .....	48
Şekil 3.11. Arayüzdeki sistem haberleşme çıktıları.....	49
Şekil 3.12. Temel pil şarj grafiği .....	50
Şekil 3.13. Batarya ve süperkapasitör BMS akış şeması .....	52
Şekil 3.14. BMS dengeleme akış şeması .....	53
Şekil 3.15. BMS hibrit sisteminin blok şeması.....	54
Şekil 4.1. Tek bir pilin şarjı için gerilim eğrisi .....	55
Şekil 4.2. Tek bir pilin şarjı için akım eğrisi .....	56
Şekil 4.3. Tek bir pilin şarjı için sıcaklık eğrisi .....	56
Şekil 4.4. Tek bir pilin deşarjı için gerilim eğrisi .....	57
Şekil 4.5. Tek bir pilin deşarjı için akım eğrisi.....	58
Şekil 4.6. Tek bir pilin deşarjı için sıcaklık eğrisi .....	58
Şekil 4.7. Seri bağlı üç pilin ardışık şarj-deşarj döngüsünde gerçek zamanlı toplam gerilim ölçümü .....	59
Şekil 4.8. Seri bağlı üç pilin ardışık şarj-deşarj döngüsünde gerilim eğrisi .....	60
Şekil 4.9. Seri bağlı üç pilin ardışık şarj-deşarj döngüsünde akım eğrisi.....	60
Şekil 4.10. Seri bağlı üç pilin ardışık şarj-deşarj döngüsünde sıcaklık eğrisi .....	61
Şekil 4.11. Süperkapasitör şarjı için gerilim eğrisi .....	62
Şekil 4.12. Süperkapasitör şarjı için akım eğrisi .....	62
Şekil 4.13. Süperkapasitör şarjı için sıcaklık eğrisi .....	63
Şekil 4.14. Süperkapasitör deşarjı için gerilim eğrisi .....	64
Şekil 4.15. Süperkapasitör deşarjı için akım eğrisi.....	64
Şekil 4.16. Süperkapasitör deşarjı için sıcaklık eğrisi .....	65
Şekil 4.17. Süperkapasitör ardışık şarj-deşarj döngüsünde gerçek zamanlı ölçüm .....	66
Şekil 4.18. Süperkapasitör ardışık şarj-deşarj döngüsünde gerilim eğrisi .....	66
Şekil 4.19. Süperkapasitör ardışık şarj-deşarj döngüsünde akım eğrisi .....	67



Şekil 4.20. Süperkapasitör ardışık şarj-deşarj döngüsünde sıcaklık eğrisi .....	67
Şekil 4.21. Üç pilin dengeleme gerilim eğrileri .....	68
Şekil 4.22. Üç pilin ve süperkapasitörün şarj durum değerleri .....	69
Şekil 4.23. Üç pil ve bir süperkapasitör hibrit sistemin şarjı için gerilim eğrisi .....	70
Şekil 4.24. Üç pil ve bir süperkapasitör hibrit sistemin şarjı için akım eğrisi .....	70
Şekil 4.25. Üç pil ve bir süperkapasitör hibrit sistemin şarjı için sıcaklık eğrisi .....	71
Şekil 4.26. Üç pil ve bir süperkapasitör hibrit sistemindeşarjı için gerilim eğrisi .....	72
Şekil 4.27. Üç pil ve bir süperkapasitör hibrit sistemindeşarjı için akım eğrisi.....	72
Şekil 4.28. Üç pil ve bir süperkapasitör hibrit sistemindeşarjı için sıcaklık eğrisi .....	73
Şekil Ek 2.1. Baskı devre kartı ön yüzeyi .....	105
Şekil Ek 2.2. Baskı devre kartı arka yüzeyi .....	106

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yaygın olarak kullanılan doldurulabilir pillerinkarşılaştırılması .....	6
Çizelge 2.2. Güç Yönetim Yazılım Çeşitleri .....	39

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

A	Amper
AC	Alternatif akım
B	Bor
C	Karbon
Co	Bakır
DC	Doğru akım
Fe	Demir
GW	Gigawatt
$I, i$	Akım
kHz	Kilohertz
kWh	Kilowatt saat
Li	Lityum
Ma	Miliamper
Mn	Mangan
mV	Milivolt
mA	Miliamper
MΩ	Megaohm
n	Kolombik verim
Ni	Nikel
O	Oksijen
°C	Celcius
P	Fosfat
p	Güç
$Q$	Hücre kapasitesi, yük
$R, r$	Direnç
Ru	Rutenyum
$T, t$	Sıcaklık
V	Volt
Wh	Watt saat

## Kısaltmalar

ADC	Analog-dijital dönüştürücü
BMS	Batarya yönetim sistemleri
CAN	Kontrol alan ağı veri yolu
CPU	Merkezi işlem birimi
DoD	Deşarj derinliği
ESC	Pekiştirilmiş kendinden düzeltmeli
Li-iyon	Lityum-iyon
MOSFET	Metal oksit yarı iletken alan etkili transistör
OCV	Açık devre gerilimi
ppm	Milyon başına düşen parça
PSoC	Çip üzerinde programlanabilir sistem
PV	Fotovoltaik
PWM	Darbe genişliği modülasyonu
SEI	Katı elektrolit ara yüzeyi
SoC	Yongada sistem
SOC	Şarj durumu
SOH	Sağlık durumu
SOL	Pil ömrü
SPI	Seri periferel arayüz veri yolu
UART	Evrensel asenkron alıcı verici

# 1. GİRİŞ

Küresel ısınma ve iklim değişikliği terimleri genellikle eş anlamlı olarak kullanılsa da küresel ısınma iklim değişikliğinin sadece bir boyutudur. İklim değişikliği, yağış, sıcaklık ve rüzgar örgüleri gibi iklim göstergelerinin uzun dönemli değişimini içermektedir. Günümüzde iklim değişikliği kendini küresel sıcaklık artışı, okyanus sıcaklıklarının artışı, kutuplardaki buzulların erimesi sonucu buz plakalarının küçülmesi ve deniz seviyesindeki yükselme olarak göstermektedir. Seller, kontrol edilemeyen yangınlar ve şiddetli kasırgalar gibi aşırı iklim olaylarının sıklığı ve şiddetinin artışı küresel ısınmanın bir sonucudur [1, 2]. Buna ilave olarak, karbon dioksit emisyonunun yükselmesiyle okyanuslardaki karbon dioksit absorpsiyonu artmakta ve bu da okyanusların asitliğinin yükselmesine neden olmaktadır Endüstri devriminden bu yana yüzey okyanus sularının asitliği yaklaşık %30 artmıştır [3].

Karbon dioksit ve diğer sera gazlarının atmosferdeki ısı tutucu etkisi 19. yüzyılın ortalarından beri bilinmektedir. Karbon dioksit başta olmak üzere, metan, nitroz oksit ve florlü gazlar (hidroflorür karbonlar, perfloro karbonlar vb.) başlıca sera gazlarıdır. Sera gazlarının birçoğu solar radyasyon ve volkanik aktiviteler gibi doğal yollar ile oluşabilse de doğal yollar ile oluşan sera gazlarının küresel ısınmaya olan katkısı insan aktivitelerinden kaynaklanan sera etkisinin yaklaşık %10'luk bir kısmını oluşturmaktadır. Uluslararası iklim değişikliği panelinin altıncı durum değerlendirme raporuna göre pre-endüstriyel dönemden günümüze insan kaynaklı aktivitelerin 0.8-1.3 °C aralığında kestirilen küresel ısınmaya yol açtığı bildirilmiştir [4]. Küresel ısınmanın ana nedenleri arasında fosil yakıtların kullanımı, endüstriyel hayvancılık ve ormanların yok edilmesi gibi insan kaynaklı etmenler bulunmaktadır [3, 5]. Pre-endüstriyel dönemden itibaren yapılan endüstriyel aktiviteler atmosferdeki karbon dioksit seviyesini de 280 ppm'den 417 ppm seviyesine çıkarmıştır.

Ülkeler ve uluslararası kuruluşlar küresel ısınma ve iklim değişikliğinin sınırlandırılması için hedefler belirlemekte ve sürdürülebilirlik eylem planları üzerinde çalışmaktadır. Ülkemizin de aralarında bulunduğu 196 tarafın dahil olduğu Paris İklim Anlaşması'nın uzun dönemli sıcaklık hedefi küresel sıcaklık artışının pre-endüstriyel döneme kıyasla 2 °C'nin ve tercihen 1.5 °C'nin altında tutmaktır. Bu amaçla taraf ülkeler mümkün olduğunca hızlı bir şekilde sera gazı salınımlarını azaltmayı ve hatta durdurmayı

hedeflemektedir. Bu çerçevede, taraf ülkeler beş yıllık döngüler halinde gittikçe daha yüksek hedefleri olan sürdürülebilirlik stratejilerini uygulamak durumundadırlar [6]. 2021 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı'nda, sıcaklık artışını 1.5 °C ile sınırlandırılması ve bu yüzyılın yarısına kadar sıfır emisyonun sağlanması, kömür kullanımının durdurulması, elektrikli araçlara geçişin hızlandırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımın teşviki ve ormanların yok edilmesinin önüne geçilmesiyle mümkün görülmektedir [7]. Bu kapsamda global yenilenebilir enerji kapasitesi ve market payı hızla artmaktadır. Yenilenebilir enerji kapasitesi sadece 2020'de %45 artarak yaklaşık 280 GW seviyesi ile 1999'dan beri en yüksek yıllık artışa ulaşmıştır. 2022'de solar fotovoltaik enerji kapasitesinin 162 GW ile pandemi öncesi kapasiteye kıyasla %50 artması beklenmektedir. Global rüzgar enerjisi kapasitesi ise 2020'de %90 artışla 162 GW kapasitesine ulaşmıştır [8]. Enerji gereksiniminin artması ve temiz enerjiye dönüşüm sürecinde 2026 yılına kadar yenilenebilir enerji kapasitesinin ortalama 305 GW/yıl artacağı kestirilmektedir [9].

Enerji depolama sistemleri, genel kaynağın kesintili çalıştığı veya yüksek maliyetin olduğu durumlarda geçici olarak enerjinin depolanmasını sağlar. Kesintili sistemlere örnek olarak verilebilen solar paneller ve rüzgar tribünleri gibi başlıca yenilenebilir enerji kaynakları güneş ve rüzgar enerjisi yoğunluğundaki dalgalanmalara bağlı olduğundan güç tedariki enerji gereksinimi paternlerine göre düzenlenememektedir. Bu nedenle, güneş ve rüzgar enerjisinin en yoğun olduğu saatlerde enerji fazlasını depolayan; talebin yoğun olduğu saatlerde sisteme enerji sağlayan enerji depolama sistemlerine gereksinim duyulmaktadır. Enerji depolama sistemleri yenilenebilir enerji kaynaklarında arz-talep dengesini sağlayarak enerji yönetimine katkı sağlamaktadır [10].

2019 Nobel Kimya Ödülü, lityum-iyon (Li-iyon) pillerin geliştirilmesine olan katkılarından dolayı John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham ve Akira Yoshino'ya verilmiştir [17]. Cep telefonları ve dizüstü bilgisayarlar gibi kablosuz elektroniklerin ana bileşeni olan Li-iyon pillerin üretimi, kablosuz devrimin başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Daha da önemlisi, Li-iyon piller elektrikli araçlara güç vermekten yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi depolamaya kadar her alanda kullanıldığı için fosil yakıtsız bir dünyayı olanaklı kılmaktadır [18].

Batarya yönetim sistemleri (İng. Battery Management Systems, BMS) belirli bir batarya yönetim uygulamasını çalıştırma amacıyla elektronik aygıtlar ve işlemciyi

birlikte çalıştıran yazılım tabanlı sistemlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında üretilen enerjinin depolanması veya modüler Li-iyon sistemlerin güvenilir ve verimli bir şekilde çalıştırılabilmesi için batarya paketleri ve hibrit sistemlerin başarılı bir biçimde yönetimi ancak hem yazılım hem de donanım birimlerinin kullanılmasıyla mümkündür. Donanım birimleri pil hücre gerilimleri, akım ve sıcaklık gibi ölçümleri yapar ve pil hücrelerinin güvenliğini sağlayan elektronik devreleri içerir. Yazılım birimleri ise batarya paketlerinin aktivitelerinin izlenmesi ve düzenlenmesini sağlar. Örneğin elektrikli veya hibrit bir aracın bataryaları onlarca küçük Li-iyon modülünden oluşabilmektedir. Bu tür yüksek enerji içerikli hücre pillerinin güvenli ve verimli bir şekilde çalıştırılabilmesi ancak her bir hücreyi kontrol edebilen BMS ile mümkündür. Her uygulamada BMS'nin bütün özelliklerinin kullanılması maliyeti nedeniyle uygun olmayabilir. BMS özellikle batarya paketi arızası maliyetinin yüksek olduğu kritik fonksiyonu olan sistemlere ya da büyük batarya donanımlarına değer katmaktadır. Buna örnek olarak büyük batarya paketlerinin yüksek gerilim ve yüksek akımla çalıştığı elektrikli araçlar veya şarjlı hibrit elektrikli araçlar verilebilir. Bunun yanında, büyük ölçekte batarya paketlerinin kullanıldığı yenilenebilir enerjiye geçiş sürecinde potansiyeli yüksek olan başka uygulamalar da bulunmaktadır. Güneş ve rüzgar enerjisinin pik zamanlarında büyük ölçekte akış bataryalarında depolanıp talebin fazla olduğu aralıkta şebekeye geri kazanılması buna bir örnektir.

Bu tez kapsamında yüksek güç potansiyeli olan süperkapasitörlerin; görece düşük güç ve yüksek enerji potansiyeli olan Li-iyon pilleri tamamladığı; Li-iyon pil ve süperkapasitörden oluşan bir hibrit sistem prototipi için BMS tasarlanmıştır. Bu tez kapsamındaki hibrit sistem ve BMS prototipinin güç ve enerji kapasitesi elektrikli otomobil veya yenilenebilir enerji depolama uygulamalarında kullanılabilecek düzeyde olmamakla birlikte; bu prototipin ölçeklendirilmesiyle, sadece pillerin kullanıldığı uygulamalara göre, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji talebine katkısını arttıracak potansiyele sahiptir. Örneğin batarya-süperkapasitör hibrit sistemlerinin elektrikli araçlarda kullanılması, şarj süresini büyük oranda kısaltarak elektrikli araçların pazar payını arttırabilir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Enerji depolama sistemleri

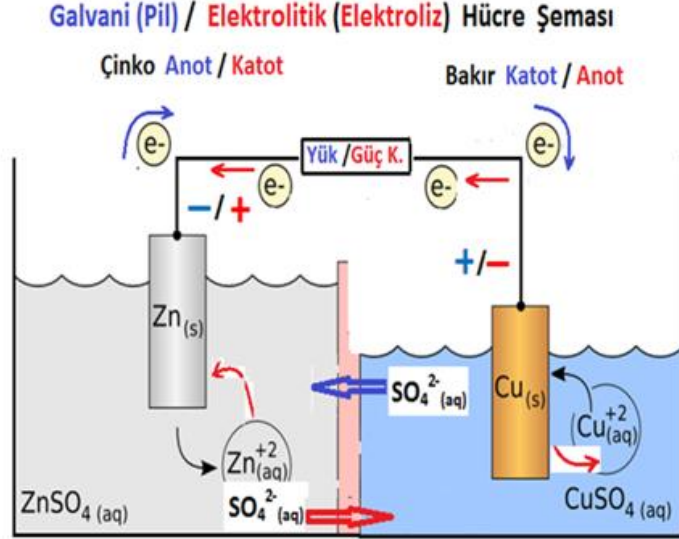
Elektrik enerjisi temel olarak kimyasal, elektrokimyasal, mekanik, termal, veya elektromanyetik formlarda depolanabilir [10]. Enerji depolama sistemlerinin operasyonu genel olarak deşarj ve şarj periyodu olarak sınıflandırılır. Enerji depolama sistemlerinin elektrik çıktı gücü DC formundadır ve güç ağına taşınmasıyla deşarj gerçekleşebilir. Bu tez kapsamında pil – süperkapasitör hibrit sistemi kullanıldığından takip eden bölümlerde sadece pil ve süperkapasitörlerin özellikleri detaylandırılacaktır.

#### 2.1.1. Piller ve Bataryalar

Piller ve bataryalar elektrik enerjisi depolama uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan depolama aygıtlarıdır. Genellikle tek bir hücreden oluşan sistemler pil olarak isimlendirilirken birden fazla seri ve paralel bağlanmış pil hücrelerinden oluşan elektrik enerjisi depolama sistemleri batarya olarak isimlendirilir. Piller içeriğindeki aktif malzemedeki kimyasal enerjiyi elektrokimyasal olarak tersinir şekilde elektrik enerjisine dönüştürür. Bir veya birden fazla elektrokimyasal hücrenin seri veya paralel bağlı birimlerinden oluşan bataryalar istenen gerilim ve kapasiteye ulaşabilir [11].

Piller, yük transferi için ortam sağlayan bir elektrolit içinde bulunan negatif ve pozitif elektrotlar, bunları ayıran seperatör ve akım toplayıcılardan oluşur [12]. Negatif kutupta (anotta) yükseltgenen aktif madde dış devreye elektron verirken, pozitif kutupta (katotta) indirgenen aktif malzeme dış devreden elektron alır. Şekil 2.1'deki temel Daniel pil şemasında gösterildiği gibi, elektron akış yönleri ve elektrot işaretleri; hem elektrik enerjisi oluşumu (deşarj) hem de elektrik enerjisinin depolanması (şarj) için birinden diğerine geçişte değişir. Şarj-deşarj sırasında ortadaki seperatör veya membrandan geçiş yapan iyonlar ise elektrolitik iletkenliği ve elektrolit fazındaki nötraliteyi sağlar [13].





Şekil 2.1. Daniel pili çalışma ilkeleri [13]

Doldurulabilir (ikincil) piller; standart piller (kurşun-asit, nikel-kadmiyum), modern piller (nikel metal hidrür, lityum-iyon, lityum polimer), özel piller (gümüş-çinko, nikel-hidrojen), akış bataryaları (bromür-çinko, vanadyum redoks) ve yüksek sıcaklık pilleri (sodyum sülfür, sodyum metal klorür) olarak sınıflandırılabilir [14, 15]. Yaygın olarak kullanılan şarj edilebilir pil sistemlerinin özellikleri ve ortalama performansları Çizelge 2.1’de karşılaştırılmıştır. Bu tez kapsamında da yer alan Li-iyon piller, enerji yoğunluğunun diğer bütün pillere göre daha yüksek olması nedeniyle, daha önce birçok uygulamada kullanılan kurşun ve nikel bazlı pillerin yerine geçmiştir. Li-iyon diğer pillerin çoğundan daha pahalı olmasına rağmen, yüksek döngü sayısı ve düşük bakım gereksinimi göz önünde bulundurulduğunda diğer doldurulabilir pillere göre döngü başına maliyeti düşüktür. Bunun yanında güvenlik endişeleri nedeniyle, Li-iyon piller bir koruma devresine ihtiyaç duymaktadır.

Çizelge 2.1. Yaygın olarak kullanılan doldurulabilir pillerin karşılaştırılması [16]

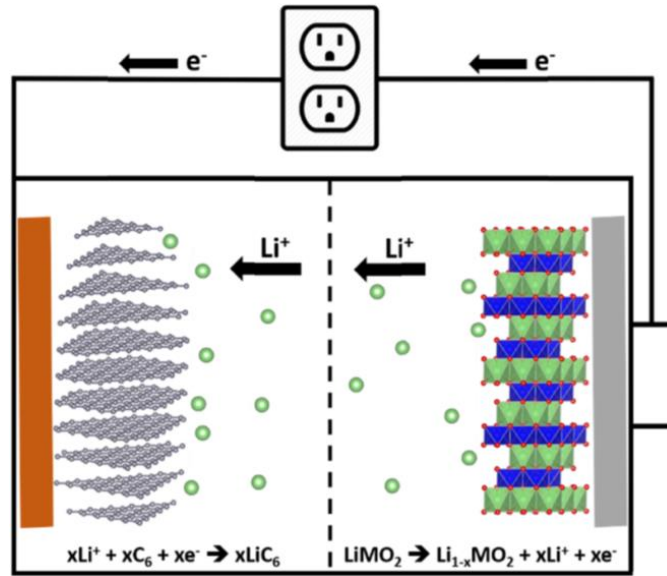
Özellikler	Kurşun- asit	Nikel- kadmium	Nikel- MH	Li-iyon piller <sup>1</sup>		
				LiCoO <sub>2</sub>	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	LiFePO <sub>4</sub>
<b>Spesifik enerji (Wh/kg)</b>	<b>30-50</b>	<b>45-80</b>	<b>60</b>	<b>150-250</b>	<b>100-150</b>	<b>90-120</b>
<b>İç direnç</b>	Çok düşük	Çok düşük	Çok düşük	Orta	Düşük	Çok düşük
<b>Döngü Ömrü<sup>1</sup> (%80 DoD )</b>	200-300	1000	300-500	500-1000	500-1000	1000-2000
<b>Şarj Süresi</b>	8-16 saat	1-2 saat	2-4 saat	2-4 saat	1-2 saat	1-2 saat
<b>Aşırı Şarj toleransı</b>	Yüksek	Orta	Düşük	Şarj	yönetimi ve cihazı	olmadan Düşük
<b>Self-deşarj/ay (oda sıcaklığı)</b>	% 5	% 20	% 30	< % 5	< % 5	< % 5
<b>Hücre gerilimi</b>	2.0 V	1.2 V	1.2 V	3.6 V	3.7 V	3.2 V
<b>Şarj kesme gerilimi(V/ hücre)</b>	2.40 V	Gerilim kontrolü ile	Tam şarj kontrolü	4.20 V	4.20 V	3.60 V
<b>Deşarj kesme gerilimi (V/hücre)</b>	1.75 V	1.00 V	1.00 V	2.5 -3.0 V	2.5- 3.0 V	2.50 V
<b>Pik Yük akımı</b>	5 C	20 C	5 C	2 C	>30 C	>30 C
<b>En iyi sonuçlar</b>	0.2 C	1 C	0.5 C	< 1C	>10 C	<10 C
<b>Şarj Sıcaklığı</b>	-20-50 °C	0-45 °C	0-45 °C	0-45 °C	0-45 °C	0-45 °C
<b>Deşarj Sıcaklığı</b>	-20-50 °C	-20-65 °C	-20-65 °C	-20-60 °C	-20-60 °C	-20-60 °C
<b>Bakım gereksinimi</b>	3-6 ayda bir tam şarj gerekli	Her 3 ayda bir tam deşarj gerekli	Her 3 ayda bir tam deşarj gerekli	Bakım gerektirmez	Bakım gerektirmez	Bakım gerektirmez
<b>Güvenlik Gereksinimi</b>	Termal olarak kararlı	Sigorta koruması ile kararlı	Sigorta koruması ile kararlı	Koruma devresi zorunlu <sup>2</sup>	Koruma devresi zorunlu <sup>2</sup>	Koruma devresi zorunlu <sup>2</sup>
<b>Kullanım ortaya çıkış tarihi</b>	1860	1950	1990	1991	1996	1999
<b>Toksik etkisi</b>	Çok yüksek	Çok yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
<b>Kulombik verim (%)</b>	% 90	% 70- 90	% 70-90	% 99	% 99	% 99
<b>Fiyatlar</b>	Düşük	Orta	Orta	Yüksek <sup>3</sup>	Yüksek <sup>3</sup>	Yüksek <sup>3</sup>

<sup>1</sup>: Döngü ömrü deşarj derinliğine (DoD) bağlı olarak değişir.

<sup>2</sup>: Li-iyon pillerin çoğu için; 2.20 V'un altında deşarjın ve 4.30 V'un üstünde şarjın kesilmesi için koruyucu devre gerektirir.

<sup>3</sup>: Li-iyon pillerin şarj deşarj döngü sayısı başına maliyeti daha düşüktür.

Ticari bir Li-iyon pil, deşarj edilmiş şekilde üretilir (Şekil 2.2). Pilin şarjı esnasında katottan koparılan elektronlar anoda doğru taşınır. Katottan çıkan  $\text{Li}^+$  iyonları ise yük dengesini sağlamak için anoda doğru göç eder. Bu şekilde şarj sırasında  $\text{Li}^+$  iyonları grafit tabakaları arasına yerleşir ve lityum metalik atomları ile katkılanmış lityumlanmış grafit;  $\text{LiC}_6$  oluşur. Bu esnada  $\text{Li}^+$  iyonlarının bir kısmı, katı elektrolit ara yüzeyi (İng. Solid Electrode Interface, SEI) tarafından harcanır, anotta oluşan  $\text{LiC}_6$  yapısının elektrokimyasal potansiyeli artar ve anot tarafında şarj gerçekleşir. Li-iyon pilinin deşarjı sırasında; yukarıdaki olayların tersi gerçekleşir: anotta oluşan  $\text{LiC}_6$  yüseltgenerek  $\text{Li}^+$  iyonlarının çıkışı gerçekleşir, katotta ise  $\text{Li}^+$  iyonlarının girişi ile lityum açısından zengin, tabakalı metal oksit yapılarına ( $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) dönüşür.



Şekil 2.2. Lityum-iyon pilin şeması<sup>1</sup> [17]

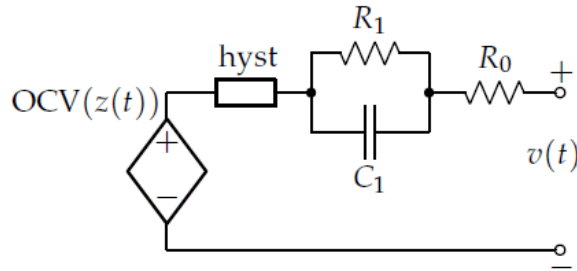
<sup>1</sup>: Bir bakır akım toplayıcı ile grafit anoda ( $\text{LiC}_6$ ) karşı bir alüminyum akım toplayıcı ile katmanlı bir geçiş metal oksit ( $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) yapısında katottan oluşan Li-iyon pilin şeması. Elektrolit olarak lityum iletken tuzları ( $\text{LiBF}_4$ ,  $\text{LiPF}_6$ ) içeren bir organik-sıvı (Etilen veya Propilen karbonat, Dimetil karbonat vb.) çözücü olarak kullanılır. Kesikli çizgi seperatörü temsil eder, yarı reaksiyonlar şarj durumuna aittir.

### 2.1.2. Pil eşdeğer devre modeli

Eşdeğer devre modelleri, elektrik devresini analogdan hücre davranışına göre temsil ederek Li-iyon pillerinin çalışmasını modeller. Devre-elemanları parametrelerini optimize etmek için hücre testlerinden elde edilen veriler kullanılarak akım ve gerilim paternleri gerçek hücre verileriyle uyumlandırılır. Eşdeğer devre modelleri deneysel veri ile oluşturulduğundan, elde edilen verilerden interpolasyon yapıldığında iyi performansta

kestirim elde edilir. Buna karşın; eşdeğer devre modellerinin ekstrapolasyon performansı yetersizdir. Hücrenin, test senaryosundan çok farklı işletildiği durumlarda, eşdeğer devre modellerinin kestirimi güvenilir değildir. Elektronik devre modelleri, pil hücresinin elektrokimyasal durumunu kestirememekle birlikte; giriş/çıkış gerilimi ve akımlarının hızlı ve güvenilir simulasyonunu sağlar.

Li-iyon hücre giriş/çıkış gerilim ve akımları, bir gerilim kaynağı, direnç ve kapasitörden oluşan eşdeğer devre ile uygun bir şekilde kestirilebilir. Şekil 2.3'te bu amaçla kullanılan pekiştirilmiş, kendinden düzeltmeli (ESC) eşdeğer devre modeli gösterilmiştir. Bu modele göre, bağımlı gerilim kaynağı şarj durumu (İng. State of charge, SOC) bağımlı açık devre gerilimi iken; 'hyst' doğrusal olmayan histerez elementi ve  $R_0$  hücrenin ohmik direnci; model parametreleri ise  $R_0, R_1$  ve  $C_1$  sabitleridir. Modelleme yapılırken, sistem teşhisi kapsamında model kestirimlerinin birbiri ile uyuşması için  $R_0, R_1, C_1$  değerleri optimizasyon prosedürü ile belirlenir. Optimize edilmiş model parametreleri şarj durumu ve sıcaklığın fonksiyonudur [18].



Şekil 2.3. Pekiştirilmiş kendinden düzeltmeli eşdeğer devre modeli [18]

Şekil 2.3'teki eşdeğer devre modeline göre şarj durumu ayrık zaman indeksi  $k$ ,  $z_k$  olmak üzere:

$$z_{k+1} = \frac{z_k - n_k i_k \Delta t}{Q}$$

$n_k$ ,  $k$  zamanındaki kolombik verim iken;  $i_k$ ,  $k$  zamanındaki giriş akımıdır.  $\Delta t$  örneklem periyodu iken;  $Q$  toplam hücre kapasitesidir.

$R_1$ 'den  $k$  ayrık zaman indeksinde resistör-kapasitör ağından geçen akım  $i_{R_1,k}$  olmak üzere; difüzyon direnç akımı şöyledir:

$$i_{R_1,k+1} = \exp\left(\frac{-\Delta t}{R_1 C_1}\right) i_{R_1,k} + \left(1 - \exp\left(\frac{-\Delta t}{R_1 C_1}\right)\right) i_k$$

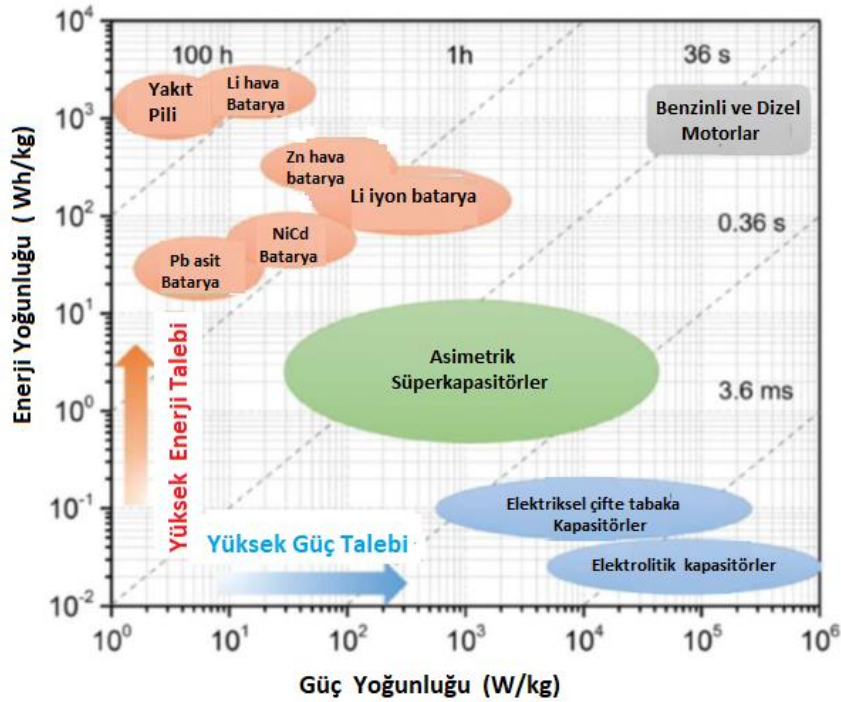
Ayrık zaman indeksi  $k$  iken; histerez gerilimi  $h_k$  aşağıdaki gibidir:

$$h_{k+1} = \exp\left(-\left|\frac{n_k i_k \gamma \Delta t}{Q}\right|\right) h_k + \left(\exp\left(-\left|\frac{n_k i_k \gamma \Delta t}{Q}\right|\right) - 1\right) \text{sgn}(i_k)$$

Yukarıdaki denkleme göre, birimsiz bir sabit olan  $\gamma$  hücre şarj durumunun değişmesiyle histerezin ne hızda değişeceğini belirler. Eşdeğer devre modelleri ve fizik bazlı modeller SOC ve sağlık durumu (İng. State of health, SOH) kestiriminde kullanılan ana yöntemlerdendir [18].

### 2.1.3. Süperkapasitörler

İki elektrotun farklı olduğu asimetric süperkapasitörler Şekil 2.4'te görüldüğü gibi enerji yoğunluğu ve güç yoğunluğu açısından, bataryalar ile alışılmış elektrolitik kapasitörler arasında önemli bir boşluğu doldururlar [17, 19, 20]. Süperkapasitörler, yüksek güç gerektiren uygulamalar için en uygun elektrik enerjisi depolama cihazlardır. Bataryalara göre çok daha yüksek güç sağlarlar, düşük çalışma gerilimine rağmen daha yüksek enerji kapasitesi nedeniyle geleneksel dielektrik kapasitörlerden daha büyük enerji yoğunluklarına sahiptirler [21].



Şekil 2.4. Farklı elektrik enerjisi depolama teknolojileri için güce karşı enerji performanslarını gösteren Ragone çizimi<sup>1</sup> [17, 22]

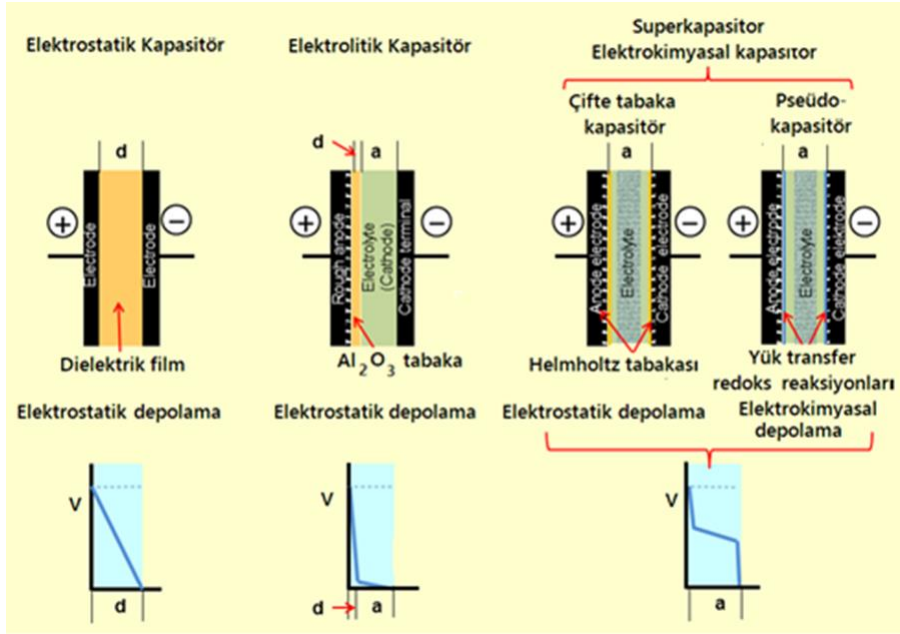
<sup>1</sup>: Bu çizimde gösterilen zamanlar, enerji yoğunluğunun güç yoğunluğuna bölünmesiyle elde edilen deşarj süresidir.

Yüksek performanslı süperkapasitörler; hem kısa ve yoğun güç patlamaları talep eden askeri sistemler için hem de daha az güç kaynağı gerektiren bilgisayar bellek yedekleme sistemleri için geliştirilmiştir. Askeri araçlarda kullanılan pillerin ömrünü uzatmak için tampon işlevi gören süperkapasitörler aynı zamanda düşük sıcaklıklarda da kullanılabileceğinden dizel motorun soğukken çalıştırılmasında gerekli olan akımı sağlayabilmektedir [23]. Ayrıca şarj imkanının olmadığı ve şarj için yeterli sürenin bulunmadığı durumlarda ihtiyacı karşılayabilen en uygun enerji depolama aygıtıdır.

Süperkapasitörler piller ve bataryalarla karşılaştırıldığında, çok hızlı şarj ve deşarj edilebilirler ve şarj deşarj süreleri 0.1 saniye ile 1-2 dakika arasında değişebilir. Örneğin elektrikli araçlarda; batarya sistemine paralel olarak süperkapasitörlerin birlikte kullanımı ile ani hızlanmalar için yüksek güç darbeleri sağlarken boşalır, rejeneratif frenleme sırasında önce süperkapasitörler çok hızlı bir şekilde dolar. Hemen sonrasında ise yeniden çok hızlı şarj edilebilir. Bu özellikleri nedeniyle yokuş destek sistemlerinde, ani hızlanma ve frenlemede yardımcı enerji kaynağı, diğer bir adıyla ikincil enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedir [20, 24].

Kapasitör çeşitlerinden biri olan elektrostatik kapasitörler basit olarak iki iletken tabaka (metal film) ile arasına yerleştirilmiş yalıtkan bir dielektrik tabakadan oluşur (Şekil 2.5). Elektrolitik kapasitörlerde ise iletken metal tabakalar arasına dielektrik malzeme ( $Al_2O_3$ ) ile birlikte uygun bir elektrolit bulunur. Elektrostatik ve elektrolitik kapasitörlerin şarj-deşarj süreleri milisaniye mertebesinde iken döngü sayıları ve ömürleri milyonlara ulaşabilir. Bununla birlikte elektrolitik ve elektrostatik kapasitörlerde, piller ve asimetric süperkapasitörlerin aksine enerji yoğunlukları çok düşük, güç yoğunları ise çok yüksektir (Şekil 2.4). Bu tez çalışmasının ilgi alanında bulunan süperkapasitörler iki sınıfa ayrılır. Çifte tabaka kapasitörü olan birincisinde; elektron transferi (redoks) yoktur ve kapasitans sadece her iki taraftaki çifte tabakada oluşan elektron ve iyon ayrımı nedeni ile ortaya çıkar. Bu tip süperkapasitörlerde yüksek yüzey alanına sahip ( $2500 \text{ m}^2/\text{g}$ ) aktif karbon malzemeler kullanılır. İkinci tür süperkapasitörler ise pseudo süperkapasitör olarak adlandırılır ve pillerde olduğu gibi elektrotlar arasında redoks tepkimelerine girerek faradaik akım çeken ince tabaka halinde aktif malzeme bulunur. Bu yüzden bu tür elektrokimyasal süperkapasitörlerin enerji yoğunlukları diğer kapasitörlerden çok daha yüksektir ve pillere yaklaşabilirler (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5). Daha fazla enerji ve güç depolama yoğunluğuna ulaşmak için süperkapasitörlerdeki elektrolit ideal olarak yüksek şarj kesilme gerilimi, düşük elektrik direncine sahip olmalıdır. Düşük dirençli sulu

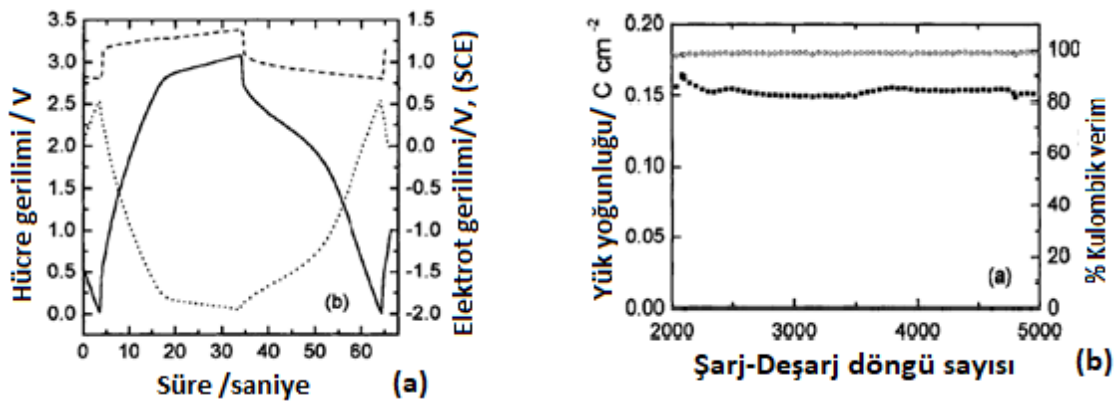
elektrolitler, yüksek güce sahip süperkapasitörlerin yapımına imkan verir ancak enerji depolaması yaklaşık 1 V'luk bir bozunma gerilimi nedeni ile sınırlıdır. Organik elektrolitlerin kullanımı ile 3 V üzerinde çalışma gerilimlerine olanak sağlar fakat bunların bağıl olarak yüksek dirençleri de güç yoğunluğunu sınırlar.



Şekil 2.5. Kapasitör ve Süperkapasitörlerin şematik gösterimi, yük transfer ve elektrik enerjisi depolama temelleri [23]

Elektrokimyasal süperkapasitörler hem simetrik hem asimetrik yapıda üretilebilmektedir. Asimetrik süperkapasitörlerin bir tarafı aktif karbondan oluşan elektrostatik depolama temeli ile çalışırken diğer tarafı faradaik depolama yapan pseudo kapasitansa sahip olabilir. Her iki sınıf redoks süperkapasitörleri için metal oksitler ve iletken polimerler veya bunların karışımından oluşan kompozitler elektrot malzemeleri olarak araştırılmakta ve başarılı bir biçimde kullanılmaktadır [25-28]. Süperkapasitör yapımında kullanılan metal oksit malzemeler arasında rutenyum, kobalt, nikel, kurşun vanadyum, titanyum ve molibden oksitler sayılabilir [29, 30]. Hızlı kinetiği nedeniyle iletken polimerler umut veren malzemelerdendir ve süperkapasitör elektrodunda aktif malzeme olarak kullanılabilir. Bu tip süperkapasitörlerin şarj-deşarj süreci, genellikle çok hızlıdır (30-40 saniye) ve elektrik yükü malzemenin bütün hacmi boyunca üç boyutlu olarak depolanır; ve genellikle  $MnO_2$ ,  $CoO_2$  ve  $V_2O_5$  vb. metal oksitlerin veya rutenyum oksit-aktif karbon kompozitleriyle elde edilenlere göre önemli ölçüde daha düşük bir maliyetle üretilebilirler [31]. Sentetik metal olarak da isimlendirilen; polipirol, politiyofen ve polianilin gibi organik iletken polimerler konjuge  $\pi$  elektronlarına sahiptir

ve katkılama (doping) işlemi ile daha da iletken hale gelirler. Sadece iletken polimerler ve bunların nano-metal oksit içeren kompozitleri süperkapasitör uygulamaları için başarıyla kullanılmaktadır [26-28, 32, 33]. Elektrot malzemesi olarak iletken polimer bazlı simetrik süperkapasitör cihazı oluşturulduğunda tekrarlanan şarj-deşarj döngülerinde iyi bir döngü performansı gösterir [31]. İletken polimer, karbon ve bağlayıcı kullanılarak hazırlanan kompozit elektrotlara sahip simetrik bir süperkapasitör için elde edilen şarj -deşarj eğrileri Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Buna göre  $5 \text{ mA cm}^{-2}$  akım yoğunluğunda 2000-5000 döngü arasında yaklaşık 3.1 V'luk süperkapasitör hücre geriliminde kulombik verim %100'ler seviyesinde kalırken yük yoğunluğu  $0.15 \text{ C cm}^{-2}$  civarında değişmeden kalmaktadır.



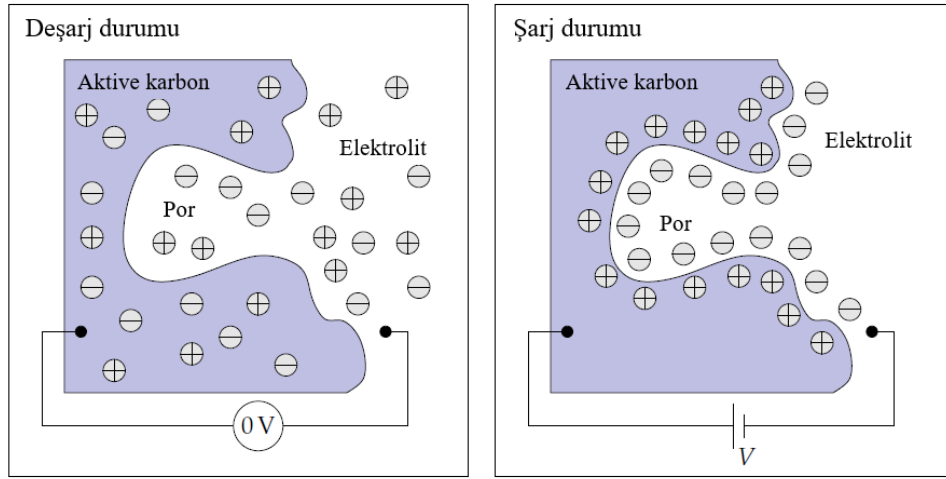
Şekil 2.6. Poli(3-metiltiyofen) iletken polimeri ve karbon-bağlayıcı içeren kompozit elektrotlardan oluşturulan simetrik süperkapasitörün (a) şarj-deşarj eğrileri:, pozitif elektrot (----) negatif elektrot (.....) ve toplam hücre gerilimi ( — ), b) 2000-5000 döngü arasında elde edilen akım yoğunluğu (o) ve kolombik verimdeki (o) değişim [31]

#### 2.1.4. Süperkapasitör Şarj Modeli

Güç yoğunluğu Li-iyon pillerin en az 10 katı; enerji yoğunluğu ise Li-iyon pillere göre çok daha az olan süperkapasitörler; özellikle uzun ömür, yüksek güç ve düşük enerji gerektiren uygulamalarda avantaj sağlar. Li-iyon piller ve süperkapasitörlerin elektrotlarındaki aktif maddelerin farklı olmasına karşın; süperkapasitörler yapısal olarak Li-iyon pillere oldukça benzer, negatif ve pozitif elektrotlar, akım toplayıcıları ve separatörden oluşur. Süperkapasitör elektrotları küçük aktif partiküller ve partiküller arasındaki boşlukları dolduran elektrolit çözeltisinden oluşmaktadır. Li-iyon piller ve süperkapasitörler arasındaki yapısal benzerlik nedeniyle, Li-iyon pillerin modellenmesinde kullanılan yöntemler geliştirilip süperkapasitörlere uyarlanabilir.



Süperkapasitörler genel olarak enerjiyi iki temel mekanizma ile depolayabilir. Faradaik olmayan mekanizmaya göre şarj, katı partiküller ve elektrolitin temas halinde olduğu yüzeyde, elektrostatik olarak depolar. Bu mekanizmada katı partiküllerin yüzeyinde herhangi bir kimyasal reaksiyon oluşmaz; pozitif veya negatif yüklenen katı partiküllerin yüzeyinde karşıt yüklü elektrolit tabaka, çifte tabaka, oluşur. Bu tabakada karşıt yüklerin arası genellikle 1 nm'den az olduğundan ve gözenekli elektrot sayesinde çok büyük yüzey alanı elde edildiğinden, geleneksel kapasitörlere kıyasla çok daha yüksek kapasitans değerlerine ulaşmak mümkündür. Şekil 2.7'de faradaik olmayan mekanizma ile elektrostatik şarj depolanması şematik olarak gösterilmiştir. İkinci mekanizma olan faradaik mekanizma, şarjı elektrostatik olarak depolamak yerine elektrokimyasal olarak depoladığından, psödokapasitans olarak da adlandırılır. Faradaik mekanizmada şarj, elektrokimyasal pil hücreesindeki redoks reaksiyonu veya Li-iyon pilindeki interkalasyon ile gerçekleşen elektron yük transferi aracılığıyla elektrokimyasal olarak depolanır. Faradaik süperkapasitörlerin şarj depolama kapasitesi çok daha büyük olsa da güç ve kapasitör ömrü faradaik olmayan mekanizmaya göre daha düşüktür. Bunun yanında, faradaik ve faradaik olmayan elektrotlardan oluşan hibrit kapasitör uygulamaları da bulunmaktadır [34].



Şekil 2.7. Faradaik olmayan mekanizma ile çifte tabakada elektrostatik şarj depolanması [34]

Sürekli modelde amaç süperkapasitörlerin iç ve dış davranışlarını modelleyen denklemleri tanımlamaktır. Li-iyon pillerinden farklı olarak, süperkapasitör modelleri elektrolitteki yük taşıyıcıların konsantrasyonunun sabit olduğunu varsaydığından; elektrolit konsantrasyonundaki dalgalanmanın modellenmesine gerek duyulmamıştır.

Ayrıca interkalasyon da göz önünde bulundurulmadığında katı derişimlerinin modellenmesine de gerek yoktur. Yüzeye doğru harekete geçen faradaik akım yoğunluğu,  $i_f$  ve yüzey tabakasında depolanan faradaik yük,  $Q_f$  ve elektrodun faradaik şarj durumu,  $\theta_f$  olmak üzere faradaik süreç aşağıdaki gibidir. Burada,  $Q_{f,\%0}$  tamamen deşarj olmuş elektrodun faradaik yükü iken;  $Q_{f,\%100}$  tamamen şarj olmuş elektrodun faradaik yüküdür.

$$\theta_f = \frac{Q_f - Q_{f,\%0}}{Q_{f,\%100} - Q_{f,\%0}}$$

Buna göre, faradaik yük yoğunluğu,  $i_f$  iken; yük aşağıdaki denkleme göre değişkenlik göstermektedir.

$$\frac{\partial Q_f}{\partial t} = a_s i_f$$

Faradaik yük yoğunluğu,  $i_f$  kinetiği Butler-Volmer denklemine göre modellenabilir. Aşağıdaki modele göre  $U_f(Q_f)$  şarj durumuna bağlı kalan gerilimi temsil eder [34].

$$i_f = i_0 \left[ \exp \left( \frac{(1-\alpha)F}{RT} (\phi_{s-e} - U_f(Q_f)) \right) - \exp \left( -\frac{\alpha F}{RT} (\phi_{s-e} - U_f(Q_f)) \right) \right]$$

## 2.2. Batarya Yönetim Sistemleri

BMS'nin başlıca amacı güvenli olmayan işletim koşullarını saptayıp bunlara cevap vererek kullanıcılarının güvenliğini sağlamaktır. Bunu, batarya paketi ile bağlantıyı kesip batarya paketini izole ederek ve kullanıcıya uyarı göndererek sağlar. BMS aynı zamanda arıza veya suistimal durumunda yazılım kontrolü ve bu amaçla üretilen elektronikler aracılığıyla arızayı belirleyip etkilenmiş komponentleri batarya paketinin geri kalanından izole ederek batarya paketinin diğer hücrelerini korur. Kullanıcı ve pil hücrelerini korumanın yanında BMS normal işletim koşullarında batarya paketinin aşırı şarj ve deşarj olmasını engelleyerek pilin ömrünü uzatır ve batarya paketinin fonksiyonel tasarım gereksinimlerini karşılayabilmesini sağlar [35].

### 2.2.1. Batarya Paketi Topolojisi

Güç, akım ve gerilim ile doğru orantılı olduğundan, yüksek güçlü ( $p$ ) pil paketleri yüksek akımlı ( $i$ ), yüksek gerilimli ( $v$ ) veya hem yüksek akımlı hem de yüksek gerilimli olmalıdır.

$$p = iv$$

Tek bir pil hücrenin gerilimi kimyasal olarak kendi içerisinde düzenlenmektedir. Bu pil hücrelerinden yüksek gerilimli paketler elde edebilmek, hücrelerin seri bağlanmasıyla mümkündür. Sonuçta batarya paketi gerilimi hücre sayısı ( $N_h$ ) ile hücre geriliminin çarpımıdır.

$$v_{paket} = N_h \times v_{hücre}$$

Pil hücre yapısı gereği hücrenin sağlayabileceği maksimum akım sınırlı olduğundan yüksek akımlı pil paketleri için hücrelerin paralel bağlanması gerekir.  $N_h$  hücre paralel bağlandığında akım aşağıdaki gibidir:

$$i_{paket} = N_h \times i_{hücre}$$

Batarya paketinde maksimum güce ulaşabilmek için paralel ve seri bağlı hücre sayısının optimizasyonu ekonomi ve güvenlik faktörlerine bağlıdır. Uygun güvenlik ve güç dengesini yakalayabilmek için pil paketleri genellikle modüler olarak tasarlanır. Her modül küçük sayıdaki hücrelerin birleşiminden oluşurken; modüller paralel ve seri bağlanarak batarya paketi gereksinimlere göre tasarlanır. Güvenliği sağlamak için her modüldeki gerilim genellikle 50V'un altında tutulurken; maliyetin fazla olmasından dolayı batarya paketi gerilimi 600V'un altında tutulabilir. Batarya paketi tasarımında güç gereksinimini sağlamak için genellikle belirtilen gerilim aralığında yüksek gerilim, yüksek akıma tercih edilir. Bunun sebebi pil hücresi içindeki bağlantılar ve yükteki direnç kaynaklı güç kaybını en düşük seviyede tutmaktır [35].

### 2.2.2. Batarya Yönetim Sisteminde Tasarım Gereksinimleri

BMS, pil hücresi yığını, algılama elektroniği, kontrol elektroniği ve ısı yönetim sistemi gibi ana batarya paketi bileşenleri ile birbirine bağlıdır (Şekil 2.8). Elektronik birimler tek monolitik şekilde dizayn edilebileceği gibi farklı fonksiyonları olan ayrı elementler şeklinde dizayn edilip batarya paketi içerisinde farklı bölgelerde konumlandırılabilir. Elektronik topolojisi ve uygulama alanından bağımsız olarak BMS'nin beş temel fonksiyonel gereksinimi vardır [35].

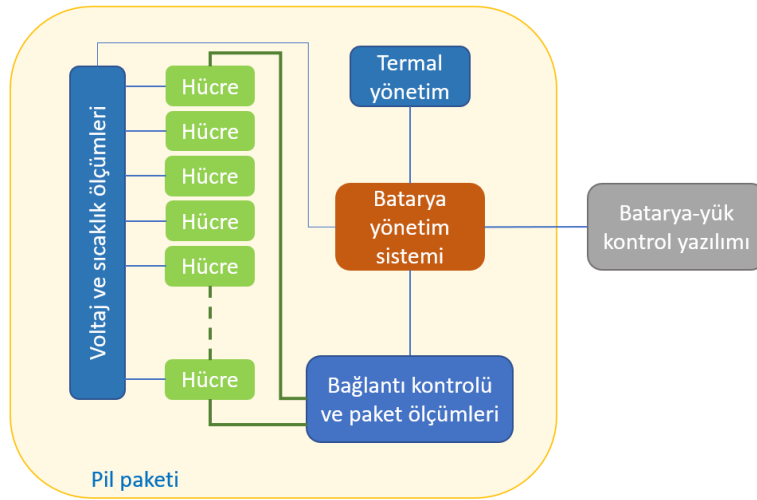
**Algılama ve kontrol:** Hücrelerin gerilim, sıcaklık ve akım değerlerini ölçmelidir. İzolasyon ve bağlantı hatalarını tespit etmeli ve kontrol yazılımına geri besleme sağlamalıdır.

**Koruma:** Bataryanın çalışması esnasında aşırı şarj veya aşırı deşarj, yüksek akım, yüksek sıcaklık ve kısa devre durumunu algılayıp sistemi korumaya almalıdır. Bu koruma durumunu elektronik komponentler veya mantık kapıları ile yapmak gerekebilir.

**Arayüz:** Batarya hücre değerleri algılama, kontrol ve koruma görevleri için bir yazılım veya arayüz gereklidir. Arayüz, pil paketlerinin güç, enerji ve paket durumunu göstermeli, olağandışı hata veya kötüye kullanımı kaydetmeli ve dışardan isteğe bağlı olarak pil paketlerini kontrol etmelidir.

**Performans yönetimi:** Tüm hücrelerin şarj durumu tespit edilmelidir. Buna göre bataryanın kullanılabilir enerji ve güç sınırları hesaplanabilir. Pil paketi içinde farklı şarj durumları varsa paketteki hücreler dengelenebilir.

**Sağlık Durumu:** Pil paketlerinin sağlık durumunu ve kötüye kullanımını tespit etmek gerekebilir. Bu tespit sonucu pil paketlerinin ömür durumu (İng. State of life, SOL) tahmin edilebilir.



Şekil 2.8. Batarya paketi içinde batarya yönetim sistemi örneği [35]

### 2.2.2.1. Algılama ve Kontrol

BMS'nin hücre gerilimlerini, sıcaklığını ve batarya paketi akımını ölçmesi; izolasyon hatalarını saptaması ve kontrol etmesi gerekir.

Batarya paketindeki her bir hücrenin gerilim ölçümü yapılmalıdır. Terminal hücre gerilimi, batarya paketindeki hücrelerin rölatif hücre dengesinin bir göstergesidir ve çoğu SOC ve SOH kestirim algoritmaları için önemli bir girdidir. Hücre geriliminin kabul edilen

sınırların dışında olması bazı güvenlik ve pil ömrü sorunlarını gösterebilir. Örneğin Li-iyon pillerin aşırı şarj edilmesi hücrenin ömrünü kısaltan bir dizi yan kimyasal reaksiyonu tetiklerken; pilin aşırı deşarjı ise kısa devreye sebep olur. Aşırı şarj ve deşarjın uç örneklerinde, yan reaksiyonlar ısı kaçağına neden olurken kısa devre de arıza mekanizmalarını tetikler ve pilin yanmasına veya patlamasına neden olur. Gerilim ölçümü için kullanılan entegre devreler yüksek sıcaklıkta, yüksek titreşimde ve elektromanyetik alanda bile analog gerilimini yüksek kesinlikle ve hızlı bir şekilde ölçebilir. BMS sisteminde gerilim takibi için entegre devre seçiminde entegre devrenin kaç hücreyi takip edebileceği, aktif veya pasif dengelemeyi destekleyip desteklemediği, ölçüm çözünürlüğü ve kesinliği gibi faktörler göz önünde bulundurulur [35].

Pil hücrelerinin performansını optimize edebilmek ve pil hücrelerini güvenli sıcaklık aralığında tutabilmek için sıcaklık takibi yapılmalıdır. Sensör maliyetinden dolayı, her bir hücreye sıcaklık sensörü yerleştirilmesinden, her modülden bir veya birkaç hücreye harici sıcaklık sensörü yerleştirilir ve bütün pillerin iç sıcaklığı kestirilir. Sıcaklık gibi fiziksel bir özelliğin elektronik olarak ölçümü için sıcaklığın gerilim sinyali olarak ölçümünü takiben gerilimin analog-dijital dönüştürücü devresi ile ölçülmesi gerekir.

Termoelektrik çifti ve termistör, sıcaklık takibi için kullanılan ana yöntemlerdir. Termoelektrik çifti, iki farklı metalin temas halinde olarak küçük bir pil gibi davrandığı yapıdır. Termoelektrik çiftinin sıcaklığı, referans sıcaklığından farklı olduğunda, sıcaklık farkının büyüklüğüyle orantılı olarak gerilim üretir ve bu gerilimin yükseltilmesiyle sıcaklık ölçümü gerçekleşir. Termoelektrik çiftinin dezavantajı referans sıcaklığın bağımsız olarak ölçülmesi veya bilinmesi gereksinimidir. Bu nedenle termoelektrik çifti laboratuvar testleri için uygunken; ticari BMS sistemlerinde termistör tercih edilir. Termistör sıcaklık farkını maksimize edip bundan yararlanmak üzere tasarlanmıştır. Pozitif sıcaklık katsayılı termistörlerin direnci sıcaklıkla doğru orantılı iken; negatif sıcaklık katsayılı termistörlerin direnci sıcaklık ile ters orantılıdır. Termistör direncinin ( $R_{termistör}$ ) gerilim bölücü devre ile ölçülmesiyle sıcaklık kestirilebilir (Şekil 2.9). Bu durumda toplam akım aşağıdaki gibidir:

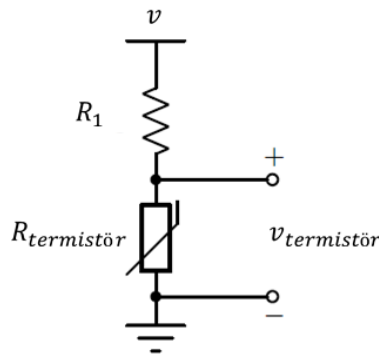
$$i = \frac{v}{R_1 + R_{termistör}}$$

Termistör gerilimi ise aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$v_{termistör} = \frac{R_{termistör}}{R_1 + R_{termistör}} v$$

Devre tasarım parametreleri bilindiğinde ve  $v_{termistör}$  ölçüldüğünde  $R_{termistör}$  verisi ile sıcaklık kestirilir.  $T$ : ölçülen sıcaklık,  $T_0$ : referans sıcaklığı,  $R_0$ :  $T_0$ 'daki nominal direnç ve  $\beta$ : cihaz parametresidir.

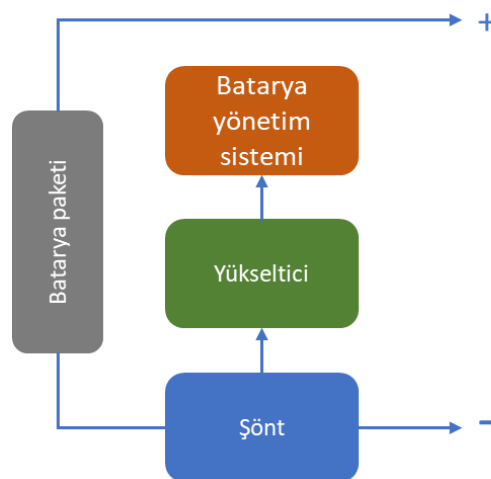
$$R_{termistör} = R_0 \exp \left( \beta \left( \frac{1}{273.15 + T} - \frac{1}{273.15 + T_0} \right) \right)$$



Şekil 2.9. Gerilim bölücü devre [35]

Batarya paketi akımı çoğu SOC ve SOH kestirimleri için önemli bir girdi olmakla beraber; güvenlik amacıyla da ölçülmelidir. Akımı ölçmek için kullanılan iki temel elektronik eleman akım şöntü ve hall-etkisi sensörüdür. Akım şöntü, düşük değerli ve yüksek kesinlikli dirençtir. Şönt direnci boyunca akım farkı standart analog-dijital dönüştürücü kullanılarak ölçülür ve akım hesaplanır (Şekil 2.10).

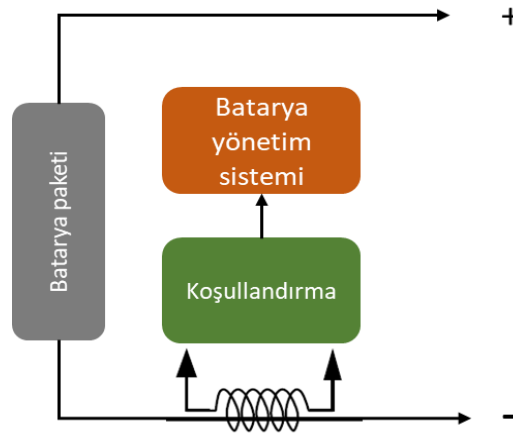
$$i = \frac{v_{şönt}}{R_{şönt}}$$



Şekil 2.10. Akım şöntü ile akımın algılanması [35]

Isıyla enerji kaybından kaçınmak için şönt direncinin düşük olması gerektiğinden şönt boyunca gerilim kaybı da az olacaktır. Bu nedenle gerilim ölçümünden önce yükseltilir ve akım hesabı da buna göre düzeltilir. Akım şöntü akım sıfırken sapması olmadığından hall-etkisi sensörüne göre avantajlıdır. Akım şöntünün bu özelliği akımın batarya paketinin içine ve dışına entegrasyonu ile SOC kestirimini güncellerken önem kazanmaktadır. Akım şöntünün dezavantajı, BMS ana devresinden izole olması gereğinden dolayı BMS tasarımını kompleks hale getirmesidir.

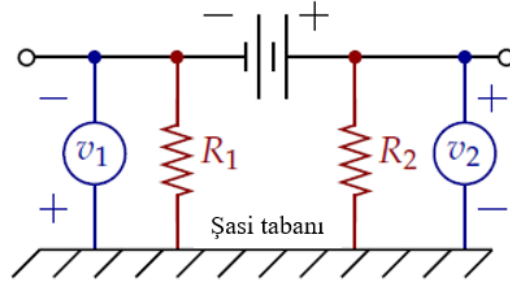
Ana akımı taşıyan bobine sarılı iletken elektromanyetik alan oluşturarak ikincil akımı oluşturur. Hall-etkisi sensörü bu ikincil akımı ölçerek ana akımı kestirir (Şekil 2.11). Yüksek gerilimli pilden yapısal olarak tamamen izole olan hall-etkisi sensörü ek bir izolasyon devre sistemi gerektirmemesi açısından avantajlıdır. Ancak hall-etkisi sensörü elektromanyetik prensiplerine göre çalıştığından manyetik histerez gibi bir dezavantajı vardır. Manyetik histerezin önlenmesi için geri-bildirim sinyal işleme devre sistemleri kullanılabilir. Beraber; hall-etkisi sensörlerinde akımın sıfır olduğu koşulda zaman ve sıcaklık ile değişkenlik gösteren ölçüm sapması görülebilir.



Şekil 2.11. Hall etkisi sensörü ile akımın algılanması [35]

Pil paketleri, güvenlik sebebiyle ana gövdeden tamamen izole tasarlanır. Yine güvenliği sağlamak için, pil kullanım dışındayken internal yüksek gerilim batarya paketinin dış uçlarıyla tamamen bağlantısız haldedir. Herhangi bir sebeple BMS'nin gücü kesilirse, kontak uçlarında enerji kesilir ve sonuçta batarya paketinin yük ile iletişimi kesilir. Buna ilaveten BMS izolasyonu da algılamalıdır. Batarya paketi terminali ve şasi tabanına aynı anda değmemesi ve tamamen güvenli olması gerekmektedir. Buna göre şasi gövdesi batarya paketinin pozitif veya negatif terminaline kısa devre ile bağlandığında akım 2 mA'i

geçmemelidir. Batarya paketinin ana gövdeden tamamen izole olması durumunda Şekil 2.12’de gösterilen devrede hem  $R_1$  hem de  $R_2$  sonsuz olmalıdır. İzolasyon bozulduğunda,  $R_1$  ve  $R_2$  değeri düşer ve bu  $R_i$  izolasyon direnci olarak tanımlanır. Güvenlik kriterlerini sağlayabilmek için  $R_i, v_b/0.002$  A’den büyük olmalı veya  $v_b$  pil gerilimi olmak üzere,  $R_i, 500v_b$ ’den büyük olmalıdır. BMS’in batarya paketinin yeterince izole olup olmadığının algılanması için  $v_1$  ve  $v_2$  yüksek empedanslı ( $>10$  M $\Omega$ ) analog-dijital ölçüm devresiyle ölçülür.



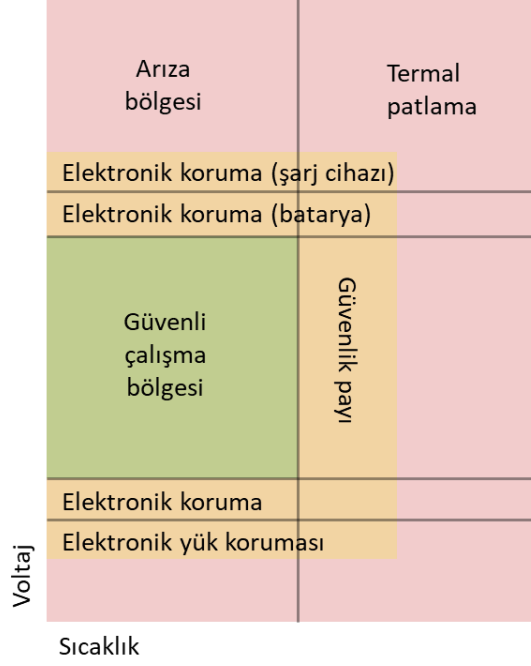
Şekil 2.12. İzolasyonun ölçümü [35]

Batarya paketlerinin termal kontrolü pil ömrünün uzaması ve güvenlik açısından önemlidir. Örneğin, Li-iyon pillerinin ömrü 10-40 °C aralığında optimaldir. Pil hücrelerinin ısı üretimi,  $i$  hücre akımı ve  $R$  termal direnç olmak üzere,  $i^2R$  olarak kestirilebilir. Buna göre, batarya paketlerinin hücre başına düşen akım giriş veya çıkışı yüksek olduğunda, ısı üretimi yüksektir. Örneğin, elektrikli araçlarda, toplam batarya paketi akımı yüksek olmasına rağmen; sürüş menzilini mümkün olduğunca yüksek tutmak amacıyla pil hücresi başına düşen rölatif C-hızı (pilin şarj ve deşarj olduğu akım) düşük olduğundan, ısı üretimi düşüktür.

#### 2.2.2.2. Koruma

BMS’in elektronik ve yazılım bileşenleri enerji depolamanın potansiyel risklerini en aza indirme stratejisinin temelini oluşturur. BMS bileşenleri, standart dışındaki çalışma koşullarını izleyip kontrol ederek kullanıcıyı batarya arızaları sonucu oluşabilecek risklerden korur. Koruma devre sistemi çok hızlı bir şekilde devreye girerek arızayı izole etmelidir ki örneğin milisaniyeler içinde oluşabilecek yüksek akımın yangına, patlamaya sebep olması önlenmelidir. Koruma birimi, şarj veya deşarj sırasında oluşabilecek aşırı akım, kısa devre, yüksek gerilim, düşük gerilim, izolasyonun kaybolması, aşırı sıcaklık dalgalanmaları ve aşırı ısınma gibi durumlarda izolasyonu ve pilin devre dışı kalmasını sağlamalıdır (Şekil 2.13).





Şekil 2.13. Akım – sıcaklık korumasının tasarımı [35]

Yüksek kapasiteli batarya paketlerinin güvenliğini sağlayabilecek koruma mekanizmaları gelişmekte olan bir alan olmakla birlikte; termal sigortalar, konvensiyonel sigortalar ve elektronik arıza saptama başlıca koruma yöntemleridir. Sıcaklık, güvenli aralığın üzerine çıktığında açılan termal sigortalar veya uzun süreli yüksek akım geçtiğinde açılan konvensiyonel sigortalar her tipteki hata için yeterince hızlı bir şekilde harekete geçemeyebilir. Koruma amaçlı yazılım bileşenleri algılama ve kontrol değerlerini kullanarak pil paketini arıza saptama yönteminde gerilim, sıcaklık ve akım sürekli olarak takip edilir ve arıza buna göre saptanarak tasarım gereksinimlerine göre hücreler devreden çıkarılır veya kapatılabilir.

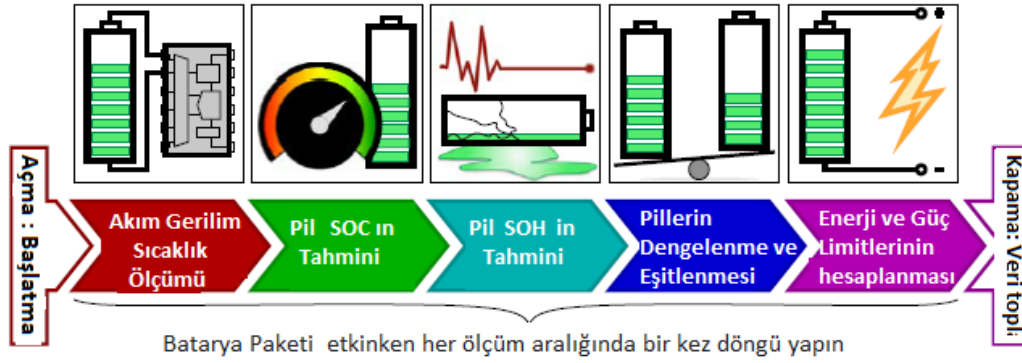
### 2.2.2.3. Arayüz

BMS sistem gereksinimlerinden biri de batarya paketi tarafından güç sağlanan uygulama ile BMS sistemi arasındaki iletişimi sağlayan arayüzdür. Bu arayüz BMS ve bataryalar arasındaki iletişimi sürekli sağlayarak, BMS'nin hücrelerin kaldırabileceği şarj limitlerini akıllı sisteme iletir. BMS ve batarya paketlerinden güç alan uygulama arasındaki iletişimin sağlanması iletişim protokolleri ile gerçekleştirilir. İletişim protokolü uygulamaya göre değişmekle birlikte, CAN, SPI ve UART gibi protokoller yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin elektrikli arabalarda CAN protokolü kullanılır çünkü en önemli avantajlarından biri yüksek oranda elektrik gürültüsünün olduğu koşullarda güvenilir iletişim sağlamasıdır.

İletişim sağlaması ile birlikte sistemden gelen değerler SOC, SOH ve SOL için gerekli eski değerleri tutması gerekebilir. Çünkü bu üç parametre önceki gerilim, akım ve sıcaklık değerlerine ihtiyaç duyabilir. Kullanıcı kontrolünde kötüye kullanım, tolerans dışı gerilim, akım sıcaklık değerlerinin bir kayıt defterinde log olarak tutulmalıdır [35].

#### 2.2.2.4. Performans Yönetimi

BMS başlatıldıktan sonra, düzenli bir kontrol döngüsüne girer ve pil paketi akımı, hücre gerilimleri, sıcaklıklar gibi değerler ölçer ve sonuçta şarj durum değeri kestirilir. Bir sonraki basamakta ise, her hücre için SOH tahmini yapılabilir. Tüm hücrelerin performans değerleri SOC ile ilişkilendirilir. Şarj durumuna göre bataryanın kullanılabilir enerji ve güç sınırları hesaplanabilir ve SOC’u farklı olan pil hücrelerinin olması durumunda, hücreler SOC’a göre dengelenebilir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Batarya yönetim sisteminin ana kontrol döngüsü [36]

##### 2.2.2.4.1. Hücre Şarj durumu kestirimi

Batarya paketine bağlı uygulamaların güvenilir bir şekilde çalışması için batarya paketinin yakın zamanda sağlayabileceği güç ve enerjinin kestiriminin yapılması gerekir. İş yapabilme kabiliyeti olan enerji Wh veya kWh gibi birimlerle ölçülürken; batarya paketine bağlı uygulamanın ne kadar süre daha çalışabileceğinin bir göstergesidir. Güç ise W veya kW gibi birimlerle ölçülürken; enerjinin ne kadar hızlı bir şekilde batarya paketine bağlı uygulamaya taşınabileceğinin bir göstergesidir. Bu tanımda güç, pil hücreleri veya kullanılan elektroniğin tasarım sınırları çerçevesinde olmak durumundadır.

Şarj durum kestirimi için enerji ve gücü direk olarak ölçen sensörlerin olmaması sebebiyle, enerji ve güç daha basit değişkenler kullanılarak kestirilir. Enerjinin hesaplanabilmesi için,  $(i)$  bataryadaki her bir hücre ve  $k$  güncel zaman olmak üzere,

hücrelerin güncel şarj durumu,  $z_k^{(i)}$ , ve toplam kapasiteleri,  $Q_k^{(i)}$ , bilinmelidir. Gücün hesaplanması için ise hücrelerin güncel şarj durumu ve dirençleri,  $R_k^{(i)}$ , bilinmelidir. Ancak bu girdilerin de direkt olarak ölçülememesinden dolayı bunları da kestirmek gerekir. Hücre gerilimi,  $v_k^{(i)}$ , paket akımı,  $i_k$ , ve hücre sıcaklığı,  $T_k^{(i)}$ , bu amaçla kullanılmakta olan parametrelerdir [35].

Bir bataryanın şarj edilmesi sırasında lityum iyonlarının pozitif elektrottaki katı partiküllerden negatif elektrottaki katı partiküllere geçişi gerçekleşir; deşarj esnasında ise lityum iyon geçişi ters yönde olur. Elektrokimyasal olarak negatif elektrotun katı partiküllerindeki ortalama lityum derişimi SOC ile doğru orantılıdır. Benzer şekilde, pozitif elektrot katı partiküllerindeki ortalama lityum derişimi SOC ile ters orantılıdır.

Hücre kapasitesi,  $Q_k$ , ortalama lityum konsantrasyonunun mümkün olan en yüksek lityum konsantrasyonuna oranı olarak düşünüldüğünde,  $k$  zamanındaki hücre kapasitesi aşağıdaki gibidir.

$$Q_k = \frac{c_{s,ortalama,k}}{c_{s,maksimum}}$$

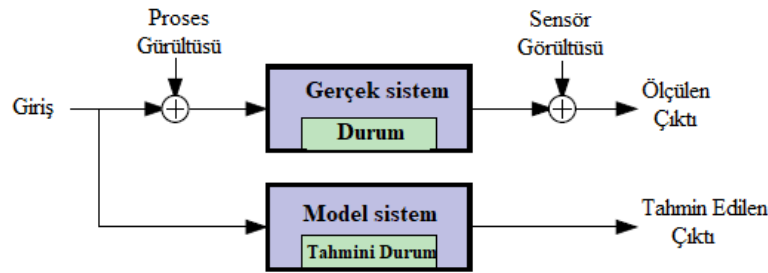
Buna göre pil hücrelerinin tasarım limitleri çerçevesinde, kapasite  $Q_{\%0}$  ile  $Q_{\%100}$  arasında değişir. Bu durumda hücreye ait SOC şöyle hesaplanır:

$$z_k = (Q_k - Q_{\%0}) / (Q_{\%100} - Q_{\%0})$$

$Q_k$  ve  $c_{s,ortalama,k}$  değerleri direkt olarak ölçülemediğinden SOC'un gerilim üzerinden kestirilmesi seçeneklerden biridir. Ancak, hücre gerilimi sıcaklık ve elektrot partikül yüzeyindeki lityum konsantrasyonu ile değişkenlik gösterirken; SOC partiküldeki ortalama lityum konsantrasyona bağlıdır. Bu nedenle SOC kestiriminin gerilim yerine akım üzerinden yapılması daha uygun bir seçenektir. SOC değerindeki değişim hücrenin şarj ve deşarjı sırasında geçen akım nedeniyledir. Bu durumda  $i$  hücrelerinin  $k$  anındaki SOC değeri, başlangıçtaki değeri ve hücre akımı  $i_k$  ile ilişkilidir. Hücre akımı deşarj durumunda pozitif ve şarj durumunda negatif olmak üzere, hücrenin kolombik verimliliği,  $n_k^{(i)}$ , ve hücrenin toplam kapasitesi,  $Q_k^{(i)}$  amper/saniye olmak üzere, kolomb sayımı ile hücre SOC kestirimi aşağıdaki gibidir [36].

$$z_k^{(i)} = z_0^{(i)} - \sum_{j=1}^{i-1} \frac{1}{Q_k^{(j)}} n_k^{(j)} i_k$$

Her bir hücrenin SOC durumu kestirimi dolaylı olarak akım veya gedimik üzerinden yapılabilmeyle beraber, modele dayalı SOC tahmini bu iki yöntemin bileşimini kapsar. Bunu model tabanlı bir tahmin yaklaşımı içinde bir hücre giriş/çıkış (akım/gerilim) davranışları modelini kullanarak yapabiliriz. Model tabanlı tahmin yaklaşımı Şekil 2.15'te gösterilmektedir. Diyagramın üst dalı, “gerçek sistem” dediğimiz gerçek hücrenin işleyişini göstermektedir. Hücreye giriş, geçen elektrik akımıdır ( $i_k$ ) ve hücreden gelen çıkış, terminal gerilim ( $v_k$ ) yanıtıdır. Gerçek şarj değeri, gerçek difüzyon akımları ve histeres gerilimleri ölçülebilir olmadığından, bu değerler tahmin edilmelidir.



Şekil 2.15. Modele dayalı tahmin yaklaşımı şeması [36]

Batarya paketinin ortalama SOC kestirimi ancak pil hücrelerine dengeleme yapıldığı durumda anlam ifade etmektedir. Örneğin bir hücrenin %0 ve diğer hücrenin %100 SOC'a sahip olduğu bir batarya paketinde, batarya paketinin ortalama SOC değerini %0 olarak kabul etmek diğer hücrenin aşırı şarjına; batarya paketi ortalama SOC değerini %100 olarak kabul etmek ise boş olan hücrenin aşırı deşarjına neden olacaktır. Batarya paketinin ortalama SOC değerinin %50 kabul edildiği durumda ise, pil paketinin hem şarj hem de deşarj edilebileceği sonucu çıkar, ancak bu hücrelerden birinin aşırı şarj veya deşarj olması anlamına geleceğinden doğru değildir [35].

#### 2.2.2.4.2. Batarya paketi toplam enerji kestirimi

Enerji kestirimi için öncelikle bir batarya hücresinin toplam enerjisini, hücrenin açık devre gerilimi OCV olmak üzere, SOC değerinin fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$e_k^{(i)} = Q_k^{(i)} \int_{z_{min}}^{z_k^{(i)}} OCV(\xi) d\xi$$

SOC ve OCV arasındaki ilişkinin çizelgeye dökülmesiyle, hücre tasarımına göre izin verilen en düşük SOC ile güncel SOC değeri arasındaki OCV eğrisinin integrali toplam

hücre enerjisini verir. Buna göre,  $v_{nom}$ , nominal hücre gerilimi olmak üzere, hücre enerjisi yaklaşık olarak şöyledir:

$$e_k^{(i)} \approx Q_k^{(i)} v_{nom} (z_k^{(i)} - z_{min})$$

Batarya paketinin toplam enerjisi kestirilirken, farklı hücrelerin farklı kapasiteleri olacağı ve farklı hücrelerin farklı SOC değerleri olacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Buna göre, en zayıf pil minimum SOC değerine düşünceye kadar batarya paketinden kaç amper/saat deşarj edilebileceği şöyle hesaplanır:

$$Q_k^{dis} = \min_i (Q_k^{(i)} (z_k^{(i)} - z_{min}))$$

Batarya paketinden sağlanan toplam enerji, her bir hücreden kullanılan enerjinin toplamı olarak ifade edilebilir:

$$e_{paket,k} = \sum_i Q_k^i \int_{z_{düşük,k}^{(i)}}^{z_k^{(i)}} OCV(\xi) d\xi$$

Hücrelerin çok hızlı bir şekilde şarj veya deşarj olması hücrelerin bozunmasını hızlandırarak pil ömrünü azaltır. Batarya paketinin erken bozunmasını önlemek için yakın zamandaki güç sınırlarının da kestirilmesi gerekir. Güç kestirimindeki karakterizasyona göre,  $k$  anındaki akım  $i$  olmak üzere, akım aşağıdaki gibi tanımlanır [35, 36].

$$i_k = \frac{OCV(z_k^{(i)}) - v_k^{(i)}}{R_k^{(i)}}$$

Terminal gerilimin  $v_{minimum}$  ve  $v_{maksimum}$  aralığında tutulabildiği varsayıldığında, deşarj gücü hücre terminal geriliminin kenetlenmesiyle hesaplanır.

$$p_{dis,k}^{(i)} = v_k^{(i)} i_k = v_{min} \frac{OCV(z_k^{(i)}) - v_{min}}{R_k^{(i)}}$$

Eğer sabit akım darbeleri uygulanıyorsa,  $R_k^{(i)}$  değerinin anlık direnç olarak denkleme konması yerine,  $i_k R_k^{(i)}$ ,  $\Delta T$  saniyede gerçekleşen toplam gerilim düşüşünü temsil etmelidir. Buna göre deşarj gücü aşağıdaki gibidir.

$$p_{deşarj}^{(i)} = v_{minimum} \frac{OCV(z_k^{(i)}) - v_{minimum}}{R_{deşarj,\Delta T}^{(i)}}$$

Hücre şarj gücü negatif olduğundan  $v_{minimum}$ ,  $v_{maksimum}$  olarak değiştirilir.

$$p_{şarj}^{(i)} = v_{maksimum} \frac{OCV(z_k^{(i)}) - v_{maksimum}}{R_{şarj,\Delta T}^{(i)}}$$

Batarya paketindeki hücrelerin seri bağlandığı varsayılarak, batarya paketinin gücü, minimum mutlak hücre gücünün seri bağlı hücre sayısına çarpımıyla kestirilir.

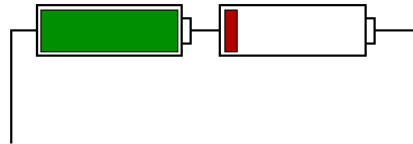
$$p_{deşarj} = N_s \min_i p_{dis}^{(i)}$$

Şarj gücü negatif olduğundan, batarya paketinin şarj gücü hesaplanırken minimum yerine maksimum mutlak hücre gücü kullanılır.

$$p_{şarj} = N_s \max_i p_{dis}^{(i)}$$

### 2.2.2.4.3. Hücre dengeleme

Pil hücrelerinin performansları genellikle birbirinden farklıdır. Üretim sürecinden, kimyasal bileşimden, parametrelerden, kolombik verimden, akım kaçaklarından ve kendi kendinedeşarjdan kaynaklanan potansiyel farklılıkları nedeniyle; batarya paketindeki her pil hücresi eş zamanlı olarak dengeli bir şekilde şarj vedeşarj olamamaktadır. Dengeli bir batarya paketinde herhangi bir anda, bütün pil hücrelerinin SOC kestirimi eşit olmalıdır. Örneğin batarya paketindeki bir pil hücresinin SOC değeri %0'a yaklaşırken; diğer pil hücresinin SOC değeri %100'e yaklaştığında, batarya paketinden geçen akım bu iki hücrenin de SOC değerini aynı yönde değiştireceğinden, bu iki hücreden birini aşırı şarj veyadeşarj etmeden batarya paketini şarj veyadeşarj etmek mümkün olmayacaktır (Şekil 2.16) [37]. Bu nedenle, batarya paketi hücrelerinin arasında SOC dengesi olmadığında; etkilenmiş hücrelerin SOC değerleri değiştirilerek batarya paketi tekrar dengeye getirilmelidir. Bu amaçla, batarya paketinin ana güç ile desteklenerek, SOC, pil hücresi seviyesinde kontrol edilir ve bütün pil hücreleri tekrar dengeye getirilir.



Şekil 2.16. Denge de olmayan bir hücre çifti [37]

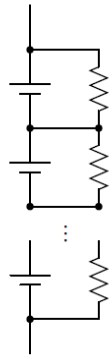
Hücreleri dengeye getirmek için kullanılan temel dengeleme yöntemleri aktif ve pasif dengelemedir. Pasif dengelemenin bir örneği olan kayıplı dengeleme, şarjın fazla olduğu hücreden enerjinin ısı şeklinde boşaltılmasıdır. Geleneksel kayıplı dengeleme, hücrelerin dengesini sağlamada pasif devre elemanları kullandığından pasif dengeleme olarak kabul edilse de modern kayıplı dengeleme transistör anahtarlama devreleri gibi aktif bileşenler kullanılmaktadır. Kayıplı dengeleme tasarımlarının avantajı sadeliği ve düşük maliyetli iken; dezavantajı enerji kaybı ve ısı salınımıdır. Tasarımın özelliklerine bağlı olarak, kayıplı dengeleme batarya paketinin soğutma gereksinimini doğurabilir. Kayıplı dengeleme fazla şarjlı hücrelerdeki elektrokimyasal enerjinin ısıyla kaybolmasıyla dengeleme sağlarken; aktif dengeleme fazla enerjinin tekrar dağıtımını sağlayarak kaybını önler. Aktif dengelemenin bir örneği olan kayıpsız dengeleme ise çok şarj olmuş hücrenin şarjının, az şarj olmuş hücreye veya yardımcı yük devresine taşınmasıyla hücrelerin dengesini sağlar. Hücre dengelemede kullanılmakta olan elektronik yapılar arasında sabit şönt resistörü, anahtarlı şönt resistörü, tek veya çok şalterli kapasitörler, anahtarlı trafolar bulunmaktadır [37].

Dengeleme sistemi tasarımındaki önemli kararlardan biri dengeleme devrelerinin hangi aşamada devreye girip şarjı hücre dışına taşıyacağıdır. Eğer sistem gereksinimi, ayar noktasında uzun süreli dengeleme ise, hücrelerin dengesiz duruma gelme hızına göre dengeleme sistemi harekete geçmelidir. Eğer amaç hızlı kayıpsız dengeleme ile değişken ayar noktası dengelemesi yapmak ise; dengeleme sistemi şarjın dağıtılmasına mümkün olduğunca hızlı başlamalıdır ki değişken ayar noktası her zaman yakalanabilsin. Eğer batarya paketi şebekeye bağlanarak şarj ediliyorsa, sadece şarj esnasında dengeleme yapılması uygun olabilir. Dengeleme sadece şebekeye bağlıyken gerçekleştiğinden, dengeleme devresinin dağıttığı enerji tekrar şebekeden sağlanabilir ve böylece batarya paketi şarj edilmezken depolayabileceği enerji en yüksek seviyede tutulabilir. Diğer bir seçenek ise sürekli olarak dengeleme yapmaktır. Hangi hücrelerin dengelemeye ihtiyacı olduğu sürekli olarak saptanarak dengeleme devresi gerektiğinde aktive edilir veya devreden çıkarılır. Değişken SOC ayar noktası ile kayıpsız dengeleme yapıldığında, değişken ayar noktaları sürekli olarak revize edilmeli ve gereken dengeleme devresi aktive edilmelidir.

Dengelemenin ne aşamada devreye gireceğinden ve sürekli veya kesikli olarak yapılmasından bağımsız olarak, dengelemede güncel durum veya kestirim yaklaşımı kullanılabilir. Güncel durum yaklaşımında hücrelerin sadece güncel andaki SOC değeri

göz önünde bulundurulurken; kestirim yaklaşımında hücrelerin gelecekteki kapasite projeksiyonuna göre dengeleme yapılır. SOC kestiriminin yetersiz olduğu durumlarda, güncel durum yaklaşımı yanlış hücrenin dengelenmesine neden olarak dengenin iyice bozulmasına yol açabilir. Bu nedenle, SOC kestiriminin güven aralığına uyumlu bir SOC dağıtım eşiği seçilerek; SOC değeri en yüksek ve en düşük olan iki hücre arasındaki fark bu eşiği geçtiğinde dengelemenin durdurulması daha güvenli bir yaklaşımdır. SOC kestirimine alternatif olarak, hücre gerilimleri dengelemede kullanılabilir ancak hücre gerilimleri SOC'un iyi bir göstergesi olmadığından bazı özel uygulama alanlarında tercih edilir. Örneğin, dengelemenin şarj işleminden sonra yapıldığı uygulamalarda, hücrelerden sadece dengeleme devresinden gelen akımın geçmesiyle hücre gerilimleri kararlı halde olduğundan, hücre gerilimlerine göre dengeleme yapmak uygun olabilir.

Kayıplı dengeleme sistemlerinden olan sabit şönt resistörü, hücelere paralel olarak bağlanan resistör aracılığıyla hücredeki fazla enerjinin ısı kaybı olarak uzaklaştırılması prensibiyle çalışır. Şekil 2.17'de gösterilen basit bir sabit şönt resistör tasarımı olmakla birlikte; gerilim takibi ya da aktif kontrol gerektirmemesi sebebiyle avantajlıdır. Buradaki sabit şönt resistör tasarımında, görece yüksek SOC seviyesine sahip hücrelerin diğerlerine göre daha çabuk deşarj olmasıyla hücreler dengeye gelir. Bu dengeleme işlemi, yüksek SOC ve gerilime sahip hücrelerden ve bunlara bağlı resistörlerden görece yüksek deşarj akımı geçmesi nedeniyle görece yüksek SOC seviyesindeki hücrelerin daha hızlı şekilde deşarj olmasıyla gerçekleşir. Bu tasarım sadeliği nedeniyle avantajlı olmasına rağmen Li-iyon piller gibi aşırı şarjın risk oluşturduğu durumlarda uygun değildir [37].

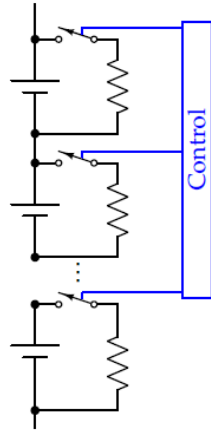


Şekil 2.17. Sabit şönt resistör tasarımı [37]

Kayıplı dengeleme sistemlerinin diğer bir örneği olan anahtarlı şönt resistörü Li-iyon pilleri için daha uygun bir seçenektir. Anahtarlı şönt resistöründe veya zener diyotlar yerine transistör kullanılır (Şekil 2.18). Bu transistörlerin tipi ve derecesinin belirlenmesini

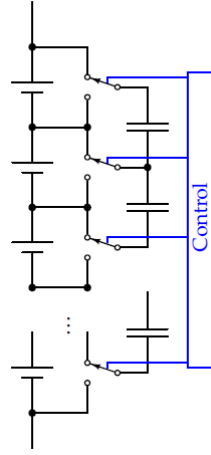


takiben BMS aracılığıyla gerektiğinde açılıp kapanması ile yönetilir. Transistörü kontrol etmek için gereken elektronik dengelemeyi biraz daha kompleks hale getirirse de dengeleme işlemine çok daha fazla esneklik kazandırdığından tercih edilir. Hücre paketi izleme çipleri genellikle dahili veya harici transistörü kontrol edebilen devre sistemleri ile üretildiğinden, anahtarlı şöntün görece kompleks yapısı dezavantaj oluşturmamaktadır. Herhangi bir hücrenin SOC değerinin çok fazla olduğu durumda BMS sadece söz konusu hücre veya hücrelerin anahtarını kapatarak bu hücreleri dengeye getirir. Kayıpsız dengeleme sistemi arızalanırsa sürekli olarak bazı hücreleri şarj etmesi sonucu bazı hücreler aşırı derecede şarj olacağından sıcaklık kontrolden çıkabilir. Ancak aşırı şarjda sistem hücreyi kapatabilir ve bunu her hücre için yapabilir.



Şekil 2.18. Anahtarlı şönt resistör tasarımı [37]

Kayıpsız dengeleme devrelerinin bazıları aracı anahtarlı kapasitörlerle şarjı fazla olan hücreden az olan hücrelere taşırken; bazıları anahtarlı trafo veya indüktör temelli tasarımlarla enerji dönüştürücü olarak dengelemeyi sağlar. Kayıpsız dengeleme yöntemlerinden biri olan çoklu şalterli kapasitörlerde, batarya paketindeki hücre sayısından bir eksik sayıda kapasitör bulunur ve tek kutuplu ikili transistör şalterler senkronize bir şekilde ileri ve geriye doğru hareket eder (Şekil 2.19). Böylece, bütün şalterlerin bir süre üstte ve bir süre de altta yer almasıyla hücre gerilimleri dengelenir. İki komşu hücre düşünüldüğünde, şalterler yüksek gerilimli hücrenin uçlarında hizalandığında, yüksek gerilimli hücre, kapasitörü şarj ederken; şalterler düşük gerilimli hücre etrafında hizalandığında ise daha önce yüksek gerilimli hücreden şarj olmuş kapasitör, şarjı düşük gerilimli hücreye aktarır. Böylece kapasitör yükü, yüksek gerilimli hücrelerden düşük gerilimli hücrelere taşır ve batarya paketindeki hücreler belirli bir süre sonra dengeye ulaşır.



Şekil 2.19. Kayıpsız dengelemede çoklu şalterli kapasitör tasarımı [37]

Çoklu şalterli kapasitör tasarımı oldukça sade olmakla birlikte bazı durumlarda yeterince hızlı denge sağlayamayabilir. Örneğin en yüksek ve en düşük gerilimli pil hücreleri batarya paketinin iki ucundaysa, en düşük gerilimli pilin dengeye ulaşabilmesi için öncelikle komşu pillerin dengeye ulaşması gerekir. Kayıpsız dengelemenin daha hızlı yapılabilmesi için, çoklu şalterli kapasitörlere alternatif olarak şalterli dönüştürücüler kullanılabilir. Ancak şalterli dönüştürücülerin de maliyeti yüksektir. Dönüştürücünün birincil tarafı batarya paketi gerilimine bağlanırken; dönüştürücünün ikincil ucu batarya paketi boyunca her hücreye bağlanır. Ayrıca ikincil uca diyot bağlanmasıyla ikincil uçlara bağlı hücrelerden deşarj olması engellenir. Birincil tarafın girdisi ani ya da hızlı bir şekilde değiştiğinde birincil taraf yaklaşık olarak AC dalga şekli oluşturur ve bu dönüştürücünün ikincil ucunda da gözlenir. Birincilin  $n$  hücre boyunca bağlandığı durumda dönüştürücü  $n/1$  oranıyla sarılı olduğundan, dönüştürücünün çıktı gerilimi  $n$  oranında azaltılırken; çıktı akımı  $n$  oranında yükseltilir.

Kayıpsız dengeleme sistemlerinin maliyeti düştükçe kayıplı dengeleme sistemlerine göre avantaj kazanırlar. Kayıpsız dengeleme sistemleri özellikle dağıtılması gereken gücün fazla olduğu büyük batarya uygulamalarında avantaj sağlar. Ancak dengeleme devre sisteminin arızası durumunda arızanın sonuçları kayıplı dengeleme sistemlerine göre daha ciddi olabilir. Kayıplı dengeleme sistemlerinin arızası sonucu bazı hücreler aşırı deşarj olabilir ve bu hücreler zarar görebilir ancak bu durum genellikle güvenlik açısından tehlike oluşturmaz.

### 2.2.2.5. Hücre Sağlık Durum Kestirimi

BMS sistem gereksinimlerinin son basamağı sağlık göstergelerinin hesaplanması ve batarya paketleri SOH kestiriminin yapılmasıdır. SOH kestirimi, pil ömrü boyunca pil hücresi modeli parametrelerinin ölçülmesi ve takip edilmesini kapsar. SOH genellikle pil yaşlanmasının iki parametresi olan toplam hücre kapasitesinin ve pil hücresi direncinin takibini kapsar. Pil hücresinin ömrü boyunca hücre kapasitesi %20-30 azalırken; direnç %50-100 aralığında artarak güç kaybına yol açar.

Pil paketindeki hücrelerin yaşlanması sonucu performans gereksinimlerini karşılayamayacak bir noktaya ulaşabilirler ve kullanım dışı kalırlar. Pil paketinin kullanım ömrünün başlangıcından bitimine kadar kullanılabilir enerji ve güç durumu gibi bilgiler edinmek önemlidir ve yaşlanan ve bozulan hücreler için normal pil hücreleriyle tasarlanmış modeldeki hangi parametrelerin zaman içinde değiştiğini bilmek; buna göre BMS'nin yaşlanmayı hesaba katacak şekilde kurgulanması gerekmektedir. Eşdeğer devre kullanan bir modelde, hücrenin parametreleri ve özellikleri sürekli güncellenir. Normal bozulma mekanizmalarını hızlandıran aşırı gerilim, aşırı sıcaklık ve kontrolsüz işlemler gibi durumların yanı sıra normal yaşlanma süreçlerini de anlamak ve izlemek olasıdır [38].

Pil hücresi yaşlandıkça toplam kapasite ( $Q$ ) azalır. Bir Li-iyon pil hücresi için bunun nedeni şarj ve deşarj sırasında depolama alanlarını ortadan kaldıran elektrot aktif malzemesi lityumun giderek tükenmesi ile ilgili istenmeyen yan reaksiyonlardır. Sonuçta hücre yapısal olarak bozunur: aktif madde parçacıklarının yüzeyinde dirençli filmler oluşur parçacıklar arasındaki elektronik yollar kesilir ve elektronik iletkenlik azalır. Çoğu yan reaksiyon, lityum pozitif elektrottan negatif elektroda geçerken, hücre şarj olurken, gerçekleşir ve artık lityumun hareket kabiliyeti ortadan kalkar. Bu yapısal çöküş lityum depolama alanlarını yavaş yavaş ortadan kaldırır ve sonuçta kapasite giderek azalırken, eşdeğer direncide ( $R_0$ ) artar. Pil paketindeki her bir hücrenin toplam kapasitesinin güncel kestirimlerini sağlamak için pil yönetim sisteminde kapasite azalmasını ve eşdeğer seri direnç bilgisini izleyen algoritmalara ihtiyaç vardır. Bu bilgi, pil paketinin mevcut enerjisini doğru bir şekilde hesaplayabilmek için kritik öneme sahiptir. Genel olarak, eşdeğer seri direncindeki ve toplam kapasitedeki değişiklikler BMS performansında önemli bir etkiye sahiptir.

Çoğu ticari Li-iyon pil hücresi, sentetik veya doğal grafit aktif malzemeli negatif elektroda sahiptir. Grafit iyi bir lityum depolama kapasitesine sahiptir, tekrar tekrar şarj

edilebilir ve boşaltılabilir, ucuzdur ve toksik değildir. En önemlisi, lityum metaline göre lityumlu grafitin çok düşük gerilime sahip olması, toplam hücre gerilimini maksimum düzeyde olmasını sağlar. Aynı zamanda bir Li-iyon hücre içinde meydana gelen baskın bozunma mekanizmasının da nedenidir. Negatif elektrottaki aktif madde parçacıklarının yüzeyinde film oluşumu yüzünden bir miktar yaşlanma meydana gelir; katı ile elektrolit arasındaki arayüzde, aktif madde parçacıklarının içinde başka yaşlanma mekanizmaları gerçekleşir. Negatif elektrotta olduğu gibi, yaşlanma pozitif elektrotta üç yerde meydana gelir: parçacıkların yüzeyinde, aktif malzeme parçacıklarının kendisinde ve yığın pozitif elektrotta. Bu yaşlanma, pil hücrelerinin tüm ömrü boyunca iyi hesaplanması için model içindeki parametre değerleri uyarlanarak bir eşdeğer devre hücre modelinde toplanmalıdır. Bu süreçler, hücelere neden gerilim limitleri ve akım limitleri koyma ve BMS ile çalıştırılması gerekliliğini açıklamaya yardımcı olur.

Pil hücrelerinin mevcut sağlık durumunun kestirimi için hücrenin toplam kapasitesi ve eşdeğer seri direnci parametreleri kullanılır. Bunun için hücreden gelen giriş/çıkış (akım/gerilim) verileri kullanılmalıdır. Burada gerilim, dirençteki bir değişikliğe çok duyarlı iken toplam kapasitedeki bir değişikliğe karşı çok duyarsızdır. Bu sonuç, hücre direncini hesaplamının basit bir yoludur [38]. Hücrenin gerilim eşitliğine göre gerilim ölçümlerinden hücrenin eşdeğer seri direncini hesaplamak mümkündür:

$$v_k = OCV(z_k) + Mh_k + M_0s_k - \sum_i R_i i_{R_i,k} - i_k R_0$$

Gerilim ölçümünün dirençteki değişime karşı birimsiz duyarlılığı şu şekilde tanımlanır:

$$S_{v_k}^{R_0} = \frac{R_0}{v_k} \frac{dv_k}{dR_0} = \frac{-R_0}{v_k} i_k$$

Bir hücrenin direnci genellikle  $m\Omega$  düzeyindedir ve gerilimi genellikle birkaç voltur. Büyük olabilen hücre akımı  $i_k$  ile çarpıldığında, gerilimin  $R_0$ 'a mutlak duyarlılığı bağlı olarak yüksektir (örneğin 0,01). Bu da gerilim sinyalinden direnç hesaplamının mümkün olduğu anlamına gelir.

$R_0$ 'ı hesaplamak için diğer bir yöntem olarak,  $R_{0,k}$  sinyalini filtreleyebilmektir. Örneğin, tek kutuplu dijital filtreyi uygulayabiliriz.

$$\hat{R}_{0,k}^{filtrelenmiş} = \alpha \hat{R}_{0,k-1}^{filtrelenmiş} + (1-\alpha)\hat{R}_{0,k}$$

burada  $0 \ll \alpha < 1$ 'dir. Bu yöntem, çok basit, oldukça iyi çalışan ve doğrusal olmayan Kalman filtrelemeye dayanan bir hesaplama şeklidir.

Dikkate alınması gereken bir diğer faktör, bir hücrenin direncinin hem SOC'a hem de sıcaklığa bağlı olmasıdır. Bir skalar direnç hesaplaması güncellenirse, her ikisi de zamanla değiştikçe mevcut SOC ve sıcaklıktaki hücre direnci modellemeye adapte olacaktır. Uyarlanabilir bir skalar yerine direnç ile şarj durumu arasındaki tüm ilişkiyi tanımlayan bir uyarlanabilir fonksiyon gerekliyse, o zaman fonksiyonel bir formun önerilmesi gerekecek ve formun katsayılarının mevcut şarj durumu, sıcaklık ve çalışma direncine göre uyarlanması gerekecektir [38].

$$R_0 = R_{0,ref} \exp\left(\frac{E_{R_0,ref}}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right)\right)$$

Sıcaklık bağımlılığını düzeltmek için yalnızca  $R_{0,ref}$  ve  $E_{R_0,ref}$  değerlerinin çevrimiçi olarak değişmesi gerekir. Bu temel fonksiyonun parametrelerinin uyarlanması, direnç ilişkisinde yalnızca yerel güncellemelere neden olacak ve diğer sıcaklık ve şarj durumu çalışma noktalarındaki direnç hesaplamalarını saptırmayacaktır. Ancak, uygulama sürekli güncellenmesi ve direnç değerleri sık sık değişmelidir.

### 2.3. DC-DC Dönüştürücüler

DC-DC dönüştürücüler güç kaynaklarında, DC motor sürücü ve şarj devrelerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Lineer ve anahtarlama dönüştürücüler olarak iki genel başlık altında toplanabilir. Lineer dönüştürücüler güç kaybı ve ısı salınması sebebiyle bu tezde kullanılmamıştır. Anahtarlama dönüştürücüler, daha az ısı salınımı ve güç kaybı sebebiyle daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Anahtarlama sistemlerde giriş gerilim değerini bir seviyeden diğerine değiştirmek için bir veya daha fazla anahtarlama kullanılabilir. Anahtarlama genelde ideal olarak alınır ve kayıplar ihmal edilir. Sabit giriş geriliminde DC-DC dönüştürücüler, çıkış gerilimini açma ve kapama ( $t_{açma}$  ve  $t_{kapatma}$ ) süreleri ile kontrol edebilir. Çıkış gerilimini kontrol edebilmek için sabit frekansta anahtarlama yapılmalıdır. Anahtarlama frekansı sabit değilse giriş ve çıkış gerilimlerindeki dalgalanmaları filtrelemek sorun teşkil edebilir. Sabit zaman periyodu ( $T_s = t_{açma} + t_{kapatma}$ ) olan bir anahtarlama zamanında ortalama çıkışı açık kalma süresi ile ayarlanabilir [39].

Darbe genişliği modülasyonu (PWM) yönteminde açık kalma oranına göre ortalama çıkış gerilimi değişebilir. Açık kalma zamanı ve sabit periyod zamanının oranı görev oranı (D) olmalıdır. Sabit periyodlar PWM kontrolünde sabit tutulur ve birkaç kilohertz ile birkaç yüz kilohertz aralığında olacak şekilde seçilir. Anahtarlama periyoduna göre D oranı arttıkça anahtarın açılma süresi artar.

$$D = \frac{t_{on}}{T_s}$$

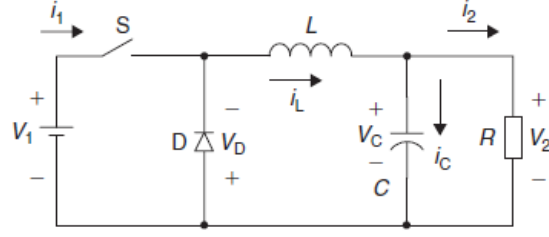
Anahtarlama dönüştürücülerin iki farklı çalışma modu olabilir, bunlar sürekli akım iletimi ve sürekli olmayan akım iletimidir ve farklı özelliklere sahip olan her iki modda da çalışabilir. Bir dönüştürücü ve kontrol ünitesi, her iki modele dayalı olarak da tasarlanabilir ancak tez kapsamında sürekli akım iletimi öncelikli olacaktır.

Anahtarlama dönüştürücüler, DC girişini istenilen gerilim seviyesine anahtarlama kontrol ile istenilen DC çıkışına dönüştürebilir. Bu dönüştürücünün izole ve izole olmayan tipleri kullanılabilir. İzole olmayan tiplere örnek verilecek olursa: Düşürücü (Buck) dönüştürücüsü, Yükseltici (Boost) dönüştürücüsü, Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost) dönüştürücüsü. İzole tipte ise Fly-Back, SEPIC, ZETA dönüştürücüleri örnek olarak verilebilir. Şarj devrelerinde izole tip ayrıklı topraklama sistemi kullanılmamıştır. İzole tipte dönüştürücülere ek bir modifikasyon olduğundan, sadece izole edilmemiş dönüştürücüler ele alınmıştır. İzole edilmemiş dönüştürücülerin ise özellikle iki ana sorunu vardır; giriş ve çıkış arasındaki ayrıklı olmayan topraklama bağlantısı ve çok büyük çıkış gerilimi dalgalanması. Ancak giriş ve çıkışlarda filtreler ile bu sorun çözülebilir.

### 2.3.1. Düşürücü dönüştürücüsü

Düşürücü dönüştürücü, basit olarak gerilimi daha yüksek bir seviyeden daha düşük bir seviyeye indirebilir. Şekil 2.20'de düşürücü dönüştürücüsünün devre şeması ve eşdeğer devresi gösterilmiştir. Çıkış gerilimi ise aşağıdaki formülle hesaplanır. Düşürücü dönüştürücüsünün avantajları düşük karmaşıklık ve uygulanabilirliğinin olmasıdır. Dezavantajları ise yükten girişe giden bir yol vardır ve bir adet yük diyotuna ihtiyaç duyulmasıdır. Mosfet kısa devre yaparsa akımı sınırlamanın bir yolu bulunmamaktadır.

$$V_o = \frac{t_{on}}{T} V_{in} = k V_{in}$$

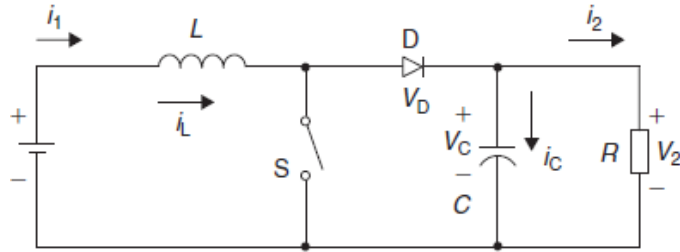


Şekil 2.20. Düşürücü dönüştürücüsü [39]

### 2.3.2. Yükseltici dönüştürücüsü

Yükseltici dönüştürücü, basit olarak gerilimi daha düşük bir seviyeden daha yüksek bir seviyeye arttırabilir. Şekil 2.21'de yükseltici dönüştürücüsü devre şeması ve eşdeğer devresi gösterilmiştir. Çıkış gerilimi ise aşağıdaki formülle hesaplanır. Yükseltici dönüştürücünün avantajları yine düşük karmaşıklık ve uygulanabilirliğinin olmasıdır. Dezavantajları ise mosfet kısa devre yaparsa yüke giden akımın sıfırlanmasıdır.

$$V_o = \frac{T}{T - t_{on}} V_{in} = \frac{1}{1 - k} V_{in}$$

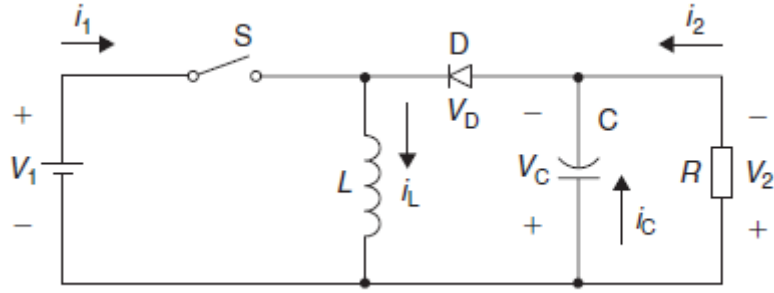


Şekil 2.21. Yükseltici dönüştürücüsü [39]

### 2.3.3. Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüsü

Düşürücü-Yükseltici dönüştürücü, basit olarak giriş geriliminden gelen değeri çıkış gerilimine düşürebilir veya yükseltebilir. Endüstriyel uygulamalarda çok büyük kolaylık sağlar. Şekil 2.22'te düşürücü-Yükseltici dönüştürücüsünün devre şeması gösterilmiştir. Çıkış gerilimi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$V_o = \frac{t_{on}}{T - t_{on}} V_{in} = \frac{k}{1 - k} V_{in}$$

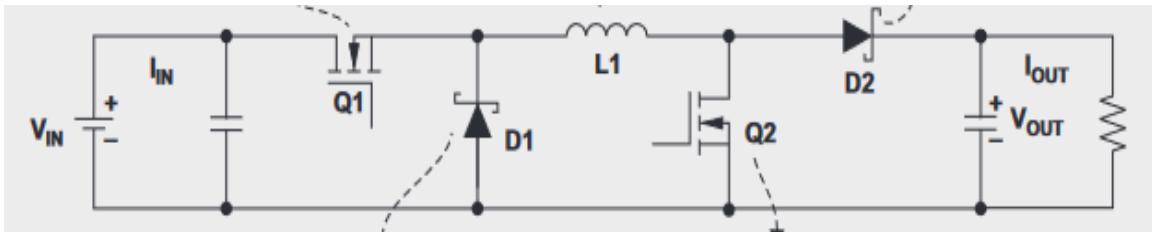


Şekil 2.22 Düşürücü-Yükseltici dönüştürücüsü [39]

Düşürücü veya Yükselticiden farklı olarak bu dönüştürücünün yük kutupları terstir. Bu sebeple 2 anahtarlamalı doğrusal yük polaritesi olan bir dönüştürücüde ele alınabilir. Düşürücü-Yükseltici evirmeyen dönüştürücüsünde yine aynı şekilde giriş geriliminden gelen değeri çıkış gerilimine düşürebilir veya yükselebilir. Ancak 2 ayrı kontrol sinyaline ihtiyaç vardır. Şekil 2.23'te Düşürücü-Yükseltici evirmeyen dönüştürücüsünün devre şeması gösterilmiştir. Çıkış gerilimi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$M = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = D$$

$$M = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{1}{1 - D}$$



Şekil 2.23. Düşürücü-Yükseltici evirmeyen dönüştürücüsü [40]

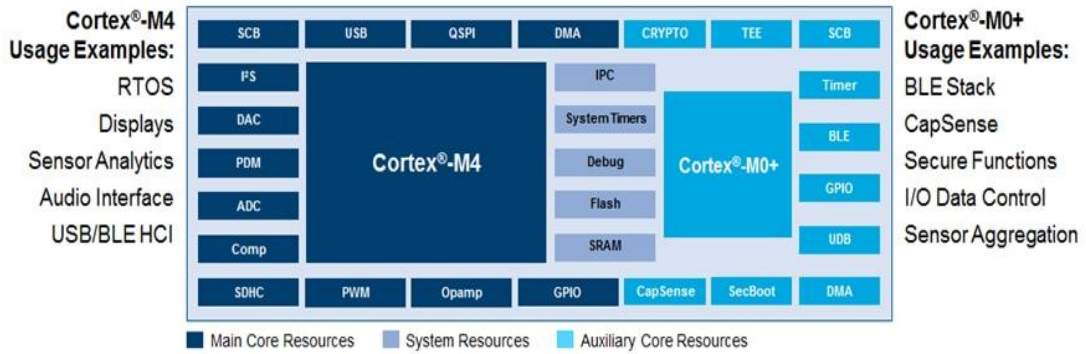
Doğrusal kutuplu Düşürücü-Yükseltici evirmeyen dönüştürücünün avantajı çıkışın ters bloklama diyotu olarak da kullanılabilmesidir. Dezavantaj ise mosfet kısa devre yaparsa yüke giden akımı sınırlamanın bir yolu yoktur ve çıkış gücünün ters çevrilmemesi için iki anahtar ve iki diyot gereklidir. Bu durum kontrol tarafına yük bindirebilir.



## 2.4. Programlanabilir SoC

Çip üzerinde programlanabilir sistem (PSoC), Cypress firmasının 2000'lerden beri kullanıma sunduğu ticari bir üründür. Standart SoC (İng. System on a chip, SoC) teknolojilerinde CPU ve dijital çevre birimleri vardır ancak PSoC özelinde bunların haricinde analog çevre birimleri de mevcuttur. PSoC, kapasitif algılama konusunda yaptığı atılımla ilk olarak portatif cihazlarda ve tüketici elektroniği sektörlerinde oldukça yoğun ilgi görmüştür [41]. Örneğin Apple Ipod sistemlerinde; fotovoltaiik sistemlerin değişken çevre koşullarında kontrolü için [42], taşıma ve depolamada çevresel faktörlerin izlenmesinde [43], kalp atış hızı ve vücut sıcaklığı gibi sağlık parametrelerinin giyilebilir bir sistem ile izlenmesinde [44] etkin bir şekilde kullanılmıştır.

ARM tabanlı PSoC'un en avantajlı özelliği dinamik bir şekilde analog ve dijital çevre birimlerinin programlanması ve devre entegrelerinde maliyeti düşürmesidir. Bu entegre, tüketici elektroniği, medikal elektroniği, güç kontrolü ve otomotiv sektöründe kullanılabilir. Cypress, analog ihtiyacının her yıl artan uygulama alanları için daha gelişmiş yapılara sahip yeni versiyonu PSoC entegrelerini çıkarmıştır. Son versiyon olarak 32-bit Dual CPU Cortex-M4 ve Cortex-M0+ işlemcilerini aynı anda kullanılabilmektedir. Şekil 2.24'te PSoC son versiyonunun yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.24. PSoC yapı birimleri

PSoC devresinin çıkış gerilimleri sistem platformlarında gerilim akım aralıklarına her zaman eşit değildir. Bu nedenle PSoC entegresinin yanında yardımcı güç elemanlarının kullanımı gerekebilir. Bunlar genel olarak pasif devre elemanları ve DC-DC dönüştürücülerdir. Bir PSoC mikro denetleyici hem analog hem de dijital devreleri idare edebilir. Farklı sistemlerin PSoC entegre devrelerinde, farkedirilmiş güç yönetim yazılımları kullanılabilir. Konfigüre edilebilen PSoC entegrelerinde asıl değişkenlik gösteren donanım çekirdeği farklılıklarıdır.

Literatürde PSoC tabanlı, kurşun asit pili için değişken çevresel koşullarda verimli bir şekilde şarj edilebilecek etkili bir PV sistemi tasarlanmıştır [42]. Fotovoltaik sisteminin tasarımı, güneş paneli, DC-DC boost dönüştürücüsü ve PSoC mikro denetleyicisi kullanan bir kontrol bölümünden oluşur. Fotovoltaik sistem, güneş panelini elektrik güç kaynağı olarak kullanır. Güneş paneli sıcaklık ve ışınlama gibi çevresel faktörlere bağlı olarak, farklı maksimum güç noktalarına ve bu yüzden farklı doğrusal olmayan gerilim-akım eğrisine sahiptir. Maksimum gücün sürekliliğini sağlamak için, depolama cihazı ve güneş hücresi arasındaki empedansın sürekli olarak ölçümü ile optimumda tutulur ve sistem maksimum güç noktalarında çalıştırılabilir. DC-DC boost dönüştürücüsünün görev döngülerinin gücünü maksimuma çıkarmak için güneş paneli gerilimi ve akımı bir PSoC mikro denetleyici tarafından sürekli olarak izlenir ve ayarlanır. Kontrol bölümü mikro denetleyicinin analog-dijital dönüştürücü portları aracılığıyla PV panelinden dijital bilgi alır ve gerekli olduğunda kontrolör güçlendirme dönüştürücüsünde darbe genişliği modülasyonu yapar. PV sisteminde darbe genişlik modülatöründen bir görev döngüsü ile DC-DC dönüştürücü kullanılarak PSoC mikro denetleyici aracılığıyla kontrol edilebilen bir destek tipi uygulanır.

## **2.5 Güç Yönetim Yazılımları**

Güç yönetim yazılımları literatürde farklı tipte yaklaşımlar ve algoritmalar kullanılarak yapılmıştır. Bunlar kural tabanlı yaklaşım, optimizasyon yaklaşımı ve yapay zeka yaklaşımı olarak üç ana başlık altında toplanabilir. Kapalı devre sistemlerinde kural tabanlı yaklaşım kullanılırken açık devre sistemlerinde optimizasyon veya yapay zeka uygulamaları tercih edilmektedir. Çizelge 2.2'de güç yönetim yazılımlarının avantaj ve dezavantajları özetlenmiştir.

Çizelge 2.2. Güç Yönetim Yazılım Çeşitleri [45]

<i>Algoritma tipi</i>	<i>Strateji</i>	<i>Avantajlar</i>	<i>Dezavantajlar</i>
Kural tabanlı	Deterministik	Basitlik (if-then kuralları)	Düşük yakıt ekonomisi
	Bulanık mantık	Kabiliyet adapte edilebilir	Kalibrasyon gereksinimi
Çevrimdışı optimizasyon tabanlı	Dinamik programlama	Genel olarak ideale yakın	Çok boyutluluk, yüksek hesaplama maliyeti ve işletim döngü bilgisine önceden ihtiyaç duyması
	Gradient	Hızlı hesaplama ve modelleri basitleştirebilme	Kompleks matematik ve objektif fonksiyon derivatifinin gereksinimi
	Derivatif	Stokastik çözüm araması ile lokal optimadan kurtulabilme özelliği	Sınırlı sayıda tekrar ile optimal çözümün garanti edilememesi
Çevrimiçi optimizasyon bazlı	Dayanıklı kontrol	Sensör gürültüsü ve parametre belirsizliklerine dayanıklılık	Lineer olmayan zaman sabiti nedeniyle kompleks matematik
	Değişken mod	Belirsizlik ve parametre değişikliklerine dayanıklı	Kompleks matematik formülasyonu
Öğrenme bazlı	Pekiştirmeli öğrenme	Model-bağımsız kontrol	Veri tabanı hazırlamanın zaman alıcı olması
	Sinir ağları	Öğrenme ve uyarlanabilme kabiliyeti	Alıştırma verisi kaliteli ve yeterli miktarda olmalı, Alıştırma verisi dışındaki belirsiz davranış

### 2.5.1. Kural tabanlı yaklaşım

Kural tabanlı güç yönetimi, önceden tanımlanmış gereksinimlere göre belli kurallar çerçevesinde çalışır. Bu yaklaşımın temel üstünlüğü, basit mantıkla gerçek zamanlı uygulanabilir sadelikte olmasıdır. Dezavantajları ise, optimallik eksikliği ve gerekli istem için önemli bir kalibrasyon çabası gerekliliğidir. Bazı optimizasyon ve tanıma teknikleri, sistem çıktılarını arttırmak için kural tabanlı güç yönetimi kullanabilmektedir. Kural tabanlı güç yönetimi en uygun çözümü sağlayamasa da gerçek zamanlı uygulama açısından sadeliği nedeniyle hala dikkat çekmektedir. Kural tabanlı güç yönetimi, deterministik ve bulanık-mantık olarak iki alt kategoriye ayrılabilir. Deterministik mantık, sistemin en uygun koşullarında ya da yüksek verimli bir bölgede kontrollü olarak çalışır ve bu sayede enerji iletim kaybını en aza indirir. Bulanık-mantık ise mantığın deneyimini ve muhakemesini bir dizi if-else kuralına dönüştürür. Bu stratejisinin performansını bulanık akıl yürütme aşamasında algoritmalar ve kolayca uyarlanabilen bulanık kurallar belirler.

Bulanık-mantığın avantajı, kontrollü olan sistemin matematiksel modelinden bağımsızlığı ve adaptasyonu nedeniyle sağlamlığıdır [45].

### **2.5.2. Optimizasyon yaklaşımı**

Optimizasyon tabanlı güç yönetimi, dinamik durum ve verim kısıtlamaları ile gerekli fonksiyonları en aza indirir ve optimum kontrol sırasını bulur. Sistem bilgisine bağımlı olan bu veriler, çevrimdışı ve çevrimiçi olmak üzere iki şekilde elde edilir. Çevrimdışı optimizasyon tabanlı güç yönetimi, apriori bilgi gerektirdiği için nedensel bir optimizasyon stratejisidir. Çevrimdışı stratejilerin nedensel olmayan optimal çözümlerini bulmak önemlidir, çünkü diğer nedensel stratejilerin karşılaştırılabileceği bir kıyaslama çözümü ve değiştirilmiş çevrimiçi stratejiler sağlarlar. Bu nedenle, çevrimdışı stratejiler güncelliğini korumaktadır. Çevrimiçi optimizasyon tabanlı güç yönetimi nedensel ve yerel bir optimizasyon stratejisidir, çünkü ne gerekli fonksiyon çıktıları hakkında önceden bilgi sahibi olmayı ne de gerçek zamanlı bir uygulamada optimum çözümü garanti edemez. Ancak her döngüde fonksiyonların çıktıları optimuma yakınsaması olasıdır [45].

### **2.5.3. Yapay zeka uygulamaları**

Yapay zeka güç yönetimi, öğrenmeye dayalı güç yönetimi olup, gerçek zamanlı bilgiler öğrenerek verimli çıktılar üretir ve her seferinde çıktıları geliştirir. Fonksiyon kararlarını vermek için kesin model bilgisine ihtiyaç bulunmamaktadır. Verimli çıktılar üzerinde doğrudan etkisi olan doğru bir veri tabanı oluşturmak zor ve zaman alıcıdır. Bu uygulama ile veriye dayalı yöntemler ve makine öğrenimi uyarlanabilir. Buna ilaveten aynı sistem içinde farklı algoritmalar kullanabilir ve büyük veri kümelerini verimli bir şekilde yönetebilir. Öğrenmeye dayalı güç yönetiminde öğrenme türlerine göre algoritmalar denetimli / denetimsiz öğrenme, sinir ağı öğrenme ve sınıflandırarak öğrenme yaklaşımları olarak üç alt kategoriye ayrılabilir [45].

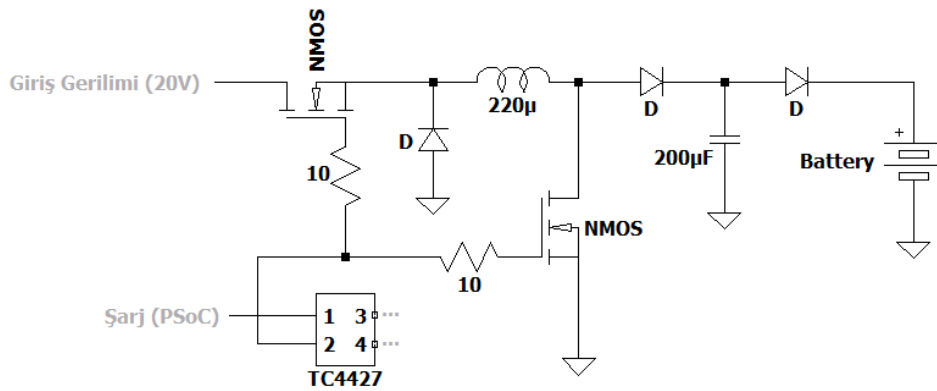
### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Şarj Devre Tasarımı

Şarj devre tasarımında iki anahtarlamalı buck-boost devre modeli kullanılmıştır (Şekil 3.1). Aynı devre ile hem piller hem de süperkapasitör şarj edebilmektedir. Pillerin geriliminin sabit olması nedeniyle kullanılan akım kontrol devresinde PWM değerleri değiştirilerek akım arttırıp azaltılabilmektedir. Devre modelinde, frekans değerleri 100kHz iken transistör olarak N-kanal MOSFET IRF530 kullanılmıştır. Düşürücü dönüştürücüsü mosfet saturasyonunda çalıştırılmıştır. Çıkışında 13.5 volta dönüşmekte ve frekans kaynaklı akım dalgalanması gözlemlenmektedir. Bobin ve kondansatör için 220 uH bobin ve 200 uF değerleri kullanılırken; diyot olarak Schottky diyot (MBRS360) tercih edilmiştir. Düşürücü-Yükseltici evirmeyen dönüştürücü mosfet kapıları ayrı kontrol PWM sinyallerine bağlanmıştır ve görev oranı da aynı düzeydedir. Bobin ve kondansatör değerleri için gerilim ve akım dalgalanmalarının hesaplamaları aşağıdaki formüllere göre yapılmıştır. Görev süresi maksimum değerde hesaplanmıştır. Buna göre akım dalgalanma aralığı 150 mA ve gerilim dalgalanma aralığı 1 mV olarak hesaplanmıştır.  $\Delta I$ , akım dalgalanması,  $\Delta V_c$ , voltaj dalgalanması ve  $D$  görev süresi olmak üzere; akım ve voltaj dalgalanmaları aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\Delta I = \frac{V_i D(1 - D)}{fL}$$

$$\Delta V_c = \frac{V_i D(1 - D)}{8LCf^2}$$

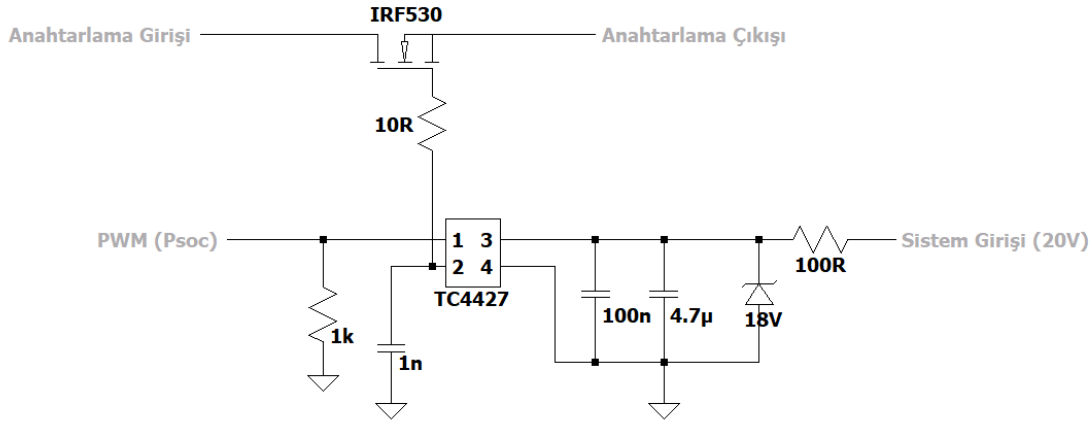


Şekil 3.1. Şarj devre tasarımında kullanılan iki anahtarlı buck-boost devre

### 3.2. Algılama ve Kontrol Devre Tasarımı

Algılama ve kontrol için gerekli parametreler kontrollü anahtarlama, gerilim, akım ve sıcaklık değerleridir. Hibrit bir sistemde, batarya ve süperkapasitör şarj/deşarj açma ve kapama anahtarları güç yönetim yazılımı için pil paketlerini şarj vedeşarj devresinden ayırmayı sağlarken; aynı zamanda kullanıcı arayüzünde operatör için sistemde esneklik sağlar.

Dijital Anahtarlama için sistemde yine IRF530 tipi N-mos kullanılırken; PSoC'dan kapı bacağını beslemesi için TC4427 tümleşik devresi, kapı sürücüsü olarak kullanılmıştır. Sistemin genel gerilim girişi 20V'tur ve TC4427 tümleşik devresinin girişinde zener yapısı ile sabit 18V çıkış verilmektedir.  $V_{ds}$ 'de gerilim düşmeden kaynak çıkışına ulaşması hedeflendiğinden kapı gerilimi  $V_{ds}$  değerinden büyük olması gerekmektedir. Kapı sürücüsü girişi PSoC'dan gelen PWM'e bağlanmıştır. Bu bağlantı sisteme 5V TTL sağlamaktadır. Anahtarlama işlemi, düşük (0V) ve yüksek (5V) gerilim seviyelerinde ve PWM oranının 0 veya 1 olarak değiştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2 'de kullanılan anahtarlama devresi tasarımı gösterilmiştir.

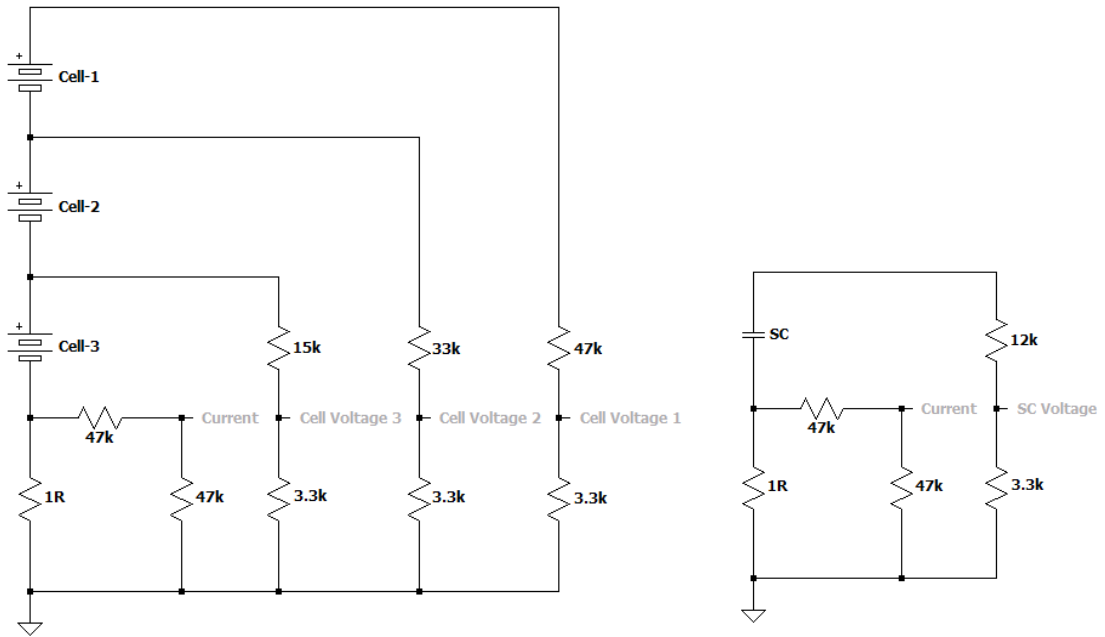


Şekil 3.2. Anahtarlama devresi tasarımı

Algılamada kullanılan önemli değerlerden birisi de gerilim ölçümüdür. Sistemde birbirine seri olarak bağlı olan hücrelerin gerilimlerinin ayrı ayrı alınabilmesi için her bir hücre geriliminde toprağa gerilim bölücüler bağlanmıştır. Gelen her bir değeri PSoC'ta anlamlandırabilmemiz gerekmektedir. Bu amaçla PSoC analog-dijital dönüştürücü (ADC) kullanılmıştır. Desteklenen ADC'de 12 bit çözünürlük ve 8 kanala kadar destekli yapı kullanmak mümkündür. ADC'ye gelen değerlerin bir referans gerilimine göre alınması gerekmektedir. Sistem referans gerilimi ( $V_{ref}$ ) 1V olarak ayarlanmıştır.

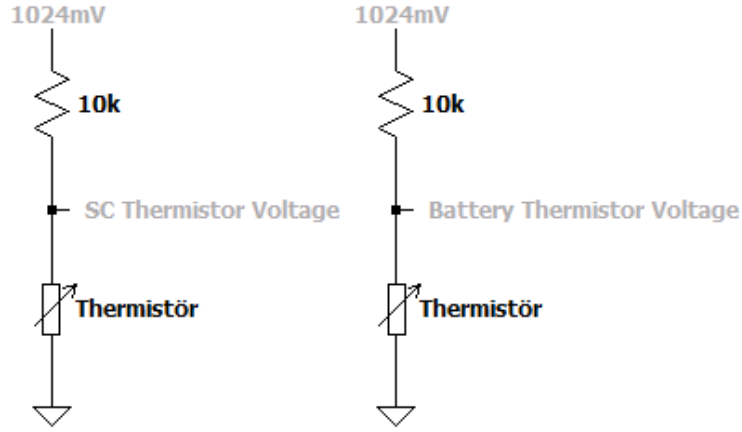
Gerilim bölücülerden gelen gerilimlerinin 1V olacak şekilde ayarlamak için direnç değerleri hesaplanmıştır.  $V_{ref}$  gerilimlerinin tamamını kullanabilmek amacıyla, toplam batarya ve akım direnç değerleri en fazla 14V olacak şekilde, sisteme bölücüler yerleştirilmiştir. Hücreye gelen akımı bölmek amacıyla, gerilim bölücü dirençlerin değerleri  $k\Omega$  mertebesinde tutulmuştur.

Akım ölçümü için şönt direnci yöntemi kullanılmıştır. Sistemde maksimum hücre ve süperkapasitör akımı 2 Amper olarak ayarlanmıştır. Miliohm mertebesinde olan çok küçük şönt dirençleri kullanılamamıştır. Bu durumda, okunan değerlerin çok düşük seviyede olması nedeniyle PSoC'ta bu değerler yükseltilemeyebilir.  $1\ \Omega$ 'luk dirençler kullanılarak  $V_{ref}$  değerine yakın sonuçlar alınabilir. Bu yöntemin dezavantajı sistemden gelen gücün akım direncinde boşa kullanılmasıdır. Şekil 3.3'de batarya ve süperkapasitör gerilim ve akım algılayıcı devreler gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Batarya ve süperkapasitör gerilim ve akım algılayıcı devrelerin tasarımı

Sıcaklık ölçümü hibrit sistem göstergelerinin algılanmasında önemli bir yer tutar. BMS sisteminde sıcaklık ölçümü termistör değişken direnç ile yapılmıştır. Batarya ve süperkapasitör sıcaklıklarının algılanmasında kullanılan iki ayrı termistör Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



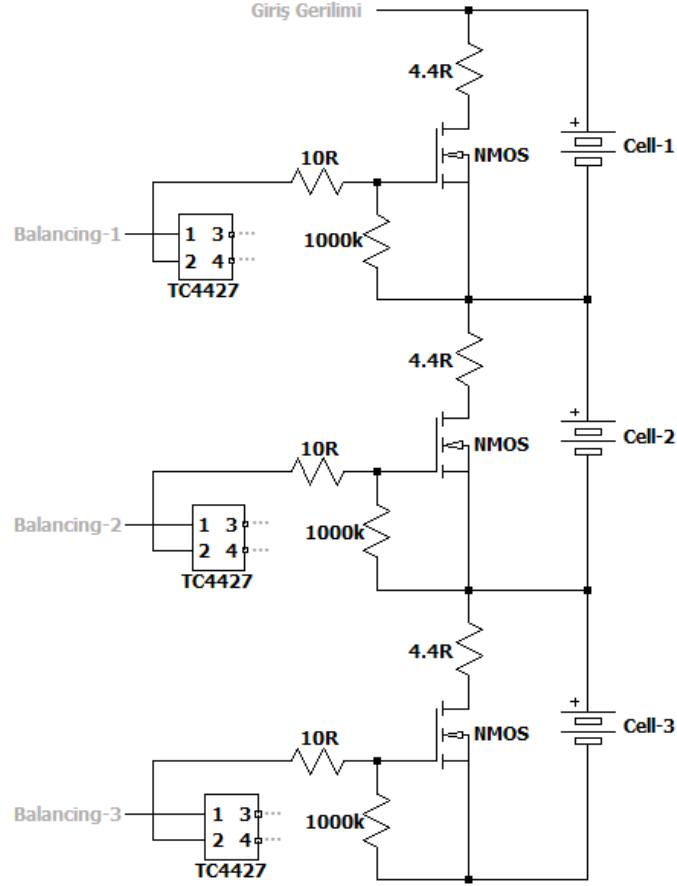
Şekil 3.4. Sıcaklık algılamasında kullanılan termistörler

Referans direnç ve termistör direnç değeri olarak  $10k\Omega$  kullanılmıştır. Termistör direnç değerleri  $65^{\circ}\text{C}$ 'de  $2k\Omega$  ve  $0^{\circ}\text{C}$ 'de  $20k\Omega$  olarak kullanılmıştır. Ardından PSoC'taki termistör bloğu kullanılarak ADC'den gelen değer hesaplanmıştır. Termistör bloğu gerilim bölücüdeki değeri hesapladıktan sonra oluşturulan grafikteki ilgili değeri sonuç olarak vermektedir. Bu yöntemle, sıcaklık  $0.1^{\circ}\text{C}$  hassasiyet ile ölçülebilmektedir.

### 3.3. Hücre Dengeleme Devre Tasarımı

Hücre dengeleme devresi olarak anahtarlı şönt resistör yapısı kullanılmıştır. Bu yapıda transistör etkin bir şekilde kullanılmıştır. Hücre dengelemede SOC değerlerini eşitlemek için üç pilin de gerilimleri hesaplanıp en yüksek gerilimli pilin transistörü açılır ve gerilim pilden dirence geçer. Bu dengeleme sisteminde dışarıya ısı açığa çıkabilir. Bütün pillerin gerilimleri veya SOC değerleri kayıplı da olsa birbirine eşitlenir. Şekil 3.5'de kayıplı dengeleme sistemi gösterilmiştir.





Şekil 3.5. Hücre dengeleme devresinin genel yapısı

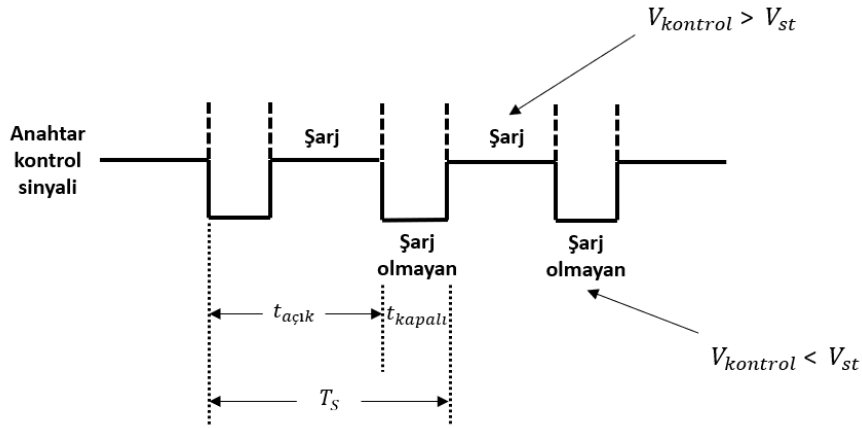
### 3.4. Hücre Şarj Durum Kestirimi Gerçeklenmesi

Şarj durumu kestirimi için yük sayımı ve kalman filtresi kullanılabilir. Bu sistemde şarj durumunun daha basit bir şekilde ölçümü gerçekleştirilir. Pilin şarj esnasındaki ve şarj edilmeden önceki gerilimleri arasındaki farkın, şarj durumundaki akım değerine bölünmesiyle pil direnci,  $R$ , değeri bulunabilir. Pil direnci, pilin şarj durumu ile ilişkili olduğundan pilin tümüyle dolu olduğu dirence göre karşılaştırılıp bir kestirim yapılabilir. Şarj durumu için anahtarlama ile şarj esnasındaki ve başlangıçtaki gerilimler alınır ve bunun için PWM (Şekil 3.6) kullanılır. Elde edilen veriler kullanılarak pil direnci aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$R_{seri} = \frac{V_{pil} - V_{OC}}{I_B} \quad R_{seri} = \frac{V_{OC} - V_{pil}}{I_B}$$

Pil direnci hesaplandıktan sonra SOC kestirimi yapılabilir. ADC çözünürlüğü nedeniyle şarj olmayan andaki değerlerin görülmesi PWM periyodunun uzunluğuna bağlıdır. SOC

kestirimi ancak PWM periyodu yeterli olduğunda yapılabilir. Sistemde periyod olarak 1s kullanılmıştır.



Şekil 3.6. SoC gerilim ölçümü için kullanılan PWM yapısı

### 3.5. PSoC Gömülü Devre Gerçeklenmesi

Bu çalışmada PSoC 4 modellerinden 4200M serisi kullanılmıştır. Bunun nedeni PSoC 4 modellerinin analog sistemlerdeki yaygın kullanımı ve 4200M serisinin BMS sistemine olan uyumluluğu gözetilerek seçilmesidir. Şekil 3.7’de PSoC 4 modellerinin teknik özelliklerinin kıyaslanması ve kullanılan CY8CKIT-043 modeline ait pin konfigürasyonu verilmiştir.

Datasheet	PSoC® 4200	PSoC 4200DS	PSoC 4200M	PSoC 4200L	PSoC 4200 Bluetooth Low Energy
Core	Arm Cortex-M0	Arm Cortex-M0	Arm Cortex-M0	Arm Cortex-M0	Arm Cortex-M0
Max CPU Speed	48-MHz	48-MHz	48-MHz	48-MHz	48-MHz
Flash/SRAM (KB)	32/4	64/8	128/16	256/32	256/32
DMA channels	0	8	8	32	0
ADC	12-bit SAR, 1 Msps	0	12-bit SAR, 1 Msps	12-bit SAR, 1 Msps	12-bit SAR, 1 Msps
Opamps	2	0	4	4	4
Comparators*	4	2	6	6	4
IDACs	2	0	4	4	2
Timers/Counters/PWMs	4	4	8	8	4
Bluetooth Low Energy	N	N	N	N	Y
Serial Interfaces	2	3	4	4	2
CapSense Blocks	1	0	2	2	1
Universal Digital Blocks	4	4	4	8	4
USB Full Speed Device Controller	No	No	No	Yes	No
CAN Controller	0	0	2	2	0
GPIO	36	21	55	98	36
Smart IO	0	8	0	0	0
Pioneer Kit	CY8CKIT-042	-	CY8CKIT-044	CY8CKIT-046	CY8CKIT-042-Bluetooth Low Energy
Prototyping Kit	CY8CKIT-049	CY8CKIT-146	CY8CKIT-043	-	CY8CKIT-143A

**KitProg**

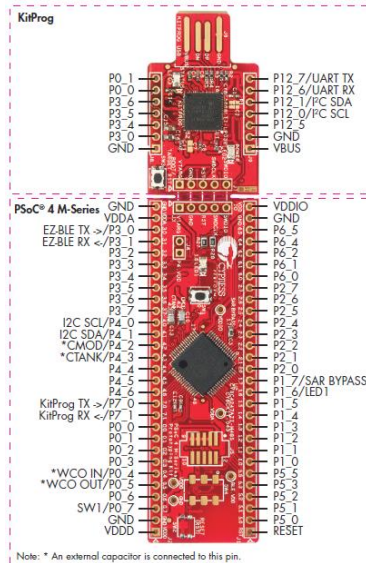
P0\_1  
P0\_0  
P3\_6  
P3\_5  
P3\_4  
P3\_0  
GND

P12\_7/UART TX  
P12\_6/UART RX  
P12\_1/PC SDA  
P12\_0/PC SCL  
P12\_5  
GND  
VBUS

**PSoC® 4 M-Series**

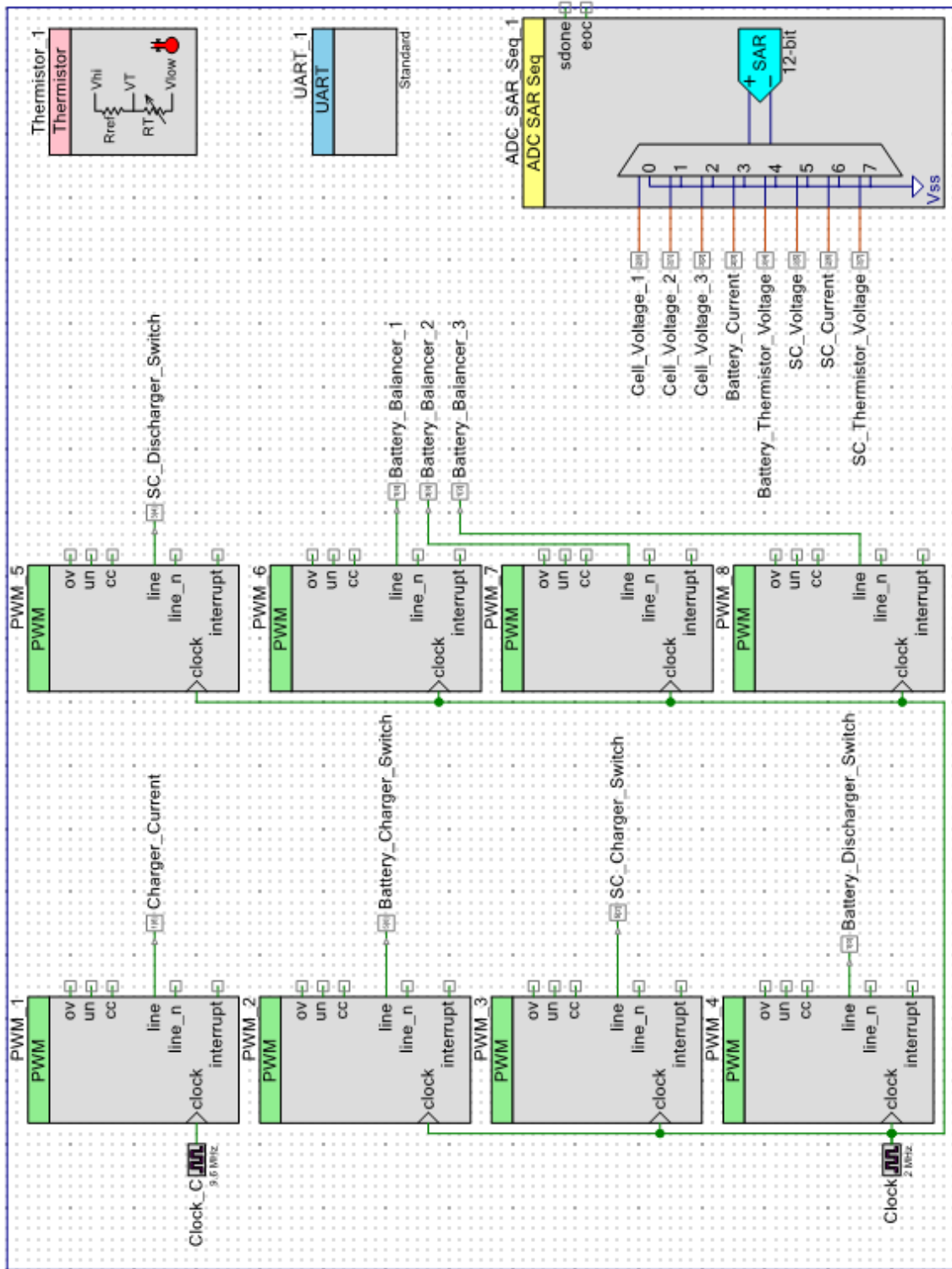
GND  
VDD0  
EZBLE TX -/P3\_0  
EZBLE RX -/P3\_1  
P3\_2  
P3\_3  
P3\_4  
P3\_5  
P3\_6  
P3\_7  
I2C SCL/P4\_0  
I2C SDA/P4\_1  
\*CMOD/P4\_2  
\*CTANK/P4\_3  
P4\_4  
P4\_5  
P4\_6  
P4\_7  
P1\_7/SAR BYPASS\*  
P1\_6/LED1  
P1\_5  
P1\_4  
P1\_3  
P1\_2  
P1\_1  
P1\_0  
\*WCO IN/P0\_4  
\*WCO OUT/P0\_5  
P0\_6  
SW1/P0\_7  
GND  
VDD0  
RESET

Note: \* An external capacitor is connected to this pin.



Şekil 3.7. PSoC 4 modelleri ve bu çalışmada kullanılan CY8CKIT-043’a ait pin konfigürasyonu

PSoC blok şeması Şekil 3.8’de verilmiştir. Sistemde ADC, PWM, Thermistör ve UART blokları kullanılmıştır.



Şekil 3.8. PSoC blok şeması



### 3.6. Kullanıcı Arayüz Gerçeklenmesi

BMS Sisteminde iletişim için UART protokolü kullanılmıştır. Bu arayüz PSoC, analog bileşenler, bataryalar ve süperkapasitör arasındaki iletişimi sağlamaktadır. PSoC blok şemasında UART bloğunda teraterm uygulaması ile arayüz yapısı sağlanarak, sistemdeki değerleri okuma ve yazma işlemleri yapılabilmektedir. Burada sistem çalışırken aynı zamanda müdahale etme imkanı sunmaktadır. Şekil 3.11 teraterm UART haberleşme iletişim çıktılarını göstermektedir. UART protokolü aracılığıyla okunan veriler, Python 3.9 programında [46], pandas, numpy ve matplotlib paketleri kullanılarak şekillere dönüştürülmüştür.

```
-----  
chv --> Charge Current Set  
bec --> Battery Charge Enable/Disable  
sec --> Supercap Charge Enable/Disable  
bed --> Battery Discharge Enable/Disable  
sed --> Supercap Discharge Enable/Disable  
ba1 --> Battery-1 Balancing  
ba2 --> Battery-2 Balancing  
ba3 --> Battery-3 Balancing  
bmp --> Battery Monitoring  
scp --> SC Monitoring  
alp --> All Monitoring  
bmo --> Battery Plot  
sco --> SC Plot  
atb --> Battery Auto Mode  
atc --> SC Auto Mode  
atn --> Balancing Auto Mode  
sbc --> Battery SoC Monitoring  
rst --> Reset Mode  
help --> Help Mode  
-----
```



Şekil 3.11. Arayüzdeki sistem haberleşme çıktıları

Sistem haberleşme çıktılarındaki kısaltmalar ve özellikleri aşağıda sunulmuştur:

- chv: Şarj akımının ayarlanmasını sağlar.
- bec: Batarya paketinin şarj anahtarını açma ve kapatmasını sağlar.
- sec: Süperkapasitör şarj anahtarını açma ve kapatmasını sağlar.
- bed: Batarya paketinin dşarj anahtarını açma ve kapatmasını sağlar.
- sed: Süperkapasitör deşarj anahtarını açma ve kapatmasını sağlar.
- ba1: Birinci pilin dengeleme anahtarını açma ve kapatmasını sağlar.
- ba2: İkinci pilin dengeleme anahtarını açma ve kapatmasını sağlar.
- ba3: Üçüncü pilin dengeleme anahtarını açma ve kapatmasını sağlar.
- bmp: Batarya paketi gerilim, akım ve sıcaklık değerlerini gösterir.
- scp: Süperkapasitör gerilim, akım ve sıcaklık değerlerini gösterir.
- alp: Bütün sistemin gerilim, akım ve sıcaklık değerlerini gösterir.
- bmo: Batarya paketinin değerlerini kayıt altına alır.
- sco: Süperkapasitör değerlerini kayıt altına alır.

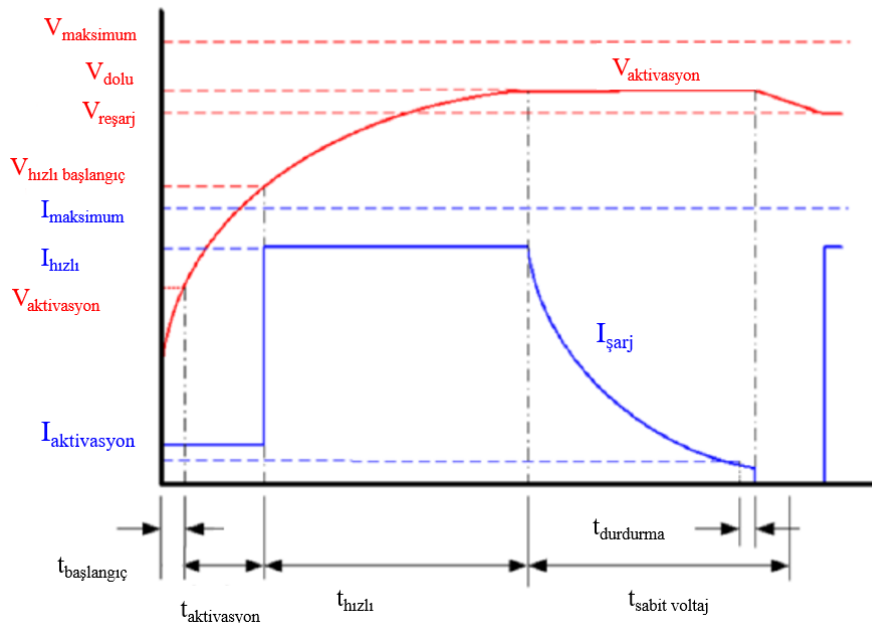
- atb: Batarya paketinin şarj ve deşarjının otomatik olarak yapılmasını sağlar.
- atc: Süperkapasitör şarj ve deşarjının otomatik olarak yapılmasını sağlar.
- atn: Batarya paketinin dengelenmesini otomatik olarak yapmasını sağlamaktadır.
- sbc: Batarya paketinin şarj durumunu gösterir.
- rst: Bütün anahtarların ve şarj kontrolünü sıfırlanmasını sağlar.
- help: Sistem haberleşme çıktılarını gösterir.

Sistem haberleşmesinde kullanılan özellikler içinde otomatik çıktılar bir sonraki 3.7. Güç Yönetim Yazılım Gerçeklenmesi bölümünde anlatılacaktır. Sistem değerlerinin kayıt çıktıları 4. Sonuçlar ve Tartışma kısmında şekil olarak sunulacaktır.

### 3.7. Güç Yönetim Yazılım Gerçeklenmesi

Güç yönetim yazılımlarında kural tabanlı yaklaşımı, optimizasyon yaklaşımı ve yapay zeka yaklaşımı kullanılabilir. Bu çalışmada dışarıya açık sistemlere erişim olmadığından, kapalı sistem olduğundan, kural tabanlı yaklaşım tercih edilmiştir. Kapalı sistem için PSoC dijital ve analog özellikleriyle, batarya şarj devreleri sistemin içinde gömülü olduğundan BMS tasarımında uygun bir çözümdür.

Bu sistemde BMS'nin gerekleri olan gerilim, akım ve sıcaklık değerleri önemli yer tutar. Batarya veya süperkapasitörün şarjı için sabit gerilim veya sabit akım kullanılabilir. Şekil 3.12'de bir pil için şarj grafiği verilmiştir. Bu temel üzerine pil, süperkapasitör ve dengeleme sistemleri yazılımı gerçekleştirilmiştir.



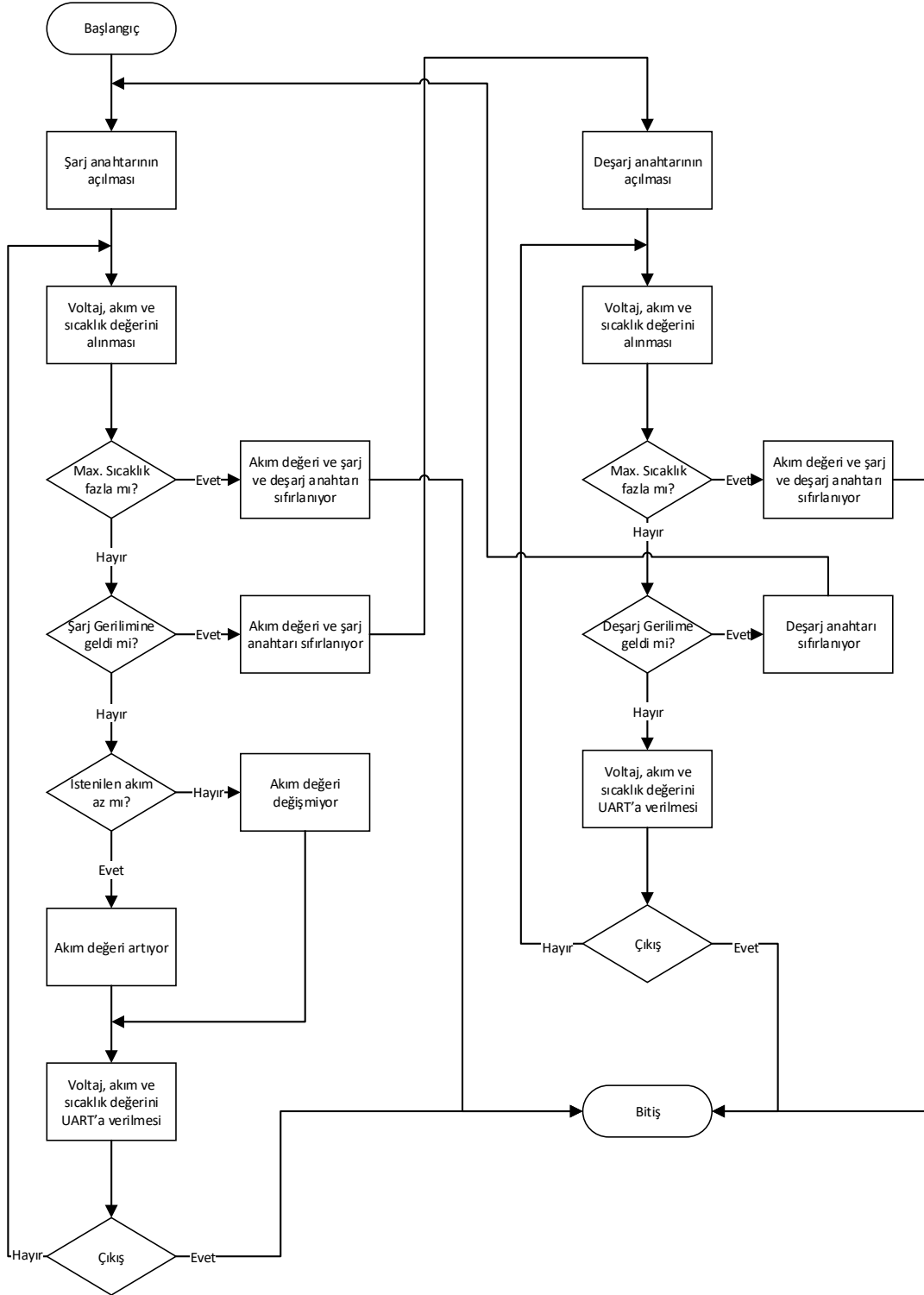
Şekil 3.12. Temel pil şarj grafiği [47]

Batarya geriliminin, aktivasyon geriliminden ( $V_{\text{aktivasyon}}$ ) düşük olduğu durumda bataryanın iyi durumda olup olmadığını kontrol etmek için ön şarj işlemi başlatılır. Ön şarj aşaması, az miktarda akımın ( $I_{\text{aktivasyon}}$  - tipik olarak pil kapasitesinin %10'u) sağlanmasıyla ve zaman sınırının düşük ( $t_{\text{başlangıç}}$ ) tutulmasıyla gerçekleştirilir. Batarya geriliminin,  $V_{\text{aktivasyon}}$ 'un üzerine çıktığında, aynı miktarda akımla şarjın devam ettiği aktivasyon aşamasına girilir. Bu aşamada, batarya gerilimi hızlı şarj gerilimi seviyesine getirilir [47].

Sabit akım aşaması, en güvenli çalışma gerilimi olan  $V_{\text{dolu}}$ 'ya ulaşınca kadar bataryanın hızlı şarj edilmesini sağlar. Hızlı şarj aşamasında, pil için belirtilen kapasiteye ayarlandıktan sonra, sabit akım, pil tam şarj gerilimine ( $V_{\text{dolu}}$ ) ulaşınca kadar uygulanır. Bu süreçte gerilim ölçümünün doğruluğu bataryanın güvenliği açısından çok önemli olduğundan; tolere edilebilecek hata payı genellikle  $V_{\text{dolu}}$ 'nun  $\pm\%1$ 'den küçüktür. Güvenlik nedeniyle, gerilim takibinin yanı sıra bataryanın sıcaklığı da izlenir [47].

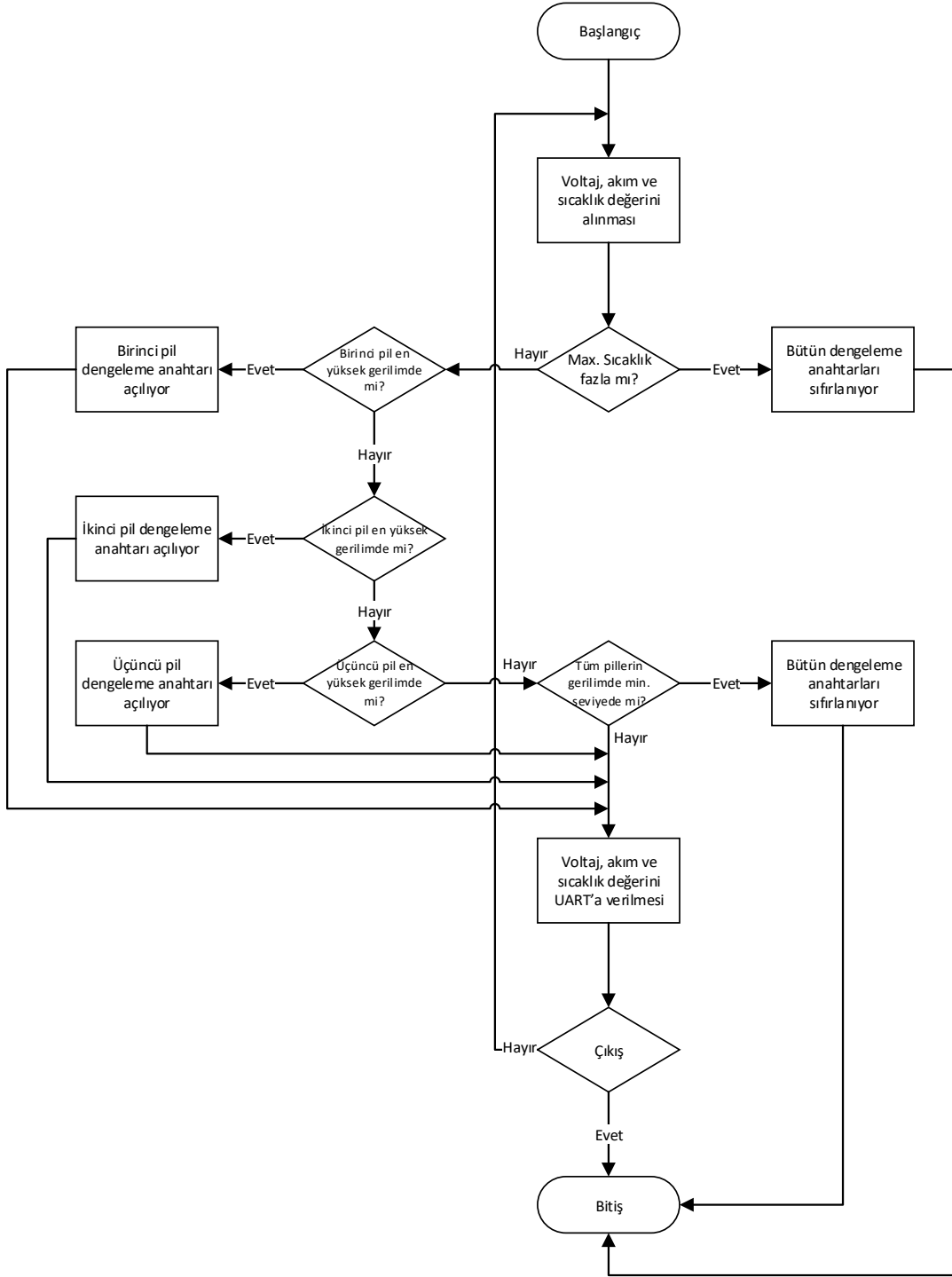
Batarya, sabit akım aşamasını takiben sabit gerilim aşamasına geçmektedir. Sabit gerilim aşaması, okunan gerilim değerinin batarya gerilimine karşılık gelmesi ve herhangi bir seri direnç boyunca gerilim düşüşü gerçekleşmemesi açısından önemlidir. Pil geriliminin sabit seviyede tutulması ve bir süre sonra şarj akımının azalması gerekir. Pil gerilimi  $V_{\text{full}}$  değerine ulaştığında, akım değeri,  $I_{\text{sonlandırma}}$ 'ya ulaştığında şarj tamamlanır. Gerilim, akım ve sıcaklık parametrelerini güvenli aralığın içinde tutmayı hedefleyen donanım yazılımı ile şarj algoritmasında uygulanır.

Bu temel üzerine batarya paketi, süperkapasitör ve dengeleme sistemi için donanım yazılımı gerçekleştirilir. Şekil 3.13'de batarya, süperkapasitör akış şeması ve Şekil 3.14'de dengeleme akış şeması verilmiştir. Bu akış şemaları sistem haberleşme çıktılarındaki otomatik mod yazılımlarını açıklamaktadır. Ek 1'de ilgili kodlar daha detaylı gösterilmiştir. Sistemde yapılan BMS hibrit sistem blok şeması Şekil 3.15'te sunulmuştur.

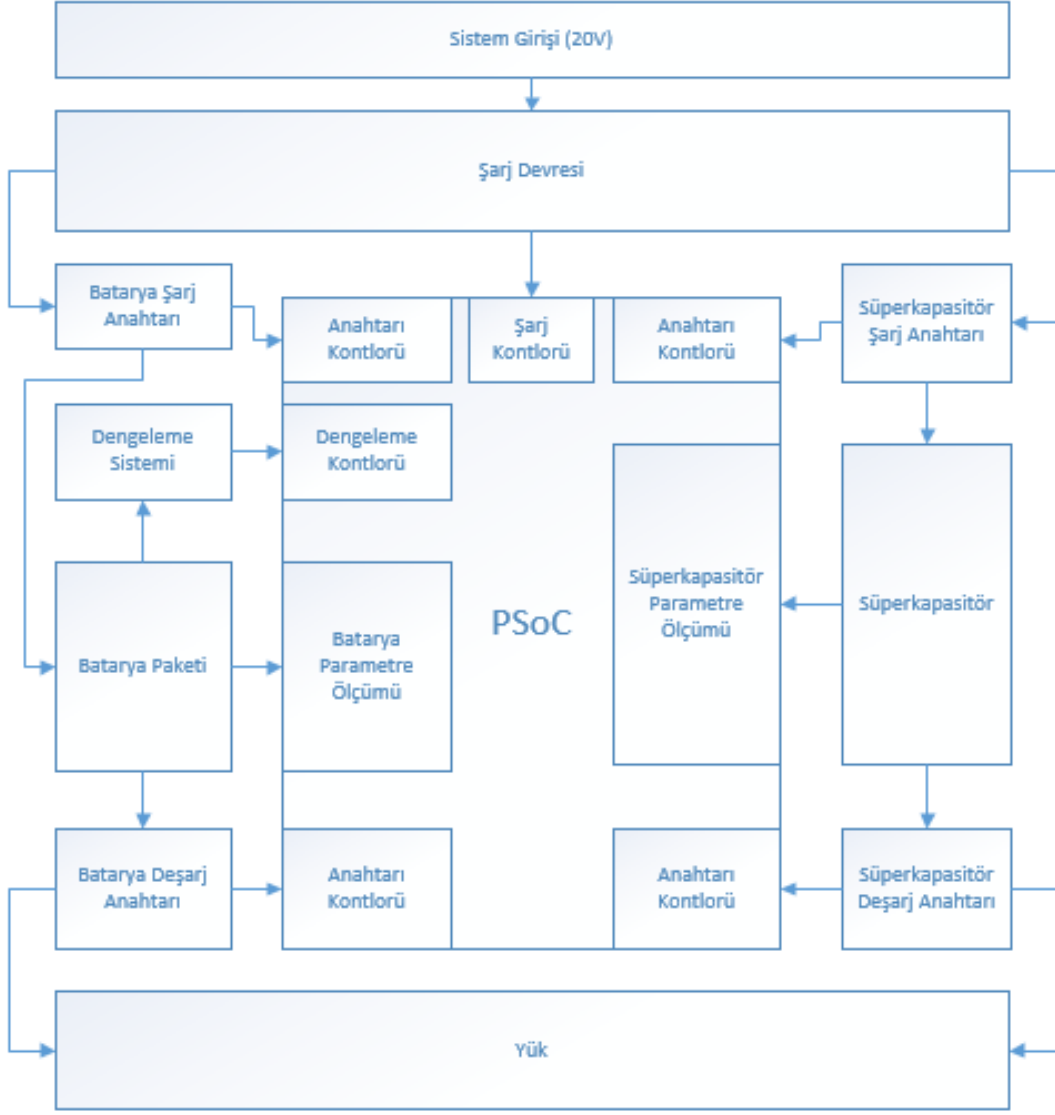


Şekil 3.13. Batarya ve süperkapasitör BMS akış şeması





Şekil 3.14. BMS dengeleme akış şeması



Şekil 3.15. BMS hibrit sisteminin blok şeması

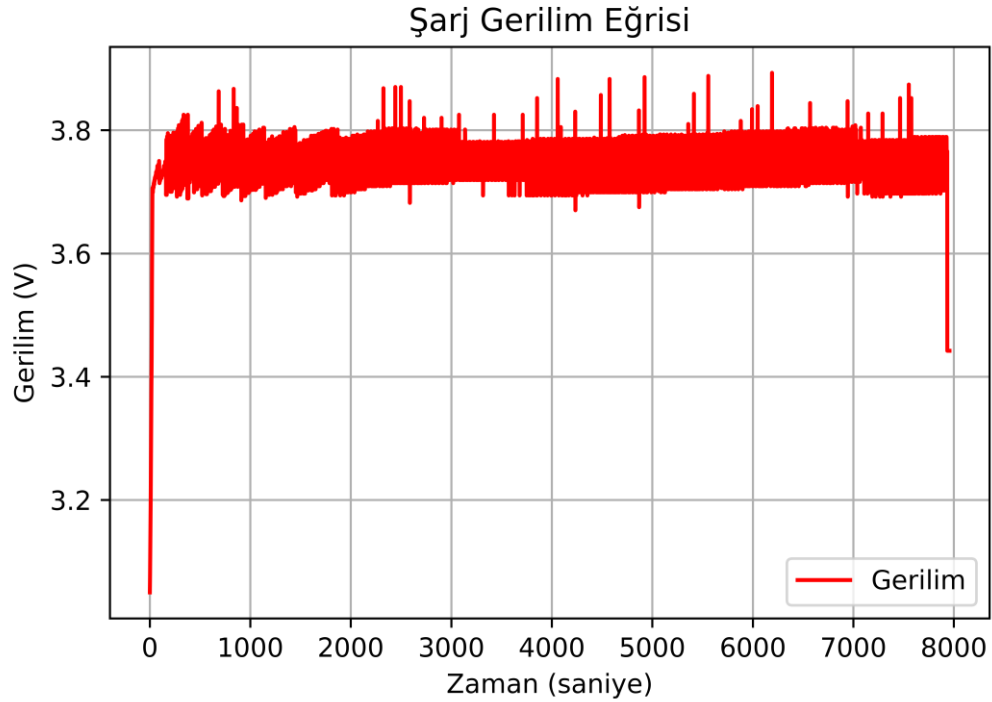
## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 4.1. PSoC ile pillerin şarj ve deşarjı

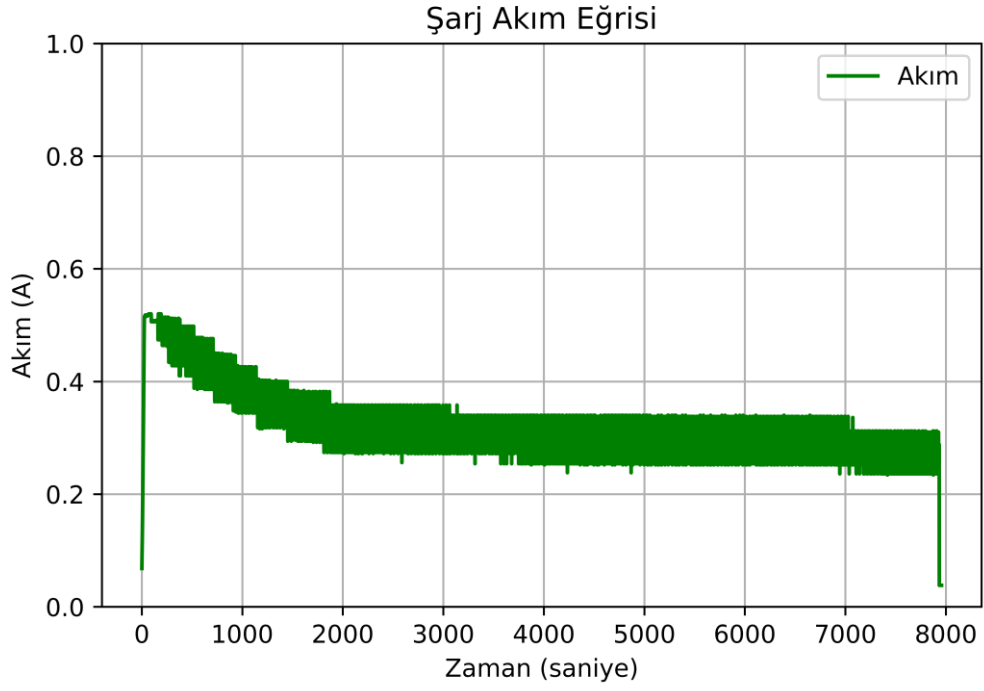
Bu çalışmada 3.7 V Li-iyon pili kullanılmıştır. Sonuçlar için tek bir pilin şarj ve deşarj eğrisi ile seri bağlı üç pilin şarj ve deşarj eğrileri incelenmiştir. Grafikler gerilim, akım ve sıcaklık olmak üzere üç ayrı parametreyi vurgulamaktadır.

#### 4.1.1. Pil şarjı

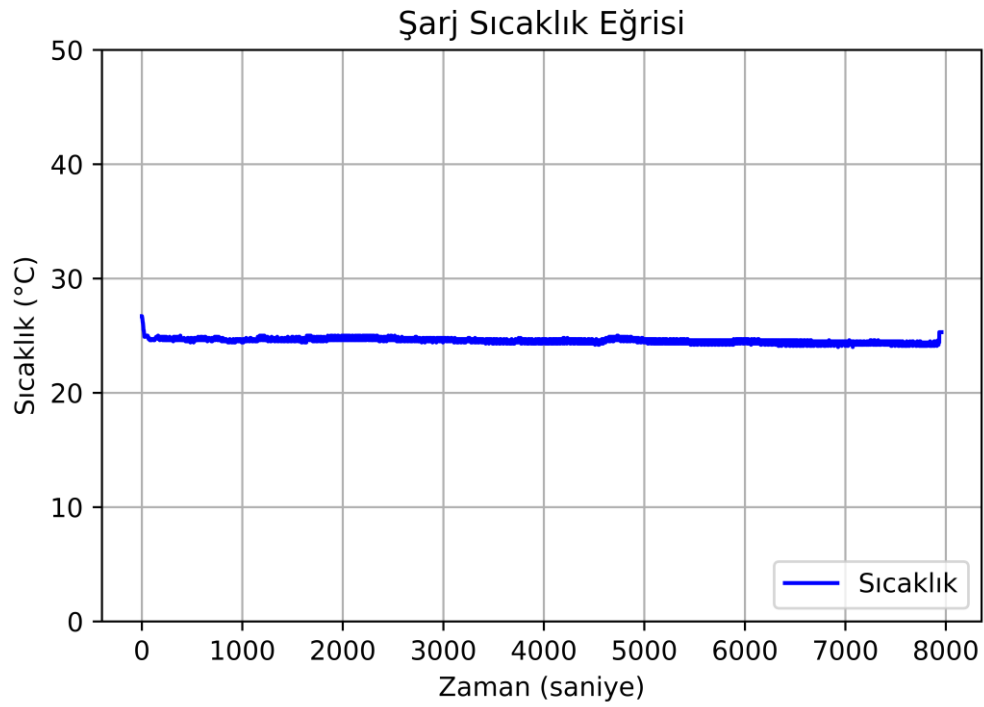
Tek pilde şarj esnasındaki gerilim, akım ve sıcaklık özellikleri incelenmiştir. Doluya yakın bir pilde şarj sırasında zamana göre gerilim eğrisi Şekil 4.1’de, akım eğrisi Şekil 4.2’de, sıcaklık eğrisi Şekil 4.3’de verilmiştir. Sabit gerilimde alınan akım grafiğinde zamanla azalacak şekilde üstel olarak düşüş gözlenmiştir. Burada akım, şarj gerilim kısıtı sonucunda pilin iç direncinin artması sebebiyle düşmektedir. Sıcaklık verisi ise bu esnada hemen hemen sabit kalmıştır. Burada önemle vurgulanması gereken bir husus pilin şarj olmadan önceki halinin doluya yakın olmasıdır. Temel pil şarj grafiğindeki sabit gerilim ve buna bağlı olarak düşen akım eğrisine benzemektedir. Grafik verilerindeki dalgalanmalar, frekans değerinin düşmesi ve akım dalgalanmasının artmasıyla oluşmuştur.



Şekil 4.1. Tek bir pilin şarjı için gerilim eğrisi



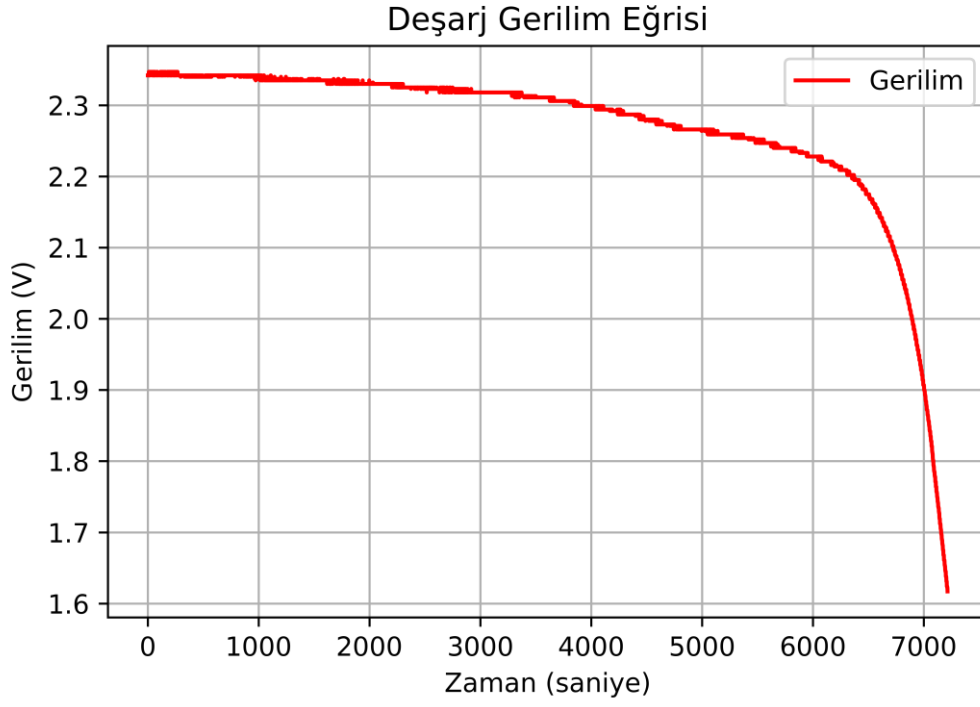
Şekil 4.2. Tek bir pilin şarjı için akım eğrisi



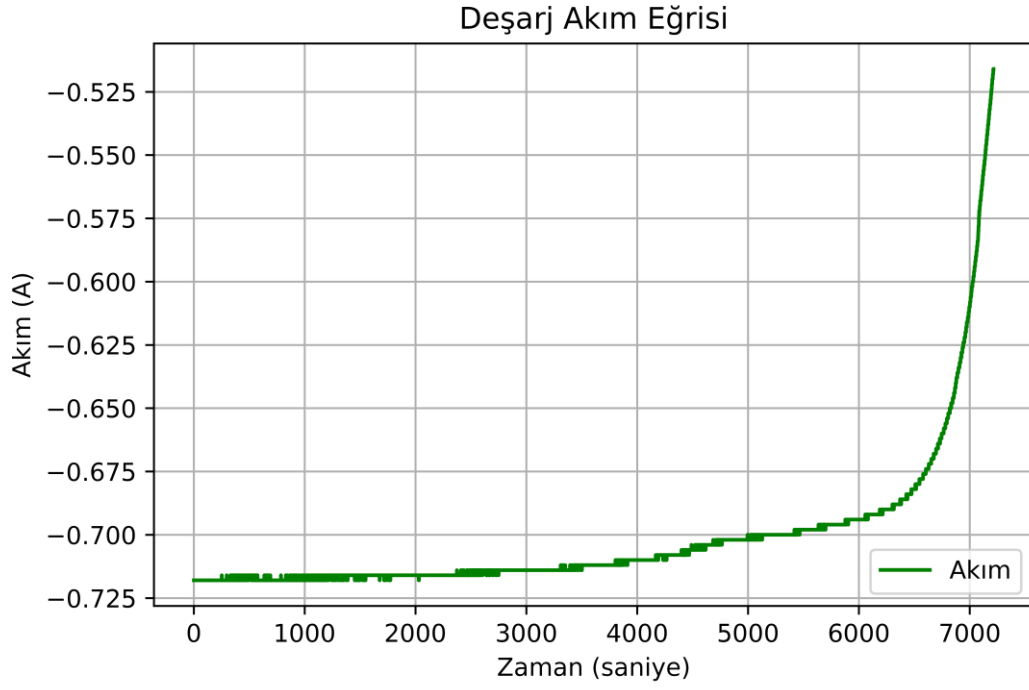
Şekil 4.3. Tek bir pilin şarjı için sıcaklık eğrisi

#### 4.1.2. Pil deşarjı

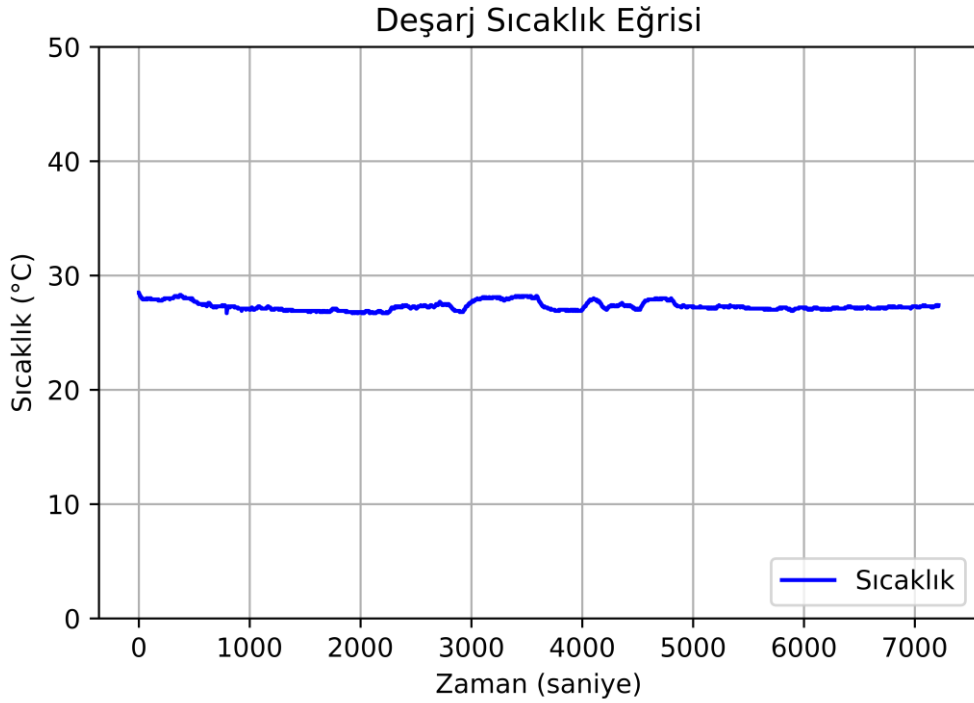
Tek pilde deşarj sırasındaki gerilim, akım ve sıcaklık özellikleri incelenmiş ve Şekil 4.4’de gerilim eğrisi, Şekil 4.5’de akım eğrisi, Şekil 4.6’de sıcaklık eğrisi verilmiştir. Pilin deşarjında  $22 \Omega$ ’luk direnç kullanılmıştır. Gerilimin düşmesiyle zamana bağlı olarak akımda  $C/4$  ile düşmektedir. Sıcaklık verisi ise bu esnada hemen hemen sabit kalmıştır.



Şekil 4.4. Tek bir pilin deşarjı için gerilim eğrisi



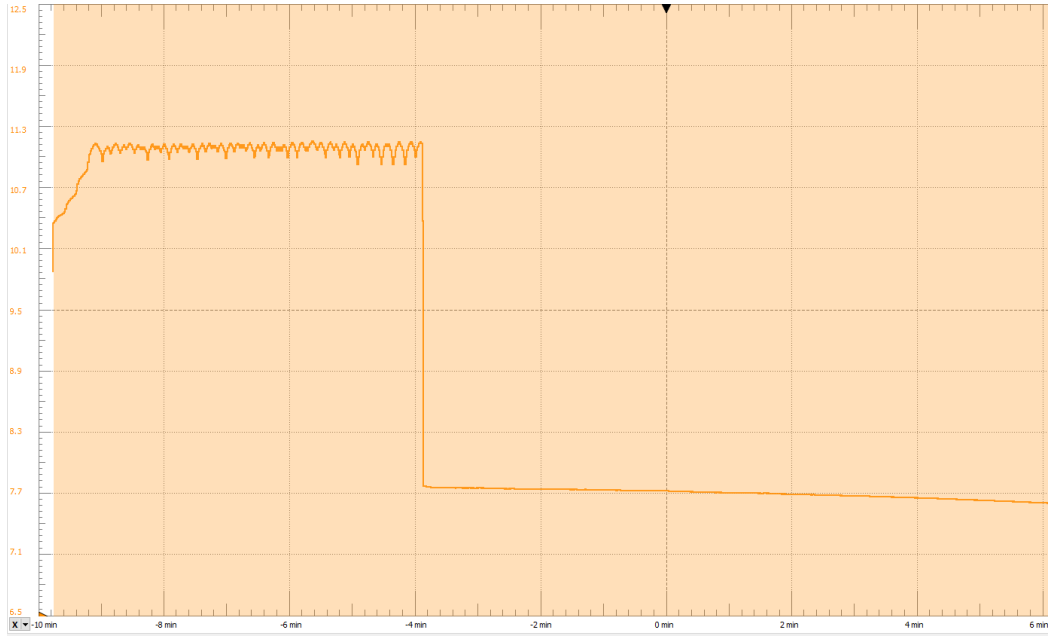
Şekil 4.5. Tek bir pilin deşarjı için akım eğrisi



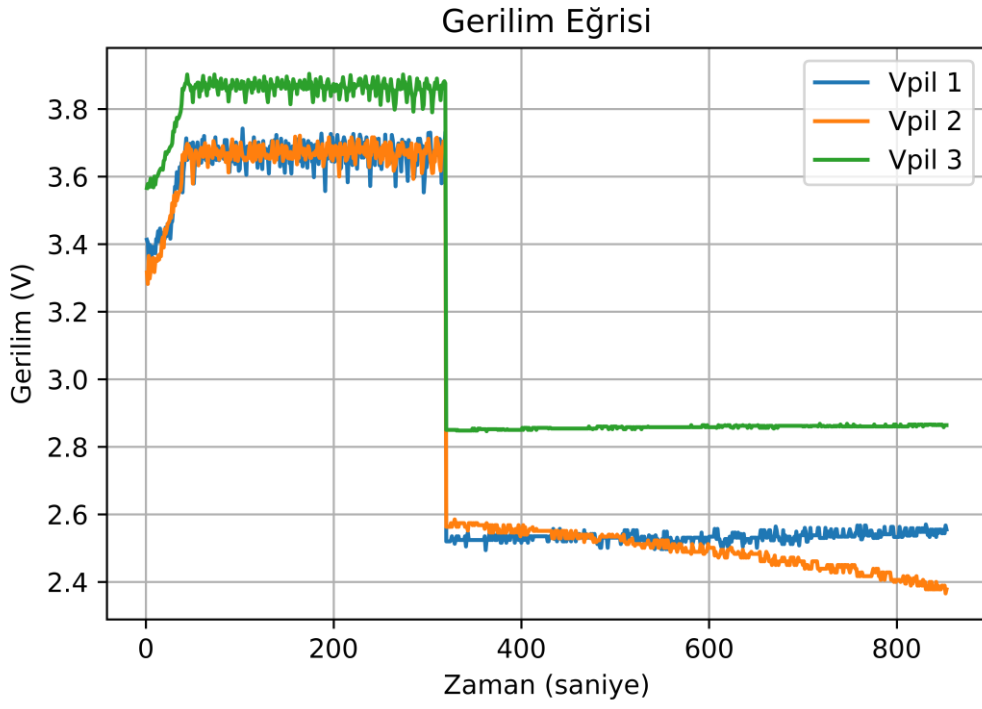
Şekil 4.6. Tek bir pilin deşarjı için sıcaklık eğrisi

### 4.1.3. Üç pilin ardışık şarj ve deşarjı

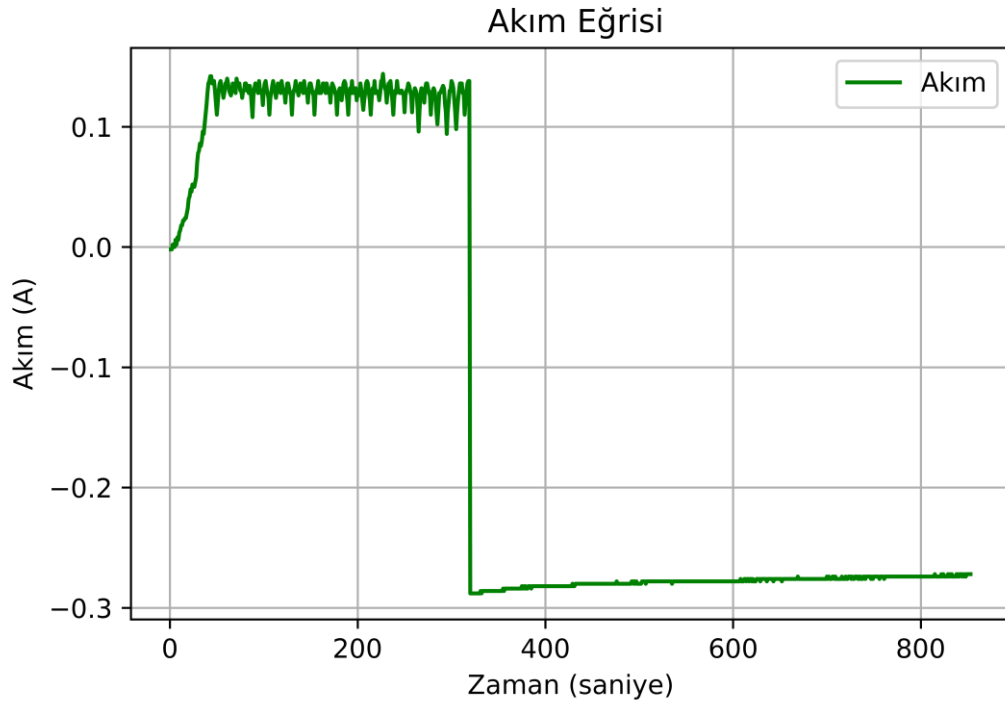
Seri olarak bağı üç pil için ardışık şarj-deşarj eğrisi alınmış ve gerilim, akım ve sıcaklık karakteristikleri incelenmiştir. Şekil 4.8’de gerilim eğrisi, Şekil 4.9’de akım eğrisi, Şekil 4.10’da sıcaklık eğrisi sunulmuştur. Önceki şarj ve deşarj grafiklerinden farkı sabit akım ile şarj yapılmasıdır. Grafikler kaydedilirken aynı anda gerçek zamanlı ölçüm de alınmıştır (Şekil 4.7). Grafikteki şarj veri dalgalanmalarının sebebi sabit akımda gerilim kısıtlarının olmasıdır. Sıcaklık verisi ise şarj-deşarj esnasında farklılık göstermektedir. Bunun sebebinin deşarj sırasında dirençten kaynaklı ısı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.7. Seri bağı üç pilin ardışık şarj-deşarj döngüsünde gerçek zamanlı toplam gerilim ölçümü

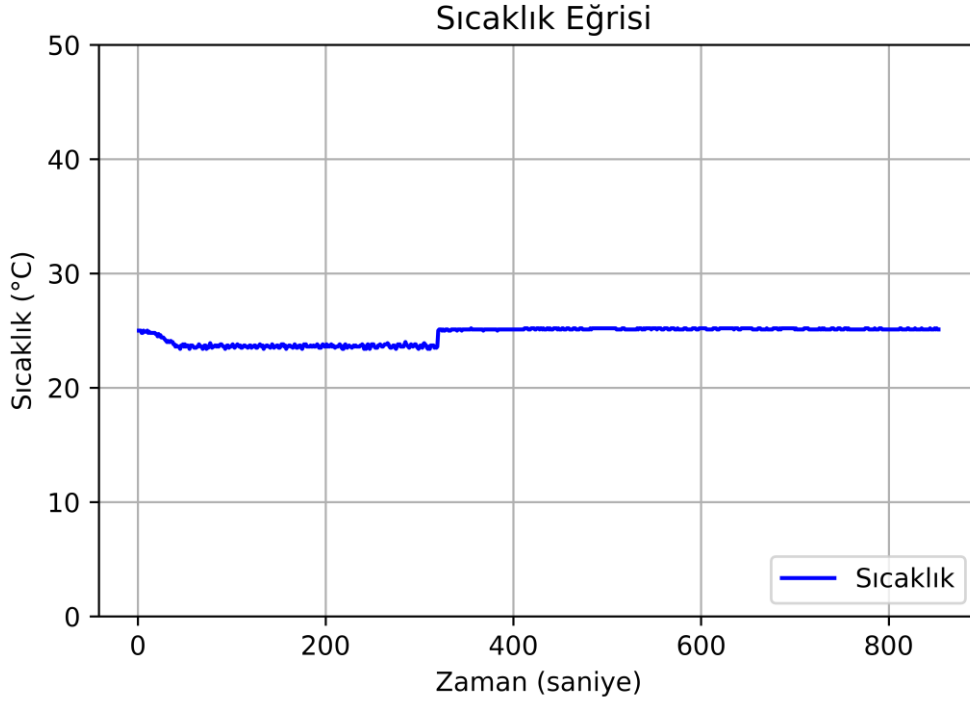


Şekil 4.8. Seri bağlı üç pilin ardışık şarj-deşarj döngüsünde gerilim eğrisi



Şekil 4.9. Seri bağlı üç pilin ardışık şarj-deşarj döngüsünde akım eğrisi





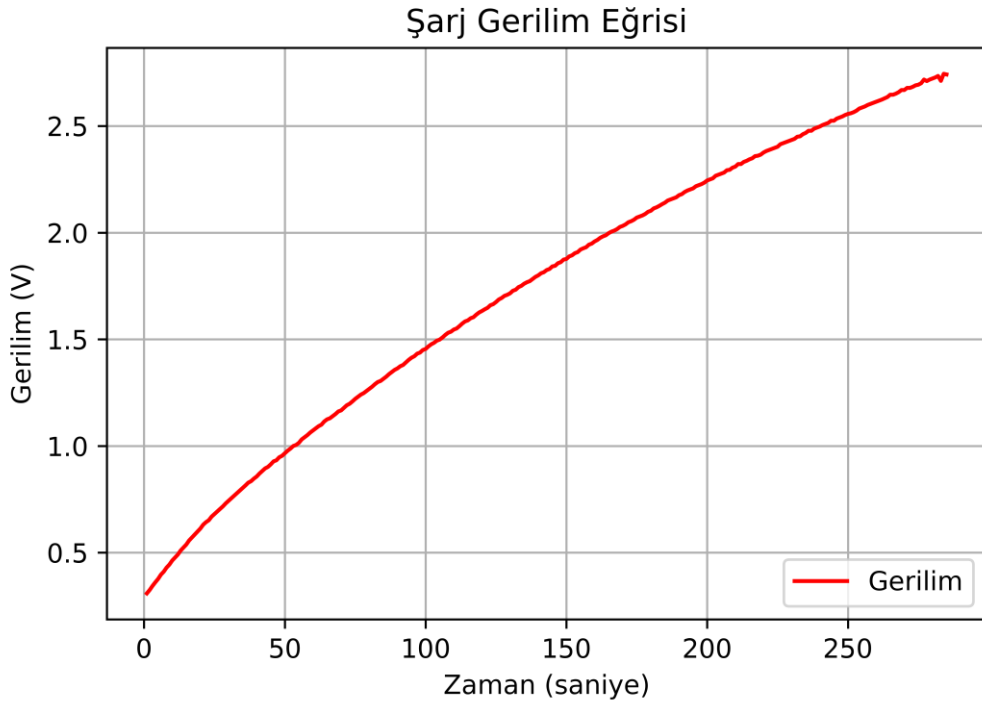
Şekil 4.10. Seri bağlı üç pilin ardışık şarj-deşarj döngüsünde sıcaklık eğrisi

## 4.2. PSoC ile süperkapasitörün şarj vedeşarjı

Bu çalışmada 2.7V 25F süperkapasitör hücresi kullanılmıştır. Sonuçlar için tek bir süperkapasitör şarj vedeşarj eğrisi; ardışık şarj-deşarj eğrisi sunulacaktır. Grafikler gerilim, akım ve sıcaklık olmak üzere üç ayrı parametreyi vurgulamaktadır. Süperkapasitörler için C değerinin hesabı yaklaşık olarak farad başına 0.75mAh olarak hesaplanmıştır.

### 4.2.1. Süperkapasitörün şarjı

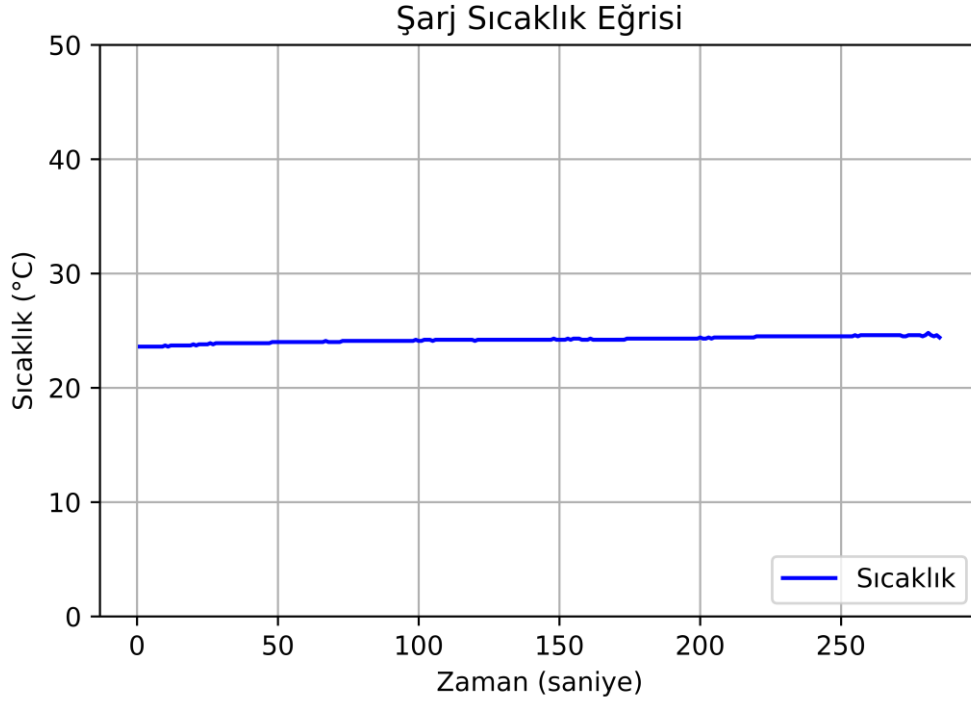
Süperkapasitörün şarjı sırasında gerilim, akım ve sıcaklık özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.11'de gerilim eğrisi, Şekil 4.12'de akım eğrisi, Şekil 4.13'de sıcaklık eğrisi sunulmuştur. Düzenli artan gerilim ve düzenli düşen akım grafiği gözlenmiştir. Yazılım tarafında kısıt olarak süperkapasitör gerilimi verilmiştir ve buna bağlı olarak sabit akım verilmemiştir. Burada akım, şarj gerilim kısıtı ile süperkapasitörün iç direncinin artması sebebiyle düşmüştür. Gerilimi yaklaşık olarak 4 dakikada 0,4V'den 2.7V'a kadar artmıştır. Sıcaklık verisi ise bu esnada hemen hemen sabit kalmıştır. Temel süperkapasitör şarj grafik eğrisine benzemektedir. Süperkapasitörün dolma zamanı 0'dan itibaren yaklaşık 4 dakikadır ve C hesabına uymaktadır.



Şekil 4.11. Süperkapasitör şarjı için gerilim eğrisi



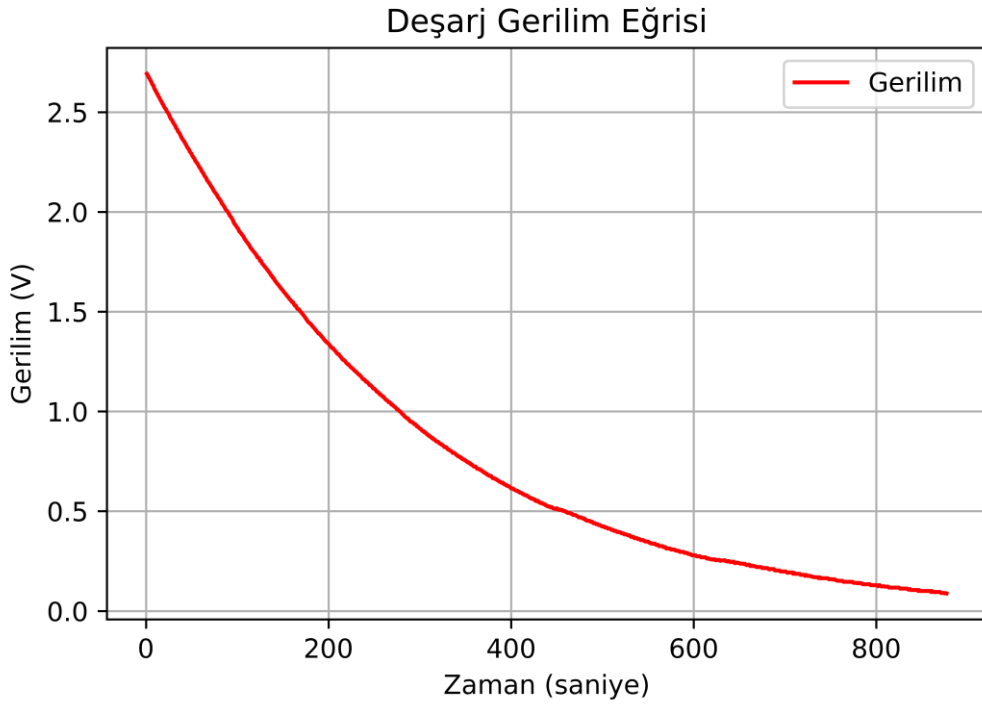
Şekil 4.12. Süperkapasitör şarjı için akım eğrisi



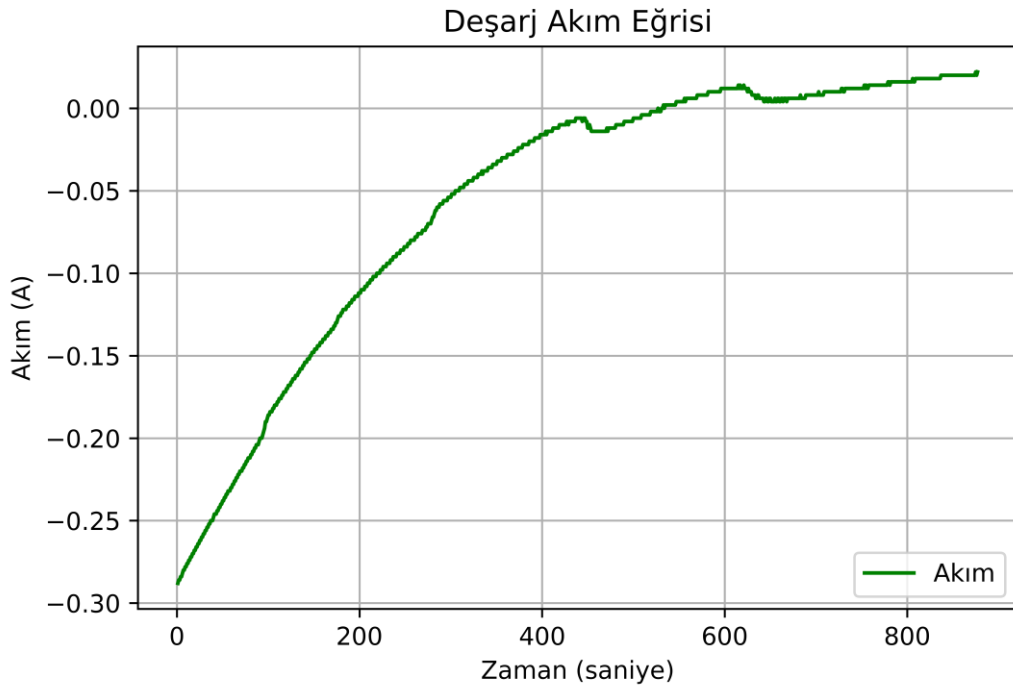
Şekil 4.13. Süperkapasitör şarjı için sıcaklık eğrisi

#### 4.2.2. Süperkapasitörün deşarjı

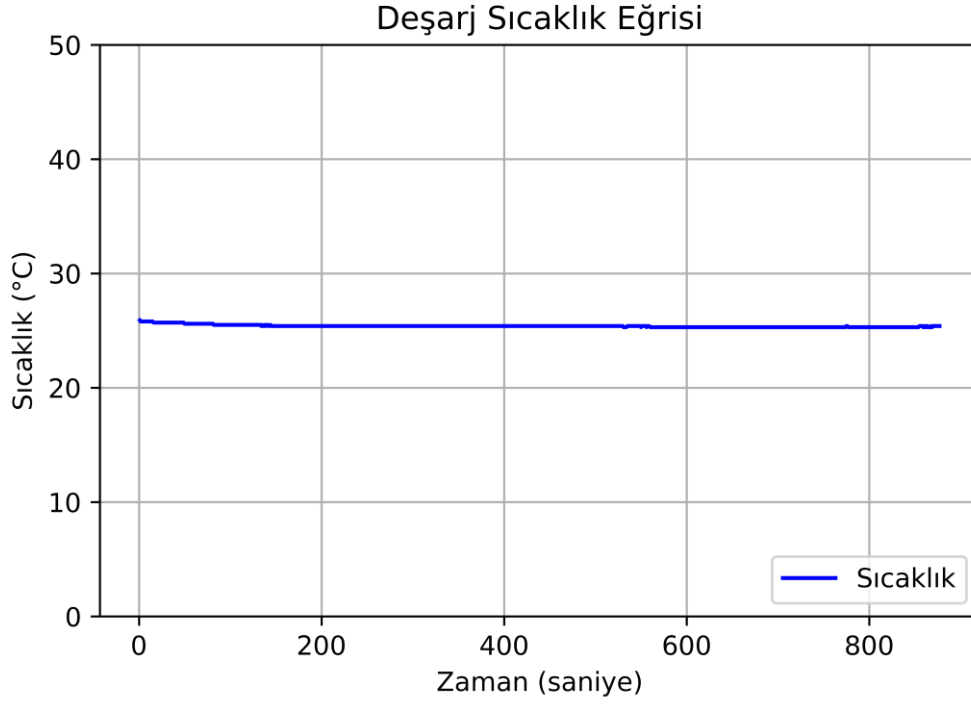
Süperkapasitöre ait deşarj esnasındaki gerilim, akım ve sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Süperkapasitör deşarjında toplamda 8  $\Omega$  direnç kullanılmıştır. Sıcaklık verisi ise bu esnada hemen hemen sabit kalmıştır. Sonunda süperkapasitör tamamıyla boşalmıştır. Şekil 4.14’de gerilim eğrisi, Şekil 4.15’de akım eğrisi, Şekil 4.16’de sıcaklık eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.14. Süperkapasitör deşarjı için gerilim eğrisi



Şekil 4.15. Süperkapasitör deşarjı için akım eğrisi



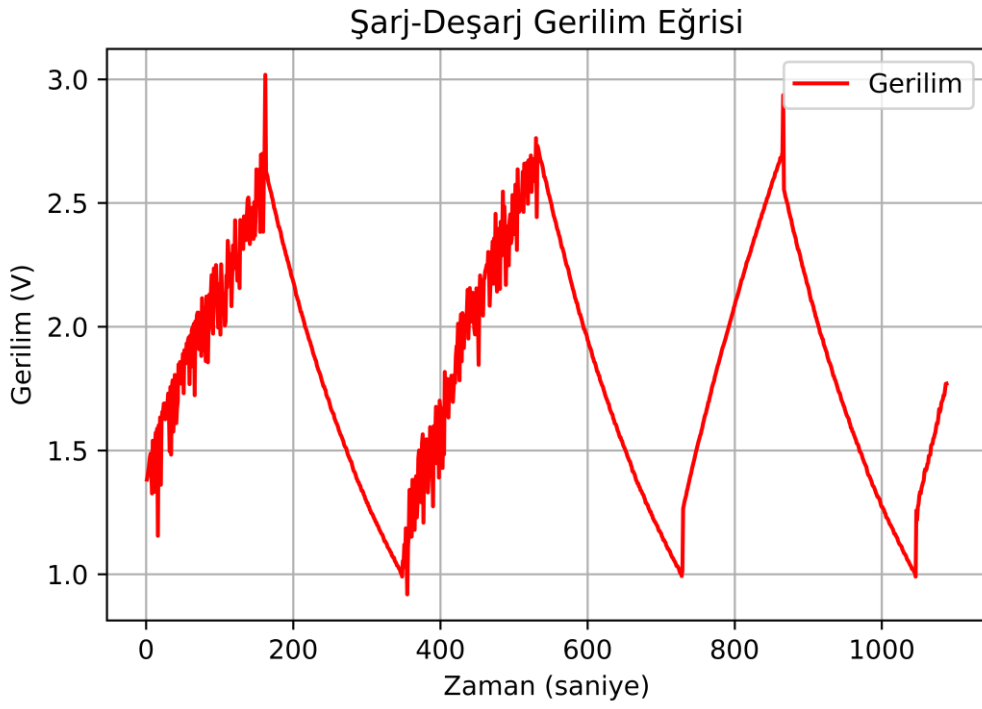
Şekil 4.16. Süperkapasitör deşarjı için sıcaklık eğrisi

#### 4.2.3. Süperkapasitörün ardışık şarj ve deşarjı

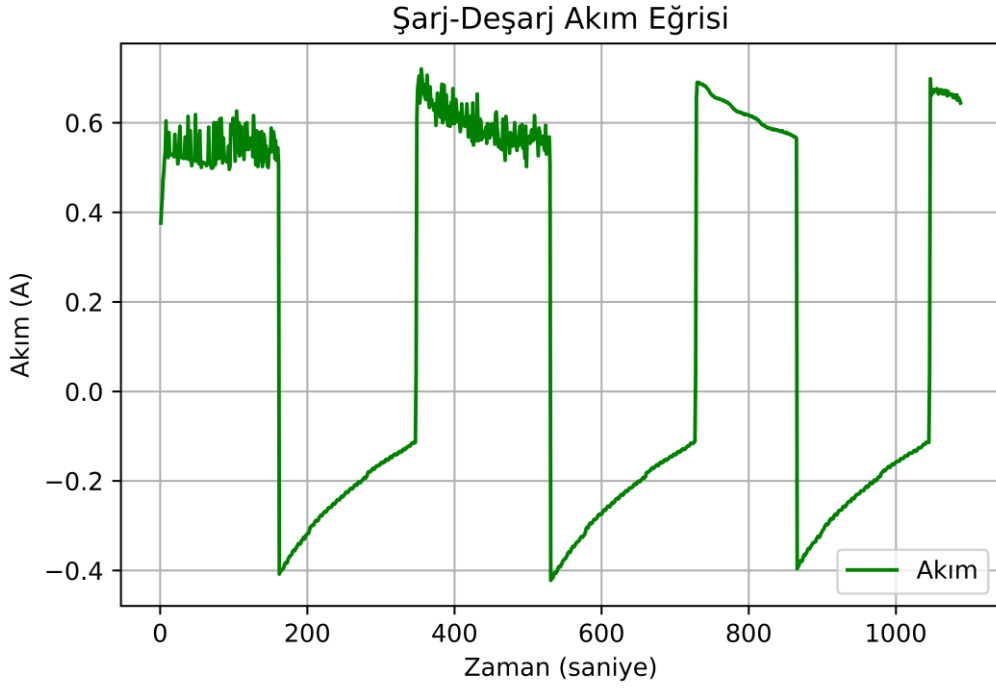
Süperkapasitör için ardışık şarj-deşarjı sırasındaki gerilim, akım ve sıcaklık karakteristikleri çalışılmıştır. Şekil 4.18’de gerilim eğrisi, Şekil 4.19’de akım eğrisi, Şekil 4.20’de sıcaklık eğrisi sunulmuştur. Önceki şarj ve deşarj grafiklerinden farkı sabit akım ile şarj yapılmaya çalışılmış ve gerilim aralığı 2.7V ile 1V arasında şarj-deşarj dönüşleri yapılmıştır. Grafikler kaydedilirken aynı anda gerçek zamanlı ölçüm de alınmıştır (Şekil 4.17). Grafikteki şarj verilerin dalgalanması sebebi sabit akım ile şarj edilmeye çalışılmasıdır. Sıcaklık verisi ise şarj-deşarj esnasında farklılık göstermektedir. Bunun sebebinin deşarj sırasında dirençten kaynaklı ısı olduğu düşünülmektedir.



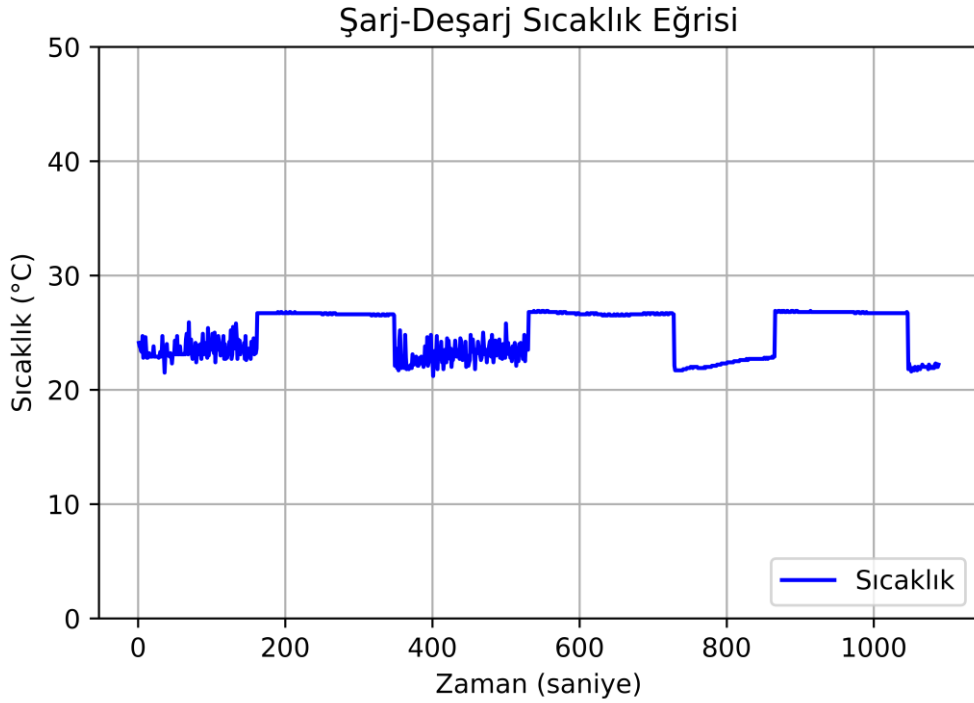
Şekil 4.17. Süperkapasitör ardışık şarj-deşarj döngüsünde gerçek zamanlı ölçüm



Şekil 4.18. Süperkapasitör ardışık şarj-deşarj döngüsünde gerilim eğrisi



Şekil 4.19. Süperkapasitör ardışık şarj-deşarj döngüsünde akım eğrisi

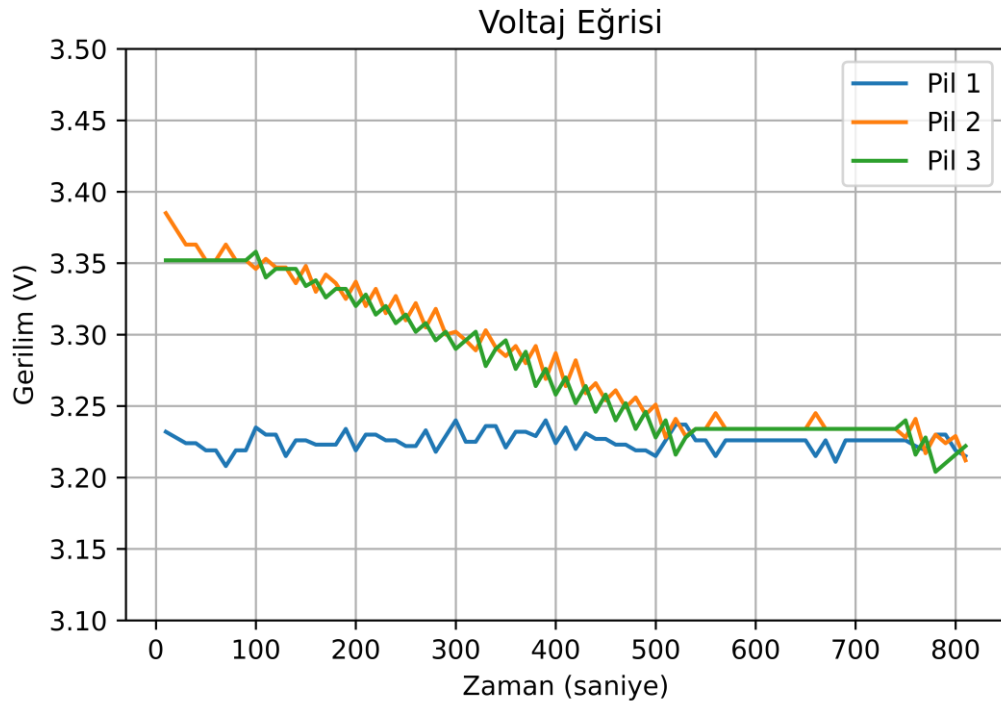


Şekil 4.20. Süperkapasitör ardışık şarj-deşarj döngüsünde sıcaklık eğrisi

### 4.3. PSoC ile pil dengeleme ve şarj durum kestirimi

#### 4.3.1. Pil dengeleme

Pil dengelemeyi incelemek için üç ayrı pilin zamana karşı gerilim değişimleri Şekil 4.21’de verilmiştir. Yük altındaki gerilimleri kullanılarak bir dengeleme sistemi yapılmıştır. En düşük gerilimli pil zamanla neredeyse sabit kalırken yüksek gerilimli pillerin gerilimi kayıplı bir şekilde giderek düşmüştür. Sonunda üç pilin gerilim değerleri de eşitlenmiştir.



Şekil 4.21. Üç pilin dengeleme gerilim eğrileri



### 4.3.2. Şarj durum kestirimi

Üç pil ve süperkapasitör şarj durumu için yük altındaki gerilimleri ve önceki gerilimleri referans alınarak bir kestirim yapılmıştır. Bölüm 3.4’de ki formüller kullanılmış ve pilin dolu halini referans alınarak bir kestirim yapılmıştır. Şekil 4.22’de görüldüğü gibi ara yüzdeki çıktılar gösterilmiştir. Burada şarj durumu bindelik olarak sunulmuştur.

```
-----  
Battery SoC Monitoring  
Battery Voltage (1) 3257mV  
Battery Voltage (2) 3346mV  
Battery Voltage (3) 3412mV  
Battery Voltage SOC(1) 176  
Battery Voltage SOC(2) 184  
Battery Voltage SOC(3) 190  
-----
```

```
-----  
SC SoC Monitoring  
SC Voltage 1742mV  
SC Voltage SOC 490  
-----
```

Şekil 4.22. Üç pilin ve süperkapasitörün şarj durum değerleri

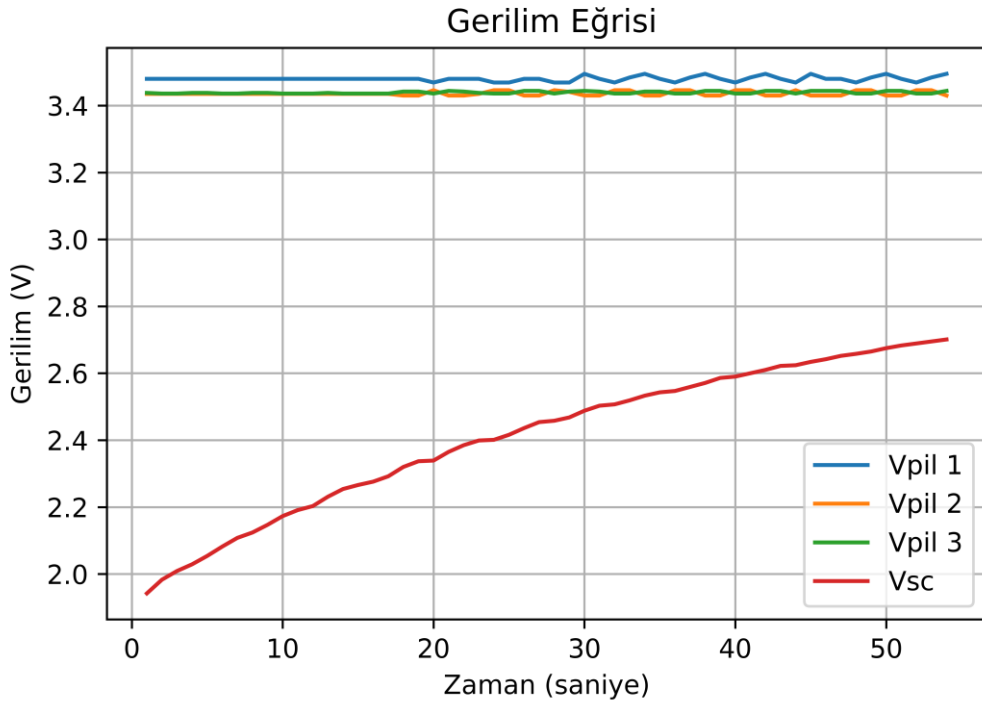
### 4.4. PSoC ile Batarya ve süperkapasitör hibrit sisteminde şarj ve deşarj

Hibrit sistemde seri bağlı üç 3.7 V Li-iyon pili ve bunlara paralel bağlı bir 2.7V 25F süperkapasitör hücresi kullanılmıştır. Grafikler gerilim, akım ve sıcaklık olmak üzere üç ayrı parametreyi vurgulamaktadır.

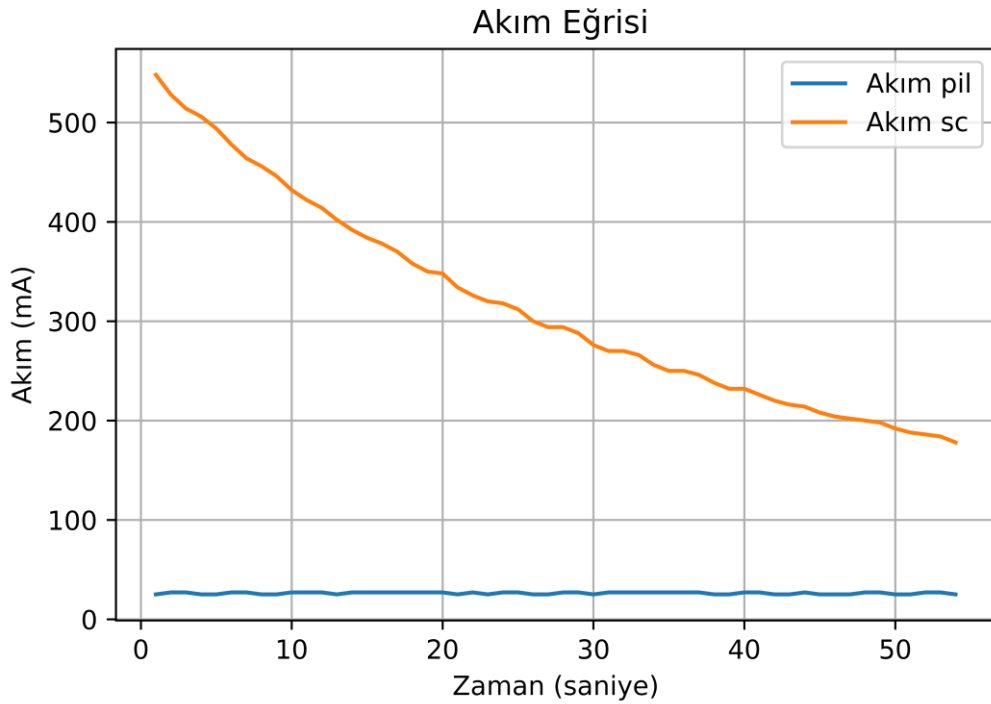
#### 4.4.1. Batarya ve süperkapasitör hibrit sisteminin şarjı

Seri bağlı üç pil ve bunlara paralel bağlı bir süperkapasitör hücresi içeren hibrit sisteminin şarjı esnasındaki kaydedilen zamana karşı gerilim değişimi Şekil 4.23’de, akım değişimi Şekil 4.24’de ve sıcaklık değişimi Şekil 4.25’de verilmiştir. Şekil 4.23’den görüldüğü gibi pillerin gerilimi çok az değişmekle birlikte süperkapasitörün gerilimi zamanla çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Bunun nedeni pillerin enerji kapasitesi (2500 mAh) süperkapasitörün enerji kapasitesine (33 mAh, 2.7 V, 25F) göre çok daha yüksek

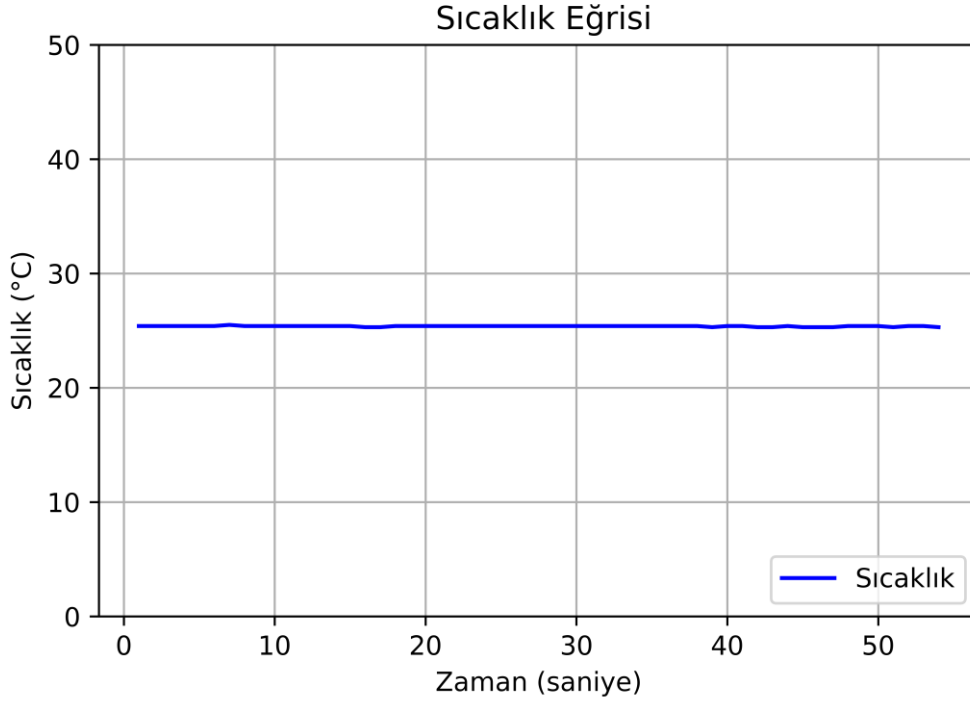
olduğundan pillerin şarj durumu (SOC) aynı akım ve sürede çok az değişmekte sonuçta gerilimde kaydedilir oranda bir değişiklik olmamaktadır. Sıcaklık verisi sabit kalmıştır.



Şekil 4.23. Üç pil ve bir süperkapasitör hibrit sistemin şarjı için gerilim eğrisi



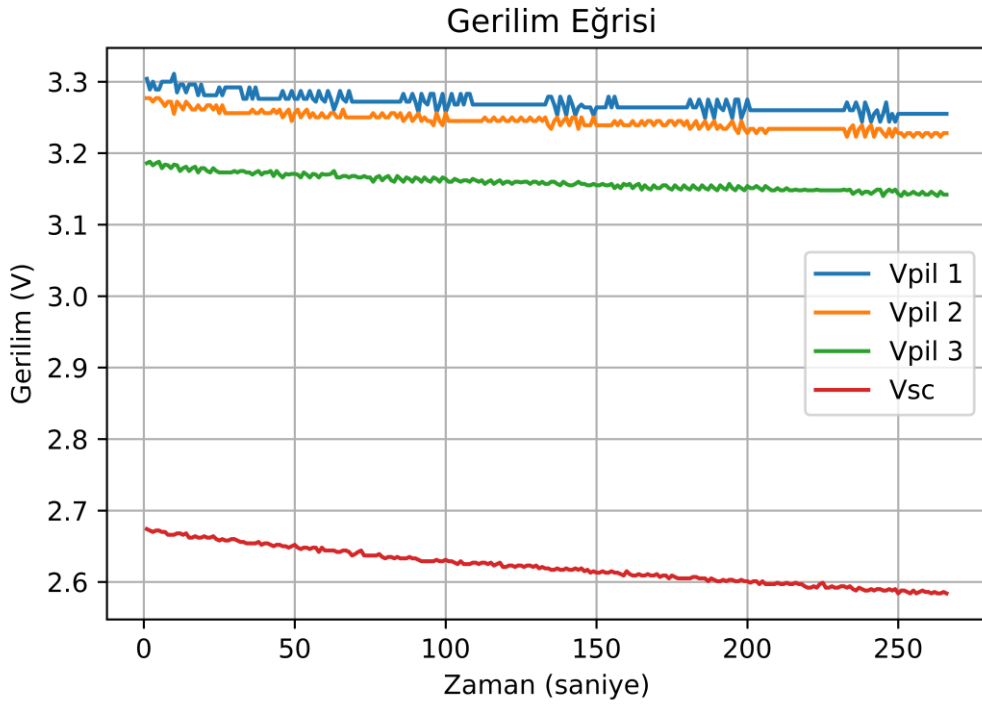
Şekil 4.24. Üç pil ve bir süperkapasitör hibrit sistemin şarjı için akım eğrisi



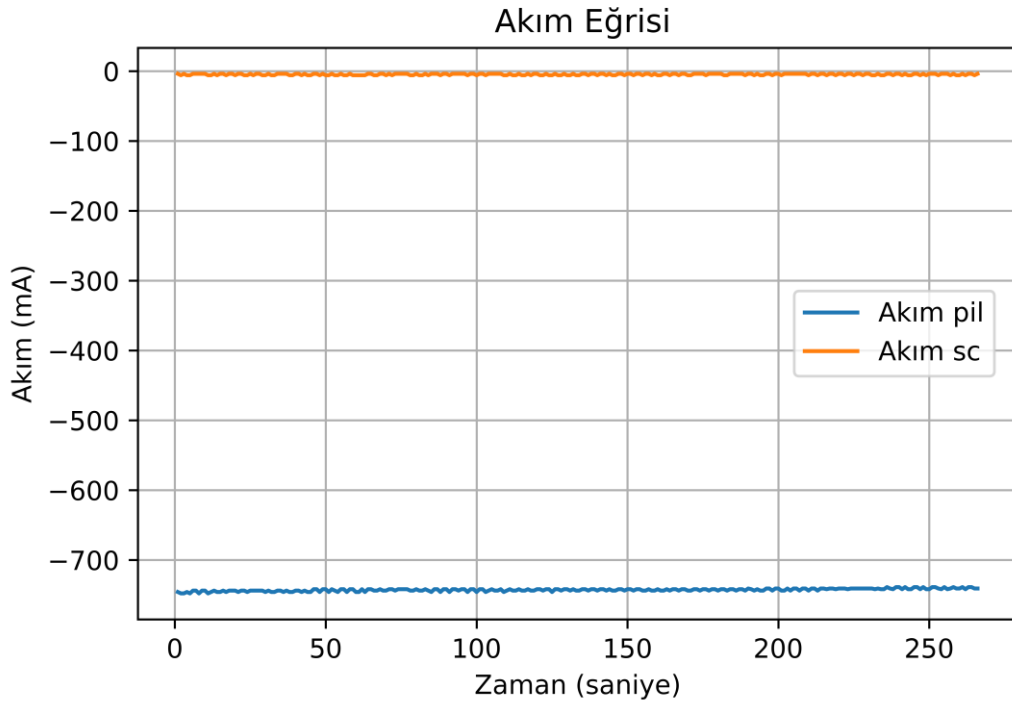
Şekil 4.25. Üç pil ve bir süperkapasitör hibrit sistemin şarjı için sıcaklık eğrisi

#### 4.4.2. Batarya ve süperkapasitör hibrit sisteminin deşarjı

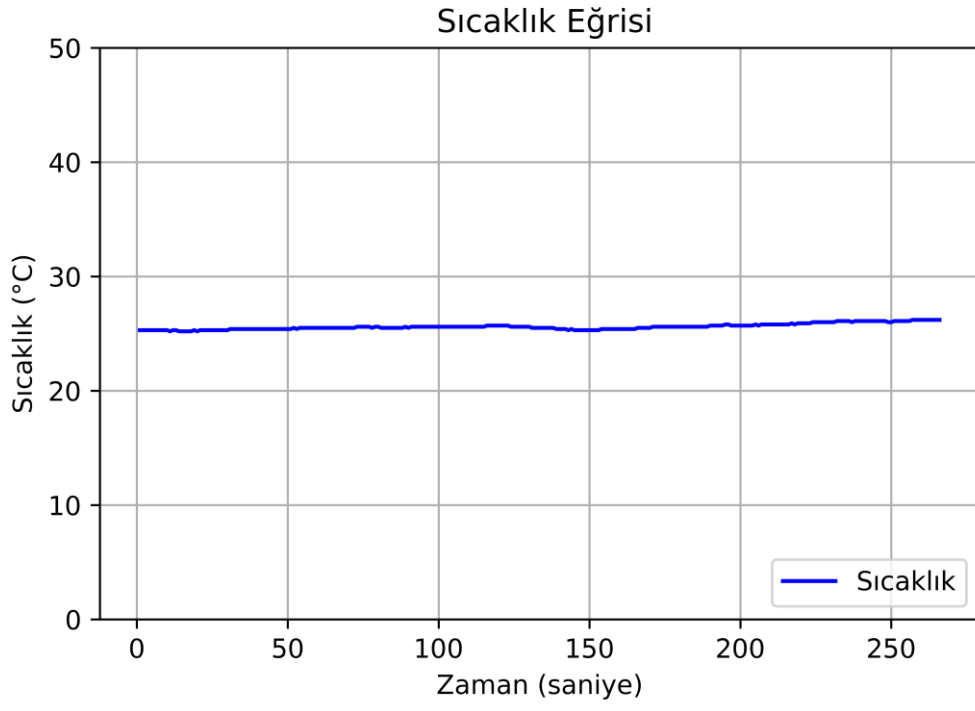
Seri bağılı üç pil ve bunlara paralel bağılı bir süperkapasitör hücresi içeren hibrit sisteminin deşarjı esnasındaki kaydedilen zamana karşı gerilim değişimi Şekil 4.26’de, akım değişimi Şekil 4.27’de ve sıcaklık değişimi Şekil 4.28’de verilmiştir. Şekil 4.26’den görüldüğü gibi pillerin gerilimi zamanla değişmekte buna karşılık süperkapasitörün gerilimi bağılı olarak daha hızlı azalmaktadır. Bunun nedeni pillerin enerji kapasitesi süperkapasitörün enerji kapasitesine göre çok daha yüksek olduğu için pillerin şarj durumu (SOC) aynı akım ve sürede daha az değişmekte sonuç olarak gerilimdeki düşme daha az olmaktadır. Sıcaklık verisi ise bu esnada sabit kalmıştır.



Şekil 4.26. Üç pil ve bir süperkapasitör hibrit sistemin deşarjı için gerilim eğrisi



Şekil 4.27. Üç pil ve bir süperkapasitör hibrit sistemin deşarjı için akım eğrisi



Şekil 4.28. Üç pil ve bir süperkapasitör hibrit sistemin deşarjı için sıcaklık eğrisi

## 5. YORUM

Bu tez çalışması kapsamında çeşitli alanlarda kullanımına geçilen batarya-süperkapasitör hibrit sistemlerinde programlanabilir yonga (PSoC) kullanan bir yönetim sisteminin gerçekleştirilmesi ile ilgili ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Batarya ve süperkapasitör hibrit sistemindeki parametrelerin yönetiminde PSoC kullanımının üstünlüğü birden fazla pil ve/veya süperkapasitörün birçok parametresini aynı anda kolaylıkla yönetebilme imkanını sunmasıdır. Literatürde hibrit sistemlerde PsoC kullanımıyla ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Daha çok içten yanmalı veya yakıt hücreleriyle süperkapasitör hibrit sistemleri çalışılmakla birlikte bunların hiçbirinde PsoC kullanımı gerçekleştirilmemiştir. Uygulamalı PSoC tabanlı tek çalışma, kurşun asit pili için değişken çevresel koşullarda verimli bir şekilde şarj edilebilecek etkili bir PV sisteminin tasarımıdır [42]. Tek başına batarya veya süperkapasitörlü sistemler uygulamalı şekilde kullanılsa bile kontrol algoritmaları sistemler üzerinde araştırmalar vardır.

Zhang ve ark. [48], pil ve süperkapasitörü birlikte kullanarak oluşturulan hibrit sisteminin şarj ve deşarjında pilin baskın olduğunu göstermişler ve güç paylaşımı için 3 ayrı kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Belirli çalışma alanlarında bu sistemi test ederek birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Payman ve ark. [49], birincil olarak yakıt hücresi ve yardımcı olarak süperkapasitör kullanarak bir hibrit sistem ortaya koymuşlardır. Süperkapasitörün kullanılmasındaki amaç geçici enerji ve geri kazanımdır. Kim ve ark. [50], çalışmasında süperkasasitör/pil hibrit sisteminde regülasyon yönetimini oluşturabilecek bir sitem ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada batarya ve süperkapasitörler için genel bilgileri, batarya yönetim sisteminde kullanılan yöntemler, güç yönetim yazılımı ve PSoC tümleşik devrelerine dair bilgiler sunulmuştur. Süperkapasitör ve pil için Şarj ve deşarj esnasında; gerilim, akım ve sıcaklık grafikleri aynı anda PsoC aracılığı ile alınmıştır. Sonuç olarak sistemde PSoC kullanıldığında temel sabit akım ve sabit voltaj eğrilerine benzer sonuçlar elde edilebildiği gösterilmiştir. PSoC vasıtası ile voltaj, akım ve sıcaklık kısıtları konulmuş ve sonuçta bu sistem üç pilin aynı anda şarj ve deşarjını inceleme imkanı sağlamıştır.

Dengeleme sisteminde kayıplı dengeleme kullanılmış ve piller benzer seviyelere düşürülmeye çalışılmıştır. Kayıplı dengeleme için pillerin iç dirençlerini ve yük altındaki voltajlarını kullanarak bir dengeleme yapılmıştır. Şarj durumu için yük altındaki

gerilimleri kullanılarak bir kestirim yapılmıştır. Dengelemenin süperkapasitör tarafında yapılmamasının sebebi hızlı şarj ve deşarj esnasında dengelemenin çok kısa sürmesidir. Dengelemenin önemini sistemde çok fazla süperkapasitör olduğunda görebiliriz.

Bu çalışmanın devamında hibrit sistemlerde PSoC ile kayıpsız dengeleme, çoklu süperkapasitör dengelemesi, yükten PSoC'a gelen verilerle; şarj durumu için kalman filtre ve yük sayımının kullanılması ve güç yönetimi yazılımında kapalı sistemden açık sisteme geçirilmesi planlanmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] NASA, Climate Change: How do we know?, Global Climate Change Vital signs of the planet, NASA, 2021.
- [2] C.L. Sabine, R.A. Feely, N. Gruber, R.M. Key, K. Lee, J.L. Bullister, R. Wanninkhof, C.S. Wong, D.W.R. Wallace, B. Tilbrook, F.J. Millero, T.-H. Peng, A. Kozyr, T. Ono, A.F. Rios, The Oceanic Sink for Anthropogenic CO<sub>2</sub>, Science, 305 (2004) 367-371.
- [3] NASA, The Causes of Climate Change, Global Climate Change Vital Signs of the Planet, NASA, 2021.
- [4] V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. , C.P. Connors, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. , T.K.M. Matthews, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou, IPCC Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021.
- [5] European Commission, Causes of climate change, Climate Action, 2021.
- [6] United Nations Climate Change, The Paris Agreement, 2021.
- [7] UN Climate Change Conference UK 2021, What do we need to achieve at COP26?, 2021.
- [8] International Energy Agency, Renewable Energy Market Update: Outlook for 2021 and 2022, 2021.
- [9] International Energy Agency, Renewables 2021: Analysis and forecast to 2026, 2021.
- [10] H. Abdi, B. Mohammadi-ivatloo, S. Javadi, A.R. Khodaei, E. Dehnavi, Chapter 7 - Energy Storage Systems, in: G.B. Gharehpetian, S.M. Mousavi Agah (Eds.) Distributed Generation Systems, Butterworth-Heinemann 2017, pp. 333-368.
- [11] A.F. Zobaa, Energy storage-technologies and applications, 2013.
- [12] D. Linden, Handbook of batteries and fuel cells, New York, McGraw-Hill Book Co., 1984, 1075 p. No individual items are abstracted in this volume., (1984).
- [13] D. Berndt, D. Spahr, Batteries, 1. General, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, pp. 1-23.
- [14] F. Béguin, E. Frackowiak, Carbons for electrochemical energy storage and conversion systems, CRC Press 2009.
- [15] J.O. Besenhard, Handbook of battery materials, John Wiley & Sons 2008.
- [16] I. Buchmann, BU-107: Comparison Table of Secondary Batteries, Battery University, 2021.
- [17] J. Ma, Y. Li, N.S. Grundish, J.B. Goodenough, Y. Chen, L. Guo, Z. Peng, X. Qi, F. Yang, L. Qie, C.-A. Wang, B. Huang, Z. Huang, L. Chen, D. Su, G. Wang, X. Peng, Z. Chen, J. Yang, S. He, X. Zhang, H. Yu, C. Fu, M. Jiang, W. Deng, C.-F. Sun, Q. Pan, Y.



Tang, X. Li, X. Ji, F. Wan, Z. Niu, F. Lian, C. Wang, G.G. Wallace, M. Fan, Q. Meng, S. Xin, Y.-G. Guo, L.-J. Wan, The 2021 battery technology roadmap, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 54 (2021) 183001.

[18] P. Gregory, Chapter 2 - Simulating Battery Packs, *Battery Management Systems, Volume II: Equivalent-Circuit Methods*, Artech2015, pp. 1.

[19] Z. Yang, J. Zhang, M.C.W. Kintner-Meyer, X. Lu, D. Choi, J.P. Lemmon, J. Liu, *Electrochemical Energy Storage for Green Grid*, *Chemical Reviews*, 111 (2011) 3577-3613.

[20] Y. Shao, M.F. El-Kady, J. Sun, Y. Li, Q. Zhang, M. Zhu, H. Wang, B. Dunn, R.B. Kaner, *Design and Mechanisms of Asymmetric Supercapacitors*, *Chemical Reviews*, 118 (2018) 9233-9280.

[21] B. Dunn, H. Kamath, J.-M. Tarascon, *Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices*, *Science*, 334 (2011) 928-935.

[22] B. Elvers, *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*, Verlag Chemie1991.

[23] V. Balzani, P. Piotrowiak, M. Rodgers, J. Mattay, D. Astruc, *Electron transfer in chemistry*, Wiley-VCH Weinheim2001.

[24] C. Arbizzani, M. Mastragostino, F. Soavi, *Batteries, Electron Transfer in Chemistry*2001, pp. 645-694.

[25] B.E. Conway, *Similarities and Differences between Supercapacitors and Batteries for Storing Electrical Energy*, in: B.E. Conway (Ed.) *Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications*, Springer US, Boston, MA, 1999, pp. 11-31.

[26] E. Karaca, N. Özçiçek Pekmez, K. Pekmez, *Galvanostatic deposition of polypyrrole in the presence of tartaric acid for electrochemical supercapacitor*, *Electrochimica Acta*, 147 (2014) 545-556.

[27] E. Karaca, D. Gokcen, N. Özçiçek Pekmez, K. Pekmez, *One-step electrosynthesis of polypyrrole/PbOx composite in acetonitrile as supercapacitor electrode material*, *Synthetic Metals*, 247 (2019) 255-267.

[28] E. Karaca, D. Gökçen, N.Ö. Pekmez, K. Pekmez, M. Uğur, N.D. Aksu, *4.2 V Stack of metal oxide-polypyrrole-based composite electrodes and their power management*, *International Journal of Energy Research*, 44 (2020) 8666-8680.

[29] B.E. Conway, *The Electrochemical Behavior of Ruthenium Oxide (RuO<sub>2</sub>) as a Material for Electrochemical Capacitors*, in: B.E. Conway (Ed.) *Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications*, Springer US, Boston, MA, 1999, pp. 259-297.

[30] C. Lin, J.A. Ritter, B.N. Popov, *Characterization of Sol-Gel-Derived Cobalt Oxide Xerogels as Electrochemical Capacitors*, *Journal of The Electrochemical Society*, 145 (1998) 4097-4103.

- [31] M. Mastragostino, R. Paraventi, A. Zanelli, Supercapacitors Based on Composite Polymer Electrodes, *Journal of The Electrochemical Society - J ELECTROCHEM SOC*, 147 (2000).
- [32] E. Karaca, D. Gokcen, N. Özçiçek Pekmez, K. Pekmez, Electrochemical synthesis of PPy composites with nanostructured MnOx, CoOx, NiOx, and FeOx in acetonitrile for supercapacitor applications, *Electrochimica Acta*, 305 (2019).
- [33] E. Karaca, D. Gökçen, N.Ö. Pekmez, K. Pekmez, Galvanostatic synthesis of nanostructured Ag-Ag<sub>2</sub>O dispersed PPy composite on graphite electrode for supercapacitor applications, *International Journal of Energy Research*, 44 (2020) 158-170.
- [34] G.L. Plett, Chapter A - Supercapacitors, *Battery Management Systems: Battery Modeling Volume I*, Artech House 2015.
- [35] P. Gregory, Chapter 1 - Battery-Management-System Requirements, *Battery Management Systems, Volume II: Equivalent-Circuit Methods*, Artech 2015, pp. 1.
- [36] P. Gregory, Chapter 3 - Battery-State Estimation, *Battery Management Systems, Volume II: Equivalent-Circuit Methods*, Artech 2015, pp. 1.
- [37] P. Gregory, Chapter 5 - Cell Balancing, *Battery Management Systems, Volume II: Equivalent-Circuit Methods*, Artech 2015, pp. 1.
- [38] P. Gregory, Chapter 4 - Battery Health Estimation, *Battery Management Systems, Volume II: Equivalent-Circuit Methods*, Artech 2015, pp. 1.
- [39] F.L. Luo, H. Ye, M. Rashid, Chapter 7 - Digitally Controlled DC/DC Converters, in: F.L. Luo, H. Ye, M. Rashid (Eds.) *Digital Power Electronics and Applications*, Academic Press, San Diego, 2005, pp. 178-220.
- [40] H. Fan, Design tips for an efficient non-inverting buck-boost converter, *Texas Instruments, Analog Applications Journal*, 2014.
- [41] Infineon, PSoC™ 5, 2021.
- [42] P. Kale, N. Patel, G. Raut, R. Lanjewar, Design and implementation of PSoC microcontroller based photovoltaic system, (2015) 1257-1262.
- [43] G. Mois, S. Folea, T. Sanislav, L. Miclea, A low-power PSoC-based environmental monitoring system, *2016 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR)*, 2016, pp. 1-4.
- [44] P.N. Patil, S.D. Sawant, Estimating multiple health parameters using PSoC controller, *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, 2016, pp. 384-387.
- [45] D.-D. Tran, M. Vafaiepour, M. El Baghdadi, R. Barrero, J. Van Mierlo, O. Hegazy, Thorough state-of-the-art analysis of electric and hybrid vehicle powertrains: Topologies and integrated energy management strategies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119 (2020) 109596.

- [46] G.a.D. Van Rossum, Fred L., Python 3 Reference Manual, CreateSpace2009.
- [47] A. Yarlagadda, Badiger, Rajiv, PSoC® 3 and PSoC 5LP - Single-Cell Lithium-Ion (Li-ion) Battery Charger, AN73468, Cypress, 2017.
- [48] Y. Zhang, Z. Jiang, X. Yu, Control Strategies for Battery/Supercapacitor Hybrid Energy Storage Systems, 2008 IEEE Energy 2030 Conference, 2008, pp. 1-6.
- [49] A. Payman, S. Pierfederici, F. Meibody-Tabar, Energy control of supercapacitor/fuel cell hybrid power source, Energy Conversion and Management, 49 (2008) 1637-1644.
- [50] Y. Kim, V. Raghunathan, A. Raghunathan, Design and Management of Battery-Supercapacitor Hybrid Electrical Energy Storage Systems for Regulation Services, IEEE Transactions on Multi-Scale Computing Systems, 3 (2017) 12-24.

# EKLER

## EK 1 – Kod

```
#include "project.h"
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define UART_BUFFLENTx    (100u)
#define strbuff           (100u)
int main(void)
{
    char uartBufftx [UART_BUFFLENTx];
    char str[strbuff];
    int i = 0;
    int j = 0;
    int k = 0;
    int p = 0;
    int y = 0;
    int e = 0;
    uint32 c;
    int32 tb;
    int32 tc;
    int16 ADCValue1;
    int16 mvolt1 ;
    int16 ADCValue2;
    int16 mvolt2 ;
    int16 ADCValue3;
    int16 mvolt3;
    int16 ADCcur4;
    int16 mcur4;
    int16 bter5;
    int16 ADCValue6;
    int16 mvolt6;
    int16 ADCcur7;
    int16 mcur7;
    int16 cter8;
    int16 bvolt;
    int16 scvolt;
    int16 SoCsc;
    int16 b1volt;
    int16 b2volt;
    int16 b3volt;
    int16 cb1volt;
    int16 cb2volt;
    int16 cb3volt;

    CyGlobalIntEnable;
    UART_1_Start();
    PWM_1_Start();
    PWM_2_Start();
}
```

```

PWM_3_Start();
PWM_4_Start();
PWM_5_Start();
PWM_6_Start();
PWM_7_Start();
PWM_8_Start();
ADC_SAR_Seq_1_Start();
ADC_SAR_Seq_1_Init();
memset(str, 0, strbuff);
UART_1_UartPutString("----- \n\r");
UART_1_UartPutString(" | \n\r");
UART_1_UartPutString(" ***** * * ***** | \n\r");
UART_1_UartPutString(" ** ** ** ** ***** | \n\r");
UART_1_UartPutString(" ** *** * * * * ** | \n\r");
UART_1_UartPutString(" ** ** * * * * ** | \n\r");
UART_1_UartPutString(" ***** * * * * ** | \n\r");
UART_1_UartPutString(" ** ** * * * * ** | \n\r");
UART_1_UartPutString(" ** *** * * * * ** | \n\r");
UART_1_UartPutString(" ** ** * * * * ***** | \n\r");
UART_1_UartPutString(" ***** * * * ***** | \n\r");
UART_1_UartPutString(" | \n\r");
UART_1_UartPutString("----- \n\r\r\n");
for(;;)
{
    c = UART_1_UartGetChar();
    if(0u != c){
        k = 0;
        p = 0;
        UART_1_UartPutChar(c);
        str[i++] = c;
        if ((strcmp(str,"chv\r") == 0) && c == 13){
            UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
            UART_1_UartPutString("Charge Current Set\r\n\r\n");
            memset(str, 0, strbuff);
            i = 0;
            while(k == 0){
                c = UART_1_UartGetChar();
                if(0u != c){
                    if((47 < c && c < 58) || c == 13){
                        UART_1_UartPutChar(c);
                        str[i++] = c;
                        j = atoi(str);
                        if(c == 13){
                            (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Voltage:
%d\r\n\r\n",j);
                            UART_1_UartPutString(uartBufftx);
                            memset(str, 0, strbuff);
                            i = 0;
                            PWM_1_WriteCompare(j);
                            k = 1;

```



```

        i = 0;
        PWM_3_WriteCompare(j);
        k = 1;
    }
}
}
}
UART_1_UartPutString("||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
}
else if ((strcmp(str,"bed\r") == 0) && c == 13){
    UART_1_UartPutString("||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
    UART_1_UartPutString("Battery Discharge Enable/Disable \r\n\r\n");
    memset(str, 0, strbuff);
    i = 0;
    while(k == 0){
        c = UART_1_UartGetChar();
        if(0u != c){
            if((47 < c && c < 58) || c == 13){
                UART_1_UartPutChar(c);
                str[i++] = c;
                j = atoi(str);
                if(c == 13){
                    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Set:
%d\r\n\r\n",j);
                    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
                    memset(str, 0, strbuff);
                    i = 0;
                    PWM_4_WriteCompare(j);
                    k = 1;
                }
            }
        }
    }
    UART_1_UartPutString("||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
}

else if ((strcmp(str,"sed\r") == 0) && c == 13){
    UART_1_UartPutString("||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
    UART_1_UartPutString("\n\r\n");
    memset(str, 0, strbuff);
    i = 0;
    while(k == 0){
        c = UART_1_UartGetChar();
        if(0u != c){
            if((47 < c && c < 58) || c == 13){
                UART_1_UartPutChar(c);
                str[i++] = c;
                j = atoi(str);
                if(c == 13){

```

```

                (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Supercap Set:
%d\r\n\r\n",j);
                UART_1_UartPutString(uartBufftx);
                memset(str, 0, strbuff);
                i = 0;
                PWM_5_WriteCompare(j);
                k = 1;
            }
        }
    }
    }
    UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
}

else if ((strcmp(str,"ba1\r") == 0) && c == 13){
    UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
    UART_1_UartPutString("Battery-1 Balancing \r\n\r\n");
    memset(str, 0, strbuff);
    i = 0;
    while(k == 0){
        c = UART_1_UartGetChar();
        if(0u != c){
            if((47 < c && c < 58) || c == 13){
                UART_1_UartPutChar(c);
                str[i++] = c;
                j = atoi(str);
                if(c == 13){
                    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery-1 Balancing:
%d\r\n\r\n",j);
                    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
                    memset(str, 0, strbuff);
                    i = 0;
                    PWM_6_WriteCompare(j);
                    k = 1;
                }
            }
        }
    }
    }
    }
    UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
}

else if ((strcmp(str,"ba2\r") == 0) && c == 13){
    UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
    UART_1_UartPutString("Battery-2 Balancing \r\n\r\n");
    memset(str, 0, strbuff);
    i = 0;
    while(k == 0){
        c = UART_1_UartGetChar();
        if(0u != c){
            if((47 < c && c < 58) || c == 13){
                UART_1_UartPutChar(c);

```



```

        str[i++] = c;
        j = atoi(str);
        if(c == 13){
            (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFERLENtx, "Battery-2 Balancing:
%d\r\n\r\n",j);
            UART_1_UartPutString(uartBufftx);
            memset(str, 0, strbuff);
            i = 0;
            PWM_7_WriteCompare(j);
            k = 1;
        }
    }
}
}
}
UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
}
else if ((strcmp(str,"ba3\r") == 0) && c == 13){
    UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
    UART_1_UartPutString("Battery-3 Balancing \r\n\r\n");
    memset(str, 0, strbuff);
    i = 0;
    while(k == 0){
        c = UART_1_UartGetChar();
        if(0u != c){
            if((47 < c && c < 58) || c == 13){
                UART_1_UartPutChar(c);
                str[i++] = c;
                j = atoi(str);
                if(c == 13){
                    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFERLENtx, "Battery-3 Balancing:
%d\r\n\r\n",j);
                    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
                    memset(str, 0, strbuff);
                    i = 0;
                    PWM_8_WriteCompare(j);
                    k = 1;
                }
            }
        }
    }
}
}
}
UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
}
else if ((strcmp(str,"bmp\r") == 0) && c == 13){
    UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
    UART_1_UartPutString("Battery Monitoring \r\n\r\n");
    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue1 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(0);

```

```

    mvolt1 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(0,ADCValue1);
    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
    ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
    ADCValue2 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(1);
    mvolt2 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(1,ADCValue2);
    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
    ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
    ADCValue3 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(2);
    mvolt3 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(2,ADCValue3);
    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
    ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
    ADCcur4 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(3);
    mcur4 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(3,ADCcur4);
    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
    ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
    bter5 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(4);
    tb = Thermistor_1_GetTemperature(Thermistor_1_GetResistance((2047-
bter5), bter5));
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Voltage (1) %d
\r\n\r\n",(mvolt1*151/10)-(mvolt2*111/10));
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Voltage (2) %d
\r\n\r\n",(mvolt2*111/10)-(mvolt3*606/100));
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Voltage (3) %d
\r\n\r\n",(mvolt3*(606/100))-(mcur4*2));
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Current %d \r\n\r\n",
mcur4*2);
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Temp %ld
\r\n\r\n",tb);
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
    memset(str, 0, strbuff);
    i = 0;
}

else if ((strcmp(str,"scp\r") == 0) && c == 13){
    UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
    UART_1_UartPutString("SC Monitoring \r\n\r\n");
    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

```

```

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue6 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(5);
mvolt6 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(5,ADCValue6);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCcur7 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(6);
mcur7 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(6,ADCcur7);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
cter8 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(7);
tc = Thermistor_1_GetTemperature(Thermistor_1_GetResistance((2047-
cter8), cter8));
UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "SC Voltage %d
\r\n\r\n",(mvolt6*504/100)-(mcur7*200/100));
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "SC Current %d
\r\n\r\n",(mcur7*200/100));
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "SC Temp %ld \r\n\r\n",tc);
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
memset(str, 0, strbuff);
i = 0;
}
else if ((strcmp(str,"alp\r") == 0) && c == 13){
UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
UART_1_UartPutString("ALL Monitoring \r\n\r\n");
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue1 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(0);
mvolt1 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(0,ADCValue1);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue2 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(1);
mvolt2 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(1,ADCValue2);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();

```

```

ADCValue3 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(2);
mvolt3 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(2,ADCValue3);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCcur4 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(3);
mcur4 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(3,ADCcur4);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
bter5 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(4);
tb = Thermistor_1_GetTemperature(Thermistor_1_GetResistance((2047-
bter5), bter5));
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue6 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(5);
mvolt6 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(5,ADCValue6);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCcur7 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(6);
mcur7 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(6,ADCcur7);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
cter8 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(7);
tc = Thermistor_1_GetTemperature(Thermistor_1_GetResistance((2047-
cter8), cter8));
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Voltage (1) %d
\r\n\r\n", (mvolt1*151/10)-(mvolt2*111/10));
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Voltage (2) %d
\r\n\r\n", (mvolt2*111/10)-(mvolt3*606/100));
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Voltage (3) %d
\r\n\r\n", (mvolt3*(606/100))-(mcur4*2));
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Current %d \r\n\r\n",
mcur4*2);
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Temp %ld
\r\n\r\n", tb);
UART_1_UartPutString(uartBufftx);

```

```

        (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "SC Voltage %d
\r\n\r\n", (mvolt6*504/100)-(mcur7*200/100));
        UART_1_UartPutString(uartBufftx);
        (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "SC Current %d
\r\n\r\n", (mcur7*200/100));
        UART_1_UartPutString(uartBufftx);
        (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "SC Temp %ld \r\n\r\n", tc);
        UART_1_UartPutString(uartBufftx);
        UART_1_UartPutString("|||||||||||||||||||||||||||||||||||||\r\n\r\n");
        memset(str, 0, strbuff);
        i = 0;
    }

    else if ((strcmp(str, "bmo\r") == 0) && c == 13){
        while(k == 0){
            ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
            ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
            ADCValue1 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(0);
            mvolt1 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(0, ADCValue1);
            ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
            ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
            ADCValue2 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(1);
            mvolt2 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(1, ADCValue2);
            ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
            ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
            ADCValue3 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(2);
            mvolt3 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(2, ADCValue3);
            ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
            ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
            ADCcur4 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(3);
            mcur4 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(3, ADCcur4);
            ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
            ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
            bter5 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(4);
            tb = Thermistor_1_GetTemperature(Thermistor_1_GetResistance((2047-
bter5), bter5));
            (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n", (mvolt1*151/10)-(mvolt2*111/10));
            UART_1_UartPutString(uartBufftx);

```

```

        (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n", (mvolt2*111/10)-(mvolt3*606/100));
        UART_1_UartPutString(uartBufftx);
        (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n", (mvolt3*(606/100))-(mcur4*2));
        UART_1_UartPutString(uartBufftx);
        (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d \r\n\r\n", mcur4*2);
        UART_1_UartPutString(uartBufftx);
        (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%ld \r\n\r\n", tb);
        UART_1_UartPutString(uartBufftx);
        CyDelay(1000);
        c = UART_1_UartGetChar();
        if(0u != c){
            if(c == 13){
                memset(str, 0, strbuff);
                i = 0;
                PWM_1_WriteCompare(0);
                k = 1;
            }
        }
        memset(str, 0, strbuff);
        i = 0;
    }
    else if ((strcmp(str, "sco\r") == 0) && c == 13){
        while(k == 0){
            ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
            ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
            ADCValue6 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(5);
            mvolt6 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(5, ADCValue6);
            ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
            ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
            ADCcur7 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(6);
            mcur7 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(6, ADCcur7);
            ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
            ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
            cter8 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(7);
            tc = Thermistor_1_GetTemperature(Thermistor_1_GetResistance((2047-
cter8), cter8));
            (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n", (mvolt6*504/100)-(mcur7*200/100));
            UART_1_UartPutString(uartBufftx);
            (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n", (mcur7*200/100));

```

```

UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)sprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%ld \r\n\r\n",tc);
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
CyDelay(1000);
c = UART_1_UartGetChar();
if(0u != c){
    if(c == 13){
        memset(str, 0, strbuff);
        i = 0;
        PWM_1_WriteCompare(0);
        k = 1;
    }
}
memset(str, 0, strbuff);
i = 0;
}

else if ((strcmp(str,"atb\r") == 0) && c == 13){
    plotb:
    PWM_2_WriteCompare(100);
    while(k == 0){
        ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue1 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(0);
mvolt1 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(0,ADCValue1);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue2 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(1);
mvolt2 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(1,ADCValue2);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue3 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(2);
mvolt3 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(2,ADCValue3);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCcur4 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(3);
mcur4 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(3,ADCcur4);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();

```

```

    bter5 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(4);
    tb = Thermistor_1_GetTemperature(Thermistor_1_GetResistance((2047-
bter5), bter5));
    bvolt =(mvolt1*151/10)-(mcur4*2);
    if( tb < 3000 ){
        if( bvolt < 11350 ){
            if( bvolt < 11250 ){
                if( mcur4 < 250 ){
                    PWM_1_WriteCompare(e++);
                }
                else{
                    PWM_1_WriteCompare(e);
                }
            }
        }
        else{
            PWM_1_WriteCompare(e--);
        }
    }
    else{
        PWM_1_WriteCompare(0);
        PWM_2_WriteCompare(0);
        memset(str, 0, strbuff);
        i = 0;
        k = 1;
    }
}
else{
    PWM_1_WriteCompare(0);
    PWM_2_WriteCompare(0);
    PWM_4_WriteCompare(0);
    memset(str, 0, strbuff);
    i = 0;
    k = 1;
    y = 1;
    goto resetb;
}
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n",(mvolt1*151/10)-(mvolt2*111/10));
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n",(mvolt2*111/10)-(mvolt3*606/100));
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n",(mvolt3*(606/100))-(mcur4*2));
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d \r\n\r\n", mcur4*2);
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%ld \r\n\r\n",tb);
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
CyDelay(1000);

```



```

c = UART_1_UartGetChar();
if(0u != c){
    if(c == 13){
        memset(str, 0, strbuff);
        i = 0;
        PWM_1_WriteCompare(0);
        PWM_2_WriteCompare(0);
        PWM_4_WriteCompare(0);
        goto resetb;
        k = 1;
        y = 1;
    }
}
}
}
PWM_4_WriteCompare(100);
while(y == 0){
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

```

```

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue1 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(0);
mvolt1 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(0,ADCValue1);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

```

```

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue2 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(1);
mvolt2 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(1,ADCValue2);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

```

```

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue3 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(2);
mvolt3 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(2,ADCValue3);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

```

```

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCcur4 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(3);
mcur4 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(3,ADCcur4);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

```

```

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
bter5 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(4);
tb = Thermistor_1_GetTemperature(Thermistor_1_GetResistance((2047-
bter5), bter5));
bvolt =(mvolt1*151/10)-(mcur4*2);
if( tb < 3000 ){
    if( bvolt > 7800 ){

```

```

    }
    else{
    PWM_4_WriteCompare(0);
    memset(str, 0, strbuff);
    i = 0;
    k = 0;
    e = 0;
    goto plotb;
    }
}
else{
    PWM_1_WriteCompare(0);
    PWM_2_WriteCompare(0);
    PWM_4_WriteCompare(0);
    memset(str, 0, strbuff);
    i = 0;
    k = 1;
    y = 1;
    goto resetb;
}
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n", (mvolt1*151/10)-(mvolt2*111/10));
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n", (mvolt2*111/10)-(mvolt3*606/100));
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n", (mvolt3*(606/100))-(mcur4*2));
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d \r\n\r\n", mcur4*2);
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%ld \r\n\r\n", tb);
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
CyDelay(1000);
c = UART_1_UartGetChar();
if(0u != c){
    if(c == 13){
        memset(str, 0, strbuff);
        i = 0;
        PWM_1_WriteCompare(0);
        PWM_2_WriteCompare(0);
        PWM_4_WriteCompare(0);
        k = 1;
        y = 1;
        goto resetb;
    }
}
}
}
resetb:
memset(str, 0, strbuff);

```

```

    i = 0;
}
else if ((strcmp(str,"atc\r") == 0) && c == 13){
    plotc:
    PWM_3_WriteCompare(100);
    while(k == 0){
        ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
        ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
        ADCValue6 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(5);
        mvolt6 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(5,ADCValue6);
        ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
        ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
        ADCcur7 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(6);
        mcur7 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(6,ADCcur7);
        ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
        ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
        cter8 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(7);
        tc = Thermistor_1_GetTemperature(Thermistor_1_GetResistance((2047-
cter8), cter8));
        scvolt =(mvolt6*504/100)-(mcur7*200/100);
        if( tc < 3000 ){
            if( scvolt < 2700 ){
                if( mcur7 < 250 ){
                    PWM_1_WriteCompare(e++);
                }
            }
            else{
                PWM_1_WriteCompare(e);
            }
        }
        else{
            PWM_1_WriteCompare(0);
            PWM_3_WriteCompare(0);
            memset(str, 0, strbuff);
            i = 0;
            k = 1;
        }
    }
}
else{
    PWM_1_WriteCompare(0);
    PWM_3_WriteCompare(0);
    PWM_5_WriteCompare(0);
    memset(str, 0, strbuff);
    i = 0;
    k = 1;
}

```

```

        p = 1;
        goto resetc;
    }
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n", (mvolt6*504/100)-(mcur7*200/100));
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n", (mcur7*200/100));
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%ld \r\n\r\n", tc);
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    CyDelay(1000);
    c = UART_1_UartGetChar();
    if(0u != c){
        if(c == 13){
            memset(str, 0, strbuff);
            i = 0;
            PWM_1_WriteCompare(0);
            PWM_3_WriteCompare(0);
            PWM_5_WriteCompare(0);
            goto resetc;
            k = 1;
            p = 1;
        }
    }
}
}
PWM_5_WriteCompare(100);
while(p == 0){
    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
    ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
    ADCValue6 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(5);
    mvolt6 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(5, ADCValue6);
    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
    ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
    ADCcur7 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(6);
    mcur7 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(6, ADCcur7);
    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
    ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
    cter8 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(7);
    tc = Thermistor_1_GetTemperature(Thermistor_1_GetResistance((2047-
cter8), cter8));
    scvolt =(mvolt6*504/100)-(mcur7*200/100);
    if( tc < 3000 ){
        if( scvolt > 1000 ){

```

```

    }
    else{
        PWM_5_WriteCompare(0);
        memset(str, 0, strbuff);
        i = 0;
        k = 0;
        goto plotc;
    }
}
else{
    PWM_1_WriteCompare(0);
    PWM_3_WriteCompare(0);
    PWM_5_WriteCompare(0);
    memset(str, 0, strbuff);
    i = 0;
    k = 1;
    p = 1;
    goto resetc;
}
(void)sprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n", (mvolt6*504/100)-(mcur7*200/100));
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)sprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d
\r\n\r\n", (mcur7*200/100));
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)sprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%ld \r\n\r\n", tc);
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
CyDelay(1000);
c = UART_1_UartGetChar();
if(0u != c){
    if(c == 13){
        memset(str, 0, strbuff);
        i = 0;
        PWM_1_WriteCompare(0);
        PWM_3_WriteCompare(0);
        PWM_5_WriteCompare(0);
        k = 1;
        p = 1;
        goto resetc;
    }
}
}
}
resetc:
memset(str, 0, strbuff);
i = 0;
}
else if ((strcmp(str, "atn\r") == 0) && c == 13){
    PWM_1_WriteCompare(0);
    PWM_2_WriteCompare(0);
    PWM_4_WriteCompare(0);

```

```

    PWM_6_WriteCompare(0);
    PWM_7_WriteCompare(0);
    PWM_8_WriteCompare(0);
    while(k == 0){
        ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
        ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
        ADCValue1 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(0);
        mvolt1 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(0,ADCValue1);
        ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
        ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
        ADCValue2 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(1);
        mvolt2 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(1,ADCValue2);
        ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
        ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
        ADCValue3 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(2);
        mvolt3 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(2,ADCValue3);
        ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
        ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
        ADCcur4 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(3);
        mcur4 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(3,ADCcur4);
        ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
        ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
        bter5 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(4);
        tb = Thermistor_1_GetTemperature(Thermistor_1_GetResistance((2047-
bter5), bter5));
        b1volt =(mvolt1*151/10)-(mvolt2*111/10);
        b2volt =(mvolt2*111/10)-(mvolt3*606/100);
        b3volt =(mvolt3*(606/100))-(mcur4*2);
        if( tb < 3000 ){
            if( (b2volt < b1volt) && (b3volt < b1volt)){
                while(b2volt < b1volt && b3volt < b1volt){
                    PWM_6_WriteCompare(100);
                    CyDelay(9000);
                    PWM_6_WriteCompare(0);
                    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
                    ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
                    ADCValue1 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(0);
                    mvolt1 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(0,ADCValue1);

```

```

        ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
    ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
    ADCValue2 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(1);
    mvolt2 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(1,ADCValue2);
    b1volt =(mvolt1*151/10)-(mvolt2*111/10);
    c = UART_1_UartGetChar();
    if(0u != c){
    if(c == 13){
        memset(str, 0, strbuff);
        i = 0;
        PWM_1_WriteCompare(0);
        PWM_2_WriteCompare(0);
        PWM_6_WriteCompare(0);
        PWM_7_WriteCompare(0);
        PWM_8_WriteCompare(0);
        k = 1;
        goto resetal;
    }
    }
}
else if( (b1volt < b2volt) && (b3volt < b2volt)){
    while(b1volt < b2volt && b3volt < b2volt){
        PWM_7_WriteCompare(100);
        CyDelay(9000);
        PWM_7_WriteCompare(0);
        ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
    ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
    ADCValue2 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(1);
    mvolt2 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(1,ADCValue2);
    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
    ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
    ADCValue3 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(2);
    mvolt3 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(2,ADCValue3);
    b2volt =(mvolt2*111/10)-(mvolt3*606/100);
    c = UART_1_UartGetChar();
    if(0u != c){
    if(c == 13){
        memset(str, 0, strbuff);
        i = 0;
        PWM_1_WriteCompare(0);
        PWM_2_WriteCompare(0);
        PWM_6_WriteCompare(0);
        PWM_7_WriteCompare(0);

```

```

        PWM_8_WriteCompare(0);
        k = 1;
        goto resetal;
    }
}
}
}
else if ((b1volt < b3volt) && (b2volt < b3volt)){
    while(b2volt < b3volt && b1volt < b3volt){
        PWM_8_WriteCompare(100);
        CyDelay(9000);
        PWM_8_WriteCompare(0);
        ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
        ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
        ADCValue3 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(2);
        mvolt3 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(2,ADCValue3);
        ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
        ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
        ADCcur4 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(3);
        mcur4 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(3,ADCcur4);
        b3volt =(mvolt3*(606/100))-(mcur4*2);
        c = UART_1_UartGetChar();
        if(0u != c){
            if(c == 13){
                memset(str, 0, strbuff);
                i = 0;
                PWM_1_WriteCompare(0);
                PWM_2_WriteCompare(0);
                PWM_6_WriteCompare(0);
                PWM_7_WriteCompare(0);
                PWM_8_WriteCompare(0);
                k = 1;
                goto resetal;
            }
        }
    }
}
}
}
}
}
else{
    PWM_1_WriteCompare(0);
    PWM_2_WriteCompare(0);
    PWM_6_WriteCompare(0);
    PWM_7_WriteCompare(0);
    PWM_8_WriteCompare(0);
    memset(str, 0, strbuff);

```



```

    i = 0;
    k = 1;
    goto resetal;
}
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d \r\n\r\n", b1volt);
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d \r\n\r\n", b2volt);
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
(void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "%d \r\n\r\n", b3volt);
UART_1_UartPutString(uartBufftx);
CyDelay(1000);
c = UART_1_UartGetChar();
if(0u != c){
    if(c == 13){
        memset(str, 0, strbuff);
        i = 0;
        PWM_1_WriteCompare(0);
        PWM_2_WriteCompare(0);
        PWM_6_WriteCompare(0);
        PWM_7_WriteCompare(0);
        PWM_8_WriteCompare(0);
        k = 1;
        goto resetal;
    }
}
}
resetal:
memset(str, 0, strbuff);
i = 0;
}
else if ((strcmp(str,"sbc\r") == 0) && c == 13){
    UART_1_UartPutString("-----\r\n");
    UART_1_UartPutString("Battery SoC Monitoring \r\n\r\n");
    PWM_1_WriteCompare(0);
    PWM_2_WriteCompare(0);
    PWM_4_WriteCompare(0);
    PWM_6_WriteCompare(0);
    PWM_7_WriteCompare(0);
    PWM_8_WriteCompare(0);
    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue1 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(0);
mvolt1 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(0,ADCValue1);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue2 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(1);

```

```

mvolt2 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(1,ADCValue2);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue3 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(2);
mvolt3 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(2,ADCValue3);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCcur4 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(3);
mcur4 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(3,ADCcur4);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
bter5 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(4);
tb = Thermistor_1_GetTemperature(Thermistor_1_GetResistance((2047-
bter5), bter5));
b1volt =(mvolt1*152/10)-(mvolt2*111/10);
b2volt =(mvolt2*111/10)-(mvolt3*606/100);
b3volt =(mvolt3*(606/100))-(mcur4*2);
PWM_6_WriteCompare(100);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue1 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(0);
mvolt1 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(0,ADCValue1);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue2 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(1);
mvolt2 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(1,ADCValue2);
cb1volt =(mvolt1*152/10)-(mvolt2*111/10);
PWM_6_WriteCompare(0);
PWM_7_WriteCompare(100);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue2 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(1);
mvolt2 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(1,ADCValue2);
ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
ADCValue3 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(2);

```

```

    mvolt3 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(2,ADCValue3);
    cb2volt =(mvolt2*111/10)-(mvolt3*606/100);
    PWM_7_WriteCompare(0);
    PWM_8_WriteCompare(100);
    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
    ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
    ADCValue3 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(2);
    mvolt3 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(2,ADCValue3);
    ADC_SAR_Seq_1_StartConvert();

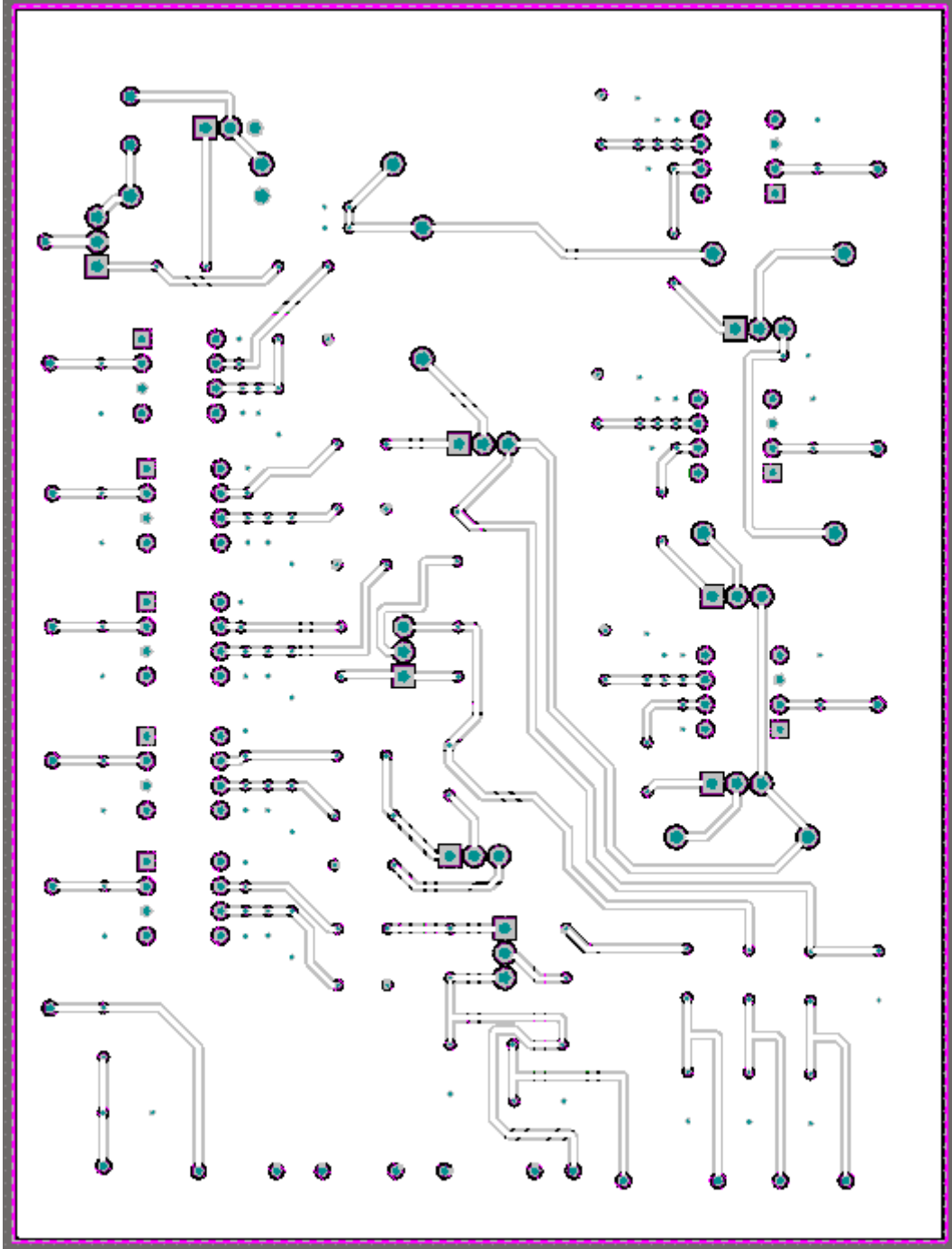
ADC_SAR_Seq_1_IsEndConversion(ADC_SAR_Seq_1_WAIT_FOR_RESULT);
    ADC_SAR_Seq_1_StopConvert();
    ADCcur4 = ADC_SAR_Seq_1_GetResult16(3);
    mcur4 = ADC_SAR_Seq_1_CountsTo_mVolts(3,ADCcur4);
    cb3volt =(mvolt3*(606/100))-(mcur4*2);
    PWM_8_WriteCompare(0);
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Voltage (1) %dmV
\r\n\r\n", b1volt);
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Voltage (2) %dmV
\r\n\r\n", b2volt);
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Voltage (3) %dmV
\r\n\r\n", b3volt);
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    SoCsc = (b1volt-cb1volt)*(44/10)*(1000)/(cb1volt);
    SoCsc = ((4100-cb1volt)*(44/10)*(1000)/(cb1volt))/(SoCsc/100);
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Voltage SOC(1) %d
\r\n\r\n", SoCsc);
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    SoCsc = (b2volt-cb2volt)*(44/10)*(1000)/(cb2volt);
    SoCsc = ((4100-cb2volt)*(44/10)*(1000)/(cb2volt))/(SoCsc/100);
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Voltage SOC(2) %d
\r\n\r\n", SoCsc);
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    SoCsc = (b3volt-cb3volt)*(44/10)*(1000)/(cb3volt);
    SoCsc = ((4100-cb3volt)*(44/10)*(1000)/(cb3volt))/(SoCsc/100);
    (void)snprintf(uartBufftx, UART_BUFFLENTx, "Battery Voltage SOC(3) %d
\r\n\r\n", SoCsc);
    UART_1_UartPutString(uartBufftx);
    UART_1_UartPutString("-----\r\n\r\n");
    memset(str, 0, strbuff);
    i = 0;
}

else if ((strcmp(str,"rst\r") == 0) && c == 13){
    UART_1_UartPutString("-----\r\n");
    UART_1_UartPutString("Reset Mode\r\n");

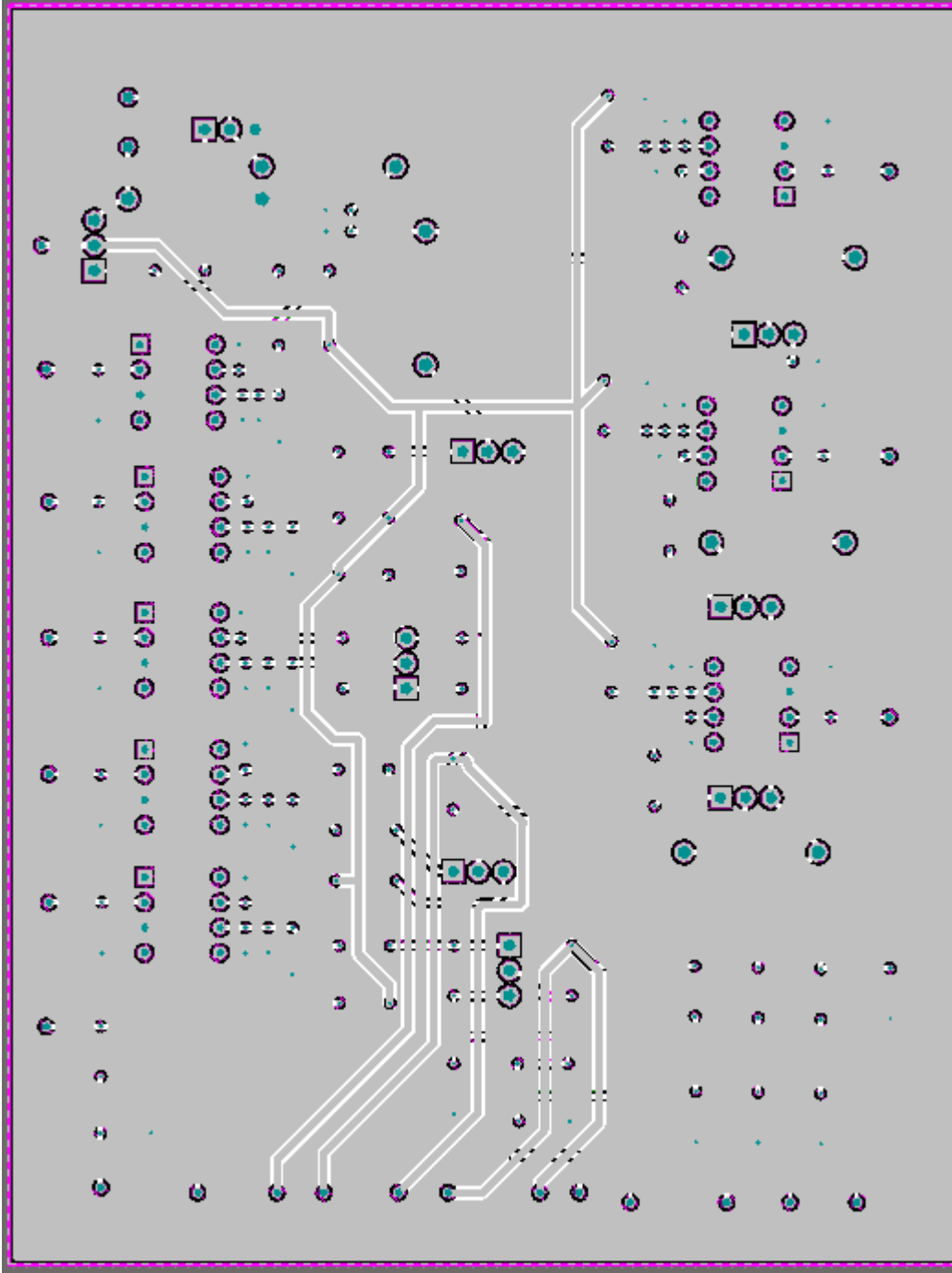
```



## EK 2 – Baskı devre kartı



Şekil Ek 2.1. Baskı devre kartı ön yüzeyi



Şekil Ek 2.2. Baskı devre kartı arka yüzeyi

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Eşref Yavuz PEKMEZ  
Doğum yeri : Altındağ  
Doğum tarihi : 18.05.1995  
Medeni hali : Bekar  
Yazışma adresi : Hacettepe Üniversitesi Beytepe Kampüsü Elektrik-  
Elektronik Mühendisliği Çankaya/Ankara  
Elektronik posta adresi : esref.pekmez@hacettepe.edu.tr  
Yabancı dili : İngilizce

### EĞİTİM DURUMU

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği  
Bölümü  
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği  
Bölümü  
Doktora : -

### İş Tecrübesi

04/2018 - Halen Sayısal Donanım Tasarım Mühendisi, ASELSAN AŞ - ANKARA