

**T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ**

**BURAK BAYGÜNEŞ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SAMSUN  
2019**

**Her hakkı saklıdır.**

## TEZ ONAYI

Burak BAYGÜNEŞ tarafından hazırlanan “Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemi” adlı tez çalışması 11/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

### Jüri Üyeleri

**Başkan** Prof. Dr. Okan ÖZGÖNENEL .....  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ .....  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** Dr. Öğr. Üyesi Gaye Yeşim TAFLAN .....  
Samsun Üniversitesi  
Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi  
Uçak Bakım ve Onarım Bölümü

**Yukarıdaki sonucu onaylarım. .../.../2019**

.....

**Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK**  
**Enstitü Müdürü**

## ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.



11/11/2019

.....

Burak BAYGÜNEŞ

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ

Burak BAYGÜNEŞ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ

Elektrikli araçlar (EA) günümüzde oldukça popüler hale gelmeye başlamıştır. Geleneksel araçların yakıt olarak kullandığı fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması ayrıca bu araçların çevreye olan zararları yeni model olarak elektrikli araçların ön plana çıkmasına sebep olmuştur. Elektrikli araçlarda geleneksel araçlarda kullanılan içten yanmalı motorların yerine çeşitli elektrik motorları kullanılmaktadır. Elektrikli araçların çalışması için gerekli olan elektrik enerjisi, büyük ölçüde bataryalar kullanılarak sağlanmaktadır. Enerji kaynağı olarak kullanılan bu bataryaların da yönetimi büyük önem arz etmektedir.

Tezin ilk bölümünde genel olarak elektrikli araçlar ve “Batarya Yönetim Sistemi (BYS)” ile ilgili bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde elektrikli araçlarda kullanılan bazı elektrik aksamaları ile ilgili bilgiler ve BYS ile ilgili kaynak özetleri yer almaktadır. Üçüncü bölümde, elektrikli araçların güç kaynağı olarak önem arz eden bataryalar için çok önemli bir unsur olan batarya yönetim sisteminin tasarımı detaylandırılmıştır. Dördüncü bölümde ise tasarımı yapılmış olan BYS’de; batarya düşük gerilim, yüksek gerilim, sıcaklık koruması ve pasif batarya dengelemesi test sonuçlarına yer verilmiş ve son bölümde sonuçlar tartışılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

Kasım 2019, 94 sayfa

Anahtar Kelimeler: Batarya, elektrikli araç, pasif dengeleme, batarya yönetim sistemi.

## **ABSTRACT**

Master's Thesis

### **BATTERY MANAGEMENT SYSTEM IN ELECTRIC VEHICLES**

Burak BAYGÜNEŞ

Ondokuz Mayıs University  
Graduate School of Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ

Electric vehicles (EV) become very popular today. The limited reserves of fossil fuels used by traditional vehicles as fuel, as well as the environmental damage of these vehicles, have led electric vehicles to come to the fore as a new model. In electric vehicles, various electric motors are used instead of the internal combustion engines used in traditional vehicles. The electrical energy required for the operation of electric vehicles is largely provided by using batteries. The management of these batteries, which are used as energy sources, is of great importance.

In the first part of the thesis, general information about electric vehicles and “Battery Management System (BMS)” is given. In the second part, information about some electrical components used in electric vehicles and literature summaries about BMS are given. In the third chapter, the design of the battery management system, which is a very important element for the batteries which are important as the power source of electric vehicles, is detailed. In the fourth section; battery low voltage, battery high voltage, temperature protection and passive battery balancing test results of designed BMS are given and in the last section the results are discussed and suggestions are made.

November 2019, 94 pages

Key Words: Battery, electric vehicles, passive balancing, battery management system.

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışmalarımda bana destek olan ve bana olan inancını hiçbir zaman yitirmeyen danışmanım Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ'a, çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Sinan KIVRAK'a ve meslektaşlarım M.Serdar ÇELİK ve Fatih AYVENLİ'ye teşekkürü borç bilirim.

Kasım 2019, Samsun

Burak BAYGÜNEŞ

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	vi
SİMGELER .....	vi
KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ .....	5
2.1. Kaynak Özetleri .....	5
2.2. Elektrikli Araç Çeşitleri .....	8
2.2.1. Hibrit elektrikli araçlar .....	9
2.2.1.1. Seri hibrit elektrikli araçlar .....	9
2.2.1.2. Paralel hibrit elektrikli araçlar .....	10
2.2.1.3. Seri-Paralel hibrit elektrikli araçlar .....	10
2.2.2. Elektrikli araçlar .....	11
2.2.2.1. Yakıt bataryalı elektrikli araçlar .....	12
2.2.2.2. Batarya paketli elektrikli araçlar.....	13
2.3. Elektrikli Araçlarda Batarya Çeşitleri.....	13
2.3.1. Kurşun-asit batarya.....	14
2.3.2. Nikel kadmiyum batarya.....	15
2.3.3. Nikel metal hidrat batarya .....	15
2.3.4. Lityum iyon batarya.....	15
2.3.5. Lityum iyon polimer batarya .....	16
2.3.6. Lityum demir fosfat batarya .....	17
2.3.7. Lityum sülfür batarya .....	17
2.4. Elektrikli Araç Güç Dönüştürücüleri .....	17
2.4.1. DA/DA dönüştürücüler.....	18
2.4.1.1. Yalıtımlı olmayan dönüştürücüler .....	18
2.4.1.2. Yalıtımlı dönüştürücüler.....	19
2.4.2. DA/AA dönüştürücüler.....	20
2.5. Elektrikli Araçlarda Batarya Dolum Sistemleri.....	22
2.6. Batarya Yönetim Sistemi .....	25
2.6.1. Batarya modelleme yöntemleri.....	25
2.6.1.1. Deneysel devre modelleri .....	25
2.6.1.2. İstatiksel devre modelleri.....	25
2.6.1.3. Elektrokimyasal devre modelleri.....	26
2.6.1.4. Elektriksel devre modelleri.....	26
2.6.2. Batarya empedans parametre tahmin yöntemleri .....	27
2.6.2.1. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi.....	27
2.6.2.2. Elektriksel devre modeli.....	28
2.6.2.3. Elektrokimyasal model .....	28
2.6.3. Batarya dolum durumu hesaplama .....	28

2.6.3.1. Doğrudan ölçüm .....	30
2.6.3.1.1. Açık devre gerilimi yöntemi .....	30
2.6.3.1.2. Terminal gerilimi yöntemi .....	31
2.6.3.1.3. Empedans yöntemi .....	32
2.6.3.1.4. Empedans spektroskopisi yöntemi .....	32
2.6.3.2. Defter tutma yöntemi .....	32
2.6.3.2.1. Coulomb hesaplama yöntemi .....	32
2.6.3.2.2. Güçlendirilmiş coulomb hesaplama yöntemi .....	33
2.6.3.3. Uyarlamalı sistemler .....	33
2.6.3.4. Melez yöntemler .....	34
2.6.4. Batarya sağlık durumu kestirimi .....	34
2.6.5. Batarya hücre dengeleme .....	37
2.6.5.1. Pasif dengeleme sistemi .....	38
2.6.5.1.1. Sabit dirençli pasif dengeleme .....	38
2.6.5.1.2. Anahtarlama dirençli pasif dengeleme .....	39
2.6.5.2. Aktif dengeleme .....	40
2.6.5.2.1. Anahtarlama sığaç .....	40
2.6.5.2.2. Çift katlı sığaç .....	41
2.6.5.2.3. Parçalı anahtarlama sığaç .....	42
2.6.5.2.4. Tek anahtarlı sığaç .....	43
2.6.5.2.5. Anahtarlama endüktans .....	43
2.6.5.2.6. Tek sargılı transformatör .....	44
2.6.5.2.7. Çok sargılı transformatör .....	45
2.6.5.2.8. Çoklu transformatör .....	46
2.6.5.2.9. Dönüştürücü tabanlı dengeleme .....	47
2.6.5.3. Batarya yönetim sistemi türleri .....	47
2.6.5.3.1. Merkezi batarya yönetim sistemi .....	47
2.6.5.3.2. Parçalı batarya yönetim sistemi .....	48
2.6.5.3.3. Ana kart-yardımcı kart batarya yönetim sistemi .....	49
2.6.5.3.4. Dağıtık batarya yönetim sistemi .....	49
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	50
3.1. Tezin Amacı .....	50
3.2. Tasarım .....	50
3.2.1. Mikroişlemci .....	50
3.2.2. Batarya bağlantı birimi .....	51
3.2.3. Kart güç kaynağı .....	52
3.2.4. Batarya hücreleri gerilim ölçümü .....	52
3.2.5. Batarya sıcaklık ölçümü .....	54
3.2.6. Veri toplama devresi .....	57
3.2.7. Batarya dengeleme devresi .....	58
3.2.8. SoC hesaplama .....	64
3.2.9. SoH kestirimi .....	64
3.2.10. Kullanıcı arayüz ekranı .....	67
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	68
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	74
EK 1 BYS PROGRAM KODU .....	83
ÖZGEÇMİŞ .....	94



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### SİMGELER

A	Amper
Cd	Kadmiyum
Cd(OH) <sub>2</sub>	Kadmiyum hidroksit
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Hidrojen sülfür
KOH	Potasyum hidroksit
kW	Kilowatt
LiCoO <sub>2</sub>	Lityum kobalt oksit
LiMn <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Lityum mangan oksit
LiNiO <sub>2</sub>	Lityum nikel oksit
LiPO	Lityum polimer
mph	Miles per hour
mV	Milivolt
Ni(OH) <sub>2</sub>	Nikel hidroksit
NiOOH	Nikel oksihidroksit
PbO <sub>2</sub>	Kurşun dioksit
V	Volt
W	Watt

### KISALTMALAR

AA	Alternatif Akım
ADD	Adi Diferansiyel Denklem
AES	Aktif Empedans Spektroskopisi
BYS	Batarya Yönetim Sistemi
DA	Doğru Akım
DGM	Darbe Genişlik Modülasyonu
EA	Elektrikli Araç
EDM	Elektriksel Devre Modeli
G2H	Şebekeden Eve
G2V	Şebekeden Araca
HEA	Hibrit Elektrikli Araç
HIL	Hardware-in-the-loop
İYM	İçten Yanmalı Motor
KDD	Kısmi Diferansiyel Denklem
GCHY	Güçlendirilmiş Coulomb Hesaplama Yöntemi
MCU	Mikroişlemci Kontrol Ünitesi
PES	Pasif Empedans Spektroskopisi
PNGV	Partnership For A New Generation Of Vehicle
SC	Süper Kapasitör
SMD	Surface Mount Device

SoC	Batarya Doluluk Durumu
SoH	Batarya Sağlık Durumu
THT	Through-Hole Technology
V2G	Araçtan Şebekeye
V2H	Araçtan Eve
YH	Yakıt Hücresi



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. EA tahrik sistemi (Al Sakka vd, 2012) .....	1
Şekil 1.2. Li-ion batarya çalışma bölgesi .....	3
Şekil 2.1. Genel olarak araç tipleri .....	9
Şekil 2.2. Seri HEA yapısı .....	10
Şekil 2.3. Paralel HEA yapısı .....	10
Şekil 2.4. Seri-Paralel HEA yapısı .....	11
Şekil 2.5. Yakıt bataryalı EA yapısı .....	13
Şekil 2.6. Batarya paketli EA yapısı .....	13
Şekil 2.7. Kurşun asit batarya (Huang vd, 2015) .....	14
Şekil 2.8. Lityum iyon batarya (Liu vd, 2016) .....	16
Şekil 2.9. Lityum iyon polimer batarya (Long vd, 2016) .....	16
Şekil 2.10. Lityum demir fosfat batarya (Sepasi, 2014) .....	17
Şekil 2.11. Yükseltici DA/DA dönüştürücü .....	19
Şekil 2.12. Yarım köprü yalıtımlı çift yönlü DA/DA dönüştürücü (Ravi vd, 2018) .	20
Şekil 2.13. Üç fazlı tam köprü gerilim beslemeli evirici (Anonim, 2019) .....	21
Şekil 2.14. Üç faz gerilim kaynak evirici dalga şekilleri (Anonim, 2019) .....	21
Şekil 2.15. Bir EA güç akış devresi .....	22
Şekil 2.16. Çift yönlü dolum sistemi .....	24
Şekil 2.17. Elektriksel devre modelleri .....	27
Şekil 2.18. SoC ve OCV arasındaki tipik ilişki (Tingting vd, 2011) .....	31
Şekil 2.19. Li-ion batarya sığa-çevrim sayısı ilişkisi .....	34
Şekil 2.20. İç direnç-çevrim sayısı ilişkisi (TUM, 2019) .....	36
Şekil 2.21. Batarya hücre dengelemesi tipleri .....	38
Şekil 2.22. Pasif dengeleme .....	38
Şekil 2.23. Sabit direnç pasif dengeleme .....	39
Şekil 2.24. Anahtarlama dirençli pasif dengeleme .....	39
Şekil 2.25. Aktif dengeleme .....	40
Şekil 2.26. Anahtarlama sığaçlı devre şeması .....	41
Şekil 2.27. Çift katlı sığaç devre şeması .....	42
Şekil 2.28. Parçalı anahtarlama sığaç .....	42

Şekil 2.29. Tek anahtarlı sığaç devresi.....	43
Şekil 2.30. Anahtarlama endüktans devresi.....	44
Şekil 2.31. Tek sargılı transformatör devresi.....	44
Şekil 2.32. İleri dönüşlü .....	45
Şekil 2.33. Geri dönüşlü.....	45
Şekil 2.34. Paketten hücreye .....	46
Şekil 2.35. Hücreden pakete .....	46
Şekil 2.36. Merkezi batarya yönetim sistemi (Sarıkurt, 2017) .....	48
Şekil 2.37. Parçalı batarya yönetim sistemi (Sarıkurt, 2017).....	48
Şekil 2.38. Ana kart-yardımcı kart batarya yönetim sistemi (Sarıkurt, 2017) .....	49
Şekil 2.39. Dağıtık batarya yönetim sistemi (Sarıkurt, 2017).....	49
Şekil 3.1. a) Direnç b) Sığaç c) Led .....	50
Şekil 3.2. STM32F103C8 mikroşlemci .....	51
Şekil 3.3. Batarya bağlantı girişleri.....	51
Şekil 3.4. Kart güç kaynağı devresi .....	52
Şekil 3.5. Batarya gerilim bölücü.....	52
Şekil 3.6. Batarya sıcaklık ölçümü devresi .....	55
Şekil 3.7. Fan devresi .....	57
Şekil 3.8. Veri seçme devresi.....	57
Şekil 3.9. Mux doğruluk tablosu.....	58
Şekil 3.10. ACS712 30A akım algılayıcısının çıkış karakteristiği.....	59
Şekil 3.11. Batarya dengeleme devresi .....	60
Şekil 3.12. BYS üst sınır (4.2V) dengeleme yöntemi akış şeması.....	62
Şekil 3.13. BYS fark dengeleme yöntemi akış şeması .....	63
Şekil 3.14. $V_T$ -Boşalım karakteristiğine uydurulan eğri.....	64
Şekil 3.15. Batarya hücresi iç direnci - SoH ilişkisi .....	65
Şekil 3.16. BYS kart ön yüz.....	66
Şekil 3.17. BYS kart arka yüz.....	66
Şekil 3.18. BYS arayüz .....	67
Şekil 4.1. Üst sınır değer dengeleme hücre gerilimleri.....	71
Şekil 4.2. Üst sınır değer dengeleme hücre gerilimleri (filtreli) .....	72
Şekil 4.3. Fark dengeleme hücre gerilimleri .....	72
Şekil 4.4. Fark dengeleme hücre gerilimleri (filtreli) .....	73

## ÇİZELGELER DİZİNİ

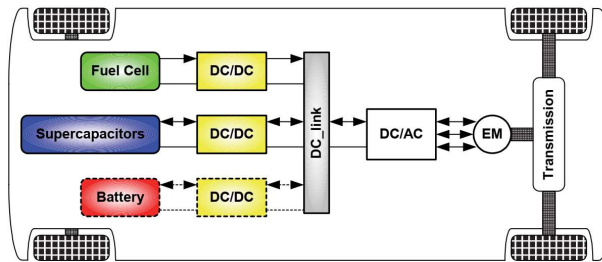
Çizelge 2.1. EA’da kullanılan farklı batarya türleri ve özellikleri.....	14
Çizelge 2.2. SoC hesaplama matematiksel yöntemlerinin sınıflandırılması.....	29
Çizelge 2.3. Dengeleme yöntemlerinin karşılaştırması (Daowd vd, 2011) .....	47
Çizelge 4.1. Hücre dengeleme fark değeri 0.1 V için dengeleme sonuçları .....	68
Çizelge 4.2. Hücre dengeleme fark değeri 0.3 V için dengeleme sonuçları .....	69
Çizelge 4.3. Hücre dengeleme üst değer dengeleme sonuçları.....	69
Çizelge 4.4. Hücre aşırı gerilim koruma test sonuçları.....	70
Çizelge 4.5. Hücre düşük gerilim koruma test sonuçları .....	70
Çizelge 4.6. Sıcaklık koruma test sonuçları.....	71

## 1. GİRİŞ

Elektrikli Araç (EA)'lar, günümüzde geleneksel araçların yol açtığı sera gazlarının olumsuz sonuçlara çözüm olarak önemli bir seçenektir. Geleneksel araçların enerji kaynağı olarak kullandığı fosil kaynakların yerine, elektrik enerjisi kullanılarak daha temiz, az gürültülü ve ayrıca ekonomik açıdan daha uygun bir ulaşım imkânı sağlanmaktadır (Richardson, 2013). EA'lar üzerine yapılan araştırmalar, fosil yakıt kaynakların tükenmesinin kaçınılmaz olması ve atık gazlarının doğaya etkileri nedeniyle 20.yy'da yaygınlaşmışsa da, yapılan çalışmaların başlangıcı aslında 18.yy'a dayanmaktadır.

EA'lar hareket için gerekli olan mekanik enerjiyi, geleneksel araçların kullandığı İçten Yanmalı Motor (İYM) yerine elektrik motoru kullanarak üretmektedir. Mekanik enerjiyi üretecek olan elektrik motorunun çalışmasını sağlayacak olan elektrik enerjisi, Yakıt Hücreleri (YH), bataryalar ve Süper Kapasitör (SC)'ler kullanılarak sağlanmaktadır. EA'larda kullanılan enerji kaynaklarının gelişimi aracın başarımı üzerinde doğrudan etkilidir. Vanguard-Sebring'in 1974 senesinde ürettiği CitiCar, saatte ortalama 30 mili aşan bir sürata ayrıca yaklaşık 50 kilometre yol alma mesafesine sahipti. Günümüze gelindiğinde ise, Tesla'nın 2020 yılında piyasaya sürmeyi planladığı Tesla Roadster aracının 600 mil menzili, saatte 250 mph hızının olması planlanmaktadır. Bu durum EA'ların geçmişten bugüne ne kadar büyük bir gelişim gösterdiğinin göstergesidir.

Şekil 1.1'de EA'nın elektrikli tahrik sistemine güç sağlamak için, fosil yakıtların yerine YH, bataryalar ve SC gibi farklı enerji kaynakları kombinasyonunu kullanan bir araç şeması gösterilmektedir.



Şekil 1.1. EA tahrik sistemi (Al Sakka vd, 2012)

EA'da ana enerji kaynağı bir veya daha fazla enerji depolama cihazı ile desteklenmektedir. Böylece sistem maliyeti, kütlesi ve hacmi azaltılmakta ve önemli ölçüde daha iyi bir başarımla elde edilmektedir. Sık kullanılan iki enerji depolama aygıtı batarya ve süper kapasitörlerdir (Al Sakka vd, 2012).

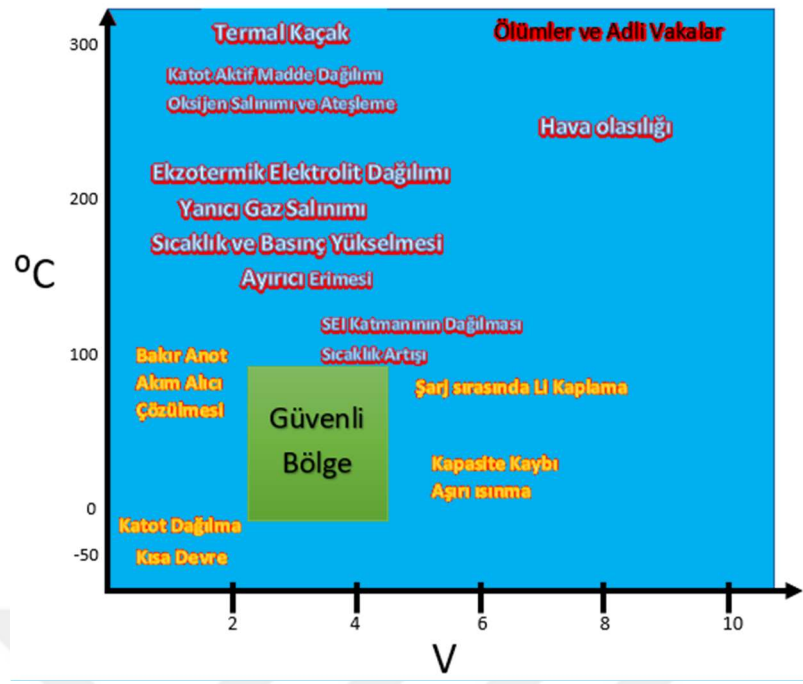
Enerji kaynakları birbirleri ile değişik yöntemlerle bağlanmaktadır. Basit bir yapılandırma olarak, iki kaynak paralel olarak doğrudan bağlanmaktadır (YH/Batarya, YH/SC veya batarya/SC). Bununla birlikte, bu durumlarda, her bir kaynaktan çekilen güç kontrol edilememekte, ancak kaynakların empedansı tarafından pasif olarak belirlenmektedir. Empedans, sıcaklık, dolum durumu, sağlık ve çalışma noktası gibi birçok parametreye bağlıdır. Çalışma esnasında kaynaklar sağlık ve verimlilik vb. açıdan uygun olmayan şekillerde çalıştırılabilmektedir.

İki kaynak kullanımında, kaynakların gerilim karakteristiklerinin mükemmel şekilde eşleşmesi gerekmektedir ancak enerji kaynaklarının çalışma aralığının sadece bir kısmı kullanılabilir. Bir YH-Batarya konfigürasyonunda YH, bataryanın sabit gerilimi nedeniyle neredeyse her zaman aynı gücü sağlamalıdır ve yine bir batarya-SC konfigürasyonunda, SC'nin enerji değişim özelliğinin bir kısmı kullanılabilir.

EA'larda mekanik enerjinin üretimini sağlayacak olan en yaygın enerji kaynağı bataryalardır. Bu nedenle belki de EA'ların en kritik elemanı durumundadır. Bataryalar üzerine yapılan çalışmaların gelişmesiyle EA'ların kullanımı daha da yaygın hale gelebilecektir.

Batarya Yönetim Sistemleri (BYS), EA'larda kullanılan elektrik enerjisi depolama sisteminin doğru ve güvenli çalışması için hayati öneme sahiptir ve birçok işlevi kontrol eden gerçek zamanlı sistemlerdir. Bu kontrol işlevleri, sıcaklık, gerilim ve akımların izlenmesini, bakımların planlamasını, bataryaların başarımla optimizasyonunu, arıza tahminini ve/veya arıza önlemeyi ve ayrıca bataryadan veri toplanmasını/analizini içermektedir.

EA uygulamalarında BYS kullanılarak, batarya hücre ve paketlerini, güvenilir ve en uygun şekilde kontrol etmek her zaman önemlidir. EA'larda büyük çoğunlukla kullanılan Lityum-İyon (Li-ion) pillerin çalışmalarının kontrolü için bir BYS gereklidir. Bunun nedeni, Li-ion pillerin aşırı dolumları, tamamen boşalmaları veya güvenli sıcaklık sınırlarının dışında çalıştırılmaları halinde arızalanmalarıdır. Şekil 1.2'de örnek olarak verildiği gibi, her bir Li-ion batarya, BYS'yi buna göre programlamayı gerekli kılan kendi güvenli çalışma alanına sahiptir.



Şekil 1.2. Li-ion batarya çalışma bölgesi

Düşük maliyetli sistemlerde, BYS'nin gereksinimleri veya işlevlerinde bazı farklılıklar olabilmektedir. Özellikle az sayıda seri bağlı batarya hücreleri için, bazı BYS üreticileri basit bir harici düşük gerilim kapatma devresi ve kontrollü dolum sonu gerilimi olan bir dolum cihazı önermektedir. Daha büyük ve daha karmaşık sistemler için BYS, oldukça pahalı bileşenlerin korunmasını sağlamakta ve sistemin işlevselliğine katkıda bulunmaktadır.

İlk olarak, “batarya”, “parça” ve “hücre” terimleri arasındaki farkı anlamak önem arz etmektedir. Temel olarak, bir batarya, elektrik, mekanik ve iletişim sinyali arayüzleri ile tam olarak montelenmiş pakettir. Paket seri olarak ve/veya (daha az sıklıkla) paralel olarak bağlanmış birkaç parçadan oluşabilmektedir. Bir parça, bataryanın bir parçası olarak tanımlanabilir ve normal olarak batarya muhafazasında bulunmaktadır, ancak çok büyük bataryalarda parçalar kablolar vasıtasıyla ayrı olarak da bağlanabilmektedir. Her parçada, hücreler seri veya paralel olarak bağlanır. Parçalar paralel olarak bağlanırsa, daha yüksek akımlar elde etmek mümkündür ve seri bağlantı daha yüksek bir gerilime olanak sağlamaktadır.

Bir BYS’de, bataryanın istenen çalışma aralığında (gerilim, akım ve sıcaklık), uygun bir işlevi sağlaması amacıyla, her bir hücrenin izlenmesi gerekmektedir. Bu kontroller bir mikroişlemci kontrol ünitesi (MCU) tarafından gerçekleştirilmektedir. MCU batarya hücrelerinin değerlerini değerlendirerek, bataryanın başarımını



korunmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca, bu değerler değerlendirilerek bataryalardan en yüksek seviyede verim alınması sağlanarak, EA'nın kullanım özelliklerinin geliştirilmesine de yardımcı olunmaktadır.

EA'larda kullanılan BYS'nin kullanılan batarya üzerinde tasarımına bağlı olarak, farklı birçok görev üstlenebilmektedir. Bu görevler şunlardır:

- Hücrelerin sınır koşullarının dışında çalışmasını engellemek,
- Acil durumlarda bataryanın kaynak veya yük ile bağlantısını kesmek,
- Hücreler arasındaki dengeyi korumak veya mevcut toplam sığayı arttırmak için tek tek hücrelerdeki yükü dengelemek,
- Geçmiş ve mümkünse gelecekteki verilere dayanarak bataryada kalan doluluk oranını belirlemek (SoC:State of Charge/Batarya Doluluk Durumu ),
- Bataryada kullanılan her bir hücrenin kullanım ömürlerini belirlemek (SoH:State of Health/Batarya Sağlık Durumu).

Her bir EA için tasarlanan BYS'ye göre yukarıdaki maddeler azalabilmektedir. Bu çalışmada bir BYS tasarımı ve uygulaması yapılmış olup, gerçekleştirilen bu sistemde, yukarıda belirtilmiş olan tüm özellikler yer almaktadır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde ilk olarak EA’larda kullanılan BYS’ler üzerine yapılmış olan çalışmalar ile ilgili kaynak özetleri, ardından EA’larda kullanılan batarya teknolojileri, güç dönüştürücü teknolojileri, batarya dolum sistemleri ve BYS’ler hakkında bilgiler verilmiştir.

### 2.1. Kaynak Özetleri

Elektrik enerjisi kaynağı olarak bataryaların kullanımının her geçen gün daha popüler hale gelmesi, bataryalar konusunu inceleyen bilimsel içerikli çalışmaların da giderek artmasına neden olmuştur. Sadece batarya teknolojileri ile ilgili değil bunlara ek olarak kaynaklarda BYS konusu üzerine de çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, bataryaların dolma ve boşalma işlemleri, SoC, SoH, işlev durumu (SoF) kestirimleri, bataryaların aktif ve pasif metotlar kullanılarak dengelenmesi, BYS’nin çalışmasında kullanılan haberleşme yapıları, kontrol mekanizmaları, elektronik donanımı ve daha bunlara ek olarak çok sayıda konular incelenmektedir.

(Andrea, 2010)’da BYS’ler birçok farklı açıdan ele alınmaktadır. Bu kitapta BYS’nin yapısı, görevleri, tasarım süreçleri, ticari BYS’ler gibi önemli konu başlıkları yer almaktadır. BYS alanındaki önemli teknik zorluklar belirtilmiş ve bu zorluklara etkili çözümler araştırılmış, büyük Li-ion batarya paketlerinde kullanılan BYS’nin sağlam bir şekilde anlaşılmasına yardımcı olunmuştur. BYS topolojileri, işlevleri ve karmaşıklıkları hakkında derinlemesine tartışmalar yer almakta olup uygulamalar için hangi yöntemlerin doğru olduğu üzerine incelemeler yapılmıştır.

(Xu vd, 2010)’da hücre gerilimi, batarya sıcaklığı, batarya gerilimi ve batarya akımı örneklemeleri üzerine bir araştırma yapılmıştır. Özel devre kullanılarak gerilim örnekleme yöntemi, batarya sıcaklığı örnekleme ve hücreleri dengeleme yöntemi sunulmuştur.

(Hu, 2011)’de BYS’nin amacı, işlevleri ve topolojileri ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, BYS’nin donanım ve sistem tasarımları ile birlikte batarya modelleri kaynak taramasında ele alınmıştır. Daha sonra, geliştirilmiş bir batarya modeli tanıtılmış ve modelin başarımını doğrulamak için simülasyon

alışması yapılmıştır. Son olarak, yeni bir BYS donanım sisteminin tasarımı yapılmış ve deneysel sonuçlar irdelenmiştir.

(Brandl vd, 2012)'de batarya başarımını tahmin etmek için en uygun modelleme yaklaşımları önerilmekte ve batarya yönetimi için entegre devrelere ve sistemlere uygulanan zorunlu gereksinimler ve standartlar ele alınmaktadır. Batarya yönetimi uygulaması için genel ve esnek bir yapı, SoC hesaplama ve batarya dengeleme için ana teknikler açıklanmaktadır. Son olarak makalede entegre bir aktif dengeleyici içeren BYS'nin tasarımı ve uygulanması gerçekleştirilmiştir.

(Aldoğan, 2012)'de BYS ile ilgili yapılan araştırmalar incelenmiş ve BYS'nin genel özellikleri açıklanmıştır. Çalışmada bir BYS tasarımı yapılmış ve gerçekleştirilen tasarımın donanım testlerinden bahsedilmiştir.

(Altun, 2012)'de BYS için yazılım algoritmaları oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Hem dolum hem de boşalma esnasında batarya dengeleme tekniği algoritmaları geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

(Dai vd, 2013)'te BYS'nin Hardware-in-the-loop (HIL) testlerinde kullanılabilecek bir derleyici gerçekleştirilmiştir.

(Baykal, 2013)'te seri bağlanmış her hücreye bir adet olacak şekilde içerisinde haberleşme, güç ve ölçüm bloklarını barındıran, 33×34 mm boyutlarında bir ölçüm birimi tasarlanmıştır. Ayrıca aynı haberleşme hattına bağlanmış, tüm ölçüm birimleriyle iletişim kuran ve verileri görsel olarak kullanıcıya gösteren bir bilgisayar yazılımı da gerçekleştirilmiştir.

(Lu vd, 2013; Rahimi-Eichi vd, 2013; Waag vd, 2014)'te genel olarak BYS'lerin amaçları, görevleri ve özellikleri araştırılmış, bu konular üzerine yapılan çalışmalardan bir derleme oluşturulmuştur.

(Baronti vd, 2014; Gallardo-Lozano vd, 2014)'te farklı aktif batarya dengeleme yöntemlerinin bir özeti, karşılaştırılması ve değerlendirilmesi, uygulamaya göre uygun dengeleme yönteminin seçiminde yardımcı olacak incelemeler yer almaktadır.

(Nafiz, 2014)'te farklı batarya sayısına göre çalışabilen bir BYS tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen BYS'de bütün batarya hücrelerinden gerilim, akım, sıcaklık verileri alınıp RS232, RS485 ve CanBus haberleşme yöntemleri kullanılarak denetleyiciye aktarılmıştır. Batarya hücreleri arasında aktif dengeleme yöntemi kullanılmış ve bataryaların aşırı dolum ve aşırı boşalım durumlarına karşı yöntemler geliştirilmiştir.

(Berecibar vd, 2016; Rezvanizani vd, 2014)'te SoH ifadesi anlatılmış, SoH belirlenmesi için kullanılabilecek teknikler üzerinde durulmuş ve bu konuda kaynaklarda yapılan araştırmalara yer verilmiştir.

EA'da kullanılan bataryalar kapsamlı bir araştırma alanıdır ve bu alanda çok sayıda yayın bulunmaktadır. Bu yayınların en önemlilerinden biri (Scrosati vd, 2015)'te yapılmış olan derlemedir. Bu çalışmada, EA ve bu araçlarda kullanılan bataryalar ve yönetim sistemleri ile ilgili olarak kapsamlı çalışma ve araştırmalar yer almaktadır.

(Soydaş, 2015)'te lityum tabanlı batarya hücreleri incelenmiş, BYS araştırılmış ve anlatılmıştır. Çalışmada BYS dengeleme yöntemleri olan aktif veya pasif hücre dengeleme yöntemleri kullanılarak çeşitli tasarımlar yapılmıştır. Yapılan bu tasarımların birkaç tanesi çeşitli güneş enerjili araç yarışları ve elektrikli araba yarışmalarında test edilmiştir.

BYS'lerin geliştirilmesinde ek olarak sıcaklık yönetimi de önem arz etmektedir. (Wang vd, 2016)'da batarya termal model geliştirme ve termal yönetim stratejileri olmak üzere iki açıdan bir derleme sunulmaktadır. Li-ion bataryalar üzerindeki ısı kaçak ve düşük sıcaklık durumlarının etkileri çalışılmış ve bataryanın ısı analizini yapabilmek amacıyla ısı üretim durumları tartışılmıştır.

(Farmann vd, 2015; Hannan vd, 2017; Rivera-Barrera vd, 2017)'de SoC incelenmiş olup, SoC tahminlerinde yararlanılan yöntemlere ve bu yöntemlerin karşılaştırılma sonuçlarına değinilmiş ve bunlar üzerine kaynaklarda yer alan çalışmalar ile ilgili bilgiler verilmiştir.

(Fleischer vd, 2016)'da BYS için HIL testi anlatılmıştır. (Hannan vd, 2017)'de bataryanın başarımını, kullanım ömrünü ve güvenliğini artırmak amacıyla EA uygulamalarında kullanılan Li-ion batarya hücreleri için bir batarya dengeleme algoritması sunulmuştur.

(Kılıç, 2016)'da bir BYS uygulaması gerçekleştirilmiş ve bu uygulama lityum demir fosfat bataryalardan oluşan bir batarya paketi ile test edilmiştir. Ayrıca tasarlanan bu BYS'ye grafik arayüzü ve telemetri çalışması da eklenmiştir.

(Turğut, 2018)'de Li-ion batarya hücreleri için parçalı tip BYS geliştirilmiştir. Parçalar aracılığıyla hücrelerin gerilim ve sıcaklık değerleri okunmuş ve bu veriler Kontrol Alan Ağı (CAN) üzerinden ana parçaya gönderilmiştir. Ana parça üzerinde bu bilgiler yardımıyla gerçek zamanlı olarak SoC değeri hesaplanmıştır. Bataryaların

dengelenmesinde pasif hücre dengeleme yöntemi tercih edilmiş olup, gerilimlerin dengelenme işleminde bulanık mantık denetleyici kullanılmıştır.

(Gül, 2018)'de EA'nın bataryasında kullanılmaya uygun olarak BYS özellikleri belirlenmiş ve bu doğrultuda bir BYS donanımı geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem; bir adet ana (master) ve bir adet uydu (slave) elektronik birimden oluşmaktadır. Geliştirilen BYS'nin 12 adet batarya hücresi üzerinden testleri yapılmış, test sonuçları ve maliyet analizi sunulmuştur.

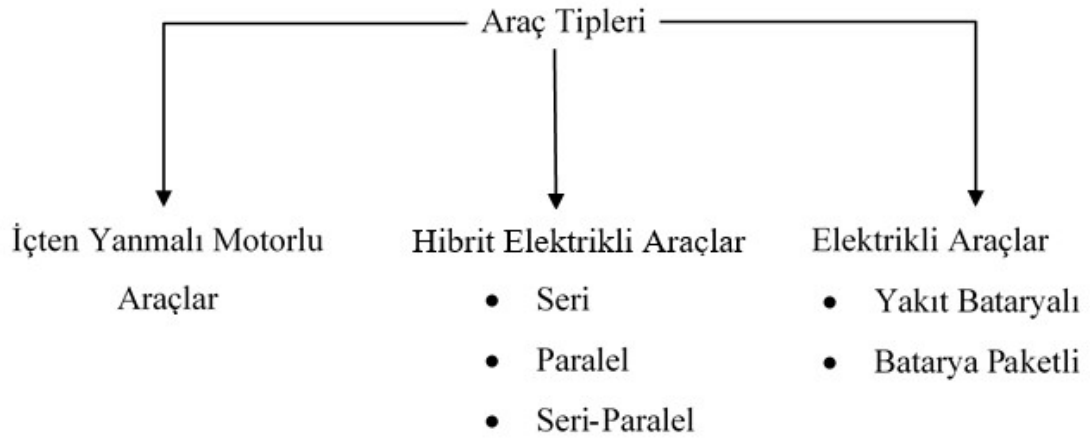
(Liu vd, 2019)'da batarya modelleme, SoC ve SoH dahil olmak üzere BYS'nin değişik teknolojileri hakkında kısa bir araştırma yapılmıştır. EA'larda kullanılan güncel batarya tipleri araştırılmış ve BYS'de kullanılan önemli teknolojilerin incelemesi yapılmıştır. Elektriksel model, ısı model ve birleşik olarak elektrotermal model de dahil olmak üzere çeşitli batarya modelleri incelenmiştir. SoC, SoH ve iç sıcaklık için batarya durumu tahminleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Geleneksel batarya dolum yaklaşımları ile ilişkili optimizasyon yöntemleri tartışılmıştır.

(Kurt vd, 2019)'da EA'nın iki önemli bileşeni, BYS'nin ve kablosuz iletişimin ayrıntıları özetlenmektedir.

(Porpora vd, 2019)'da otomotiv uygulaması için pasif dengelemeli bir BYS tasarımı ve ısıl başarımlar optimizasyonu üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. BYS için parçalı bir mimari tercih edilmiştir. Her dengeleme ünitesinde, 6 batarya hücresinden oluşan bir batarya parçasının dengelenmesine, hücrelerin ve parçaların sıcaklıklarının izlenmesine olanak sağlayan kontrol algoritması kullanılmıştır.

## **2.2. Elektrikli Araç Çeşitleri**

Günümüzde araçlar kullandığı enerji kaynağı ve motor çeşitlerine göre üç bölüm altında incelenmektedir. Bunlar, geleneksel İYM'li araçlar, hem elektrik hem de fosil yakıt kullanan Hibrit Elektrikli Araç (HEA) ve sadece elektrik enerjisini kullanan Elektrikli Araç (EA)'tır (Tie ve Tan, 2013). Genel olarak araç tipleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada elektrik enerjisi kullanan araçlara değinilmektedir.



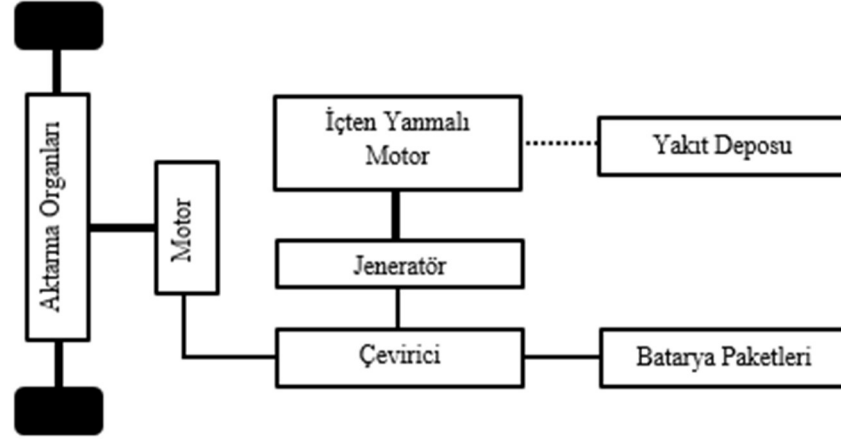
Şekil 2.1. Genel olarak araç tipleri

### 2.2.1. Hibrit elektrikli araçlar

HEA'nın yapısında elektrik motorunun yanında aynı zamanda İYM bulunmaktadır ve bu motorlar kullanılarak aracın hareketi sağlanmaktadır. Enerji kaynağı olarak hem fosil yakıt hem de elektrik enerjisi kullanılır. Seri, paralel ve seri-paralel olmak üzere üç farklı HEA türü bulunmaktadır (Agarwal ve Dev, 2013). Batarya, SC ve yakıt deposu birimi enerji kaynakları olarak kullanılmaktadır. Düşük karbon emisyonuna ve ortalama uzunlukta bir menzile sahip olmasına rağmen büyük bir pazara sahip değildir.

#### 2.2.1.1. Seri hibrit elektrikli araçlar

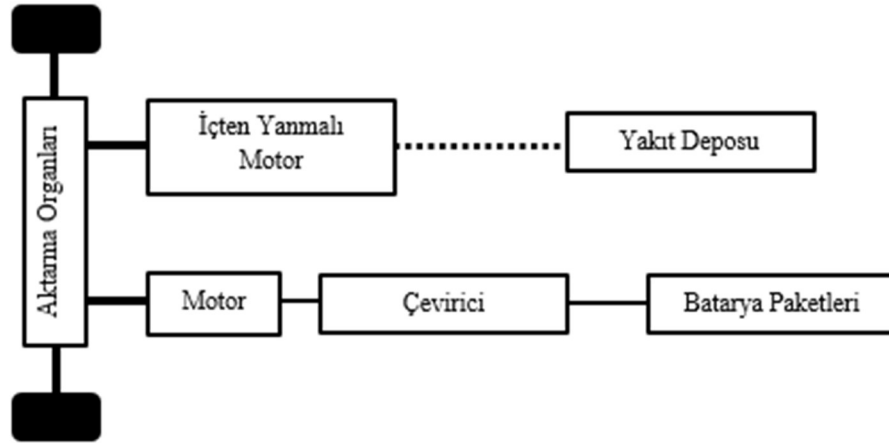
Seri HEA'da geleneksel İYM tahriki kullanılarak çalıştırılan jeneratör yardımıyla elektrik enerjisi üretilmektedir. Üretilen elektrik enerjisi de elektrik motorunu çalıştırmakta ve batarya gruplarını doldurmaktadır (Li ve Williamson, 2007). Seri HEA genel yapısı Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2. Seri HEA yapısı

#### 2.2.1.2. Paralel hibrit elektrikli araçlar

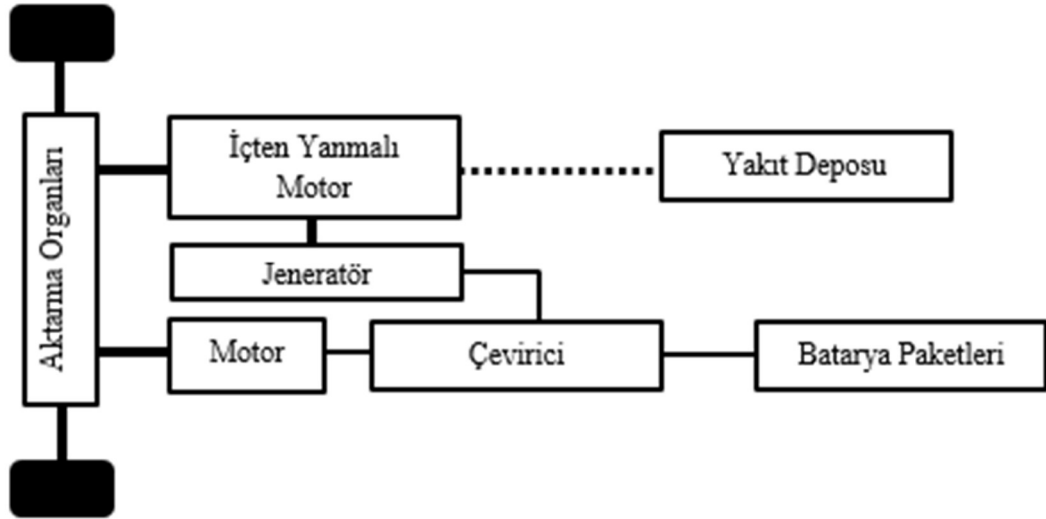
Paralel HEA'da aracın hareketi hem İYM hem de elektrik motoru kullanılarak sağlanmaktadır (Agarwal ve Dev, 2013). Paralel HEA aracın genel yapısı Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Paralel HEA yapısı

#### 2.2.1.3. Seri-Paralel hibrit elektrikli araçlar

Seri HEA ve Paralel HEA yapısıyla benzerlik gösteren seri-paralel HEA'larda, aracın güç başarımı artarken aynı zamanda daha düşük bir yakıt tüketimine de olanak sağlanmaktadır (Li ve Williamson, 2007). Seri-paralel HEA'nın yapısı Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4. Seri-Paralel HEA yapısı

### 2.2.2. Elektrikli araçlar

EA'lerde enerji kaynağı olarak sadece elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Batarya gruplarında depolanan elektrik enerjisi vasıtasıyla elektrik motoru tahrik edilerek aracın çalışması sağlanmaktadır. Dolayısıyla EA'ların yapısında İYM bulunmamaktadır. Bundan dolayı bu araçlar fosil yakıt tüketmemekte, karbon salınımı yapmamakta ve oldukça az gürültü yaparak çalışmaktadır. Sürüş sistemi, enerji sistemleri ve iki kısımdan oluşan güç aktarım sistemleri nedeniyle geleneksel araçlardan farklılık göstermektedir. Bu kısımlar EA'ların verimliliği ve başarımı açısından çok önemlidir. Enerji sisteminde batarya grubu ile birlikte bir BYS bulunmaktadır. Sürüş sisteminde ise elektrik motoru ve motor sürücüsü, mekanik yapı ve tekerlekler gibi kısımlar yer almaktadır. Çevre dostu özelliği bu araçların önem arz eden kazanımlarından biridir ancak buna rağmen uzun mesafelerde kullanım maliyetinin yüksekliği, ayrıca enerji için gerekli olan zorunlu dolum süresinin uzunluğu EA'ların yaygınlaşmasına engel olmaktadır (Bai, 2014). Frenleme sırasında kaybolan hareket enerjisi elektrik motorunun jeneratör olarak kullanılmasıyla tekrar elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve bu enerji bataryalarda depolanmaktadır. Böylece EA'nın verimi artırılırken, rejeneratif frenleme sayesinde mekanik fren sisteminin kullanım ömrü de arttırılmaktadır.

Hareketli parçalar çok fazla olmadığından, bakımların sıkça yapılması, yapısında İYM bulunmaması sebebiyle ayrıca yağ değişimine ihtiyaç duymamasından dolayı bakım maliyetleri düşüktür. EA hareket etmek için yalnızca

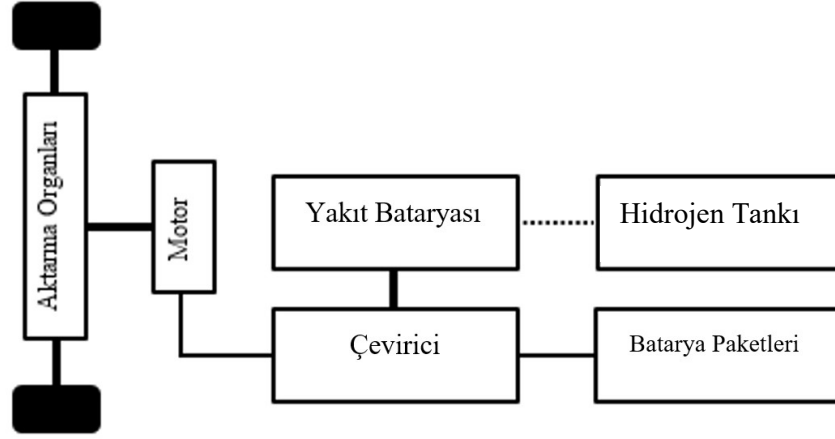


elektrik enerjisi harcadığından, fosil yakıt kullanan araçlara nazaran yakıt maliyeti de düşüktür (Kerem, 2014).

EA'nın tüm bu üstünlüklerine rağmen, ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin depolanması için gereken bataryaların yüksek maliyeti, yüksek dolum zamanı ve düşük yol alma menzili gibi sorunları da bulunmaktadır. Bu araçların üretiminin yaygınlaşması ve pazar payının artması, kullanıcılar için daha cazip hale getirilmesi önem arz etmektedir. Doğal olarak batarya gruplarının dolum süresinin uzunluğu ve yol alma menzilinün düşük olması bunlara engeldir. Batarya gruplarının sayısı artırılarak aracın yol alma mesafesi artırılabilirken, bataryanın grubunun ağırlığının artması ayrıca bir problem oluşturmaktadır. Bu sebeple enerjinin ve gücün yoğunluğu EA'daki bataryalarda önem verilmesi gereken hususlardan birisidir. Bununla birlikte batarya kullanım ömrünün sınırlılığı ve belirli bir süre sonra değişim gerektirmesi araç sahipleri için maliyeti artıran özelliklerdir (Andwari vd, 2017).

#### **2.2.2.1. Yakıt bataryalı elektrikli araçlar**

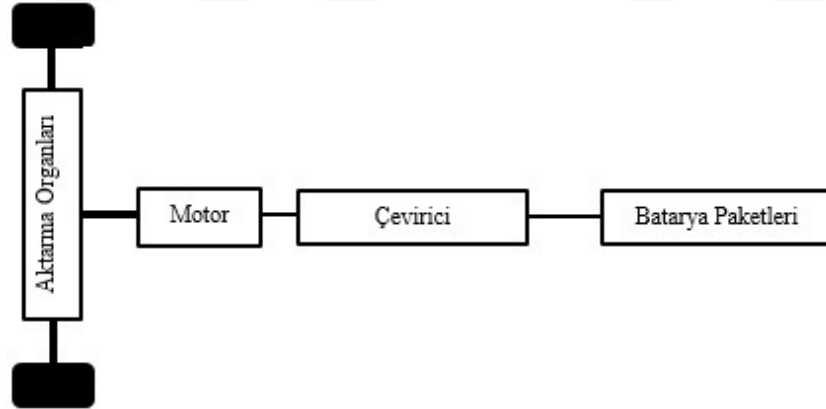
Yakıt Bataryalı EA'larda motorun çalışması için gereken elektrik enerjisi elektroliz işlemiyle elde edilmektedir. Yapılan elektroliz işleminde yakıt bataryalarının kimyasal enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve işlem sonucunda yalnız su ve ısı meydana gelmektedir. Yakıt Bataryalı EA'ların yapısı Seri HEA'nın yapısına benzemektedir. Seri HEA'da bulunan yakıt deposu yerine hidrojen tankı, İYM ve jeneratör yerine de yakıt bataryaları bulunmaktadır. Yakıt bataryalarından elde edilen elektrik enerjisi motoru çalıştırmakta ve batarya paketlerinin dolumunu yapmaktadır (Frieske vd, 2013). Yakıt Bataryalı EA yapısı Şekil 2.5'te yer almaktadır. Yakıt Bataryalı EA'lar çok düşük emisyonlu olmasına rağmen bu araçlarda yakıt bataryası ve hidrojen teknolojisi gibi sorunlar mevcuttur (Khaligh ve Li, 2010). Geleneksel teknolojilere göre daha yüksek verimli, az emisyonu sahip, daha sessiz çalışmakta ve parçalı bir yapıya sahiptirler. Yakıt bataryaları son zamanlarda çeşitli prototip uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Uzun dönemde yakıt bataryalarının araç uygulamalarında daha sıklıkla kullanılabileceği düşünülmektedir.



Şekil 2.5. Yakıt bataryalı EA yapısı

#### 2.2.2.2. Batarya paketli elektrikli araçlar

Batarya Paketli EA'ların yapısında, diğer araçlarda bulunan yakıt deposu, İYM ve jeneratör bulunmamaktadır. Elektrik motorunu çalıştırmak için gerekli olan elektrik enerjisi yalnızca batarya paketlerinden elde edilmektedir. Batarya paketleri boşaldığında, paketlerin yeniden doldurulmaları gerekmektedir (Frieske vd, 2013). Batarya Paketli EA'nın yapısı Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Batarya paketli EA yapısı

### 2.3. Elektrikli Araçlarda Batarya Çeşitleri

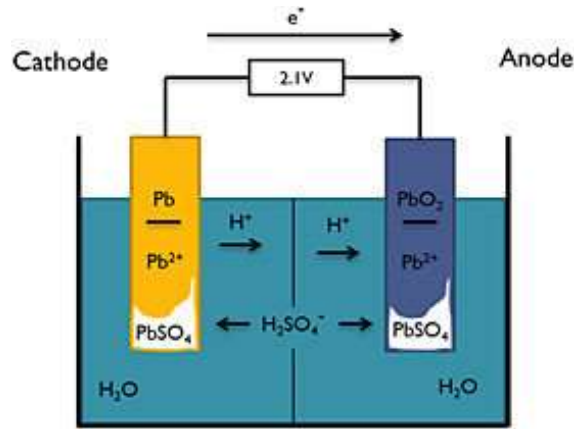
Günümüzde farklı enerji yoğunluğuna ve anma çalışma gerilimine sahip batarya teknolojileri mevcuttur ve bu teknolojiler sürekli olarak geliştirilmektedir. Genel olarak EA'da kullanılan ve hala geliştirilme durumunda olan batarya teknolojileri ve özellikleri Çizelge 2.1'de verilmektedir (Yong vd, 2015).

Çizelge 2.1. EA’da kullanılan farklı batarya türleri ve özellikleri

Batarya Çeşitleri	Nominal Gerilim (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Çevrim Ömrü (#)	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı
Pb-acid	2	35	1000	Yok	-15, +50
NiCd	1,2	50-80	2000	Var	-20, +50
NiMH	1,2	70-95	<3000	Nadir	-20, +60
Zebra	2,6	90-120	>1200	Yok	+245, +350
Li-ion	3.6	118-250	2000	Yok	-20, +60
LiPo	3,7	130-225	>1200	Yok	-20, +60
LiFePO4	3,2	120	>2000	Yok	-45, +70
Zn-air	1,65	460	200	Yok	-10, +55
Li-S	2,5	350-650	300	Yok	-60, +60
Li-air	2,9	1300-2000	100	Yok	-10, +70

### 2.3.1. Kurşun-asit batarya

Şekil 2.7’de iç yapısı yer alan kurşun-asit bataryalar pratikte pek çok uygulamada kullanılmakla birlikte, oldukça yaygın ve eski bir batarya türüdür. Kurşun-asit bataryalarda artı yüklenmiş elektrotta kurşun dioksit ( $PbO_2$ ), eksi yüklenmiş elektrotta ise kurşun ve elektrolit olarak hidrojen sülfür ( $H_2SO_4$ ) materyalleri kullanılmaktadır. Düşük öz boşalım, yüksek boşalma akımı, hafıza etkisinin mevcut olmaması ve ekonomik olarak maliyetinin düşük olması gibi olumlu yönleri mevcuttur. Ancak yeteri kadar yüksek olmayan enerji yoğunluğu ve anma gerilimleri vardır. Bu tip bataryaların kullanımda olmayıp bekledikleri süre zarfında kullanım ömürleri azalmaktadır (Yong vd, 2015).



Şekil 2.7. Kurşun asit batarya (Huang vd, 2015)

### 2.3.2. Nikel kadmiyum batarya

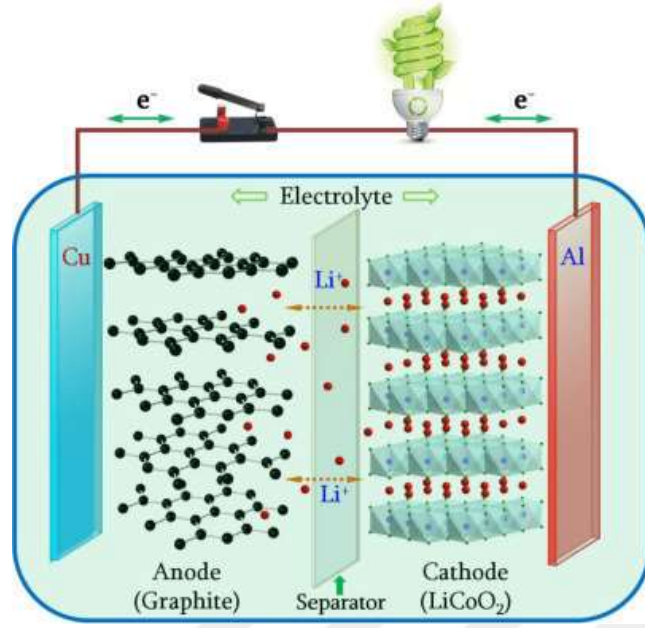
Nikel kadmiyum bataryalar hem güvenilir hem de ucuzdur. Nikel kadmiyum bataryalarda artı yüklenmiş elektrotta nikel hidroksit veya nikel oksihidroksit ( $\text{Ni(OH)}_2/\text{NiOOH}$ ), eksi yüklenmiş elektrotta ise kadmiyum ya da kadmiyum hidroksit ( $\text{Cd/Cd(OH)}_2$ ) ve elektrolit çözelti olarak da potasyum hidroksit (KOH) materyalleri bulunur. Yüksek boşalma akımı sağlayan nikel kadmiyum bataryalar kurşun-asit bataryalara nazaran daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Lakin bu bataryaların, yüksek öz boşalım, düşük dolum/boşalma verimi ve hafıza etkili olması gibi olumsuzlukları vardır (Yong vd, 2015).

### 2.3.3. Nikel metal hidrat batarya

Nikel metal hidrat bataryalar nikel kadmiyum bataryaların olumsuz yönlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Metal hidrat materyali, kadmiyum elektrotunun yerini almıştır. Nikel metal hidrat bataryalar aynı anma gerilim değerlerine sahip nikel kadmiyum bataryalara göre daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Ama nikel metal hidrat bataryaların nikel kadmiyum bataryalara kıyasla daha yüksek öz boşalım oranı ve aşırı yüksek dolum anlarında daha düşük seviyede güvenilirliği bulunmaktadır (Yong vd, 2015).

### 2.3.4. Lityum iyon batarya

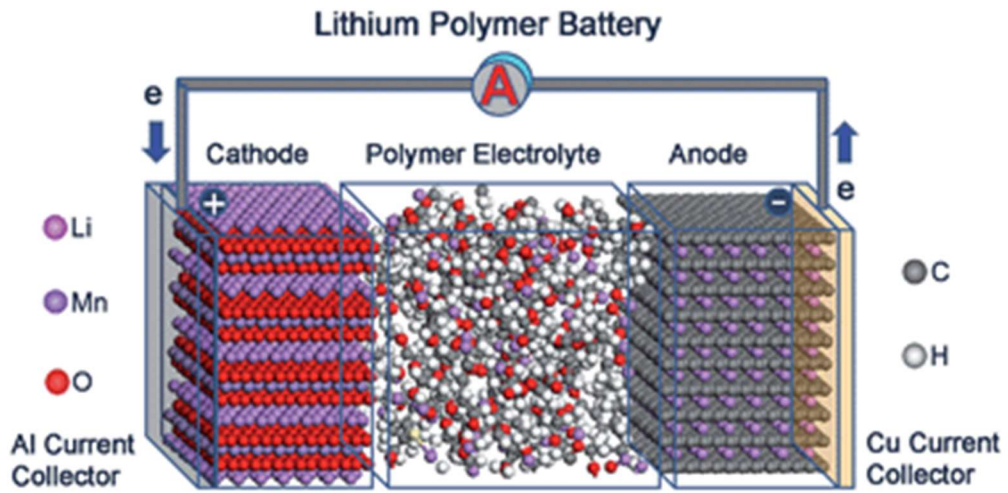
Li-ion bataryalarda artı yüklenmiş elektrot olarak, diğer malzemelere nazaran yüksek sığa, düşük toksite ve ekonomik yönden maliyetinin düşük olması sebebi ile lityum metal oksitler kullanılmaktadır. Genellikle kullanılan oksitler, Lityum nikel oksit ( $\text{LiNiO}_2$ ), Lityum kobalt oksit ( $\text{LiCoO}_2$ ) ve Lityum mangan oksit ( $\text{LiMn}_2\text{O}_2$ ) olarak görülmektedir. Şekil 2.8’de görülen Li-ion bataryalar nikel tabanlı bataryalara göre farklı özelliklere sahiptir. Nikel tabanlı batarya gruplarına kıyasla daha yüksek anma gerilim değerine ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir (Yong vd, 2015).



Şekil 2.8. Lityum iyon batarya (Liu vd, 2016)

### 2.3.5. Lityum iyon polimer batarya

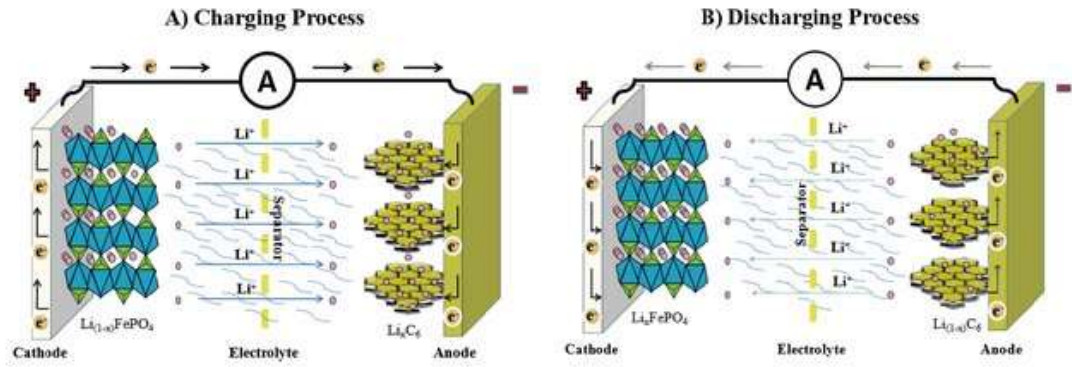
Lityum iyon polimer (LiPO) bataryalar ile Li-ion bataryalar benzer özellikler göstermektedir. Şekil 2.9’da yapısına yer verilmiş olan LiPo bataryalarda elektrolit olarak polimer malzemenin yer alması aralarındaki en belirgin fark olarak ortaya çıkmaktadır. Polimer elektrolit, organik sıvı elektrolitlere göre elektriksel açıdan daha iyi bir iletkenidir. Polimer elektrolit kullanımı LiPO bataryalarının hızlı, kolay ve farklı şekillerde üretiminin yapılmasına imkan tanımaktadır (Yong vd, 2015).



Şekil 2.9. Lityum iyon polimer batarya (Long vd, 2016)

### 2.3.6. Lityum demir fosfat batarya

Şekil 2.10’da kimyasal yapısı görülmekte olan bu batarya, artı yüklenmiş elektrot malzemesi olarak lityum demir fosfat kullanılan, lityum tabanlı bir batarya türüdür. Güvenilirliğinin yüksek olması, yüksek çevrim oranı ve yüksek enerji yoğunluğu gibi olumlu yönleri mevcuttur. Ancak Li-ion bataryalar ile kıyaslandığında başarımlar açısından düşük kalmaktadır (Yong vd, 2015).



Şekil 2.10. Lityum demir fosfat batarya (Sepasi, 2014)

### 2.3.7. Lityum sülfür batarya

Lityum tabanlı batarya gruplarından katot elektrotu olarak sülfürün kullanıldığı batarya çeşididir. Yüksek enerji yoğunluğuna, yüksek dolum verimliliğine, ortalama çevrim ömrüne ve düşük seviye hücre gerilimine sahip olan bataryalardır (Yong vd, 2015).

## 2.4. Elektrikli Araç Güç Dönüştürücüleri

EA’ların yapısında güç aktarım elemanları olarak DA/DA dönüştürücüler kullanılarak, kaynakların (YH, Batarya ve SC) gerilimi ayarlanabilmekte ve her kaynağın gücü kontrol edilebilmektedir (Schaltz ve Rasmussen, 2008).

Farklı EA güç kaynağı konfigürasyonları, YH, Batarya veya SC parçalarının DA bara bağlantısını yapmak için en az bir DA/DA dönüştürücünün gerekli olduğunu göstermektedir.

EA güç kaynağı sistemleri için yüksek güçlü DA/DA dönüştürücüler kullanılmasının gerekli olduğu aşikardır. DA/DA dönüştürücünün gücü, aracın azami hızına, 0’dan 100 km/s’ye hızlanma süresine, ağırlığına, azami moment ve güç

değerlerine (azami güç, sürekli güç) bağlıdır (Büchi vd, 2006). Genel olarak, otomobiller için dönüştürücünün gücü 20 kW'tan fazla olup ve 100 kW'a kadar çıkabilmektedir.

#### **2.4.1. DA/DA dönüştürücüler**

Elektrik mühendisliğinde, DA/DA dönüştürücüler bir güç dönüştürücü sınıfıdır ve giriş enerjisini geçici olarak depolayan ve sonra bu enerjiyi serbest bırakarak bir DA gerilim seviyesinden diğerine dönüştüren bir güç elektroniği devresidir.

DA/DA güç dönüştürücü devrelerinde enerji depolama, manyetik alan depolama bileşenleri (endüktanslar, transformatörler) veya elektrik alan depolama bileşenleri (sığaçlar) kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

DA/DA dönüştürücüler, gücü girişten çıkışa bir yönde aktarmak üzere tasarlanabilmektedir. Bununla birlikte, neredeyse tüm DA/DA dönüştürücü topolojileri iki yönlü tasarlanmaktadır. İki yönlü bir dönüştürücü, elektriksel gücü her iki yönde de aktarabilmektedir. Bu özelliğinden dolayı rejeneratif frenleme gerektiren uygulamalarda oldukça kullanışlıdır.

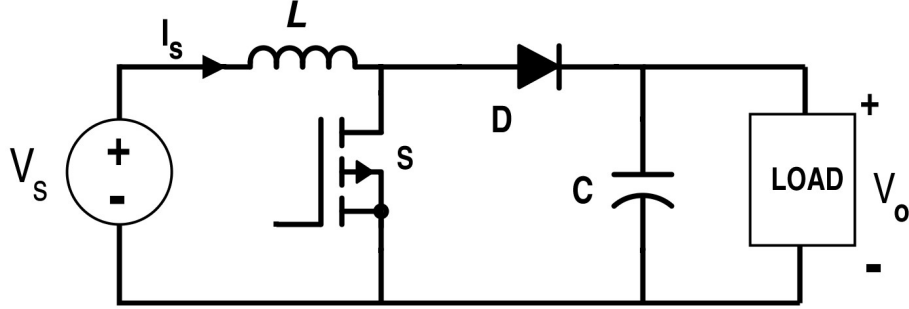
Giriş ve çıkış arasındaki güç akış miktarı, görev (çalışma) oranı ayarlanarak kontrol edilmektedir (anahtarın açık/kapalı süresi oranı). Genellikle bu işlem çıkış gerilimini, çıkış akımını, giriş akımını kontrol etmek veya sabit bir gücü korumak için yapılmaktadır. Transformatör tabanlı dönüştürücüler, giriş ve çıkış arasında yalıtıma olanak sağlamaktadır. Anahtarlamalı dönüştürücülerin ana sorunu karmaşıklık, elektronik gürültü ve bazı topolojiler için yüksek maliyetli olmasıdır. Birçok farklı tip DA/DA güç dönüştürücü kaynaklarda yer almaktadır (Chiu ve Lin, 2006; Wang vd, 2006).

En yaygın olarak kullanılmakta olan DA/DA dönüştürücüler yalıtımlı ve yalıtımlı olmayan şekilde gruplandırılabilir.

##### **2.4.1.1. Yalıtımlı olmayan dönüştürücüler**

Yalıtımlı olmayan dönüştürücüler genellikle gerilimin nispeten küçük bir oranla artırılması veya düşürülmesi gereken yerler ile çıkış ve giriş dielektrik yalıtım problemi olmayan yerlerde kullanılmaktadır. Yalıtımlı olmayan dönüştürücülerde genellikle “Düşürücü, Yükseltici, Düşürücü-Yükseltici, Cuk ve İndüktörsüz” dönüştürücüler olarak adlandırılan beş ana dönüştürücü türü vardır. Şekil 2.11’de

EA'larda da kullanılan, giriş gerilimini yükseltici dönüştürücü devre şeması yer almaktadır. Düşürücü-Yükseltici ve Cuk dönüştürücü hem gerilimi düşürmek hem de yükseltmek amacıyla kullanılmaktadır. İndüktörsüz dönüştürücü, gerilimi yükseltmek veya gerilimin ters çevrilmesi için ve nispeten düşük güç uygulamalarında kullanılmaktadır.



Şekil 2.11. Yükseltici DA/DA dönüştürücü

#### 2.4.1.2. Yalıtımlı dönüştürücüler

Genellikle, yalıtımlı tip dönüştürücülerde yüksek sıklıklı bir transformatör kullanılmaktadır. Çıkışın girişten tamamen yalıtılması gereken uygulamalarda, yalıtımlı bir dönüştürücü gereklidir. Bu grupta Half-Bridge (Yarım Köprü), Full-Bridge (Tam Köprü), Fly-Back, Forward ve Push-Pull DA/DA çeviriciler gibi birçok dönüştürücü türü vardır (Cacciato vd, 2004; Garcia vd, 2005).

Bu dönüştürücülerin tümü çift yönlü dönüştürücüler olarak kullanılmaktadır ve gerilimi düşürme veya yükseltme oranı yüksektir.

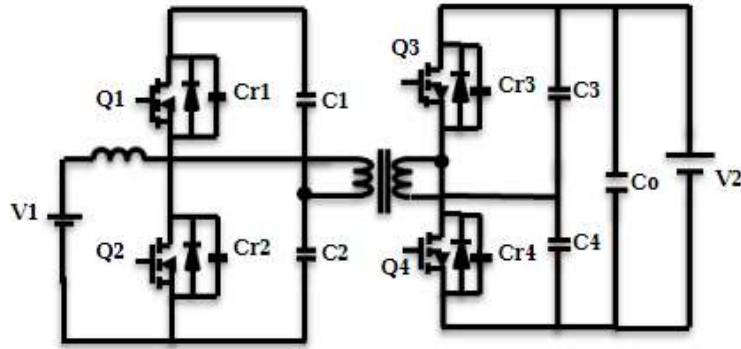
EA'larda DA batarya gerilimini artırmak ve DA bara gerilimini düzenlemek için DA/DA dönüştürücü kullanılmaktadır. Bazı tasarım hususları otomotiv uygulamaları için önem arz etmektedir;

- Hafiflik,
- Yüksek verim,
- Küçük hacim,
- Düşük elektromanyetik girişim,
- Düşük akım dalgalanması,
- Dönüştürücünün yükseltme işlevidir.

Yarım köprü yalıtımlı çift yönlü DA/DA dönüştürücüler yüksek güç yoğunluğu, yumuşak anahtarlama ve kolay kontrol imkanı sağlaması dolayısıyla EA



uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır (Li vd, 2005). Şekil 2.12’de bu topoloji gösterilmektedir ve verimliliği %92 - %94 arasındadır.



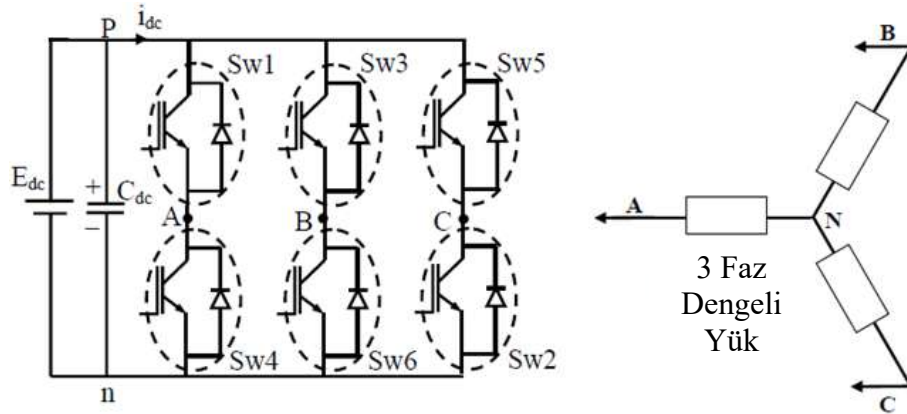
Şekil 2.12. Yarı köprü yalıtımlı çift yönlü DA/DA dönüştürücü (Ravi vd, 2018)

#### 2.4.2. DA/AA dönüştürücüler

Uygun bir DA/AA evirici, bataryalardan DA gücü çekmekte ve çıkışında ürettiği AA gerilimle elektrik motorunu çalıştırmakta ve bu da tekerleklerle gerekli gücü sağlamaktadır. DA/AA dönüştürücü ayrıca, EA/HEA’larda rejeneratif frenleme sırasında bataryaları doldurma işlemini de yerine getirmektedir. Eviriciler, klima ve diğer yardımcı yüklere de gereken enerjiyi sağlamak için kullanılmaktadır. Eviriciler genellikle gerilim beslemeli ve akım beslemeli tipler olarak sınıflandırılmaktadır. Bir akım kaynağını taklit etmek için büyük bir seri endüktansa ihtiyaç duyulduğundan, akım beslemeli eviriciler nadiren EA uygulamalarında kullanılmaktadır. Uygulamalarda, gerilim beslemeli eviriciler neredeyse tüm EA’larda kullanılmaktadır, çünkü çok basittirler ve her iki yönde de güç akışına olanak sağlamaktadırlar. Tipik bir üç fazlı tam köprü gerilim beslemeli evirici, Şekil.2.13’te gösterilmiştir. Bir eviricinin çıkış dalga türü, farklı uygulamalar için anahtarlama yöntemine bağlı olarak dikdörtgen, altı adımlı veya Darbe Genişlik Modülasyon (DGM) olabilmektedir (Sadek, 2016).

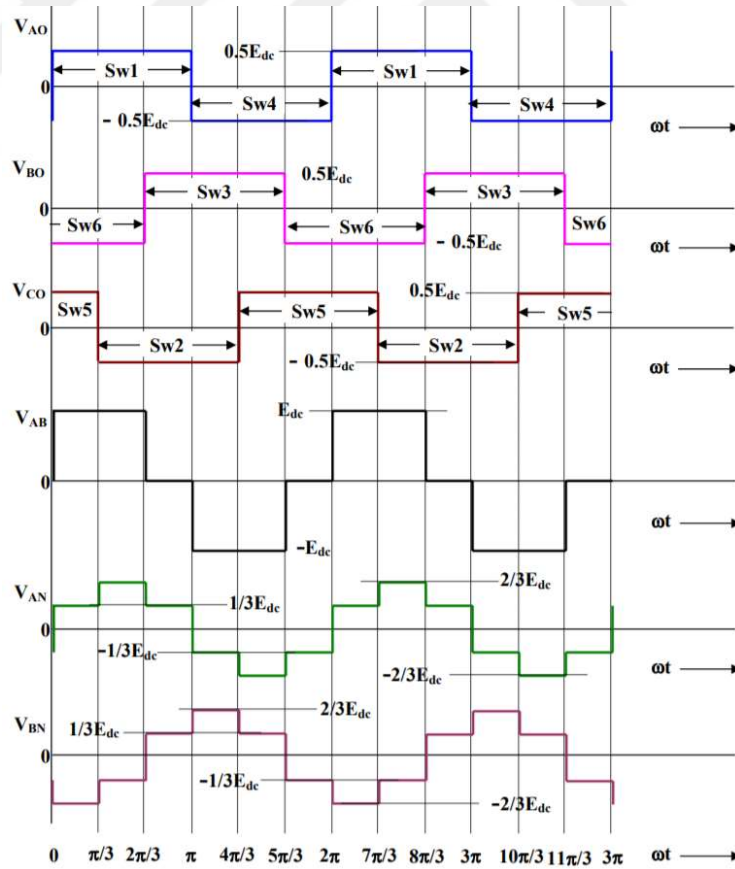
DA gerilimini AA gerilimine çevirmek için doğrultma işleminin ters işlemi yapılmalıdır. Problem, doğal komütasyon işlemlerinin mevcut olmaması ve diyotlar gibi pasif yarı iletkenlerin kullanılmamasıdır. Süreci açıklamak için idealize edilmiş anahtarlar kullanılmaktadır. Bu, anahtarlama kaybı, sınırsız anahtarlama sıklığı, anahtarlama gecikmesi vb. anlamına gelmektedir. Gerçek bir devrede, ihtiyaç duyulan sıklığa, güce veya yükün diğer önemli özelliklerine bağlı olarak çeşitli seçenekler mevcuttur. Evirici köprüsünü yönlendirmek için çeşitli yöntemler

mevcuttur, ancak burada açıklama  $180^\circ$  evirici ilkesine göre daraltılmıştır.  $180^\circ$  eviricide her an üç anahtar kapalı ve üç anahtar açık konumdadır.



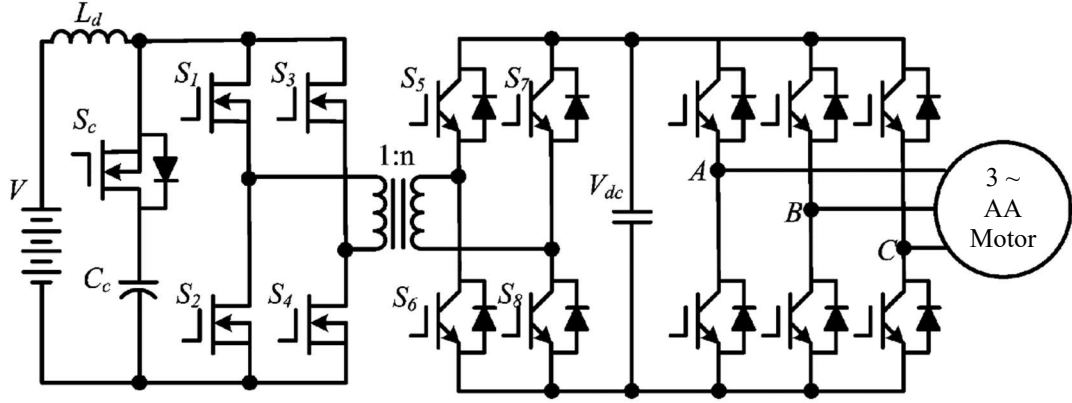
Şekil 2.13. Üç fazlı tam köprü gerilim beslemeli evirici (Anonim, 2019)

Elbette, üç kapalı anahtar hiçbir zaman aynı köprü yarısında olmamaktadır. Şekil 2.14'teki grafikler, asenkron motor gibi simetrik üç fazlı yükten elde edilmektedir.



Şekil 2.14. Üç faz gerilim kaynak evirici dalga şekilleri (Anonim, 2019)

Bir EA’da bataryalardan motora gücün akışını sağlayan temel güç elektroniği yapısında, Şekil 2.15’te yer alan örnek gibi bataryanın gerilimini yükseltmek veya alçaltmak için bir DA/DA dönüştürücü ve buna bağlı olarak motoru beslemek için bir DA/AA dönüştürücü bulunmaktadır.



Şekil 2.15. Bir EA güç akış devresi

## 2.5. Elektrikli Araçlarda Batarya Dolum Sistemleri

EA’da elektrik motoruna enerji sağlama görevini üstlenen batarya gruplarının dolumunu yapan sistemler bulunduğu yere göre iki tanedir;

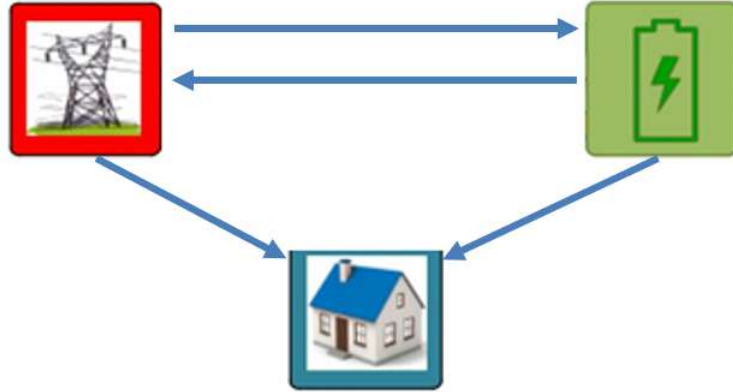
- Şehir içi dolum istasyonları iş yerlerinde, otoparklarda, şehirdeki alışveriş merkezleri gibi şehrin farklı kesimlerinde tüm gün boyunca kullanım sırasında bataryanın sığasının azalmaması maksadıyla kullanılmaktadır.
- Evlerde yer alan dolum sistemleri ise aracın kullanılmadığı süre zarfında ve enerji maliyetinin düşük olduğu zamanlarda dolum olanağı sağlamaktadır.

Dolum sistemleri aracın içerisinde veya istasyon içerisinde yani aracın dışında da yer alabilmektedir. Bazı EA’lar araç dışı dolum sistemleri ile uyum gösterse de çoğu EA’da genellikle araç içi dolum sistemleri mevcuttur. Araç içinde bulunan çift taraflı dolum sistemlerinin doğrudan AA elektrik şebekesine bağlantısı yapılabilmektedir. Bu özellikteki devrelerin kullanıldığı sistemlerde dolum işlemi uzun sürede gerçekleşmektedir ve çoğu zaman 3,5 kW altı değerdeki güçler için tasarımları mevcuttur. İstasyon içi yani araç dışı sistemlerde ise, dolum sistemi aracın dışında yer almakta ve DA ile beslenmektedir. Batarya gruplarını daha kısa sürede doldurmak için bu sistemler kullanılmaktadır. Bu özellikteki sistemlerin güç değerleri ise çoğunlukla 20 kW üzerindedir (Khaligh ve Dusmez, 2012; Sbordon vd, 2015).

Araç içi dolum sistemlerinde kullanılan dönüştürücü devreler DA/DA ve AA/DA güç elektroniği devreleridir. Güç dönüştürücüleri devreleri yalıtımlı ve yalıtımsız, tek yönlü, ya da çift yönlü olabilmektedir. AA/DA güç elektroniği devresi kullanılarak AA sinüzoidal gerilim doğrultulmakta ve DA/DA gerilim dönüştürücü ile bataryanın dolumu yapılmaktadır. AA gerilimin DA gerilime çevrilmesi, dönüştürücü devrelerinde kullanılan yüksek güçlü diyotlar ile sağlanmaktadır. Bu nedenle şebekeden çekilmekte olan akım kontrollü olamamaktadır. AA/DA dönüştürücülerin çalışması sonucunda şebekede bozucu etki meydana gelmekte ve şebekeden tam sinüs şeklinde olmayan bir akım çekilmektedir. Bu nedenle kontrollü olmayan doğrultucuda güç tek yönlü olarak akmaktadır. EA'ların akıllı şebeke (smart grid) sistemlerinde enerji kaynağı olarak kullanılması ve bozucu etki olmadan şebekeden sinüzoidal akım çekebilmesi için kontrollü DGM'li doğrultucu kullanılmaktadır. Bu sayede güç kalitesi yükselmekte, üretilen DA bara gerilimi seviyesi arzu edilen düzeye getirilebilmekte ve dönüştürücünün ters yönde çalıştırılabilmesi aracın enerjisinin araç dışında da kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Fakat kontrolü gereken bileşen sayısının fazlalığı, kontrol kartının gerekli olması ve ayrıca ekonomik açıdan da ek bir maliyet yükünden dolayı kontrolsüz dönüştürücüye göre karmaşık bir yapıya sahiptir. Doğrultucu kullanılarak oluşturulan DA barada bulunan enerji DA/DA dönüştürücü vasıtasıyla bataryalara iletilmekte ve bataryaların dolumu sağlanmaktadır. Genel olarak bu işlem için düşürücü DA/DA dönüştürücü güç devresi kullanılmaktadır. Düşürücü güç dönüştürücü enerji akışını tek yön olarak sağlayabildiğinden, çift yönlü enerji akışı gerçekleştirmek amacıyla düşürücü güç devrelerinde diyot elemanının yerine kontrollü anahtarlama elemanı kullanılarak dönüştürücünün enerji akışı bakımından iki yönlü çalışması sağlanmaktadır. Batarya dolumu esnasında dönüştürücü, düşürücü olarak ve batarya enerjisinin kullanımı esnasında yükseltici olarak çalışmaktadır.

EA'lar kullanım esnasında ihtiyacı olan enerjiyi, enerji depoladıkları bataryalardan sağlamaktadır. EA'lar dolum esnasında şebeke için yük durumunda olmaktadır. Fakat çift yönlü dolum sistemleri aracılığıyla bataryalarda depolanan enerjiyi araç dışı ihtiyaçlar için kullanmak da mümkün olmaktadır. Bu durumda Şekil 2.16'da verildiği üzere güç akışı bakımından EA'ların dolum devrelerinde şebekeden araca (G2V), araçtan eve (V2H) ve araçtan şebekeye (V2G) olmak üzere üç farklı çalışma şekli mevcuttur. Enerjinin şebekeden eve (G2H) doğru olacak akışı

ise araca bağımlı olmadan evin şebeke üzerinden enerjilenmesi olarak 4. çalışma türüdür.



Şekil 2.16. Çift yönlü dolum sistemi

G2V çalışmada şebekeden araca doğru bir enerji akışı vardır yani bu durumda batarya gruplarının dolumu gerçekleşmektedir.

Şebekeye bağlı olan AA/DA güç dönüştürücü devresi gerilimi doğrultarak elektriği DA baraya aktarmaktadır ve DA/DA düşürücü güç devresi de bu enerjiyi kullanarak bataryanın dolmasını sağlamaktadır (Ahmadi vd, 2016).

Akıllı şebeke sistemlerinde, şebekenin ihtiyaç duyduğu zamanlarda bataryada depolanmış olan enerji, V2G çalışmada şebekeye tekrar aktarılmaktadır. Şebeke ve araç arasında bir haberleşme sistemi oluşturularak ve ayrıca dolum devresinde mevcut dönüştürücüler çift yönlü çalıştırılarak bu çalışma gerçekleşmektedir. Bu çalışmada, şebekenin enerji ihtiyacının sağlanmasına yardımcı olmakla birlikte aracın kullanımına da maliyet yönünden yarar sağlanmaktadır. Elektrik enerjisinin ekonomik olduğu zamanlarda bataryanın dolumunun yapılabilmesi ve birim fiyatın fazla olduğu zamanlarda elektrik enerjisinin şebekeye verilerek satışının gerçekleşmesi ile batarya dolumu için kullanılan enerjinin birim fiyatı azaltılmış olmaktadır (de Melo vd, 2017).

Mesken enerji ihtiyacının sağlandığı V2H modu, şebeke elektriğinin kesilmesi durumunda ya da elektrik birim fiyatının fazla olduğu zamanlarda dolum sistemi evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır. Bu modda da iki yönlü çalışan dönüştürücülere ihtiyaç vardır (Monteiro vd, 2016).

## **2.6. Batarya Yönetim Sistemi**

Batarya yönetim sistemi (BYS), sistemde yer alan bataryaların izlenmesi, yönetilmesi ve korunması işlevlerini yerine getirmektedir. BYS'lerin öncelikli görevi, bataryaların güvenli bölgede çalışmasını sağlamaktır. Bataryaların kullanım alanları farklı olmasına karşın kullanım ömürleri ve verimlilikleri BYS başarımına bağlıdır. BYS, bataryaların aşırı dolum ve boşalım durumlarında ortaya çıkabilecek olumsuzlukları önleyerek başarımlarını iyileştirmektedir. BYS'ler bataryaların başarımlarını ve güvenilirlik yönlerinden güvenli olarak çalışmalarına olanak sağlamaktadır. BYS algoritmalarında batarya modelleme, batarya durum kestirimleri, batarya parametre kestirimleri ve batarya hücre dengeleme vb. görevler yer alabilmektedir.

### **2.6.1. Batarya modelleme yöntemleri**

BYS'ler için önem arz eden batarya durum tahminleri (SoH, SoC ve SoF) batarya üzerinden ölçülemediğinden, ölçülebilen değerlere ve doğru bir batarya modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı yöntemler kullanılarak batarya modelleri gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler deneysel, istatistiksel, elektrokimyasal ve elektriksel devre yöntemleridir (Rao vd, 2003).

#### **2.6.1.1. Deneysel devre modelleri**

Deneysel devre modelinde sistemin elektriksel modeli matematiksel eşitliklerle oluşturulup, modelde yer alan değişken değerleri deneysel sonuçlara göre elde edilmektedir. Deneysel modellerde, batarya terminal gerilimi, SoC ve akımın matematiksel bir işlevi olarak temsil edilmektedir (Hussein ve Batarseh, 2011). Hızlı sonuç alınabilen ve kolay bir yöntem olmasına rağmen hata oranının fazla olması sebebiyle az tercih edilmektedir (Rao vd, 2003).

#### **2.6.1.2. İstatistiksel devre modelleri**

İstatistiksel devre modelinde, sistem modelinde yer alan değişken değerleri alınan veri örneklerinden yapılar oluşturulması ile elde edilmektedir. Analitik devre modeline benzer hızlı ve basit bir yöntem olmasına rağmen doğruluk oranı iyi olmamasından dolayı çok kullanılan bir model değildir (Rao vd, 2003).

### 2.6.1.3. Elektrokimyasal devre modelleri

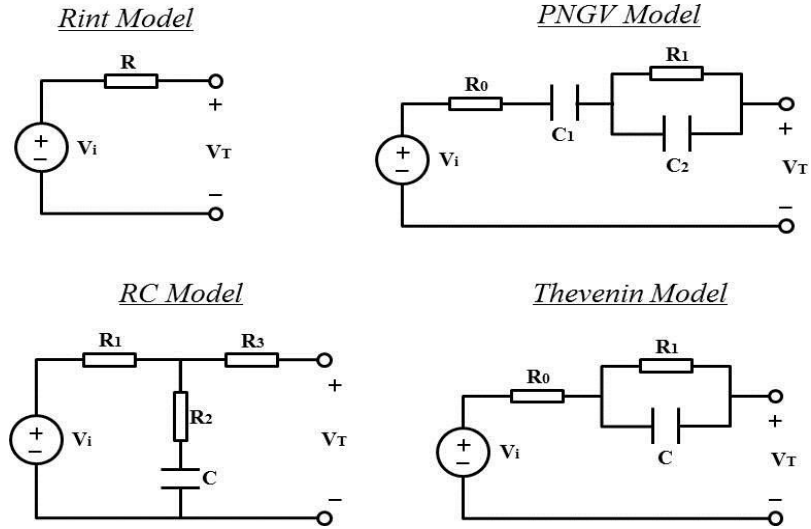
Elektrokimyasal devre modelleri batarya gruplarının kimyasal yapısını dikkate alan yöntemdir. Bataryanın sıcaklığı ve SoC gibi batarya değerlerinin ilişkilerini içermektedir. Ancak bu devre modeli karmaşık işlemler içerdiğinden, uygulaması zor ve çok tercih edilmeyen bir modeldir (Rao vd, 2003; Zhang vd, 2014). Elektrokimyasal kinetiğe ve yük aktarma işlemine göre, bataryanın iç reaksiyonlarını tanımlamak amacıyla elektrokimyasal modeller oluşturulmaktadır. Elektrokimyasal modeller, Faraday'ın İlk Kanunu, Ohm Kanunu, Fick'in Yayılma Kanunu ve Butler-Volmer Denklemleri gibi bir dizi fiziksel kanunu temel almaktadır.

Elektrokimyasal model, doğrusal olmayan bir Kısmi Diferansiyel Denklemler (KDD)'ler formunda ifade edilmektedir. Bu nedenle, doğrudan analitik bir çözüme sahip olmak için, elektrokimyasal modeli kullanmanın ön koşulu KDD'leri Adi Diferansiyel Denklemler'e (ADD) dönüştürmektir (Meng vd, 2018).

İntegral Yaklaşım, Pade Yaklaşımı, Ritz Yöntemi, Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Sonlu Farklar Yöntemi gibi sayısal yöntemler, elektrokimyasal modellerde doğrusal olmayan KDD'lerin ayrıştırılması için sıklıkla kullanılmaktadır (Forman vd, 2011; Watrin vd, 2012b).

### 2.6.1.4. Elektriksel devre modelleri

Elektriksel Devre Modeli (EDM)'nde sistemin modeli eşdeğer devreler ile oluşturulmaktadır. Eşdeğer devrelerle oluşturulan batarya modeli, cebirsel işlemlere imkan sağlayarak, batarya modelinin doğruluk oranını arttırmaktadır. EDM olarak kullanılabilen farklı eşdeğer devre modelleri bulunmaktadır (Chen ve Rincon-Mora, 2006; He vd, 2011; Singh ve Nallanchakravarthula, 2005). EDM'de sıklıkla kullanılmakta olan eşdeğer devre modelleri Şekil 2.17'de yer almaktadır.



Şekil 2.17. Elektriksel devre modelleri

EDM, girişler (akım, SoC ve sıcaklık) ile terminal gerilimi arasındaki elektrik ilişkisini tanımlayabilmekte; SoC, iç direnç, direnç-sığaç (RC) ve bir gerilim kaynağından oluşmaktadır (Hageman, 1993).

Deneysel modellerle karşılaştırıldığında, EDM'ler bataryanın elektriksel özelliğini anlamak açısından çok daha kolaydır. Ayrıca, çok sayıda devre bileşenleri ve bunların birleşimlerini içermesi nedeniyle EDM, araştırmacılara tasarım için yeterli imkanı sağlamaktadır.

## 2.6.2. Batarya empedans parametre tahmin yöntemleri

BYS'lerinde kullanılan önemli bir işlev de batarya empedans değişkenleridir. Batarya gruplarının eskime/yaşlanma süreciyle ilgili olarak değişken değerleri büyük oranda değişim göstermektedir. Değişkenlerdeki değişimlerin batarya durumlarının tahminine olanak sağlamasından dolayı, batarya değişkenleri BYS'nin çalışması üzerinde etkilidir. Batarya empedans değişken tahmini üç kısımda incelenebilmektedir (Fleischer vd, 2014).

### 2.6.2.1. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi

Empedans spektroskopisi bataryaların empedans değişkenlerini laboratuvar ortamında araştıran bir yöntemdir. Pasif empedans spektroskopisi (PES) ve aktif empedans spektroskopisi (AES) olarak iki bölümden oluşmaktadır. AES yönteminde gereken aktif sinyali üretmek için özelleşmiş devreler gerekmektedir. Fakat bu devrelerin



maliyeti yüksektir. Oluşacak bu aşırı maliyetleri düşürmek amacıyla alternatif olarak PES yöntemi kullanılmaktadır. PES yönteminde gereken uyarma sinyali aktif sinyal kullanmak yerine akım yükünün sebebiyet verdiği akım dalgalanmasından elde edilmektedir. Ancak empedans değişken değerlerinin hesaplanabilmesi için akım dalgalanması periyodik olmalı ve doğru sıklık aralığında yer almalıdır. Lakin bunun yapılabilmesi zordur. Bu yöntem doğrusal süzgeçlerin kullanılmasından dolayı mevcut bağımlılıktaki batarya direncinin hesaplanmasında uygun değildir (Fleischer vd, 2014).

#### **2.6.2.2. Elektriksel devre modeli**

Daha önce Şekil 2.17’de gösterilmiş olan elektriksel devre modelleri batarya gruplarının durumlarının tahmininde kullanılabildiği gibi ayrıca empedans değişkenlerinin kestiriminde de işe yaramaktadır. Empedans değişkenlerinin belirlenmesinde, kalman tabanlı tahmin yöntemi, tekrarlanmayan tahminler, tekrarlanan tahminler ve uyarlamalı değişkenler gibi yöntemler kullanılmaktadır (Fleischer vd, 2014).

#### **2.6.2.3. Elektrokimyasal model**

Elektrokimyasal modeller farklı yöntemler ile (gözleyiciler, uyarlamalı süzgeçler vb.) birleştirilerek empedans değişken tahmininde ve batarya durum tahmininde kullanılmaktadır. Fakat elektrokimyasal modellemelerdeki karmaşık işlemlerin zor olması bu modellemenin önemli bir sorunudur (Fleischer vd, 2014).

#### **2.6.3. Batarya dolum durumu hesaplama**

SoC, bataryalar için en önemli değişkenlerden biridir, ancak tanımı birçok farklı durumu ortaya koymaktadır (Watrin vd, 2012a). Genel olarak, bir bataryanın SoC’si  $Q(t)$  mevcut dolum miktarının,  $C(n)$  anma sığaya oranı olarak tanımlanmaktadır. Anma sığa, üretici tarafından verilmekte ve bataryada saklanabilecek azami enerji miktarını temsil etmektedir.  $SoC(t)$  aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir:

$$SoC(t) = \frac{Q(t)}{C(n)} \quad (2.1)$$

Çeşitli matematiksel tahmin yöntemleri, değişik şekilde sınıflandırılmaktadır. SoC tahmin yöntemlerinin sınıflandırması kaynaklara göre farklılık göstermektedir. Bununla birlikte, bazı kaynaklar SoC hesaplama yöntemlerini aşağıdaki gibi dört bölüme ayırmaktadır (Prajapati vd, 2011; Watrin vd, 2012a);

- i. Doğrudan ölçüm: Bu yöntem, bataryanın gerilimi ve empedansı gibi fiziksel batarya özelliklerini kullanmaktadır.
- ii. Defter tutma tahmini: Bu yöntem, giriş olarak boşalma akımını kullanmakta ve SoC'yi hesaplamak için boşalma akımını zaman içinde bütünleştirmektedir.
- iii. Uyarlamalı sistemler: Uyarlanabilir sistemler kendi kendine tasarımıdır ve SoC'yi farklı boşalma koşulları için otomatik olarak ayarlayabilmektedir. SoC tahmini için çeşitli yeni uyarlamalı sistemler geliştirilmiştir.
- iv. Melez yöntemler: Bu modeller her SoC tahmin yönteminin iyi özelliklerinden yararlanmakta ve genel olarak azami bir tahmin başarımı sunmaktadır. Kaynaklarda melez yöntemlerin, tekil yöntemlere göre daha iyi bir SoC hesabı ürettiği belirtilmektedir.

Çizelge 2.2 metodoloji açısından belirli SoC hesaplama yöntemlerini sunmaktadır. Belirli SoC hesaplama yöntemleri BYS uygulamalarında farklılık göstermektedir.

Çizelge 2.2. SoC hesaplama matematiksel yöntemlerinin sınıflandırılması

Kategori	Matematiksel Yöntem
Doğrudan Ölçüm	(i) Açık Devre Gerilim Yöntemi
	(ii) Terminal Gerilimi Yöntemi
	(iii) Empedans Yöntemi
	(iv) Empedans Spektroskopisi Yöntemi
Defter Tutma Tahmini	(i) Coulomb Hesaplama Yöntemi
	(ii) Güçlendirilmiş Coulomb Hesaplama Yöntemi
Uyarlamalı Sistemler	(i) Geri Yayılım Sinir Ağı
	(ii) Radyal Temel İşlevli Sinir Ağı
	(iii) Destek Vektör Makinesi
	(iv) Bulanık Sinir Ağı
	(v) Kalman Süzgeci
Melez Yöntemler	(i) Coulomb Hesaplama ve Elektromotor Kuvvet Birleşimi
	(ii) Coulomb Hesaplama ve Kalman Süzgeç Birleşimi
	(iii) Per-unit ve Genişletilmiş Kalman Süzgeç Birleşimi

### 2.6.3.1. Doğrudan ölçüm

Doğrudan ölçüm yöntemleri, terminal gerilimi ve empedansı gibi bazı fiziksel batarya özelliklerini kullanmaktadır. Birçok farklı doğrudan yöntem kullanılmaktadır: Açık devre gerilimi yöntemi, terminal gerilimi yöntemi, empedans ölçüm yöntemi ve empedans spektroskopisi yöntemi.

#### 2.6.3.1.1. Açık devre gerilimi yöntemi

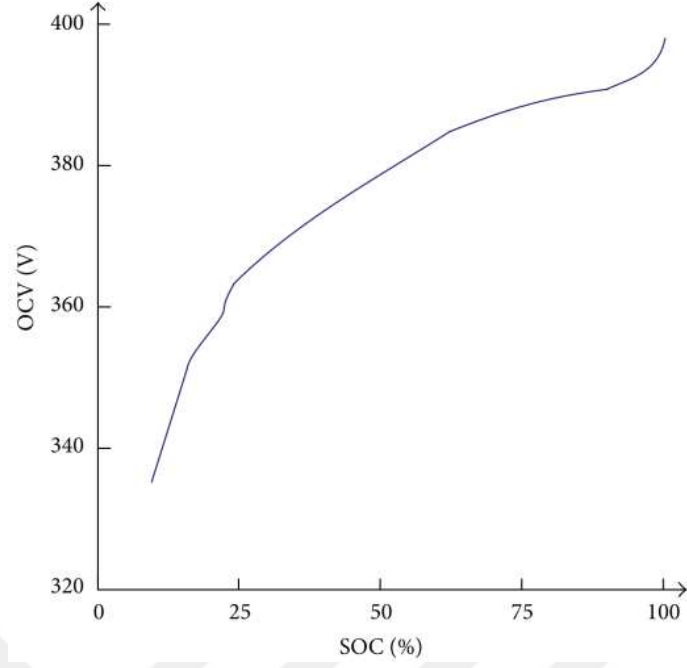
Kurşun-asit bataryada SoC ve açık devre gerilimi (OCV/ $V_{OC}$ ) arasında yaklaşık olarak doğrusal bir ilişki bulunmaktadır:

$$V_{OC}(t)=a_1 \times \text{SoC}(t)+a_0 \quad (2.2)$$

Burada  $\text{SoC}(t)$ , bataryanın  $t$  anındaki SoC'u;  $a_0$  bataryanın SoC = %0 olduğu andaki batarya terminal gerilimi ve  $a_1$  SoC = %100 olduğu andaki batarya terminal gerilimi değerleridir. Buna göre SoC tahmini, OCV tahminine eşittir (Chiasson ve Vairamohan, 2003).

Bataryaların OCV'sini temel alan OCV yönteminde, bataryanın boşalmasından sonra yaklaşık iki saatten daha uzun bir süre boyunca beklemesinden sonra elde edilen terminal gerilimi SoC ile orantılıdır. Bununla birlikte, böyle uzun bir bağlantı kesme süresi, tahmin yöntemi için uygulanamayacak kadar uzun olabilmektedir (Ng vd, 2008).

Kurşun asit bataryanın aksine, Li-ion bataryada OCV ve SoC arasında doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır (Ng vd, 2008). Li-ion bataryada SoC ve OCV arasındaki ilişki Şekil 2.18'de gösterilmiştir.



Şekil 2.18. SoC ve OCV arasındaki tipik ilişki (Tingting vd, 2011)

SoC ile OCV ilişkisi, Li-ion batarya üzerine bir darbe yükü uygulanmasından sonra bataryanın dengeye ulaşmasına izin verilmesi ile tespit edilmektedir (Abu-Sharkh ve Doerffel, 2004). OCV ve SoC arasındaki ilişki tüm bataryalar için tamamen aynı olamayacaktır. Konvansiyonel OCV-SoC, bataryalar arasında farklılık gösterdiğinden, SoC'yi olabildiğince doğru olarak tahmin etmek için OCV-SoC ilişkisinin değerlendirilmesinde bazı sorunlar mevcuttur.

#### 2.6.3.1.2. Terminal gerilimi yöntemi

Terminal gerilimi yöntemi, batarya boşalırken, iç empedanslar nedeniyle bataryada meydana gelen terminal gerilimi düşüşlerine dayanmaktadır. Bu nedenle, bataryanın Elektromotor Kuvveti (EMF) terminal gerilimi ile orantılıdır. Bataryanın EMF'si SoC ile yaklaşık olarak orantılı olduğundan, bataryanın terminal gerilimi de SoC ile yaklaşık orantılıdır. Terminal gerilimi yöntemi farklı boşalma akımlarında ve sıcaklıklarında kullanılmaktadır (Anbuky ve Pascoe, 2000). Ancak bataryanın boşalmasının sonunda, terminal gerilimi yönteminin tahmin hatası büyüktür, çünkü bataryanın terminal gerilimi boşalma sonunda aniden düşmektedir (Sato ve Kawamura, 2002).

#### 2.6.3.1.3. Empedans yöntemi

Kullanılan teknikler arasında empedans ölçümleri; büyüklüğü, bataryanın SoC'sine bağlı olabilecek birkaç değişken hakkında bilgi sağlamaktadır. Empedans parametreleri ve SoC ile çeşitlemeleri, tüm batarya sistemleri için tek olmasa da, belirli bir bataryanın dolum durumunu tahmin etmek amacıyla empedans değişkenlerinin tanımlanmasında ve kullanılmasında çok çeşitli empedans deneyleri yapılması zorunlu gibi görünmektedir (Huet, 1998; Rodrigues vd, 2000).

#### 2.6.3.1.4. Empedans spektroskopisi yöntemi

Empedans spektroskopisi yönteminde, farklı dolma ve boşalma akımlarında, çok çeşitli AA sıklılarında batarya empedansları ölçülmektedir. Model empedansları değerleri, ölçülen empedans değerlerine en küçük kareler yönteminin uygulanmasıyla bulunmaktadır. Mevcut batarya empedanslarının ölçülmesi ve çeşitli SoC seviyelerinde bilinen empedanslarla ilişkilendirilmesi yoluyla SoC dolaylı olarak çıkarılabilmektedir (Bundy vd, 1998; Ran vd, 2010).

#### 2.6.3.2. Defter tutma yöntemi

Defter tutma kestirim yöntemi, batarya boşalma akım verilerini girdi olarak kullanmaktadır. Bu yöntem, öz boşalma, sığa kaybı ve boşalma verimliliği gibi bazı dahili batarya etkilerini dahil etmeyi sağlamaktadır.

İki tür defter tutma tahmin yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar; Coulomb Hesaplama yöntemi ve Güçlendirilmiş Coulomb Hesaplama yöntemidir.

##### 2.6.3.2.1. Coulomb hesaplama yöntemi

Coulomb hesaplama yöntemi, bir bataryanın boşalma akımını ölçmekte ve SoC'yi tahmin etmek için, zamana göre boşalma akımını toplamaktadır (Ng vd, 2009). Coulomb hesaplama yönteminde,  $I(t)$ ; batarya akımı ve daha önce tahmin edilen SoC değerleri  $SoC(t-1)$  olmak üzere t anındaki  $SoC(t)$  değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır:

$$SoC(t) = SoC(t-1) + \frac{I(t)}{Q(n)} \Delta t \quad (2.3)$$

Ancak sıcaklık, batarya eskimesi, boşalma akımı ile çevrim ömrü dahil olmak üzere Coulomb hesaplama yönteminin doğruluğunu etkileyen çeşitli faktörler vardır (Ng vd, 2009).

#### 2.6.3.2.2. Güçlendirilmiş coulomb hesaplama yöntemi

Coulomb hesaplama yöntemini geliştirmek için, Güçlendirilmiş Coulomb Hesaplama Yöntemi (GCHY) adı verilen yeni bir teknik önerilmiştir. GCHY, tahmin doğruluğunu artırmak için düzeltilmiş akımı kullanmaktadır. Düzeltilen akım, boşalma akımının bir işlevidir.

Bataryanın düzeltilmiş akımı ile boşalma akımı arasında ikinci dereceden bir ilişki vardır. Deneysel verilerle, düzeltilmiş akım  $I_c$ , aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$I_c(t) = k_2 I(t)^2 + k_1 I(t) + k_0 \quad (2.4)$$

$k_2$ ,  $k_1$  ve  $k_0$  pratik deney verilerinden elde edilen sabit değerlerdir. GCHY’de,  $SoC(t)$  aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır:

$$SoC(t) = SoC(t-1) + \frac{I_c(t)}{Q(n)} \Delta t \quad (2.5)$$

Deneysel sonuçlar, GCHY’nin doğruluğunun, geleneksel Coulomb hesaplama yönteminden üstün olduğunu göstermektedir.

#### 2.6.3.3. Uyarlamalı sistemler

Son zamanlarda, yapay zekanın gelişmesiyle birlikte, SoC tahmini için çeşitli yeni uyarlanabilir sistemler geliştirilmiştir. Yeni geliştirilen yöntemler arasında “Geri Yayılım Sinir Ağı, Radyal Temel İşlevli Sinir Ağı, Bulanık Mantık Yöntemleri, Destek Vektör Makinesi, Bulanık Sinir Ağı ve Kalman Süzgeci” bulunmaktadır.

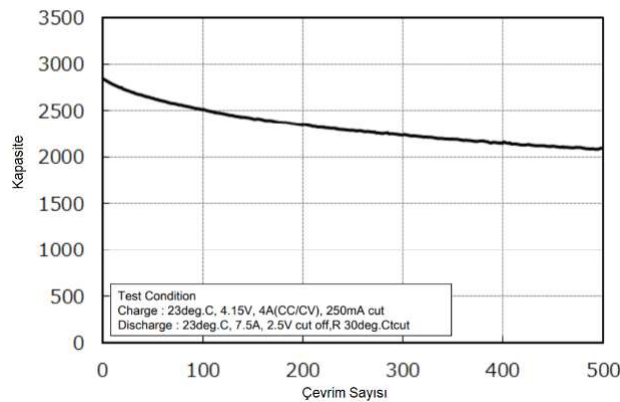
Uyarlamalı sistemler, değişken sistemlerde otomatik olarak ayarlanabilen, kendi kendini tasarlayabilen sistemlerdir. Bataryalar birçok kimyasal faktörden etkilendiğinden ve bataryaların doğrusal olmayan SoC işlevi olduğundan, uyarlamalı sistemler SoC tahmini için etkili bir çözüm sunmaktadır (Watrin vd, 2012a).

#### 2.6.3.4. Melez yöntemler

Melez modellerin teorisi, her yöntemin faydalarından yararlanmak ve genel olarak yüksek bir tahmin başarımı elde etmektir. Tekli tahmin yönteminde yer alan bilgiler sınırlı olduğundan, melez yöntem mevcut bilgiyi en üst düzeye çıkarabilmekte, tekli modellerin bilgisini bütünleştirebilmekte ve çoklu tahmin yöntemlerinin özelliklerinden en iyi şekilde faydalanabilmektedir. Böylece tahmin doğruluğunu iyileştirebilmektedir. Genellikle tekli yöntemlerle karşılaştırıldığında daha iyi SoC tahmin sonuçları üretmektedir (Kim ve Cho, 2011; Pop vd, 2009; Wang vd, 2007). Melez yöntemler, doğrudan ölçüm yöntemi ve defter tutma tahmin yöntemi gibi farklı yaklaşımları birleştirmektedir.

#### 2.6.4. Batarya sağlık durumu kestirimi

SoH, bir bataryanın genel durumunu ve yeni bir batarya ile karşılaştırıldığında belirtilen başarımı sağlama yeteneğini yansıtan bir “ölçümdür”. Yük hesabı, iç direnç, gerilim ve öz boşalma gibi faktörler dikkate alınmaktadır. Bataryanın uzun süreli sığasının bir ölçüsüdür ancak mutlak bir ölçüm değil, bataryanın kullanılabilir “ömür boyu enerji veriminin” ne kadarının tüketildiğinin ve ne kadarının kaldığının bir göstergesidir. Bir bataryanın kullanım ömrü boyunca, başarımı veya “sağlığı”, kullanımla birlikte sonunda batarya kullanılamaz duruma gelinceye veya bitinceye kadar, eskimesiyle birlikte geri dönüşü olmayan fiziksel ve kimyasal değişikliklerden dolayı kademeli olarak bozulma eğilimindedir. Şekil 2.19’da bir Li-ion bataryanın kullanımı sırasında çevrim sayısına bağlı olarak sığasının değişimi yer almaktadır.



Şekil 2.19. Li-ion batarya sığa-çevrim sayısı ilişkisi

SoH, bataryanın kullanım ömründe ulaşılan noktanın yeni bir bataryaya göre durumunun bir göstergesidir. % olarak  $SoH$ 'un genel ifadesi;  $C(t)$ , bataryanın o ulaşılan noktadaki sığası;  $C(n)$ , yeni bataryanın ilk durumunun anma sığası olmak üzere;

$$\%SoH(t) = \frac{C(t)}{C(n)} \times 100 \quad (2.6)$$

şeklinde belirtilmektedir.

Bataryadaki gerçek dolum miktarının ölçülmesiyle tespit edilebilen SoC'nin aksine, SoH'un kesin bir tanımı yoktur. Farklı insanların, kendi kurallarına göre yorumladıkları, çeşitli farklı ölçülebilir batarya başarımlarından türettikleri öznel bir ölçektir. Yani aslında SoH ölçümünden ziyade bir tahmindir. Tahmin, tutarlı bir kurallar kümesine dayandığı sürece iyidir, ancak farklı test ekipmanlarıyla yapılan tahminler ve güvenilir olmayan yöntemler arasında karşılaştırmalar yapılmaktadır.

Batarya üreticileri genel olarak herhangi bir SoH'yi belirtmemektedir. SoH, yalnızca kullanımına başlanan ya da kullanımı bekleyen bataryalara uygulanmaktadır. SoH tanımları bu nedenle test ekipman üreticileri veya kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

SoH'un amacı, mevcut durumunda bataryadan beklenebilecek başarımın bir gösterimini sağlamak veya bataryanın kullanım ömrünün ne kadarının tüketildiğinin ve değiştirilmeden önce ne kadar kullanımda kalması gerektiğine dair bir gösterge sağlamaktır. Hazır beklemedeki ve acil durum için gereken elektrik santrali gibi kritik uygulamalarda, SoC, istendiğinde, bir bataryanın yükü destekleyip desteklemediğini gösterir. SoH bilgisi ise hata teşhisi için sorunları tahmin etmede ve bataryanın değişimini planlamada yardımcı olmaktadır. Bu aslında bataryadaki uzun vadeli değişiklikleri takip eden bir izleme işlevidir.

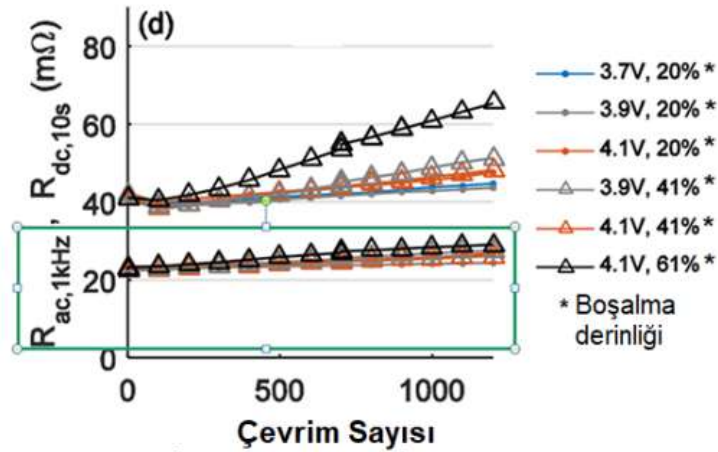
EA uygulamaları için, aracın istenilen motor gücüne ve menzil mesafesine ulaşma kabiliyeti çok önemlidir, bu nedenle SoH, yeni sığayla mevcut sığanın karşılaştırılması üzerine kurulmaktadır. SoH bataryanın o anki durumundaki iç direnci (ya da 1 kHz empedansının) ile yeni durumunun iç direncinin (ya da 1 kHz empedansının) karşılaştırılmasıyla değerlendirilebilmektedir.

Hücre empedansı veya iletkenlik gibi batarya yaşı ile önemli ölçüde değişen herhangi bir değişken, hücrenin SoH'sinin göstergesini sağlamak için bir temel



olarak kullanılabilir. Bu değişkenlerde oluşan değişiklikler normalde, kullanıcı için daha önemli olabilecek başka değişikliklerin meydana geldiğini gösterebilmektedir.

SoH göstergesi, yeni bir bataryanın durumuna bağlı olduğundan, ölçüm sistemi için başlangıç koşulları veya en azından bir dizi standart koşul belirlenmektedir. Bu nedenle, izlenen parametre hücre empedansı ise, sistem referansı olarak, yeni bir hücrenin başlangıç empedansı kullanılmaktadır. Şekil 2.20’de batarya çevrim sayısının, hücre iç direnci ile olan grafiği yer almaktadır. Aynı şekilde bataryanın dolma/boşalma döngülerinin sayımı, batarya kullanımının bir ölçüsü olarak kullanılırsa, referans olarak yeni bir hücresinden beklenen çevrim sayısı, batarya kullanım ömrü olarak kullanılacaktır. Bir Li-ion bataryada, hücre sığası, yaş veya döngü ömrü ile oldukça doğrusal bir şekilde bozulduğundan, kullanılan tanıma bağlı olarak kullanım süresi veya kalan çevrim ömrü SoH’nin kaba bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.20. İç direnç-çevrim sayısı ilişkisi (TUM, 2019)

Uygulamada bazı mevcut çalışmalarda SoH, hücre empedansının veya hücre iletkenliğinin tek bir ölçümünden hesaplanmaktadır. Daha gerçeğe yakın SoH tahmini çalışmalarında ise, tümü bataryanın yaşına bağlı olarak değişen birkaç hücre değişkenini ölçmeyi ve bu faktörlerin bir birleşiminden SoH’un bir tahmininin yapılması belirtilmiştir. Bu değişkenler, hangisinin kontrolü mümkünse; sığa, iç direnç, öz boşalma, akım alma/boşalma durumu, elektrolit hareketliliği ve döngü sayma vb. olarak sıralanabilir.

Mutlak okumalar, ilgili hücrenin kimyasına bağlı olacaktır. SoH belirlenmesinde ağırlık, deneyime, hücre kimyasına ve bataryanın kullanıldığı

uygulamadaki özel değişkenlerin önemine göre tekli faktörlere göre belirlenebilmektedir. Bu değişkenlerden herhangi biri sınır değerleri dışında okumalar sağlıyorsa, doğal olarak sonuç etkilenmektedir. Bir batarya iyi bir sığaya sahip olup, ancak yüksek bir iç dirence sahip olabilmektedir. Bu durumda, SoH tahmini buna göre düşürülecektir. Bataryanın öz boşalımı yüksekse veya başka kimyasal eksiklikler varsa, benzer hata noktaları eklenebilmektedir. Hücre için hesaplanan bu puanlar, yüzde bir sonuç veya değer elde etmek için yeni bir hücrenin sonuçlarıyla karşılaştırılarak bir değerlendirme yapılabilir.

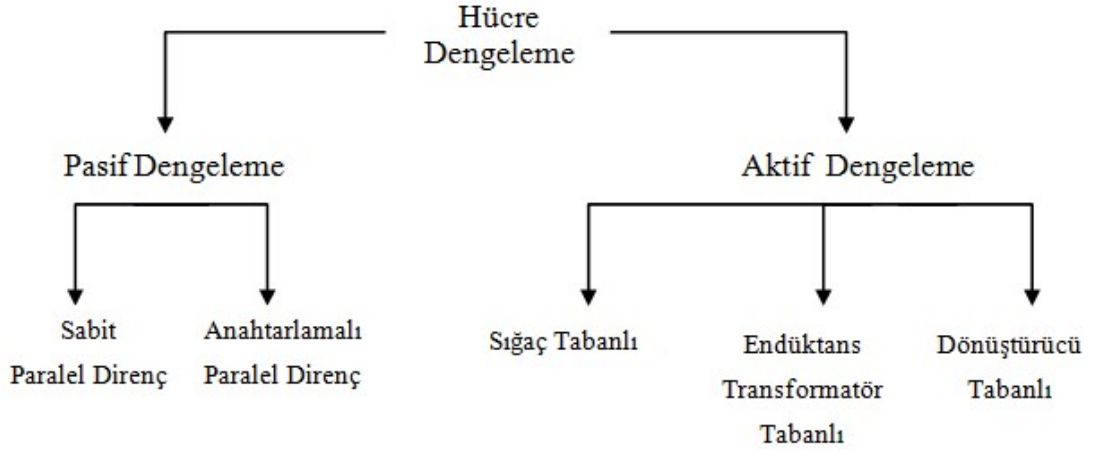
Bu tür karmaşık ölçümler ve işlemlerin sonuçlandırılması için bir MCU'nun yardımına ihtiyaç duyulabilmektedir. Otomatik ölçümler için, başlangıç koşulları ve kullanıcı deneyimi, bu işlemi kolaylaştırmak için işlemcinin hafızasına alınabilmektedir. "Deneyim" daha fazla veri tahmini kullanılabilir durumda olduğunda, öğrenme sürecinde değiştirilebilmektedir. Bulanık mantık, sonuçların doğruluğunu artırmak için deneyimi ölçümlerle birleştirmek için kullanılmaktadır.

SoH'yi belirlemenin alternatif bir yöntemi, tahminin ölçülen bir değişkenin ziyade bataryanın kullanım geçmişine dayandırılmasıdır. Batarya tarafından tamamlanan dolma-boşalma döngüsü sayısı bariz bir önlemdir, ancak bu, bataryanın işlevselliğini etkilemiş olabilecek sınır çalışma koşullarını dikkate almamaktadır. Bununla birlikte, bataryanın sınır değerleri dışında gerilimde, akımda veya sıcaklıkta çalışma durumları ve ayrıca sapmaların büyüklüğünün kaydedilmesi mümkündür. Bu verilerden, SoH'yi temsil eden bir değer, ölçülen parametrelerin ağırlıklı bir ortalaması kullanılarak belirlenebilmektedir.

Batarya kullanımı verileri BYS'de bir "Geçmiş" dosyası içinde bellekte depolanabilmekte ve gerektiğinde indirilebilmektedir. Bu alternatif yöntem herhangi bir harici test ekipmanı kullanmamakta, ancak BYS'ye karmaşıklık ve maliyet eklemektedir.

#### **2.6.5. Batarya hücre dengeleme**

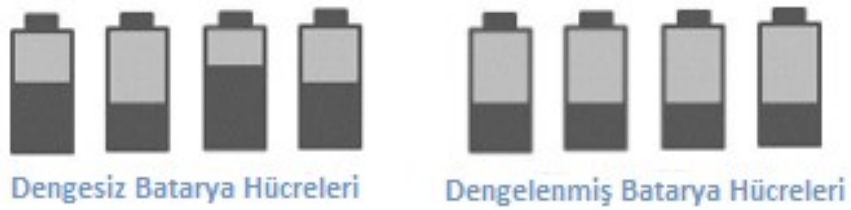
BYS'nin başlıca görevlerinden bir tanesi batarya hücrelerinin dengelenmesidir. Dengeleme işleminde hedef dolma-boşalma işleminde bütün batarya hücrelerinin aynı dolum durumunda dengeli şekilde oluşmasıdır. Batarya hücrelerinin dengeleme işlemleri pasif ve aktif dengeleme olarak iki şekilde yapılabilir (Rahimi-Eichi vd, 2013). Batarya hücrelerinin dengeleme sistemleri çeşitleri Şekil 2.21'de verilmiştir.



Şekil 2.21. Batarya hücre dengelenmesi tipleri

#### 2.6.5.1. Pasif dengeleme sistemi

Batarya gruplarının hücrelerinin dengelenmesi amacıyla pasif dengeleme metodu uygulanması kolay bir metottur. Pasif dengeleme sisteminde batarya hücrelerindeki minimum seviyedeki gerilim değerini belirlenmekte ve diğer batarya hücrelerinin gerilim değerlerini paralel bağlı dirençler üzerinden enerjiyi tüketerek bu gerilim değerine indirilmektedir (Rahimi-Eichi vd, 2013). Pasif dengeleme sisteminde bataryanın gerilim değerlerindeki değişimler Şekil 2.22’de gösterilmiştir. Pasif dengelemede, gerilimi yüksek olan hücrelerdeki enerji, en düşük gerilimli hücre ile gerilim seviyesi eşitleninceye kadar, kendisine paralel bağlı olan dirençler üzerinden ısı olarak harcanmaktadır.

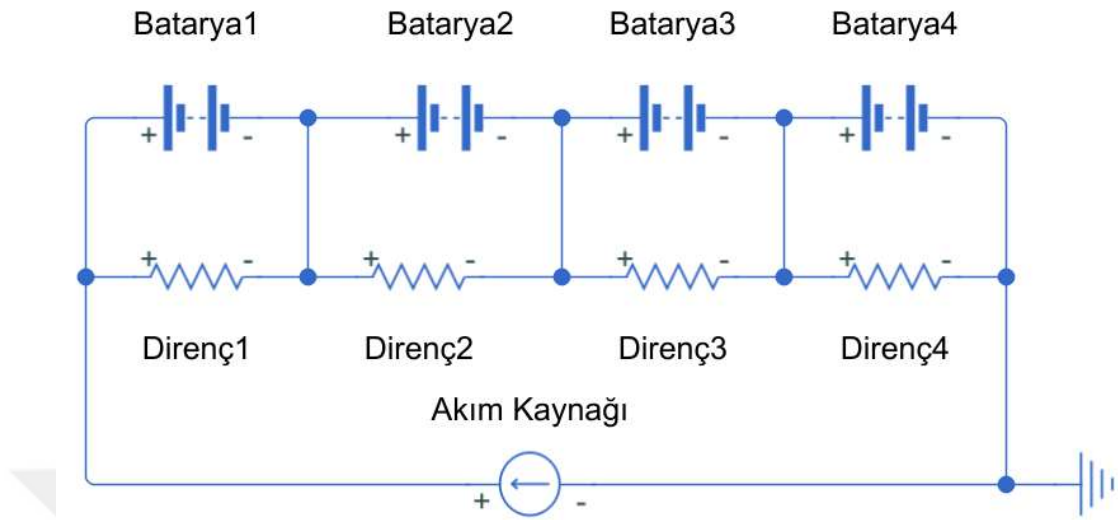


Şekil 2.22. Pasif dengeleme

##### 2.6.5.1.1. Sabit dirençli pasif dengeleme

Şekil 2.23’te gösterilmekte olan bu dengeleme sisteminde dolma ve boşalma durumlarında dirençler sürekli aktif haldedir. Batarya dengelenmesindeki en basit yöntemdir. Uygulanma ve maliyet açısından çok büyük kolaylık sağlamaktadır.

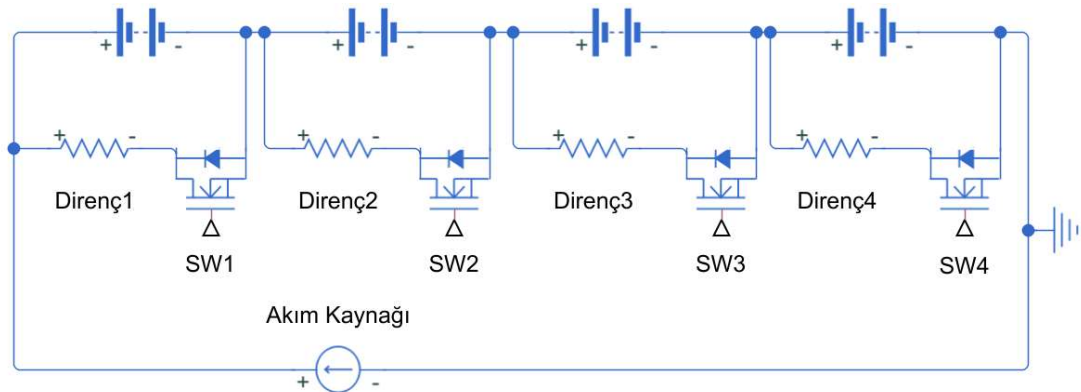
Bataryalardan sürekli akım çekilmesinden dolayı oldukça verimsiz bir yöntemdir (Lindemark, 1991).



Şekil 2.23. Sabit direnç pasif dengeleme

#### 2.6.5.1.2. Anahtarlama dirençli pasif dengeleme

Şekil 2.24'te yer alan bu dengeleme yönteminde, hücreler bir kontrol devresinin hücre gerilimleri eşitleninceye kadar anahtarlama elemanını devreye almasıyla direnç üzerinden fazla enerjiyi harcaması suretiyle gerçekleşmektedir. Çok fazla kullanılan ve bu çalışmamızda da uygulanmış olan yöntemdir. Sadece bataryaların dolumu esnasında kullanılmaktadır. Aşırı dolum durumlarını engellemekte ve bataryaları korumaktadır (Stuart ve Zhu, 2009).



Şekil 2.24. Anahtarlama dirençli pasif dengeleme

### 2.6.5.2. Aktif dengeleme

Batarya hücrelerinin dengelenmesinde kullanılan diğer bir yöntem ise aktif dengeleme metodudur. Aktif dengeleme devresi hesapladığı batarya hücrelerinin gerilim seviyelerini metoduna göre enerji aktarımı yaparak ortalama bir seviyede dengelemektedir. Bu nedenle pasif dengelemede ısı olarak tüketilen enerji, aktif dengelemede diğer batarya hücrelerine aktarılarak daha verimli bir dengeleme yapılmış olmaktadır (Rahimi-Eichi vd, 2013). Aktif dengelemede batarya gerilim seviyelerindeki değişim Şekil 2.25'te gösterilmiştir.

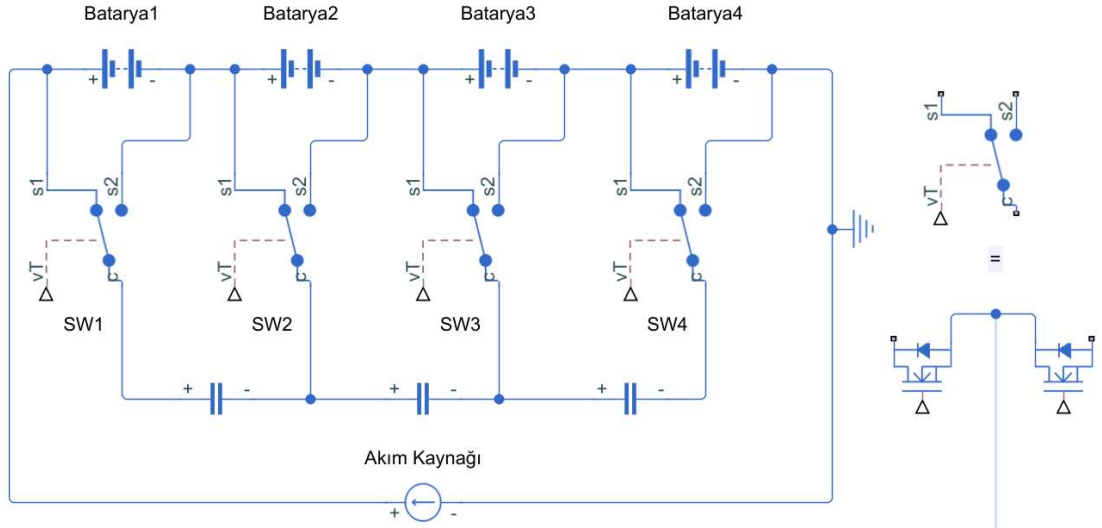


Şekil 2.25. Aktif dengeleme

Aktif dengeleme yöntemlerinde enerji depolayabilen (endüktans, sığaç) elemanlar ya da güç dönüştürücüleri kullanılmaktadır.

#### 2.6.5.2.1. Anahtarlama sığaç

Bu uygulama yönteminde devrenin çalışması esnasında anahtarlama elemanları sürekli bir sabit çalışma sıklığında işlem görürler. Şekil 2.26'da yer alan devrede anahtarlama elemanları bir konumdan diğer konuma geçerek sığaçta depolanan enerji diğer hücrelere aktarılmaktadır (Pascual ve Krein, 1997).

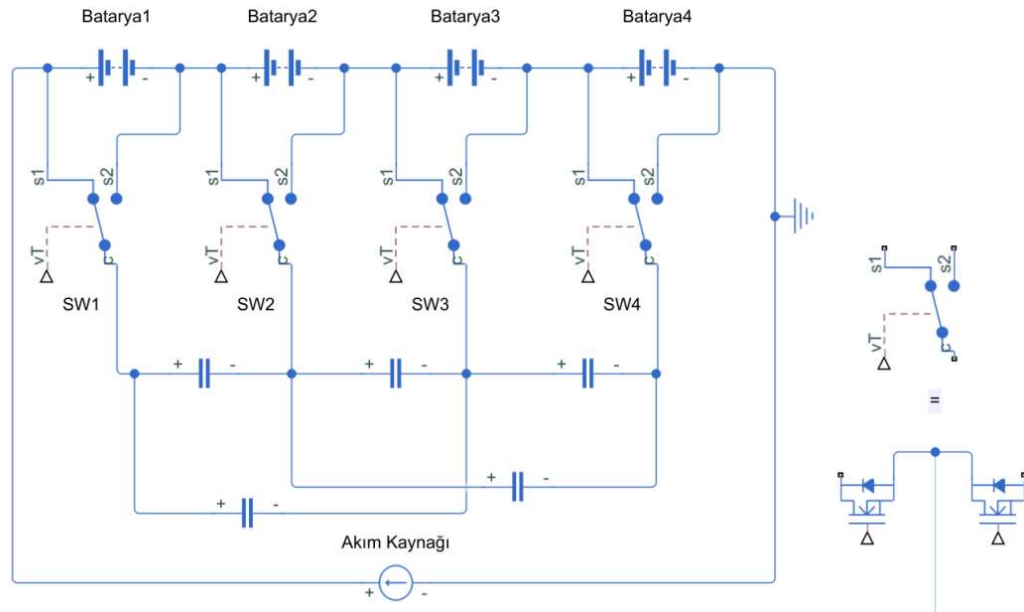


Şekil 2.26. Anahtarlamaalı sığaçlı devre şeması

Bu uygulamada sabit çalışma oranı mevcut olduğundan kontrollü bir algoritma gerektirmez. Verimi yüksek olmasına rağmen dengeleme hızı yüksek değildir. Bu devrenin uygulanması için çok sayıda anahtarlama elemanı ve sığaç gerekmektedir ve bundan dolayı kurulum maliyeti yüksektir.

#### 2.6.5.2.2. Çift katlı sığaç

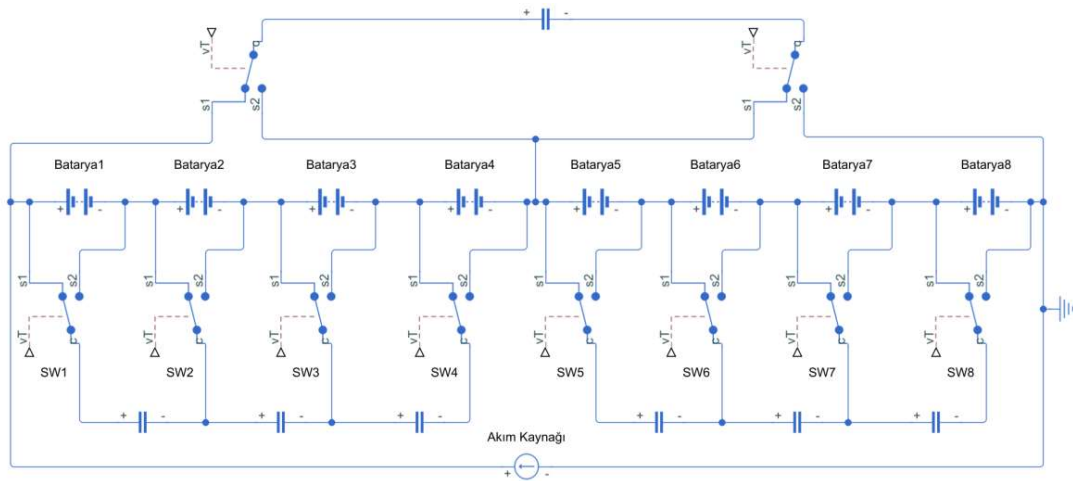
Sığaç tabanlı bu dengeleme metodunda da anahtarlamaalı sığaç yöntemine benzer şekilde anahtarlama elemanları sabit bir sıklıkta çalışırlar. Şekil 2.27’de gösterilen devrede SW1, SW2, SW3 ve SW4 anahtarlarının konumlarına göre ilk katta yer alan sığaçlar, kendilerine paralel olarak ikinci kattaki sığaçlar vasıtasıyla eşit duruma gelmektedir. Verimin yüksek olduğu bu uygulamada, bataryaların dengelenme hızı anahtarlamaalı sığaç yöntemine göre daha hızlıdır. Sabit bir sıklıkta çalıştığından anahtarlama elemanlarının kontrolüne ihtiyaç yoktur. Devrede çok sayıda anahtarlama elemanı yer aldığından kurulumu basit değildir ve kurulum maliyeti yüksektir (Baughman ve Ferdowsi, 2008).



Şekil 2.27. Çift katlı sıgac devre şeması

### 2.6.5.2.3. Parçalı anahtarlama sıgac

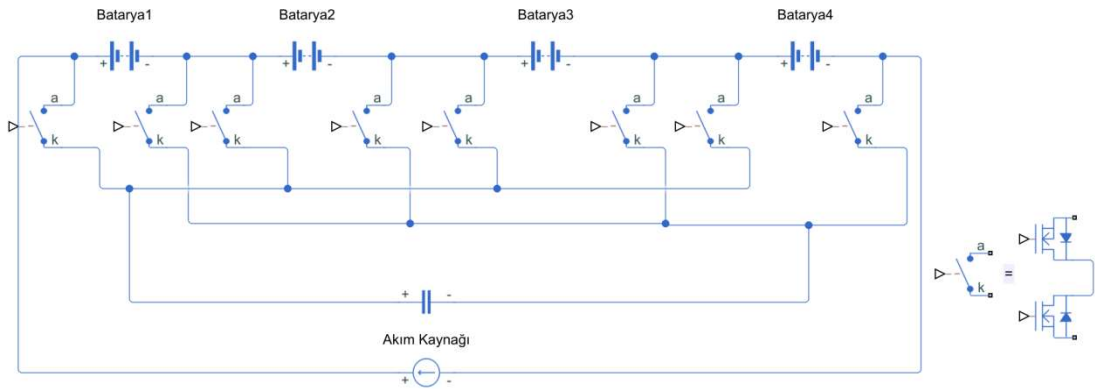
Batarya hücreleri belirli bölümlere ayrılarak ayrı sıgac grupları üzerinden dengelenmektedir. Şekil 2.28’de gösterildiği üzere bölümlere ayrılmış bu grup sıgaclar da grupları birleştiren ayrı bir sıgac grubuyla dengelenmektedirler (Park vd, 2009).



Şekil 2.28. Parçalı anahtarlama sıgac

#### 2.6.5.2.4. Tek anahtarlı sığaç

Tek anahtarlı sığaç devrelerinde anahtarlama Şekil 2.29’da görüldüğü üzere tek eleman üzerinden kontrollü bir şekilde yapılmaktadır. Batarya hücreleri arasından en dolu olan seçilerek sığaca enerjinin aktarını sağlanır. Sonrasında bataryalar arasından en boş olan hücre seçilerek sığaçta depolanan enerji bu hücreye aktarılır. Bu dengeleme yöntemi kullanılırken dolu ve boş hücrelerin belirlenmesi için bir kontrol devresi gerekmektedir (Speltino vd, 2010).

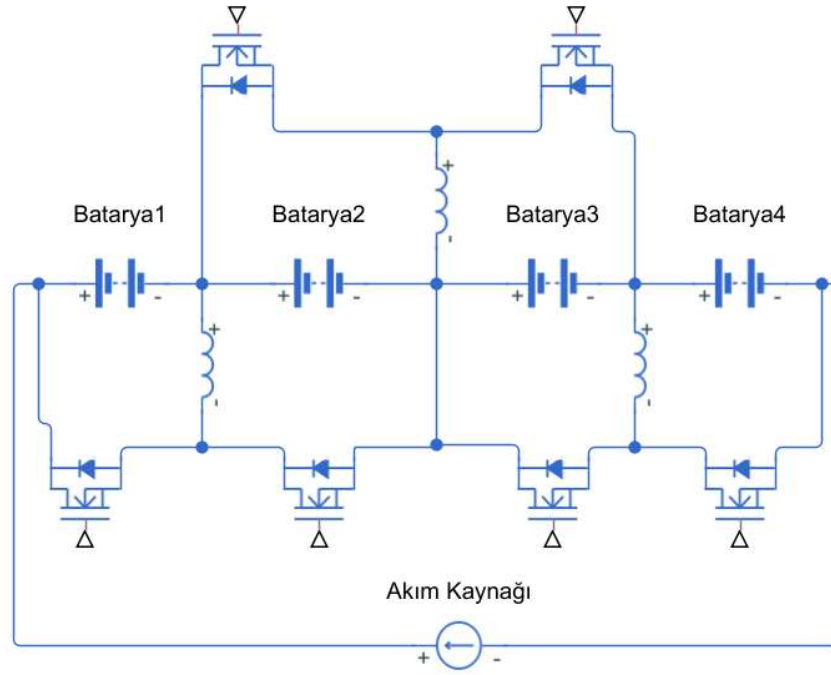


Şekil 2.29. Tek anahtarlı sığaç devresi

#### 2.6.5.2.5. Anahtarlama endüktans

Anahtarlama endüktans yönteminde dengeleme işlemi komşu bataryalar üzerinden yapılmaktadır. BYS’de birbirine seri iki hücre arasındaki gerilim farkı kontrol edilerek hesaplanmaktadır. Şekil 2.30’da gösterilen devrede bir anahtar devrede iken diğer anahtar açık konumdadır. Devrede yer alan anahtarlama elemanları belirli bir sıklıkta sabit olarak çalışmaktadırlar. Böylece gerilimi yüksek olan bataryanın endüktansta depolanan fazla enerjisi kendisine seri olan komşu diğer bataryaya aktarılmaktadır (Phung vd, 2013).

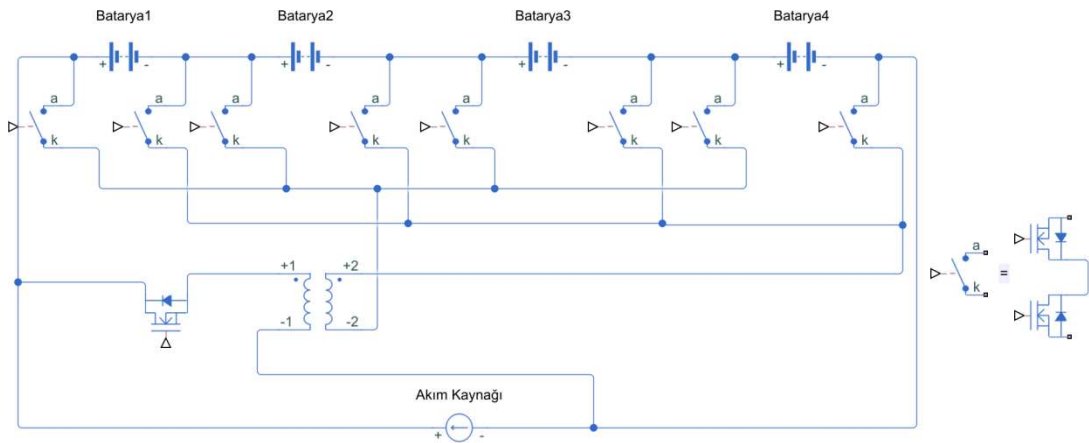




Şekil 2.30. Anahtarlamalı endüktans devresi

#### 2.6.5.2.6. Tek sargılı transformatör

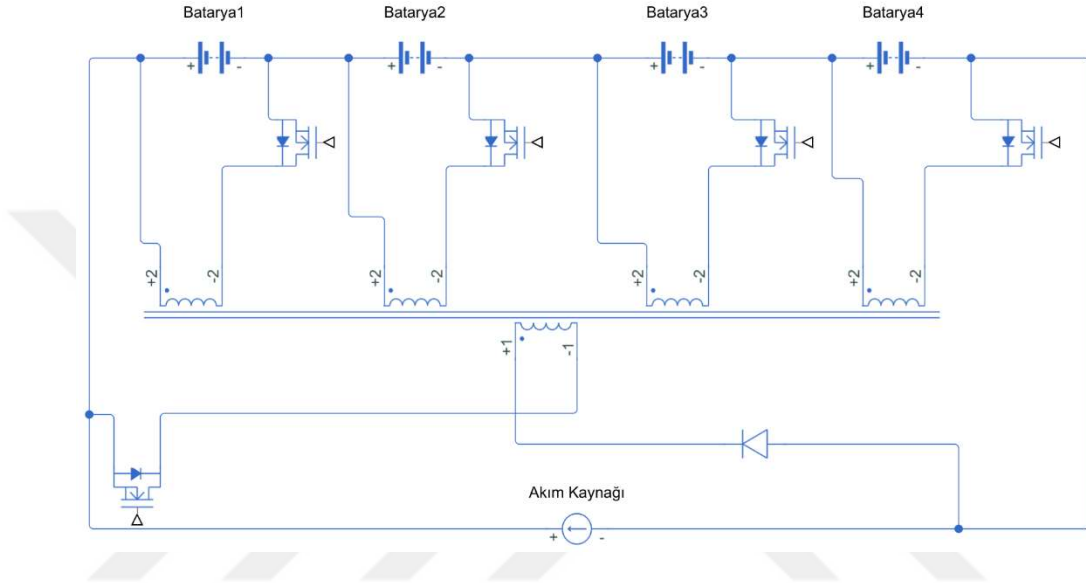
Şekil 2.31’de görüldüğü üzere devrede birer adet birincil ve ikincil sargısı bulunan transformatör yer almaktadır. Bu devrede bir kontrol mekanizmasıyla en boş durumda olan batarya hücresi belirlenir. Transformatör sargısında pakete bağlı olan sargıda depolanan enerji boş olan hücreye aktarılır (Shin vd, 2010).



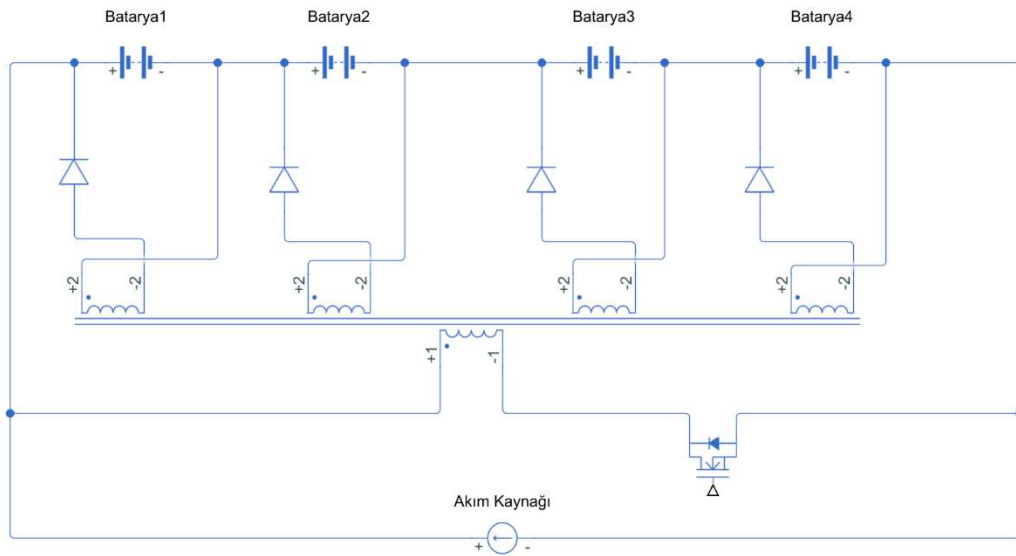
Şekil 2.31. Tek sargılı transformatör devresi

### 2.6.5.2.7. Çok sargılı transformatör

Batarya dengeleme devresinde Şekil 2.32 ve Şekil 2.33'te görüldüğü üzere transformatörlerin ikincil sargı sayısı birden fazladır. Geri dönüşlü ve ileri dönüşlü olarak iki ayrı yapı şeklinde kullanılabilir. Geri dönüşlü yapısında tek bir anahtarlama elemanı yer aldığı için kurulumu daha kolaydır. Tüm koldan hücreye ya da hücreden tüm kola enerji aktarımı yapılabilir.



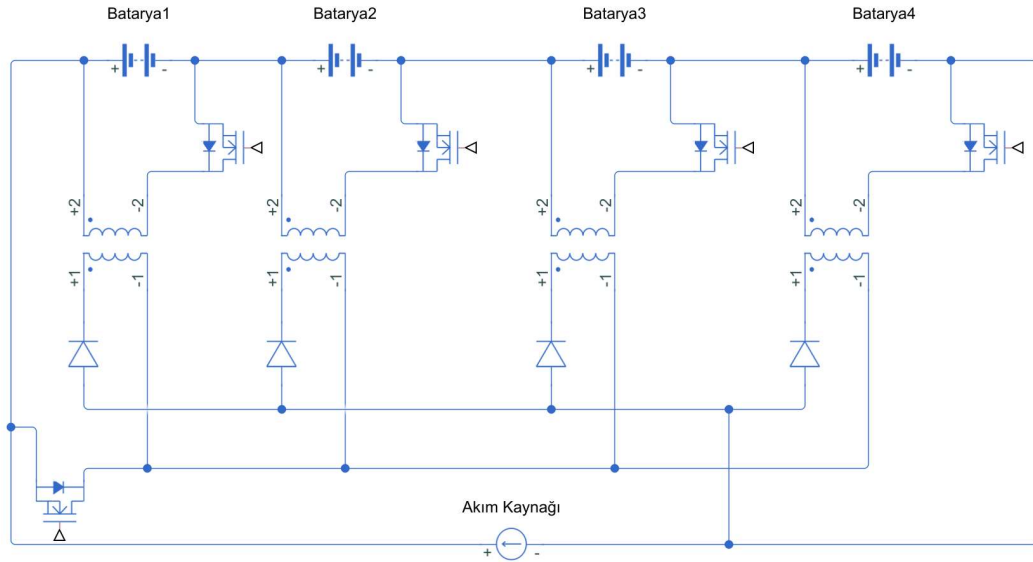
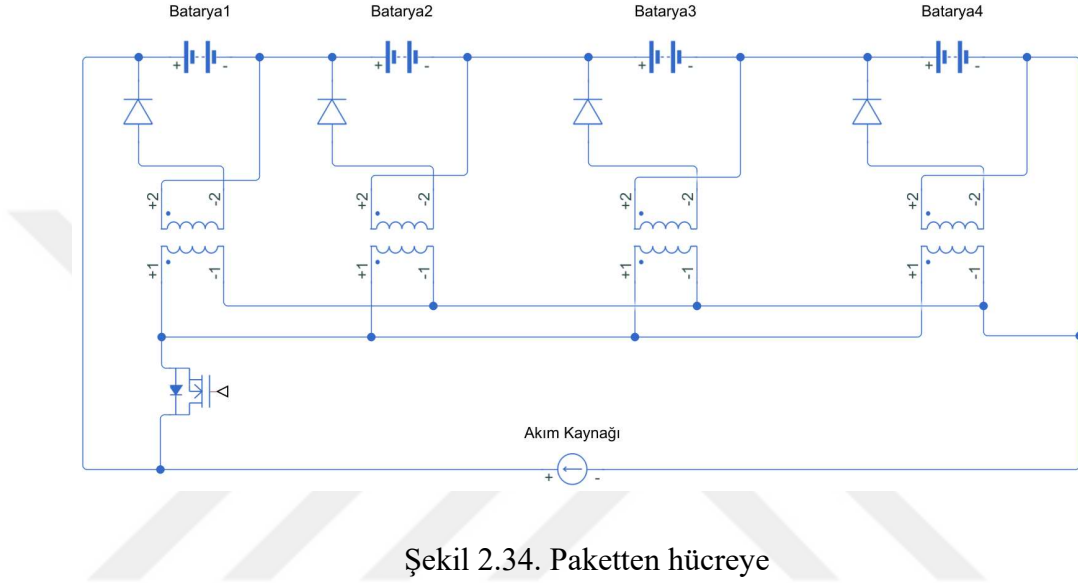
Şekil 2.32. İleri dönüşlü



Şekil 2.33. Geri dönüşlü

### 2.6.5.2.8. Çoklu transformatör

Çoklu transformatör metodunda Şekil 2.34 ve Şekil 3.35’te görüldüğü üzere birden fazla transformatör yer almaktadır. Anahtarlama elemanları sabit bir sıklıkta sürekli olarak çalışmaktadırlar. Batarya hücreleri arasında devamlı bir enerji geçişi mevcuttur. Bundan dolayı bir kontrol devresi gerektirmez. Enerji akışı hücreden pakete ya da paketten hücreye doğru olabilmektedir.



#### 2.6.5.2.9. Dönüştürücü tabanlı dengeleme

Dönüştürücü tabanlı dengelemede genelde birbirlerine seri bağlı her hücreye farklı dönüştürücüler bağlanarak dengeleme yapılmaktadır. Bu dengelemede, verim yüksek olmasına rağmen kurulum, kontrol ve maliyet açısından olumsuz yönleri mevcuttur. Cuk dönüştürücü, düşürücü-yükseltici dönüştürücü, tam köprü dönüştürücü, yarı rezonans ve flyback gibi alt uygulama türleri vardır.

Çizelge 2.3'te bu tip bazı batarya dengeleme sistem topolojilerinin karşılaştırılması yer almaktadır. Genel olarak verimi arttırmaya çalıştıkça kurulum maliyeti ve zorluğu artmaktadır.

Çizelge 2.3. Dengeleme yöntemlerinin karşılaştırması (Daowd vd, 2011)

Topoloji	Hız	Zorluk	Boyut	Maliyet	Verim
Sabit direnç	2	5	5	5	1
Anahtarlama direnç	3	4	5	5	2
Anahtarlama sığaç	2	3	3	3	3
Tek anahtarlı sığaç	2	2	4	4	4
Çift katlı sığaç	3	3	3	3	3
Tek sargılı Transformatör	3	2	3	2	2
Çok sargılı Transformatör	3	2	2	2	2
Düşürücü-Yükseltici Dönüştürücü	3	2	3	3	3
Tam Köprü Dönüştürücü	4	2	2	4	4

#### 2.6.5.3. Batarya yönetim sistemi türleri

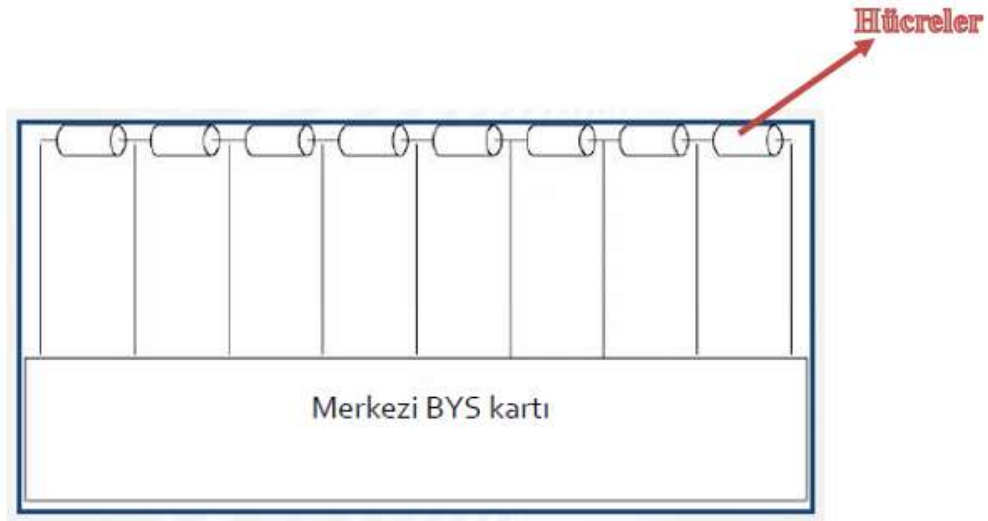
BYS temel açıdan donanımsal kontrol olarak dört farklı şekilde tasarlanabilmektedir:

- Merkezi batarya yönetim sistemi
- Parçalı batarya yönetim sistemi
- Ana kart-yardımcı kart batarya yönetim sistemi
- Dağıtık batarya yönetim sistemi

##### 2.6.5.3.1. Merkezi batarya yönetim sistemi

Bu YYS türünde sadece tek bir ana işlemci bulunmaktadır. Şekil 2.36'da görüldüğü gibi çok basit yapıda olup maliyeti çok düşüktür. Kolaylıkla kontrol edilebilir (Andrea, 2010). Tek bir işlemci bulunduğu için ek olarak bir haberleşme birimi gerektirmez. Bu yöntemin kullanılabilmesi için kullanılan işlemcinin çok sayıda

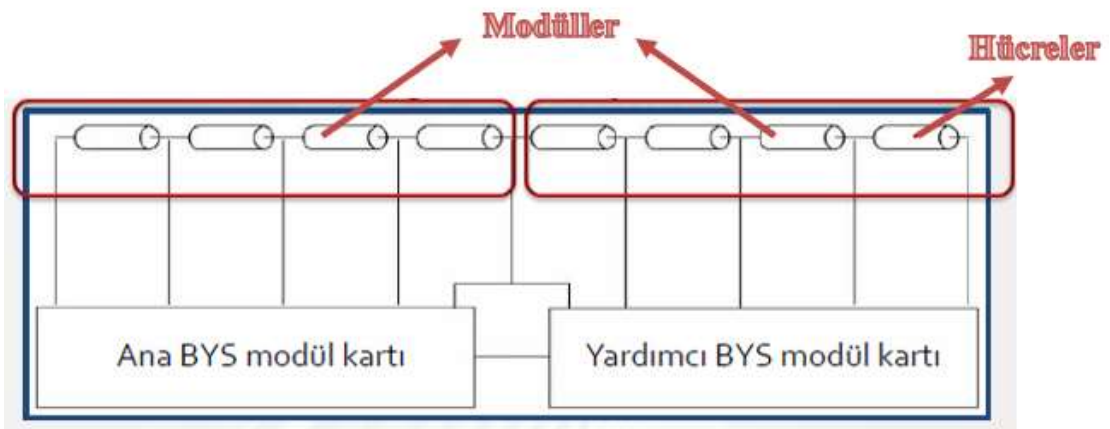
sayısal çıkışının olması gerekmektedir. Batarya sayısının fazla olması durumunda tek bir işlemcinin çıkış sayısı yetersiz kalabilmektedir.



Şekil 2.36. Merkezi batarya yönetim sistemi (Sarıkurt, 2017)

#### 2.6.5.3.2. Parçalı batarya yönetim sistemi

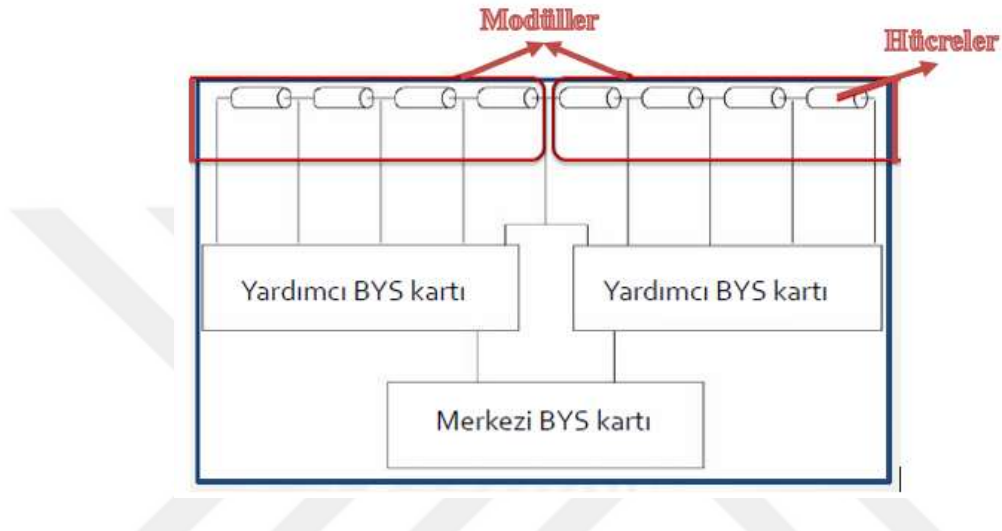
Şekil 2.37'deki parçalı BYS tasarımında her bir parça istenilen sayıda hücreden oluşabilir. Buna bağlı olarak parça sayısı değişim gösterebilmektedir. Merkezi BYS'ye göre kurulumu daha zor ve maliyetlidir (Andrea, 2010). Yardımcı BYS kartı ile alınan veriler haberleşme protokolleri kullanılarak ana BYS kartına aktarılmaktadır. Ana BYS kartında belirtilen işlemler, hem ana kart ile hem de yardımcı BYS kart ile paylaşılarak yardımcı kart ile yapılmaktadır.



Şekil 2.37. Parçalı batarya yönetim sistemi (Sarıkurt, 2017)

#### 2.6.5.3.3. Ana kart-yardımcı kart batarya yönetim sistemi

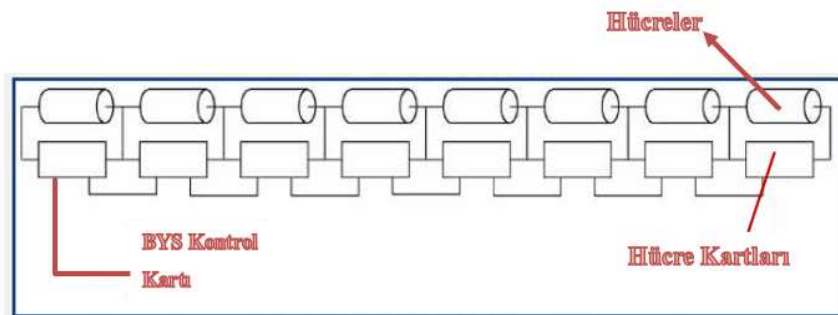
Parçalı olarak belirlenen batarya hücrelerinin değerlerinin ölçümleri sadece yardımcı kartlar kullanılarak yapılır. Şekil 2.38’de blok şeması verilen bu sistemde yapılan ölçümler ana karta iletilerek değerlendirilmektedir. Yapılacak işlemler yardımcı kartlara iletilmekte, işlemler bu kartlar ile yapılmaktadır. Ana kart ile yardımcı kartlar arasında haberleşme protokolleri kullanılmaktadır (Andrea, 2010).



Şekil 2.38. Ana kart-yardımcı kart batarya yönetim sistemi (Sarıkurt, 2017)

#### 2.6.5.3.4. Dağıtık batarya yönetim sistemi

Şekil 3.39’da görüldüğü gibi dağıtık BYS’lerde hücrelerden oluşan herhangi bir parça yoktur. Her bir hücreye bir yardımcı kart bağlı bulunmaktadır. Doğrudan hücrelerle bağlantılı olduğundan ölçümler daha isabetlidir. Mahsuru olarak ise çok sayıda kart bulunduğundan maliyet yüksektir (Andrea, 2010).



Şekil 2.39. Dağıtık batarya yönetim sistemi (Sarıkurt, 2017)

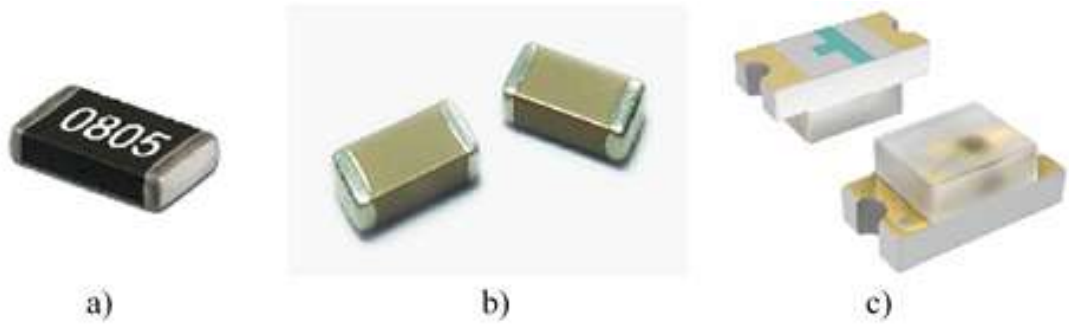
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Tezin Amacı

Bu çalışmada Li-ion bataryalar için kullanılabilecek bir BYS tasarımı yapılmıştır. Tasarımda 20 adet seri batarya hücresinin dengelenmesini pasif şekilde yapabilecek, aşırı gerilim, düşük gerilim ve sıcaklık koruması olan ve ayrıca bataryaların SoC ve SoH'larını belirleyebilen, merkezi BYS yapısında bir kartın tasarımı gerçekleştirilmiş ve donanımsal devrenin gerçek çalışma durumu test edilmiştir.

#### 3.2. Tasarım

BYS için yapılan kart tasarımında kartın boyutunun minimum şekilde olması ve kartın her iki yüzünün de kullanılabilmesi amacıyla Surface Mount Devive (SMD) elemanların kullanımına ağırlık verilmiş, Through-Hole Technology (THT) elemanlar en az sayıda olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi direnç, sığaç ve ledler özellikle SMD olarak seçilmiştir.

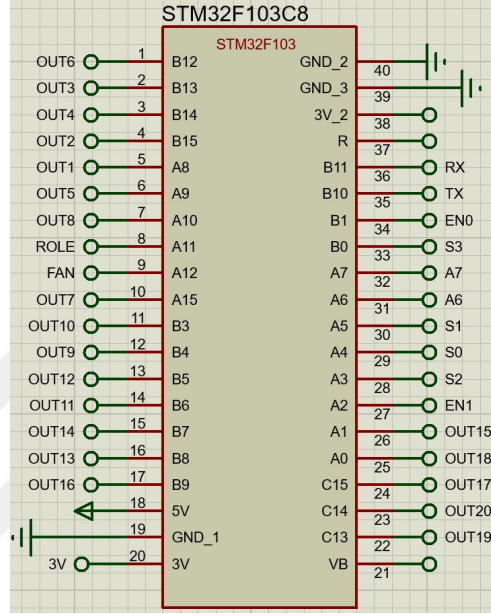


Şekil 3.1. a) Direnç b) Sığaç c) Led

##### 3.2.1. Mikroişlemci

Yapılan bu çalışmada verilerin değerlendirilmesi, dengelenme işlemlerinin yapılması, koruma işlemlerinin gerçekleştirilmesi, SoC ve SoH belirlenmesi için Şekil 3.2'de gösterilen STM32F103C8 MCU kullanımı tercih edilmiştir. Bu mikroişlemci hız olarak yeterli olduğu gibi maliyet olarak da fazla yük getirmemektedir. Bu mikroişlemcinin özellikleri;

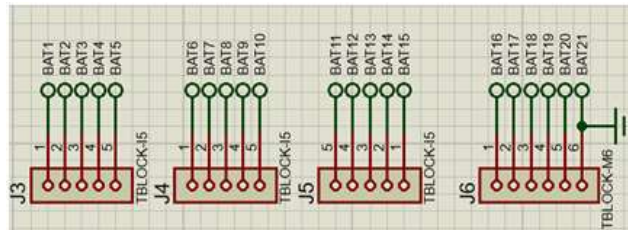
- STM32F103C8T6 CPU
- İşlemci: ARM Cortex-M3
- Çalışma Sıklığı: 72 MHz
- Depolama Kaynakları: 64K Byte Flash, 20KByte SRAM
- Arayüz Kaynakları: 2×SPI, 3×USART, 2×I2C, 1×CAN, 37×I / O ports
- Analog-Sayısal çevirim: 2×ADC (12-bit/10-kanal)
- Zamanlayıcı: 3 genel ve 1 gelişmiş zamanlayıcı
- RT9193: 3.3V regulator chip, 300 mA maksimum çıkış akımı



Şekil 3.2. STM32F103C8 mikroşlemci

### 3.2.2. Batarya bağlantı birimi

Şekil 3.3'te görüldüğü üzere tasarlanan karta yirmi adet batarya hücresinin bağlantısına olanak sağlayacak şekilde tasarım yapılmıştır. Bataryaların kartla bağlantısı klemensler kullanılarak yapılır. Bataryalar beşerli grupta seri olarak paketlenmiştir.

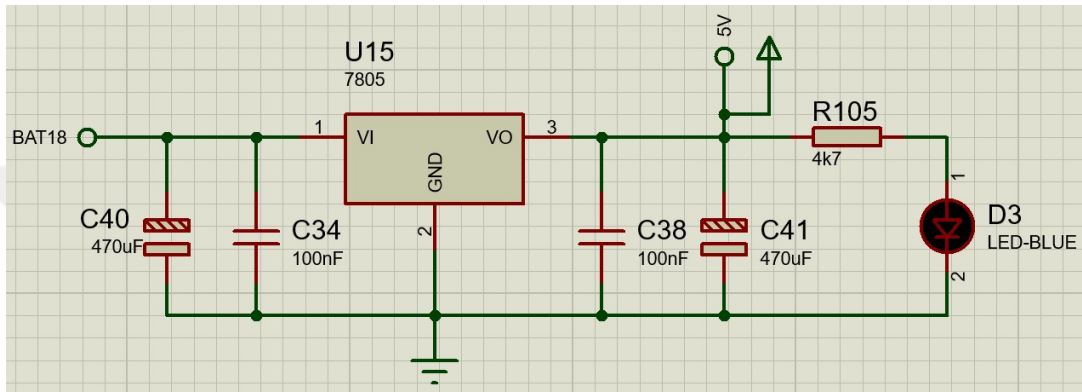


Şekil 3.3. Batarya bağlantı girişleri



### 3.2.3. Kart güç kaynağı

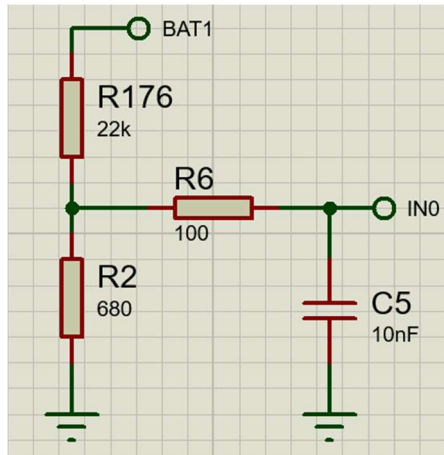
Tasarlanan kartta yer alan bazı devre elemanlarının çalışması için gerekli olan güç beslemeleri karta bağlı bataryalar tarafından sağlanmaktadır. Şekil 3.4'te yer aldığı üzere üç bataryanın çıkışına LM7805 gerilim düzenleyici bağlanarak sabit 5 V DA gerilim elde edilmektedir. Bu sayede devredeki elemanların (MCU, MUX, LM35) beslemeleri sağlanmaktadır. Çıkışa bağlanan mavi led vasıtasıyla da güç kaynağının çalışma durumu kontrol edilmektedir.



Şekil 3.4. Kart güç kaynağı devresi

### 3.2.4. Batarya hücreleri gerilim ölçümü

BYS'ye bağlanacak batarya hücrelerinin dengelenme işlemlerinin yapılabilmesi için hücrelerin gerilim değerlerinin okunmasına ihtiyaç vardır. Bunun için batarya hücre gerilimleri Şekil 3.5'teki gibi gerilim bölücü vasıtasıyla elde edilir.



Şekil 3.5. Batarya gerilim bölücü

BYS’de kullanılan STM32F103C8T6 mikroişlemcinin analog-sayısal dönüştürücü (ADC) girişleri 0-3.3 V arasındır ve 12 bit çözünürlüğündedir. Bit sayısı arttıkça analog verilerin gerçek değerine yakın olarak sayısal değere dönüştürülme olasılığı artmaktadır. Ayrıca analog alınacak değerler mikroişlemcinin ADC giriş gerilim değerine ne kadar yakın olursa, ADC ile dönüştürme işlemi o kadar doğru olacaktır. Bundan dolayı batarya hücre gerilimlerinin değerleri gerilim bölücü vasıtasıyla alınırken, gerilim bölücüde kullanılacak olan direnç değerleri bu durum göz önüne alınarak belirlenmiştir. Devrede batarya hücrelerine seri olarak bağlı iki direncin arasından gerilim değerleri bölünerek alınır.  $n$ -adet  $V_M$  üst çalışma sınırı olan bataryaların kullanılacağı sistemde, Şekil 3.5’te belirtilen gerilim bölücü devresinde MCU’ya iletilecek ve MCU tarafından sayısala dönüştürülecek gerilimler olan *analogdeğer* ( $n$ );

$$\begin{aligned} \text{analogdeğer}(1) &= \frac{n \times V_M}{R_{176} + R_2} \times R_2 \\ \text{analogdeğer}(2) &= \frac{(n-1) \times V_M}{R_{176} + R_2} \times R_2 \\ &\vdots \\ \text{analogdeğer}(n) &= \frac{1 \times V_M}{R_{176} + R_2} \times R_2 \end{aligned} \quad (3.1)$$

şeklinde elde edilir. Mikroişlemcinin ADC girişinden alınan bu gerilim;

$$\begin{aligned} \text{bat}(1) &= \frac{\text{analogdeğer}(1) \times 4096}{3.3} \\ \text{bat}(2) &= \frac{\text{analogdeğer}(2) \times 4096}{3.3} \\ &\vdots \\ \text{bat}(n) &= \frac{\text{analogdeğer}(n) \times 4096}{3.3} \end{aligned} \quad (3.2)$$

denklemleri kullanılarak MCU tarafından *bat*( $n$ ) sayısal değerlerine dönüştürülmektedir.

Bu çalışmada tasarlanan BYS’de 1’den 16’ya kadar olan batarya hücrelerinde gerilim bölücü olarak 22k-680  $\Omega$  seri dirençleri kullanılmıştır. Geriye kalan batarya hücrelerinden 17-18 numaralı hücrelerde 22k-4,7k  $\Omega$ , 19. bataryada 22k-10k  $\Omega$  ve son bataryada 22k-22k  $\Omega$  dirençler gerilim bölücü olarak kullanılmıştır. Bu direnç

değerlerindeki farklılığın sebebi analog değerın daha doğru olarak elde edilmek istenmesidir.

Burada MCU'nun ADC'si kullanarak elde ettiği bat(n) değerleri, işlemcinin ADC'si 12 bit olduğundan 0-4095 arasındadır. Elde edilen bat(n) sayısal değerleri Ek 1'de verilmiş olan kodla işlemcide tekrar okunan analog gerilime dönüştürülmekte ve analog değerler de Şekil 3.5'te yer alan gerilim bölücü devresindeki direnç değerleri kullanılarak *Bat(n)Gerilim* olarak batarya hücrelerinin artı ucu ile nötr arası gerilime dönüştürülmektedir:

$$\begin{aligned} \text{Bat(1) Gerilim} &= \left( \frac{\text{bat}(1) \times 3.3}{4096} \right) \times \left( \frac{R_{176} + R_2}{R_2} \right) \\ \text{Bat(2) Gerilim} &= \left( \frac{\text{bat}(2) \times 3.3}{4096} \right) \times \left( \frac{R_{176} + R_2}{R_2} \right) \\ &\vdots \\ \text{Bat(n) Gerilim} &= \left( \frac{\text{bat}(n) \times 3.3}{4096} \right) \times \left( \frac{R_{176} + R_2}{R_2} \right) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Bu şekilde ölçümü yapılan batarya gerilimlerinde 1. batarya hücresinden yapılan gerilim değeri ölçümü aslında tüm batarya hücrelerinin gerilimlerinin ölçümüdür. 2. batarya hücresinden yapılan gerilim ölçümü ise kalan 19 bataryanın gerilimidir. 3. hücreden alınan gerilim değeri de aynı şekilde 18 bataryanın gerilim ölçümünü göstermektedir. Bu şekilde devam ederek tüm gerilim ölçümleri yapılmaktadır. Sadece son (20.) batarya hücresinin gerilim değeri kendi gerilimini vermektedir. Alınan bu değerler Ek 1'de yer alan BYS kodunda görüleceği üzere;

$$\begin{aligned} \text{Bat(1) VOLT} &= \text{Bat(1) Gerilim} - \text{Bat(2) Gerilim} \\ \text{Bat(2) VOLT} &= \text{Bat(2) Gerilim} - \text{Bat(3) Gerilim} \\ &\vdots \\ \text{Bat(n) VOLT} &= \text{Bat(n) Gerilim} \end{aligned} \quad (3.4)$$

şeklinde her bir batarya hücresinin kendi gerilimi, *Bat(n)VOLT* değeri bulunmaktadır.

### 3.2.5. Batarya sıcaklık ölçümü

BYS'lerde en önemli verilerden bir tanesi de batarya hücrelerinin sıcaklıklarıdır. Batarya hücrelerinden oluşan her bir batarya paketinin sıcaklığı Şekil 3.6'da yer alan LM35 devresi kullanılarak ölçülmektedir. LM35, her 1°C sıcaklık artışında 10mV

Şekil 3.6. Batarya sıcaklık ölçümü devresi

Genel olarak k-adet LM35 sıcaklık algılayıcısı çıkışlarından alınan analog gerilimler *analogdeğer(k)* MCU ADC'si tarafından aşağıdaki denklemde yer aldığı gibi *sicaklik(k)* sayısal değerlerine dönüştürülmektedir:

$$\begin{aligned} \text{analogdeğer}(1) &= \text{SıcaklıkDeğeri}(1) (^{\circ}\text{C}) \times 0.01 \\ \text{analogdeğer}(2) &= \text{SıcaklıkDeğeri}(2) (^{\circ}\text{C}) \times 0.01 \\ &\vdots \\ \text{analogdeğer}(k) &= \text{SıcaklıkDeğeri}(k) (^{\circ}\text{C}) \times 0.01 \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \text{sicaklik}(1) &= \frac{\text{analogdeğer}(1) \times 4096}{3.3} \\ \text{sicaklik}(2) &= \frac{\text{analogdeğer}(2) \times 4096}{3.3} \\ &\vdots \\ \text{sicaklik}(k) &= \frac{\text{analogdeğer}(k) \times 4096}{3.3} \end{aligned} \quad (3.6)$$

MCU’da Ek 1’de verilen kodda görüleceği üzere  $sicaklik(k)$  sayısal değerleri de;

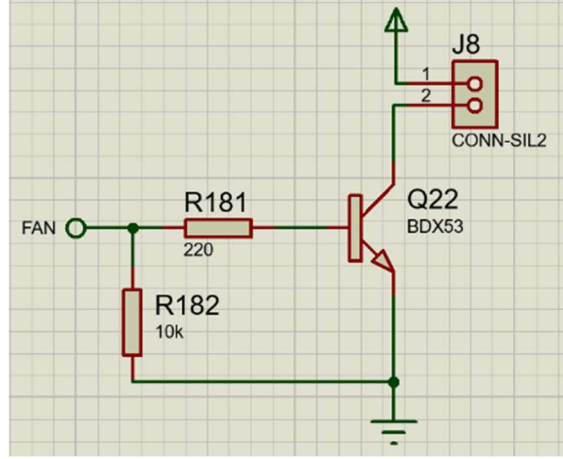
$$\begin{aligned}
Grup(1) &= \frac{sicaklik(1) \times 3.3}{4096} \\
Grup(2) &= \frac{sicaklik(2) \times 3.3}{4096} \\
&\vdots \\
Grup(k) &= \frac{sicaklik(k) \times 3.3}{4096}
\end{aligned} \tag{3.7}$$

eşitlikleri kullanılarak  $Grup(k)$  analog gerilim değerine dönüştürülür. LM35 algılayıcısı için her 10 mV 1 °C olduğundan, algılayıcıdaki gerçek sıcaklığın °C değeri;

$$\begin{aligned}
Temp(1) &= \frac{Grup(1)}{0.01} \\
Temp(2) &= \frac{Grup(2)}{0.01} \\
&\vdots \\
Temp(k) &= \frac{Grup(k)}{0.01}
\end{aligned} \tag{3.8}$$

olarak elde edilmektedir. Çalışmada kullanılan 5 adet algılayıcı için de bu değerler ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

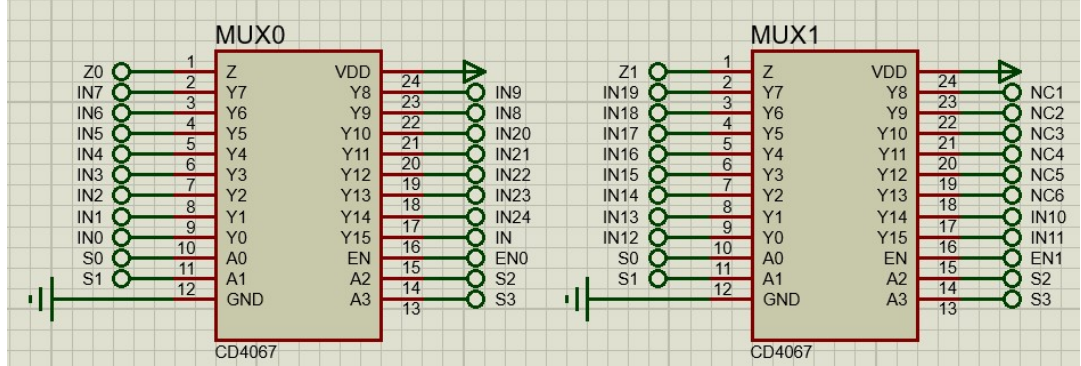
Eğer devrede herhangi bir algılayıcıdan alınan sıcaklık değeri 40°C üstüne çıkarsa, batarya hücrelerini soğutmak için öncelikle devreye bağlı fan çalışacaktır. Ölçülen batarya sıcaklık değerlerine bağlı olarak, sistemi korumak adına sıcaklık değerleri belli değere geldiğinde Şekil 3.7’de gösterilen devre vasıtasıyla sistemi soğutmak için bir fan devreye alınmaktadır. Devreye alınan fan vasıtasıyla sıcaklığın aşırı yükselmesi engellenmek istenmektedir. Fana rağmen sıcaklık yükselmeye devam eder ve 60°C’ye ulaşırsa, BYS acil röle açma sinyali vererek batarya dolumunu/boşalmasını durduracak ve hücre dengelemesine de son verecektir.



Şekil 3.7. Fan devresi

### 3.2.6. Veri toplama devresi

Bu çalışma, yirmi adet batarya hücresi için gerçekleştirildiğinden çok sayıda veri alınması gerekmektedir. Bataryalardan alınan veriler Şekil 3.8’deki şekilde iki adet analog MUX (Çoğullayıcı) (CD4067) kullanılarak belirlenen sıralarla MCU’ya aktarılmaktadır.



Şekil 3.8. Veri seçme devresi

MUX'lara gelen analog veriler sırayla MCU'ya gönderilecektir. Kullanılan MUX'ları aktif etmek için bir giriş (EN0 ve EN1) ve gelen verileri seçmek için de 4 adet seçme giriş (S0, S1, S2, S3) bulunmaktadır. Şekil 3.9’da seçme işleminin doğruluk tablosu yer almaktadır. Ek 1’de yer alan kodla, devreden toplanan analog ölçüm verileri, işlemciden gönderilen sayısal çıkışlarla, MUX'ların sırayla çıkış vermesi sonucu mikroişlemciye iletilmektedir.

S0	S1	S2	S3	$\bar{E}$	Seçilen Kanal
X	X	X	X	1	YOK
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	2
1	1	0	0	0	3
0	0	1	0	0	4
1	0	1	0	0	5
0	1	1	0	0	6
1	1	1	0	0	7
0	0	0	1	0	8
1	0	0	1	0	9
0	1	0	1	0	10
1	1	0	1	0	11
0	0	1	1	0	12
1	0	1	1	0	13
0	1	1	1	0	14
1	1	1	1	0	15

Şekil 3.9. Mux doğruluk tablosu

### 3.2.7. Batarya dengeleme devresi

Batarya hücrelerinden toplanan ölçüm verileri değerlendirilerek gerilimi fazla olan batarya hücreleri dengelenmektedir. Dengeleme işlemi pasif olarak yapılmaktadır. Pasif dengeleme sadece dolum işlemi sırasında yapılmaktadır. Bu yüzden, ACS712 30A’lık akım algılayıcısı kullanılarak çalışma sırasında devrenin dolum ya da boşalma durumunda olduğu belirlenmekte ve bataryalardan geçen akımın yönü algılayıcı yardımıyla tespit edilmektedir.

Şekil 3.10’da verilen algılayıcı karakteristiğinde, batarya akım değerine göre verdiği gerilim çıkışının grafiği yer almaktadır. Kullanılan algılayıcı ideal koşulunda, akım sıfır değerinde iken 2.5 V çıkış gerilimi vermektedir. Algılayıcının çıkış gerilimi bağlantı şekline bağlı olarak, akımın yönüne göre artar ya da azalır. Boşalma akımının ölçüm aralığının yeterince geniş olabilmesi ve dolum akımının uygulamada boşalma akımına göre daha düşük ve sabit olmasından dolayı, akım algılayıcısının bağlantısı boşalma esnasında çıkış gerilimi düşecek şekilde (olası 30 A için 0.5 V olacak şekilde) yapılmaktadır. Akımda meydana gelen her 1 A’lık değişimde algılayıcı çıkış gerilimi 66 mV değişmektedir. Algılayıcı çıkışı mikroişlemci tarafından okunduktan sonra akım *analogdeğeri* ADC ile *akim* sayısal değerine dönüştürülmektedir. Bu sayısal değer ise mikroişlemciye yazılım ile tekrar *akim1* analog gerilim değerine çevrilmektedir. Bu değer algılayıcının çıkış gerilimidir.

Algılayıcı çıkış gerilimi kullanılarak akımın değeri olan *GercekAkım* hesaplanmaktadır;

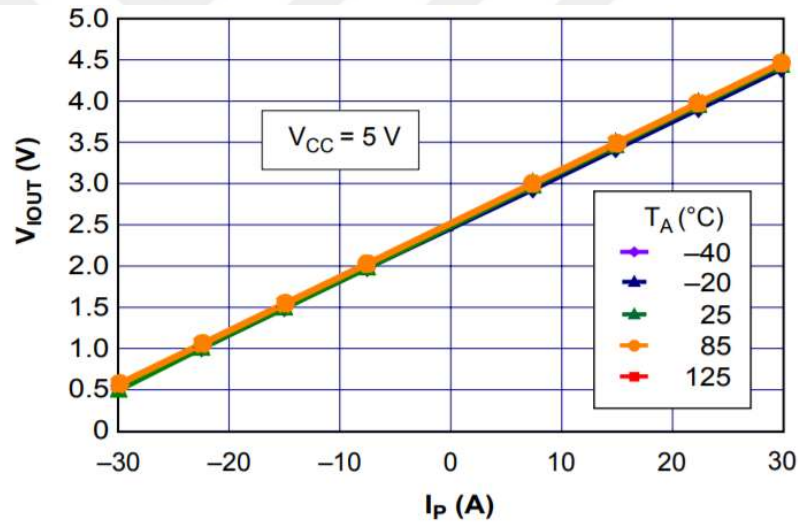
$$\text{analogdeğer} = 2.5 \pm (\text{akımdeğeri}) \times 0.066 \quad (3.9)$$

$$\text{akim} = \frac{\text{analogdeğer} \times 4096}{3.3} \quad (3.10)$$

$$\text{akim1} = \frac{\text{akim} \times 3.3}{4096} \quad (3.11)$$

$$\text{GercekAkım} = \frac{(\text{akim1} - 2.5)}{0.066} \quad (3.12)$$

eşitlikleri kullanılarak elde edilmektedir. Akım değerinin eksi (-) olması batarya hücrelerinin boşaldığını, artı (+) olması ise hücrelerin dolmakta olduğunu göstermektedir.

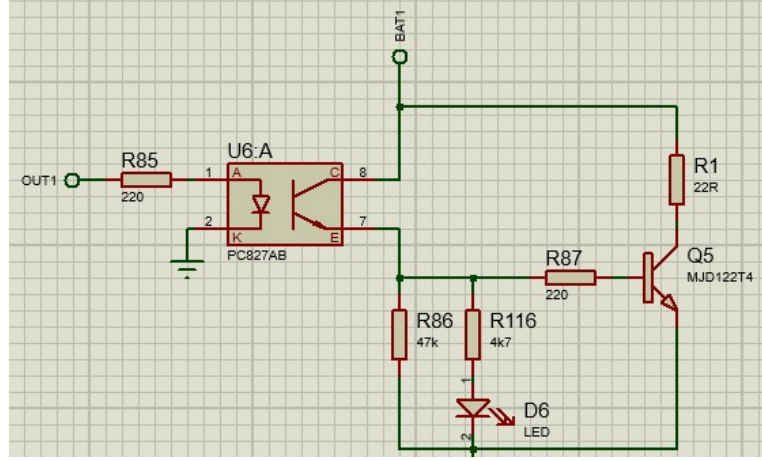


Şekil 3.10. ACS712 30A akım algılayıcısının çıkış karakteristiği

Akım algılayıcısından alınan akım değeri değerlendirilerek bataryaların boşalma durumunda olduğu belirlendiğinde BYS'nin batarya hücrelerini dengeleme yapması engellenmekte ve bataryaların enerjisinin boşa harcanmasının önüne geçilmektedir. Eğer devre dolmuş durumda ise BYS artık dengeleme işlemi yapabilir demektir.

Tasarlanan BYS kartında yapılacak olan pasif hücre dengelemesi Şekil 3.11'deki devre kullanılarak yapılmaktadır.





Şekil 3.11. Batarya dengeleme devresi

Tasarımda kullanılacak olan pasif dengeleme iki türlü olarak yapılmaktadır. İlk yöntem, akış diyagramı Şekil 3.12’de gösterilen, bataryaların üst sınır değerine gelmesiyle yapılacak dengelemedir. Bataryalar çalışma gerilimlerinin üst sınıra geldiklerinde dengeleme işlemine girmektedirler. Bu sayede üst sınıra ulaşan batarya hücrelerine gelen akım, Şekil 3.11’de görüldüğü üzere o hücrelere paralel bağlı olan direnç üzerinden geçirilerek enerji olarak harcanmaktadır. Bu yöntemin kontrol algoritması basittir. Batarya gerilimlerinin belirlenmesi dengeleme işlemi için yeterli olmaktadır.

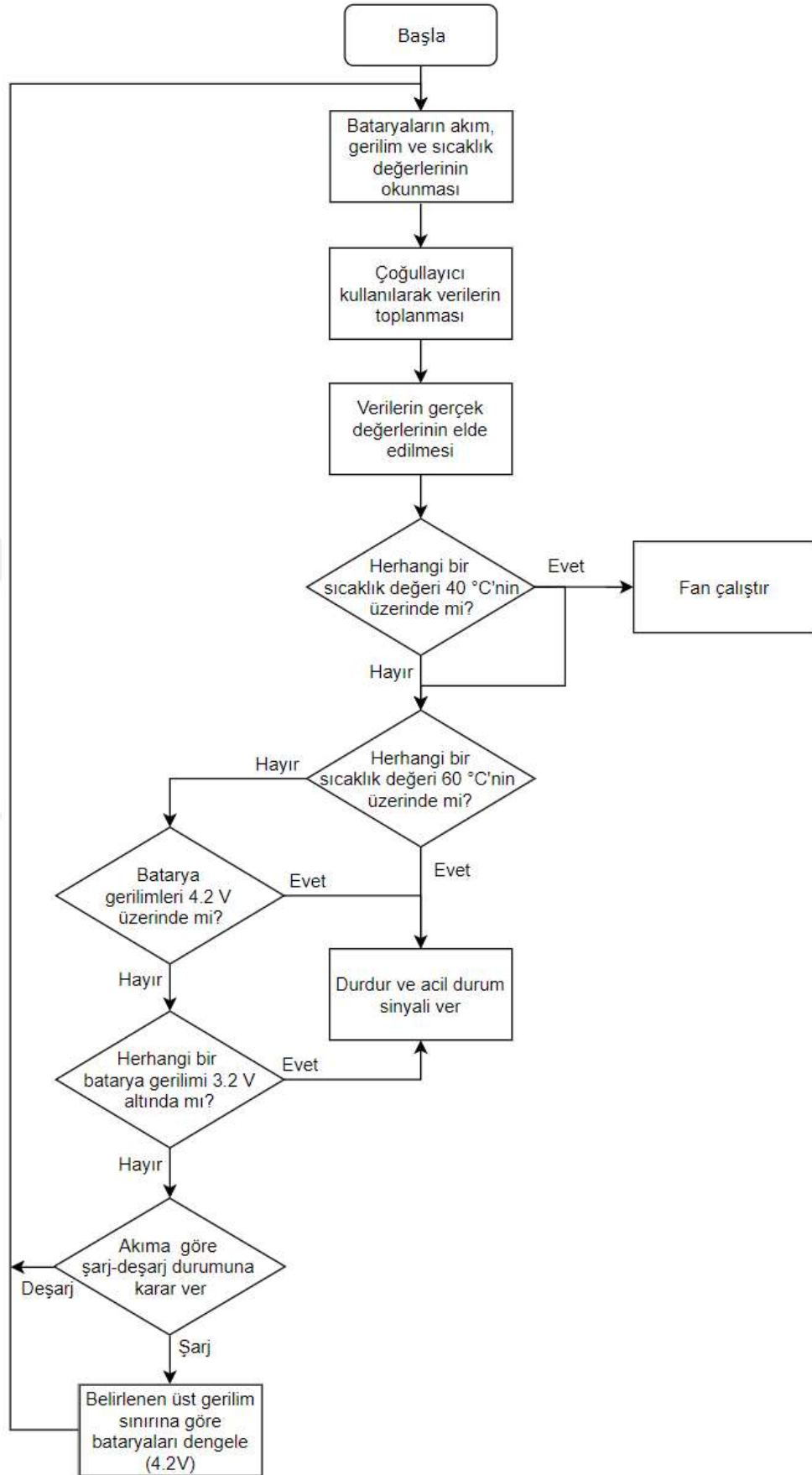
İkinci yöntem olarak ise akış şeması Şekil 3.13’te yer alan dengeleme algoritması kullanılmaktadır. İşlemcide hesaplanan batarya hücrelerinin gerilimlerinin karşılaştırılması sonucu en düşük gerilime sahip batarya belirlenir. Bu işlemin ardından, en düşük gerilimli batarya gerilimi ile diğer batarya gerilimlerinin tek tek farkı hesaplanmakta böylece her bir bataryanın gerilim fazlalığı tespit edilmektedir. Batarya hücreleri arasındaki gerilim farkı belirlenen değeri aştığında o batarya hücresindeki enerji, ilk yöntemin benzeri Şekil 3.11’deki gibi yüksek güçlü dirençler üzerinden harcanarak gerilim farkı azaltılmakta ve belli bir gerilim farkı değerinde kalması sağlanmaktadır.

Her iki yöntemde de Ek 1’de yer alan yazılımlarda görüleceği gibi MCU’dan gelen sinyallere göre Şekil 3.11’de yer alan dengeleme devresinde devreye giren optoküplör aracılığıyla MJD122T4 transistörler ilettime geçirilmektedir. Bu sayede dengeleme işlemine alınan batarya hücrelerindeki enerji 22 Ohm (5 W)’luk dirençler üzerinde harcanarak pasif olarak dengeleme yöntemi uygulanmaktadır. Her iki

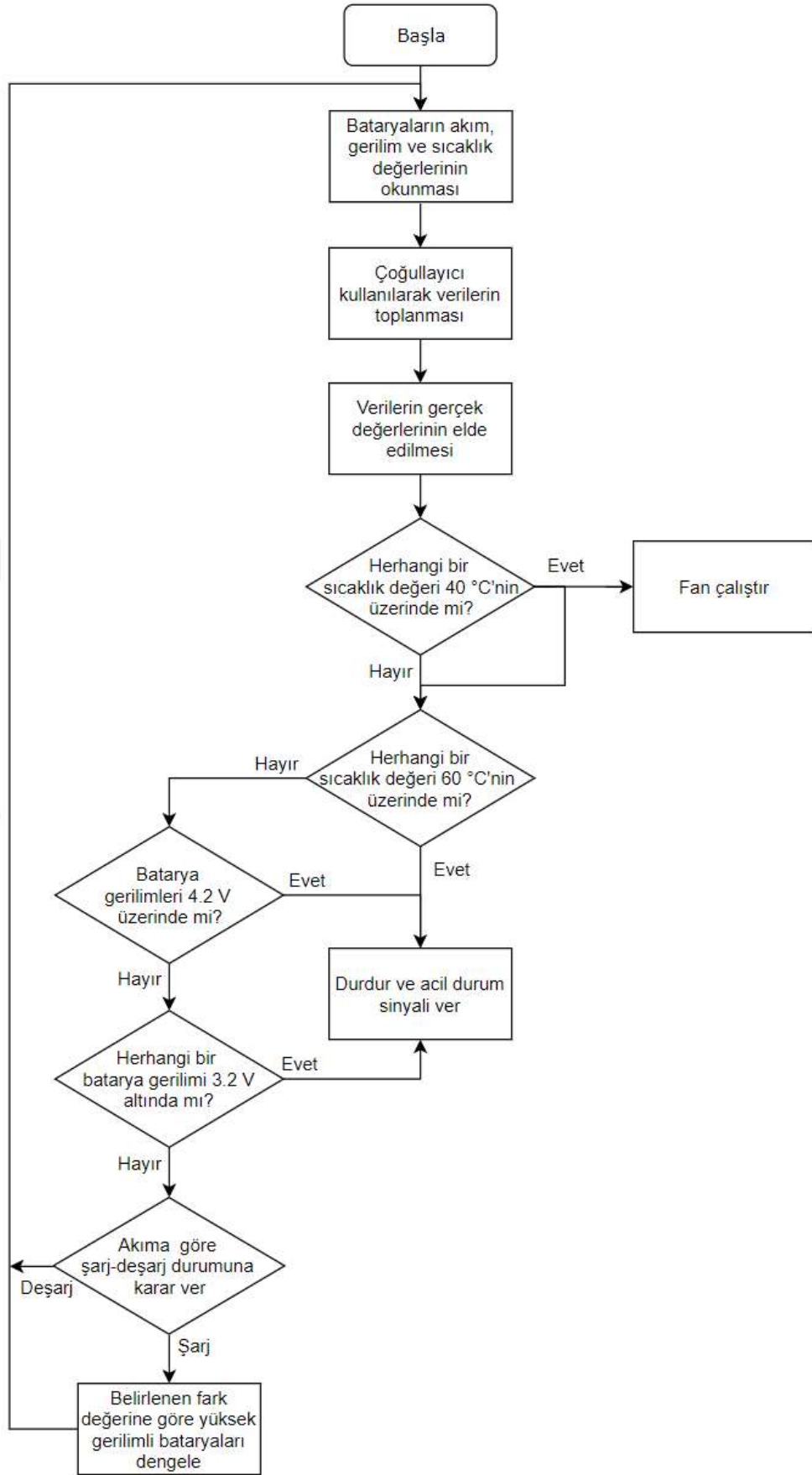
yöntemde de amaç, batarya hücrelerinin dolum esnasında hücrelerin aşırı dolumuna engel olarak hücreleri korumaktır.

Dengeleme devresinde yer alan PC827 optokuplörler, kartın güç kısmı ile MCU kısmını birbirinden elektriksel olarak yalıtılmaktadır. Böylece herhangi bir olumsuz durumda akım artışından mikroişlemcinin etkilenmesini önlemektedir. Devreye eklenmiş olan kırmızı ledler sayesinde devrede hangi bataryalar üzerinde dengeleme işlemi yapıldığı görsel olarak takip edilebilmektedir. Bu sayede dışardan çıplak gözle de dengelemede bir sıkıntı olup olmadığı rahatça görülebilmektedir.





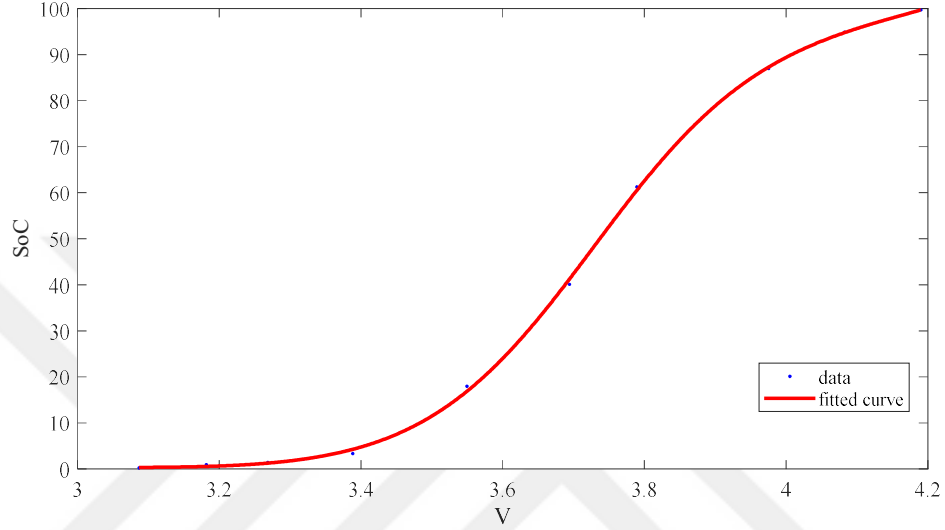
Şekil 3.12. BYS üst sınır (4.2V) dengeleme yöntemi akış şeması



Şekil 3.13. BYS fark dengeleme yöntemi akış şeması

### 3.2.8. SoC hesaplama

Tasarlanan BYS kartında SoC hesaplanması yapılmaktadır. SoC hesaplaması yapılırken daha önce bahsedilen terminal gerilimi yöntemi kullanılmıştır. Batarya üreticisinin verdiği batarya gerilimi-boşalım ilişkisini gösteren grafik kullanılarak, MATLAB yardımıyla Şekil 3.14'te yer verilen eğri elde edilmiştir.



Şekil 3.14.  $V_T$ -Boşalım karakteristiğine uydurulan eğri

Uydurulan eğrinin matematiksel işlevde  $V_T$  batarya terminal gerilimi olmak üzere;

$$\begin{aligned} \% \text{SoC} &= f(V_T) \\ &= \frac{9.9622 \times V_T^5 - 49.6198 \times V_T^4 + 31.0136 \times V_T^3 - 53.4720 \times V_T^2 + 103.1386 \times V_T - 18.3271}{V_T^4 - 7.2543 \times V_T^3 + 15.4334 \times V_T^2 - 11.8796 \times V_T + 16.3099} \quad (3.13) \end{aligned}$$

şeklinde bulunmuştur.

BYS'nin çalışması esnasında her bir kod döngüsünde sistemdeki tüm batarya hücrelerinin gerilimi ölçülmektedir. Ölçülen bu batarya hücresi gerilimlerine bağlı olarak, elde edilmiş olan  $f(V_T)$  işlevi kullanılarak SoC hesabı yapılmaktadır.

### 3.2.9. SoH kestirimi

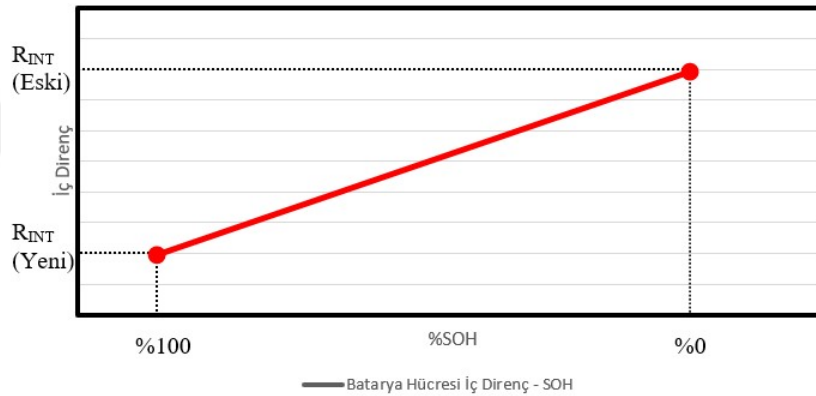
Yapılan çalışmada SoH kestirimi için bataryaların iç dirençlerinin değerleri kullanılmıştır. Ek 1'de yer alan yazılımdaki gibi BYS, çalışmasının ilk durumunda bataryanın boşalma işlemine başlamadan önce tüm batarya hücrelerinin OCV'sini

belirlemektedir. Boşalma işlemi başladıktan sonra akım algılayıcısı ile devrenin akımı ölçülmektedir. Bu değerler kullanılarak;

$$\begin{aligned}
 R_{INT}(1) &= \frac{V_{OC}(1) - Bat(1) \text{ VOLT}}{GercekAkım} \\
 R_{INT}(2) &= \frac{V_{OC}(2) - Bat(2) \text{ VOLT}}{GercekAkım} \\
 &\vdots \\
 R_{INT}(n) &= \frac{V_{OC}(n) - Bat(n) \text{ VOLT}}{GercekAkım}
 \end{aligned} \tag{3.14}$$

denklemleri ile tüm batarya hücrelerinin iç dirençleri BYS'nin her ilk çalışmasında hesaplanmaktadır. Batarya hücreleri yaşlandıkça/eskidikçe, iç dirençleri artmaktadır.

SoH kestirimi için yeni bir batarya hücresi ile (%SoH=100), ömrünü tamamlamış bir batarya hücresinin (%SoH=0) iç dirençleri temel alınarak Şekil 3.15'teki gibi doğrusal işlev olduğu kabul edilebilir.



Şekil 3.15. Batarya hücresi iç direnci - SoH ilişkisi

Şekil 3.15'te yer alan doğrusal işlev üzerinden bir batarya hücresinin %SoH'u;

$$\begin{aligned}
 \%SoH(1) &= \frac{100 \times (R_{INT}(\text{eski}) - R_{INT}(1))}{R_{INT}(\text{eski}) - R_{INT}(\text{yeni})} \\
 \%SoH(2) &= \frac{100 \times (R_{INT}(\text{eski}) - R_{INT}(2))}{R_{INT}(\text{eski}) - R_{INT}(\text{yeni})} \\
 &\vdots \\
 \%SoH(n) &= \frac{100 \times (R_{INT}(\text{eski}) - R_{INT}(n))}{R_{INT}(\text{eski}) - R_{INT}(\text{yeni})}
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

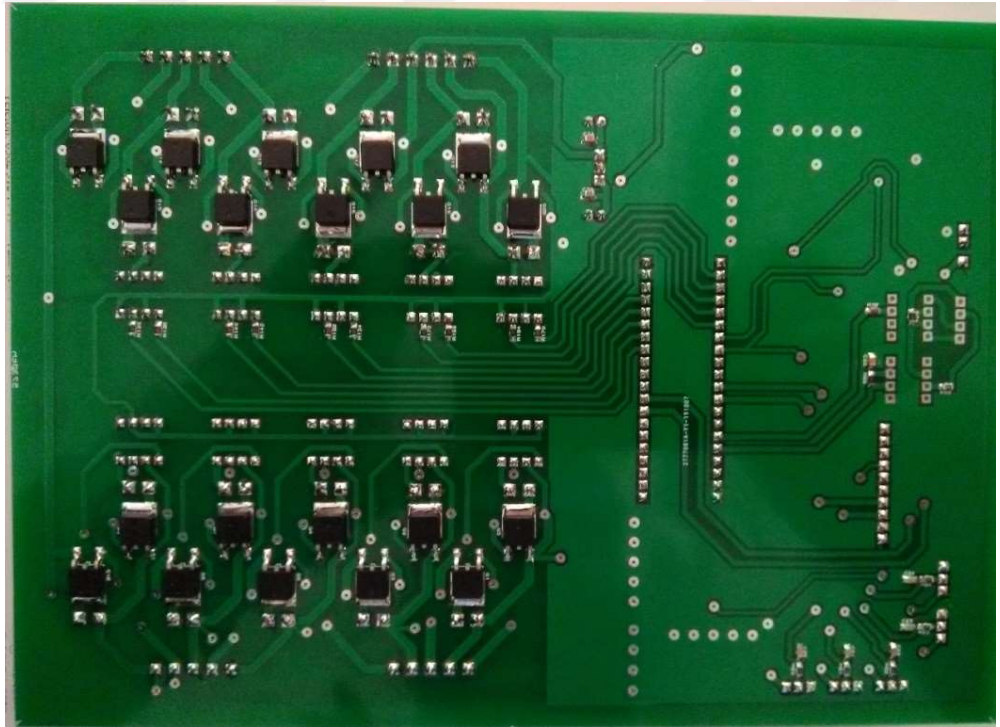
şeklinde bulunmaktadır.



Tasarımı gerçekleştirilen BYS kartının n ve arka yüzü şekil 3.16 ve 3.17’de gösterilmektedir.



şekil 3.16. BYS kart n yüz



şekil 3.17. BYS kart arka yüz

### 3.2.10. Kullanıcı arayüz ekranı

Tasarımı gerçekleştirilen BYS uygulamasında, batarya hücrelerinden alınan verilerin kullanıcı tarafından takip edilebilmesi amacıyla C# programı kullanılarak görsel arayüz tasarımı yapılmıştır. BYS’de kullanılan STM32F103C8 işlemcinin, B11 (RX3) ve B10 (TX3) uçları kullanılarak alınan veriler FT232RL USB-Uart Dönüştürücü Kartı kullanılarak USB portu vasıtasıyla arayüze aktarılmaktadır. Şekil 3.18’de yer alan arayüz, “Windows Form Uygulaması” olarak oluşturulmuştur.

The screenshot displays a Windows Form application for the BYS system. At the top, there are controls for connecting to the device: a 'Bağlan' (Connect) button, a 'Kes' (Disconnect) button, a 'Bağlantı Açık' (Connection Open) status indicator, a 'Port' dropdown menu set to 'COM6', and a 'Baud Rate' dropdown menu set to '9600'. Below these, there are five input fields for temperature ('Sıcaklık') with values 22.88, 26.75, 25.70, 23.53, and 26.83. The main section of the interface is a table with four columns: 'Genlim' (Voltage), '%SOC' (State of Charge), and '%SOH' (State of Health). The table lists 20 battery cells, from 'Batarya1' to 'Batarya20'. Most cells show 0.00 for all three metrics, but cells 16 through 20 show non-zero values for voltage and SOC.

	Genlim	%SOC	%SOH
Batarya1	0.00	0.00	0.00
Batarya2	0.00	0.00	0.00
Batarya3	0.00	0.00	0.00
Batarya4	0.00	0.00	0.00
Batarya5	0.00	0.00	0.00
Batarya6	0.00	0.00	0.00
Batarya7	0.00	0.00	0.00
Batarya8	0.00	0.00	0.00
Batarya9	0.00	0.00	0.00
Batarya10	0.00	0.00	0.00
Batarya11	0.00	0.00	0.00
Batarya12	0.00	0.00	0.00
Batarya13	0.00	0.00	0.00
Batarya14	0.00	0.00	0.00
Batarya15	0.00	0.00	0.00
Batarya16	3.83	85.78	0.00
Batarya17	4.15	99.87	0.00
Batarya18	3.95	97.12	0.00
Batarya19	3.93	96.25	0.00
Batarya20	3.97	97.77	0.00

Şekil 3.18. BYS arayüz



#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada EA’da enerji kaynağı olan bataryaların kontrol ve korumasında kullanılan pasif dengelemeli “Batarya Yönetim Sistemi” tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan BYS’nin çalışması 5 adet Li-ion batarya hücresi bağlanarak test edilmiştir. Batarya hücrelerinin dengelenmesi aşamasında hücrelerin gerilimleri ölçülmüş ve dengelemeye girme durumları kontrol edilmiştir.

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi 5. hücre gerilimi en düşük batarya hücresidir. Dolayısıyla dengeleme işlemi 5. hücrenin gerilim değerine göre yapılmaktadır. Dengeleme değeri olarak da gerilim farkı 0.1 V olarak belirlendiğinde, 3. ve 4. hücreler bu değer üstünde oldukları için dengelemeye girmekte ve ledleri yanmaktadır (lojik-1). 5. hücrenin kendisi ve 2. hücre ise değer altındadır oldukları için dengelemeye girmemekte ve ledleri sönmektedir (lojik-0) durumdadır. 1. hücre ise tam sınır değerde yer aldığı için ledi sürekli yanıp sönmekte, yani dengelemeye girip çıkmaktadır.

Çizelge 4.1. Hücre dengeleme fark değeri 0.1 V için dengeleme sonuçları

Hücre Dengeleme Fark Değeri 0,1 V		
Hücre	Gerilim	Led Durumu (Dengeleme)
1. hücre	3.45	1-0
2. hücre	3.40	0
3. hücre	3.64	1
4. hücre	3.68	1
5. hücre	3.36	0

Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere 5. hücre gerilimi en düşük hücredir. Dolayısıyla dengeleme işlemleri bu değere göre yapılmaktadır. Dengeleme değeri olarak gerilim farkı 0.3 V belirlendiğinden 1. ve 2. hücreler bu değer altındadır oldukları için dengelemeye girmemektedir ve ledleri sönmektedir (0). 5. hücrenin kendisi ise haliyle değer altındadır olduğu için dengelemeye girmemiştir ve ledi sönmektedir (0) durumdadır. 3 ve 4. hücre ise tam sınır değerde yer aldığı için ledi sürekli yanıp sönmekte, yani dengelemeye girip çıkmaktadır.

Çizelge 4.2. Hücre dengeleme fark değeri 0.3 V için dengeleme sonuçları

Hücre Dengeleme Fark Değeri 0.3 V		
Hücre	Gerilimi	Led Durumu (Dengeleme)
1. hücre	3.45	0
2. hücre	3.40	0
3. hücre	3.64	1-0
4. hücre	3.68	1-0
5. hücre	3.36	0

Hücrelerin alternatif yöntem olarak üst sınır değere göre dengeleme durumları test edilmiştir. Üst sınır değer olarak 4.2 V ve test amaçlı batarya gerilimleri göz önüne alınarak 3.6 V seçilmiştir. Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere tüm batarya hücre gerilim değerleri 4.2 V'den düşük olduğu için hiçbir hücre dengelemeye girmemekte ve ledler sönmük (0) durumdadır. 3.6 V değeri test edildiğinde ise 3. ve 4. hücre bu değer üstünde olduğu için hücreler paralel dirençler üzerinden dengelemeye girmekte ve ledleri yanmaktadır (1). Diğer hücre gerilimleri ise belirlenen değer altında oldukları için dengeleme durumunda değildirler yani ledleri yanmamaktadır.

Çizelge 4.3. Hücre dengeleme üst değer dengeleme sonuçları

Hücre Üst Değer Dengeleme Değeri 4.2 V – 3.6 V			
Batarya	Gerilimi	Led Durumu (Dengeleme)	
		4.2 V	3.6 V
1. hücre	3.45	0	0
2. hücre	3.40	0	0
3. hücre	3.64	0	1
4. hücre	3.68	0	1
5. hücre	3.36	0	0

Tasarlanan BYS'nin aşırı-düşük gerilim sınır koruması da test edilmiştir. Hücrelerin değerlerine göre belirlenmiş sınır değerlerine göre röle koruma sinyali gözlemlenmiştir. Bataryanın dolum durumunda, batarya hücrelerinin azami çalışma gerilimi seviyesi olan 4.2 V'de ve ek olarak sistemi test etmek amaçlı batarya hücresi gerilim seviyesine göre belirlenmiş 3.5 V'de aşırı dolum testi yapılmıştır. Ayrı ayrı değerler (4.2 V ve 3.5 V) referans alınarak Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi sistemin üst sınır röle koruma sinyali kontrol edilmiş ve sistemin düzgün çalıştığı görülmüştür. Sistem dolum durumunda üst sınıra ulaşınca aşırı gerilim koruma sinyali göndermesinin yanında, batarya hücrelerinin dengelemesini de durdurmaktadır.

Çizelge 4.4. Hücre aşırı gerilim koruma test sonuçları

Hücre Aşırı Gerilim Koruma Test			
Batarya	Gerilim	Led Durumu (Koruma Sinyali)	
		4.2V	3.5V
1. hücre	3.453	0	1
2. hücre	3.425		
3. hücre	3.546		
4. hücre	3.580		
5. hücre	3.366		

Çizelge 4.5'te bataryaların boşalma durumunda, ayrı ayrı değerler (4.2 V ve 3.2 V) referans alınarak sistemin alt sınır koruma sinyali kontrol edilmiş ve sistemin düzgün çalıştığı görülmüştür. Hücre anma değerlerine göre seçilmiş olan alt sınırına (3.2 V) ulaşıldığı anda BYS aşırı boşalma koruma röle sinyali vermekte ve hücre dengelemesini durdurmaktadır.

Çizelge 4.5. Hücre düşük gerilim koruma test sonuçları

Hücre Düşük Gerilim Koruma Test			
Batarya	Gerilim	Led Durumu (Koruma Sinyali)	
		4.2V	3.2V
1. hücre	3.453	0	1
2. hücre	3.425		
3. hücre	3.546		
4. hücre	3.580		
5. hücre	3.366		

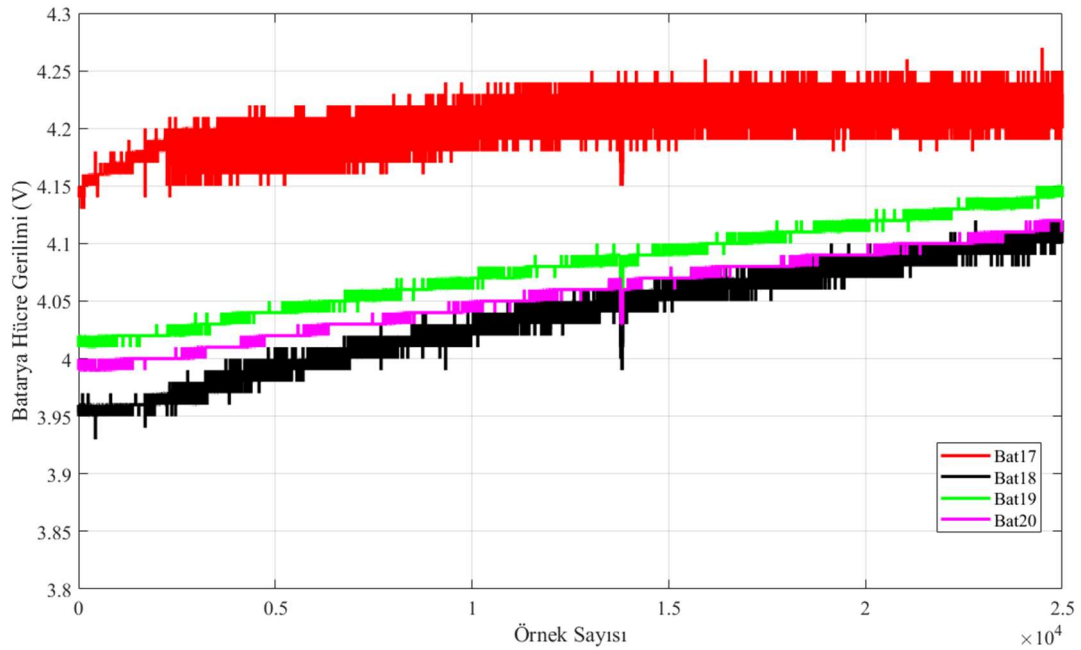
BYS'nin farklı sıcaklıklarda çalışma durumları üzerinde testler yapılmıştır. LM35 sıcaklık algılayıcısı ısıtılarak sıcaklık korumalarının devreye girmesi incelenmiştir. Mikroişlemci yazılımı ile, sıcaklık 40°C olduğunda soğutma amaçlı olarak fanın çalışması, fanın yetersiz kalıp ısınmanın devam etmesi durumunda ise 60°C üzerine çıkıldığında koruma sinyali gönderilip dengeleme işleminin durdurulması beklenmektedir. Algılayıcıyı ısıtma işleminde Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi, algılayıcı çıkışı değerlendirildiğinde, yaklaşık 31°C'de fan çalışmamakta ve röle koruma sinyali gönderilmemektedir. Yaklaşık olarak 42°C'de fan çalışmakta ve röle koruma sinyali gönderilmemektedir. Son olarak 62°C'de ise fan çalışırken, sistem koruma sinyali gönderilmekte ve batarya hücre dengelemesi durdurulmaktadır. Bu testler ile BYS'nin sıcaklık koruma işlevselliği de başarılı bir şekilde gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6. Sıcaklık koruma test sonuçları

Sıcaklık Korumalar Test (Fan 40°C – Koruma Sinyali 60°C)		
Algılayıcı Çıkışı	Fan	Led Durumu (Koruma Sinyali)
310mV	Pasif	0
420mV	Aktif	0
610mV	Aktif	1

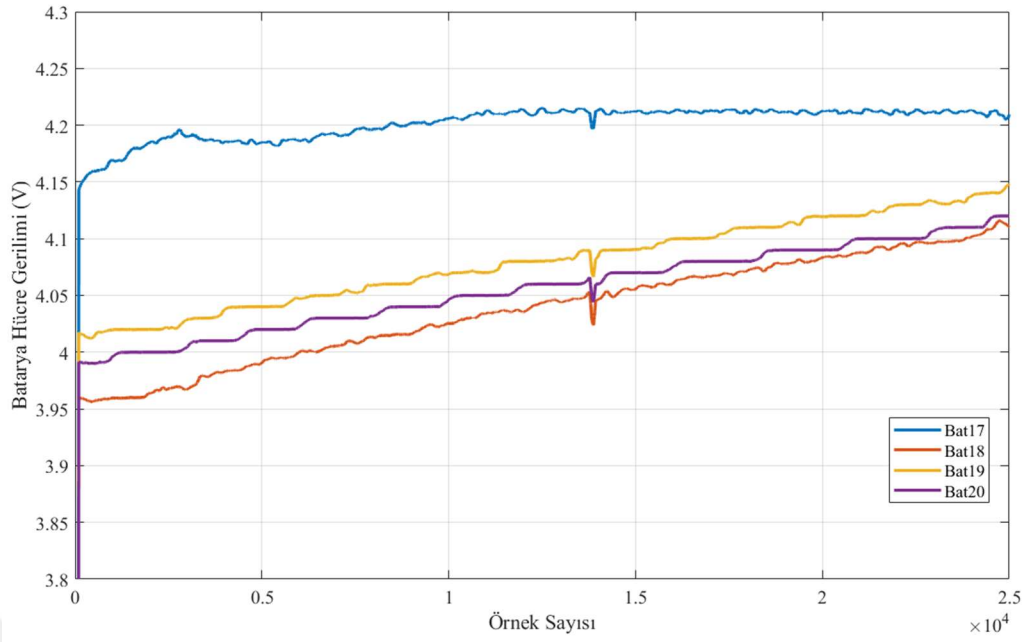
Batarya hücrelerinin 0.2 A ile dolumu yapılırken, gerçekleştirilmiş olan BYS kartı üzerinden hücrelerin gerilim değerleri MATLAB kullanılarak gerçek zamanlı olarak kaydedilmiştir. Bu şekilde batarya hücrelerinin gerilimlerinin değişimi grafiksel olarak gözlemlenmiştir.

Şekil 4.1’de ilk hücre dengeleme yöntemi olan, akış diyagramı Şekil 3.12’de gösterilen, “bataryaların üst sınır değeri”ne gelmesiyle yapılacak dengelemenin batarya hücre gerilim değerleri yer almaktadır.



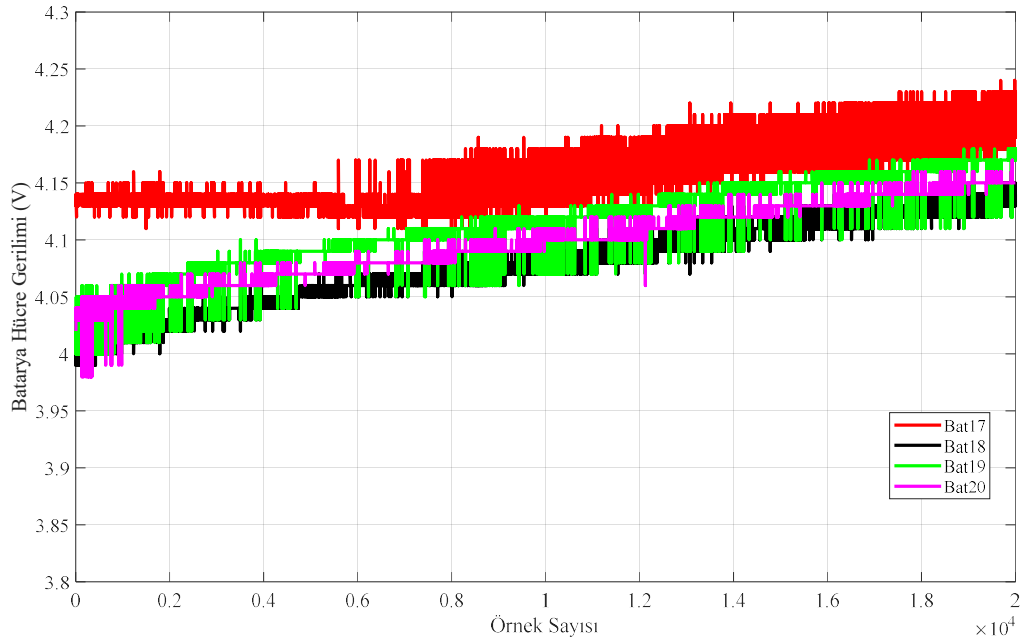
Şekil 4.1. Üst sınır değer dengeleme hücre gerilimleri

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere, bu yöntemde tüm batarya hücreleri dolmaya başlamıştır. Üst sınır değer olan 4.2 V’ye ulaşan Bat17 hücresi dengelemeye girmiş ve hücrenin daha fazla dolumu engellenmiştir. Ayrıca bu ölçümlerdeki değerler Matlab’da “filter” komutu kullanılarak gürültünün azaltılmasıyla batarya hücrelerinin gerilim grafikleri Şekil 4.2’deki gibi daha belirgin olarak gösterilebilir.



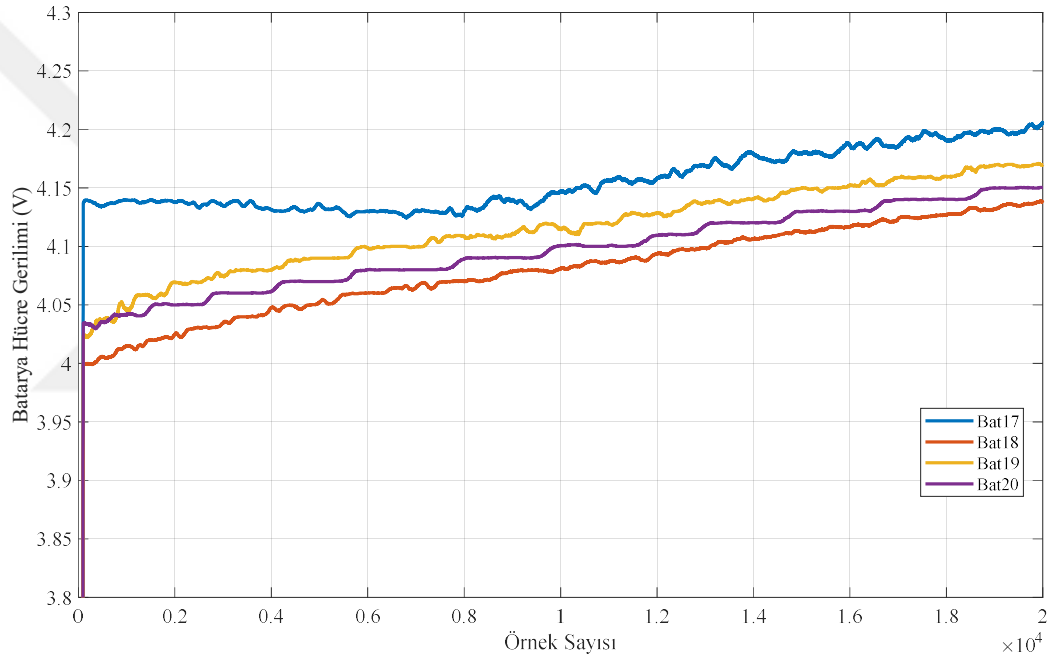
Şekil 4.2. Üst sınır değer dengeleme hücre gerilimleri (filtreli)

BYS pasif hücre dengelemesi algoritmasında ikinci yöntem olarak, akış diyagramı Şekil 3.13'te gösterilen, “batarya hücre gerilimlerinin fark değerlerine göre” yapılan dengelemede elde edilen batarya hücre gerilimlerinin grafiği Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Fark dengeleme hücre gerilimleri

Bu yöntemde ölçümler alınırken fark 0.05 V olarak ayarlanmıştır. Burada Bat18 gerilimi en düşük batarya hücresidir. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, sadece Bat17 hücresinin gerilim değeri ile Bat18 batarya hücresinin gerilim farkı 0.05 V'den büyüktür. Bundan dolayı Bat17 hücresi dengelemeye girmiş ve hücrenin dolması engellenmiştir. Diğer batarya hücreleri dolmaya başlamış ve en düşük gerilimli hücre ile Bat17'nin arasındaki gerilim farkı 0.05 V'nin altına düştüğü anda Bat17 hücresi dengelemeden çıkmış ve hücre dolmaya başlamıştır. Aradaki bu fark korunarak tüm batarya hücreleri beraber dolmaya devam etmiştir. Ayrıca bu dengeleme yönteminde elde edilen ölçümler Matlab'da "*filter*" komutu kullanılarak gürültünün azaltılması ile elde edilen batarya hücrelerinin gerilim grafikleri Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Fark dengeleme hücre gerilimleri (filtreli)

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada EA'larda enerji kaynağı olarak kullanılan bataryalar için bir BYS tasarımı yapılmış ve gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilmiş olan BYS kartı 20 adet seri batarya hücrelerini kontrol edecek şekilde tasarlanmıştır.

BYS kartının tasarımında merkezi BYS sistemi tercih edilmiş ve SMD devre elemanları kullanılarak kartın sade olması sağlanmış, boyutu küçültülmüş ve maliyeti düşürülmüştür.

Örnek olarak yapılan BYS kartında batarya hücreleri için yüksek gerilim, düşük gerilim ve sıcaklık korumaları mevcuttur. Ayrıca batarya hücrelerinde azami verim alınabilmesi amacıyla hücrelerin dolumu esnasında pasif dengeleme sistemi uygulanmaktadır. BYS ile batarya hücrelerinin her birinin SoC'ları hesaplanmış ve SoH kestirimleri yapılmıştır. Gerçekleşmiş olan BYS kartının tasarımda yukarıdaki özellikleri test edilmiş ve BYS'nin etkin bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

BYS tasarımında pasif dengeleme sistemlerinin verimsiz olduğu belirtilmekte olsa da, tasarım açısından ve maliyet açısından büyük kolaylık sağladığı aşıkardır. Aktif ve pasif dengeleme yöntemlerini karşılaştırmaları yapılırken, tüm etkenlerin (maliyet, boyut, kurulum kolaylığı, hız) bir arada değerlendirerek çıkarımlar yapılmasının gerekliliği görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abu-Sharkh, S. and Doerffel, D. 2004. Rapid test and non-linear model characterisation of solid-state lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 130:1-2, 266-274.
- Agarwal, V. and Dev, M. (2013). Introduction to hybrid electric vehicles: State of art. 2013 Students Conference on Engineering and Systems (SCES), IEEE, 1-6.
- Ahmadi, M., Mithulananthan, N. and Sharma, R. (2016). A review on topologies for fast charging stations for electric vehicles. 2016 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON), IEEE, 1-6.
- Al Sakka, M., Gualous, H., Omar, N. and Van Mierlo, J. 2012. Batteries and supercapacitors for electric vehicles. *New Generation of Electric Vehicles, InTech, Croatia*, 135-164.
- Aldoğan, E. 2012. Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi donanımı tasarımı. Yüksek Lisans, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 100, Gebze.
- Altun, Ş. 2012. Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi algoritması tasarımı ve uygulaması Yüksek Lisans, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 89, Gebze.
- Anbuky, A. H. and Pascoe, P. E. 2000. VRLA battery state-of-charge estimation in telecommunication power systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 47:3, 565-573.
- Andrea, D. 2010. *Battery management systems for large lithium ion battery packs*. Artech house,
- Andwari, A. M., Pesiridis, A., Rajoo, S., Martinez-Botas, R. and Esfahanian, V. 2017. A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 414-430.
- Anonim (2019). Power, Electronic Systems, Applications and Resources on Electrical and Electronic Project-Thesis. <http://protorit.blogspot.com/2012/10/3-phase-voltage-source-inverter.html> (Erişim tarihi: 10.10.2019)
- Bai, X. (2014). Pure electric vehicle power system parameters matching and the analysis of vehicle control. 2014 IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA), IEEE, 737-740.
- Baronti, F., Roncella, R. and Saletti, R. 2014. Performance comparison of active balancing techniques for lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 267, 603-609.
- Baughman, A. C. and Ferdowsi, M. 2008. Double-tiered switched-capacitor battery charge equalization technique. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55:6, 2277-2285.



- Baykal, T. 2013. Lityum-polimer bataryalar için batarya yönetim sistemi geliştirilmesi. Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 109, İstanbul.
- Berecibar, M., Gandiaga, I., Villarreal, I., Omar, N., Van Mierlo, J. and Van den Bossche, P. 2016. Critical review of state of health estimation methods of Li-ion batteries for real applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 572-587.
- Brandl, M., Gall, H., Wenger, M., Lorentz, V., Giegerich, M., Baronti, F., Fantechi, G., Fanucci, L., Roncella, R. and Saletti, R. (2012). Batteries and battery management systems for electric vehicles. 2012 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE), IEEE, 971-976.
- Bundy, K., Karlsson, M., Lindbergh, G. and Lundqvist, A. 1998. An electrochemical impedance spectroscopy method for prediction of the state of charge of a nickel-metal hydride battery at open circuit and during discharge. *Journal of Power Sources*, 72:2, 118-125.
- Büchi, F., Delfino, A., Dietrich, P., Freunberger, S. and Kötzer, R. 2006. Electrical Drivetrain Concept with Fuel Cell System and Supercapacitor Results of the. *HYLIGHT®"-vehicle". VDI Tagung Innovative Fahrzeugantriebe*.
- Cacciato, M., Caricchi, F., Giuhlii, F. and Santini, E. (2004). A critical evaluation and design of bi-directional DC/DC converters for super-capacitors interfacing in fuel cell applications. Conference Record of the 2004 IEEE Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting., IEEE, 1127-1133.
- Chen, M. and Rincon-Mora, G. A. 2006. Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and IV performance. *IEEE transactions on energy conversion*, 21:2, 504-511.
- Chiasson, J. and Vairamohan, B. (2003). Estimating the state of charge of a battery. Proceedings of the 2003 American Control Conference, 2003., IEEE, 2863-2868.
- Chiu, H.-J. and Lin, L.-W. 2006. A bidirectional DC-DC converter for fuel cell electric vehicle driving system. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 21:4, 950-958.
- Dai, H., Zhang, X., Wei, X., Sun, Z., Wang, J. and Hu, F. 2013. Cell-BMS validation with a hardware-in-the-loop simulation of lithium-ion battery cells for electric vehicles. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 52, 174-184.
- Daowd, M., Omar, N., Bossche, P. V. D. and Mierlo, J. V. (2011). Passive and active battery balancing comparison based on MATLAB simulation. 2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 6-9 Sept. 2011, 1-7.
- de Melo, H. N., Trovao, J. P. F., Pereirinha, P. G., Jorge, H. M. and Antunes, C. H. 2017. A controllable bidirectional battery charger for electric vehicles with vehicle-to-grid capability. *IEEE transactions on Vehicular Technology*, 67:1, 114-123.

- Farmann, A., Waag, W., Marongiu, A. and Sauer, D. U. 2015. Critical review of on-board capacity estimation techniques for lithium-ion batteries in electric and hybrid electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 281, 114-130.
- Fleischer, C., Sauer, D. U., Barreras, J. V., Schaltz, E. and Christensen, A. E. (2016). Development of software and strategies for Battery Management System testing on HIL simulator. 2016 Eleventh International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), IEEE, 1-12.
- Fleischer, C., Waag, W., Heyn, H.-M. and Sauer, D. U. 2014. On-line adaptive battery impedance parameter and state estimation considering physical principles in reduced order equivalent circuit battery models: Part 1. Requirements, critical review of methods and modeling. *Journal of Power Sources*, 260, 276-291.
- Forman, J. C., Bashash, S., Stein, J. L. and Fathy, H. K. 2011. Reduction of an electrochemistry-based li-ion battery model via quasi-linearization and pade approximation. *Journal of the Electrochemical Society*, 158:2, A93-A101.
- Frieske, B., Kloetzke, M. and Mauser, F. (2013). Trends in vehicle concept and key technology development for hybrid and battery electric vehicles. 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), IEEE, 1-12.
- Gallardo-Lozano, J., Romero-Cadaval, E., Milanes-Montero, M. I. and Guerrero-Martinez, M. A. 2014. Battery equalization active methods. *Journal of Power Sources*, 246, 934-949.
- Garcia, O., Flores, L. A., Oliver, J. A., Cobos, J. A. and Pena, J. d. I. (2005). Bi-directional DC/DC Converter for Hybrid Vehicles. 2005 IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference, 16-16 June 2005, 1881-1886.
- Gül, H. S. 2018. Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı. Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı / Elektronik Bilim Dalı, 79, İstanbul.
- Hageman, S. C. 1993. Simple PSpice models let you simulate common battery types. *EDN*, 38:22, 117-&.
- Hannan, M. A., Lipu, M. H., Hussain, A. and Mohamed, A. 2017. A review of lithium-ion battery state of charge estimation and management system in electric vehicle applications: Challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 834-854.
- He, H., Xiong, R. and Fan, J. 2011. Evaluation of lithium-ion battery equivalent circuit models for state of charge estimation by an experimental approach. *energies*, 4:4, 582-598.
- Hu, R. 2011. Battery management system for electric vehicle applications. Master's Thesis, University of Windsor Department of Electrical and Computer Engineering, 82, Windsor, Ontario, Canada.
- Huang, P.-H., Kuo, J.-K. and Huang, C.-Y. 2015. A new application of the UltraBattery to hybrid fuel cell vehicles. *International Journal of Energy Research*, 40, n/a-n/a.

- Huet, F. 1998. A review of impedance measurements for determination of the state-of-charge or state-of-health of secondary batteries. *Journal of Power Sources*, 70:1, 59-69.
- Hussein, A. A.-H. and Batarseh, I. (2011). An overview of generic battery models. 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, IEEE, 1-6.
- Kerem, A. 2014. Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5:1, 1-13.
- Khaligh, A. and Dusmez, S. 2012. Comprehensive topological analysis of conductive and inductive charging solutions for plug-in electric vehicles. *IEEE transactions on Vehicular Technology*, 61:8, 3475-3489.
- Khaligh, A. and Li, Z. 2010. Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art. *IEEE transactions on Vehicular Technology*, 59:6, 2806-2814.
- Kılıç, A. 2016. Batarya yönetim sistemlerinde ana ve uydu denetleyici modül tasarımı ve can protokolü kullanımı. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kim, J. and Cho, B.-H. 2011. State-of-charge estimation and state-of-health prediction of a Li-ion degraded battery based on an EKF combined with a per-unit system. *IEEE transactions on Vehicular Technology*, 60:9, 4249-4260.
- Kurt, A., Dolu, U., Kaya, B. and Poyrazoglu, G. (2019). Design of the Circuitry, Battery Management System, and Wireless Communication of an Electric Vehicle. 2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), IEEE, 233-237.
- Li, H., Liu, D., Peng, F. and Su, G.-J. (2005). Small signal analysis of a dual half bridge isolated ZVS bi-directional DC-DC converter for electrical vehicle applications. 2005 IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference, IEEE, 2777-2782.
- Li, X. and Williamson, S. S. (2007). Assessment of efficiency improvement techniques for future power electronics intensive hybrid electric vehicle drive trains. 2007 IEEE Canada Electrical Power Conference, IEEE, 268-273.
- Lindemark, B. (1991). Individual cell voltage equalizers (ICE) for reliable battery performance. [Proceedings] Thirteenth International Telecommunications Energy Conference-INTELEC 91, IEEE, 196-201.
- Liu, C., Neale, Z. and Cao, G. 2016. Understanding electrochemical potentials of cathode materials in rechargeable batteries. *Materials Today*, 19, 109-123.
- Liu, K., Li, K., Peng, Q. and Zhang, C. 2019. A brief review on key technologies in the battery management system of electric vehicles. *Frontiers of mechanical engineering*, 14:1, 47-64.
- Long, L., Wang, S., Xiao, M. and Meng, Y. 2016. Polymer electrolytes for lithium polymer batteries [10.1039/C6TA02621D]. *Journal of Materials Chemistry A*, 4:26, 10038-10069.

- Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J. and Ouyang, M. 2013. A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 226, 272-288.
- Meng, J., Luo, G., Ricco, M., Swierczynski, M., Stroe, D.-I. and Teodorescu, R. 2018. Overview of lithium-ion battery modeling methods for state-of-charge estimation in electrical vehicles. *Applied Sciences*, 8:5, 659.
- Monteiro, V., Exposto, B., Ferreira, J. C. and Afonso, J. L. 2016. Improved vehicle-to-home (iV2H) operation mode: experimental analysis of the electric vehicle as off-line UPS. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8:6, 2702-2711.
- Nafiz, S. 2014. Elektrikli otobüsler için batarya yönetim sistemi tasarımı. Yüksek Lisans, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 140, İzmir.
- Ng, K.-S., Huang, Y.-F., Moo, C.-S. and Hsieh, Y.-C. (2009). An enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lead-acid batteries. INTELEC 2009-31st International Telecommunications Energy Conference, IEEE, 1-5.
- Ng, K.-S., Moo, C.-S., Chen, Y.-P. and Hsieh, Y.-C. (2008). State-of-charge estimation for lead-acid batteries based on dynamic open-circuit voltage. 2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference, IEEE, 972-976.
- Park, H.-S., Kim, C.-E., Kim, C.-H., Moon, G.-W. and Lee, J.-H. 2009. A modularized charge equalizer for an HEV lithium-ion battery string. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56:5, 1464-1476.
- Pascual, C. and Krein, P. T. (1997). Switched capacitor system for automatic series battery equalization. Proceedings of APEC 97-Applied Power Electronics Conference, IEEE, 848-854.
- Phung, T. H., Collet, A. and Crebier, J.-C. 2013. An optimized topology for next-to-next balancing of series-connected lithium-ion cells. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 29:9, 4603-4613.
- Pop, V., Bergveld, H., Notten, P., het Veld, J. O. and Regtien, P. P. 2009. Accuracy analysis of the State-of-Charge and remaining run-time determination for lithium-ion batteries. *Measurement*, 42:8, 1131-1138.
- Porpora, F., Abronzini, U., Attaianese, C., Di Monaco, M. and Tomasso, G. (2019). Real time balancing for modular passive battery management system. PCIM Europe 2019; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, VDE, 1-6.
- Prajapati, V., Hess, H., William, E. J., Gupta, V., Huff, M., Manic, M., Rufus, F., Thakker, A. and Govar, J. (2011). A literature review of state of-charge estimation techniques applicable to lithium poly-carbon monofluoride (LI/CFx) battery. India International Conference on Power Electronics 2010 (IICPE2010), IEEE, 1-8.
- Rahimi-Eichi, H., Ojha, U., Baronti, F. and Chow, M.-Y. 2013. Battery management system: An overview of its application in the smart grid and electric vehicles. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 7:2, 4-16.
- Ran, L., Junfeng, W., Haiying, W. and Gechen, L. (2010). Prediction of state of charge of lithium-ion rechargeable battery with electrochemical impedance

- spectroscopy theory. 2010 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, IEEE, 684-688.
- Rao, R., Vrudhula, S. and Rakhmatov, D. N. 2003. Battery modeling for energy aware system design. *Computer*, 36:12, 77-87.
- Ravi, D., Reddy, B. M., Shimi, S. and Samuel, P. 2018. Bidirectional dc to dc Converters: An Overview of Various Topologies, Switching Schemes and Control Techniques. *International Journal of Engineering and Technology*, 7:4.5.
- Rezvanizani, S. M., Liu, Z., Chen, Y. and Lee, J. 2014. Review and recent advances in battery health monitoring and prognostics technologies for electric vehicle (EV) safety and mobility. *Journal of Power Sources*, 256, 110-124.
- Richardson, D. B. 2013. Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 247-254.
- Rivera-Barrera, J. P., Muñoz-Galeano, N. and Sarmiento-Maldonado, H. O. 2017. SoC estimation for lithium-ion batteries: Review and future challenges. *Electronics*, 6:4, 102.
- Rodrigues, S., Munichandraiah, N. and Shukla, A. 2000. A review of state-of-charge indication of batteries by means of ac impedance measurements. *Journal of Power Sources*, 87:1-2, 12-20.
- Sadek, S. 2016. Power Electronic Converter Topologies used in Electric Vehicles. Doctoral Dissertation, Ain Shams University Faculty of Engineering, 76, Cairo, Egypt.
- Sarı Kurt, T. (2017). Batarya Yönetim Sistemleri - TÜBİTAK Efficiency Challenge. <https://challenge.tubitak.gov.tr/assets/batarya-yonetim-sistemleri.pdf> (Erişim tarihi: 10.10.2019)
- Sato, S. and Kawamura, A. (2002). A new estimation method of state of charge using terminal voltage and internal resistance for lead acid battery. Proceedings of the Power Conversion Conference-Osaka 2002 (Cat. No. 02TH8579), IEEE, 565-570.
- Sbordone, D., Bertini, I., Di Pietra, B., Falvo, M. C., Genovese, A. and Martirano, L. 2015. EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm. *Electric Power Systems Research*, 120, 96-108.
- Schaltz, E. and Rasmussen, P. O. (2008). Design and comparison of power systems for a fuel cell hybrid electric vehicle. 2008 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, IEEE, 1-8.
- Scrosati, B., Garche, J. and Tillmetz, W. 2015. *Advances in battery technologies for electric vehicles*. Woodhead Publishing,
- Sepasi, S. 2014. Adaptive state of charge estimation for battery packs. Doctoral Dissertation, University of Hawai'i at Mānoa Mechanical Engineering, 133, United States.

- Shin, J.-W., Seo, G.-S., Chun, C.-Y. and Cho, B.-H. (2010). Selective flyback balancing circuit with improved balancing speed for series connected lithium-ion batteries. The 2010 International Power Electronics Conference-ECCE ASIA-, IEEE, 1180-1184.
- Singh, P. and Nallanchakravarthula, A. (2005). Fuzzy logic modeling of unmanned surface vehicle (USV) hybrid power system. Proceedings of the 13th International Conference on, Intelligent Systems Application to Power Systems, IEEE, 7 pp.
- Soydaş, Ş. 2015. Lityum tabanlı batarya paketleri için batarya yönetim sistemi tasarımı. Yüksek Lisans, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 112, Karabük.
- Speltino, C., Stefanopoulou, A. and Fiengo, G. (2010). Cell equalization in battery stacks through state of charge estimation polling. Proceedings of the 2010 American Control Conference, IEEE, 5050-5055.
- Stuart, T. A. and Zhu, W. 2009. Fast equalization for large lithium ion batteries. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 24:7, 27-31.
- Tie, S. F. and Tan, C. W. 2013. A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 82-102.
- Tingting, D., Jun, L., Fuquan, Z., Yi, Y. and Qiqian, J. (2011). Analysis on the influence of measurement error on state of charge estimation of LiFePO<sub>4</sub> power Battery. 2011 International Conference on Materials for Renewable Energy & Environment, IEEE, 644-649.
- TUM (2019). How does Rising Internal Resistance affect Performance? [https://batteryuniversity.com/learn/article/rising\\_internal\\_resistance](https://batteryuniversity.com/learn/article/rising_internal_resistance) (Erişim tarihi: 10.10.2019)
- Turğut, M. 2018. Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı ve geliştirilmesi. Yüksek Lisans, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü / Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 121, Karabük.
- Waag, W., Fleischer, C. and Sauer, D. U. 2014. Critical review of the methods for monitoring of lithium-ion batteries in electric and hybrid vehicles. *Journal of Power Sources*, 258, 321-339.
- Wang, F., Xu, J. and Wang, B. (2006). Comparison study of switching DC-DC converter control techniques. 2006 International Conference on Communications, Circuits and Systems, IEEE, 2713-2717.
- Wang, J., Cao, B., Chen, Q. and Wang, F. 2007. Combined state of charge estimator for electric vehicle battery pack. *Control Engineering Practice*, 15:12, 1569-1576.
- Wang, Q., Jiang, B., Li, B. and Yan, Y. 2016. A critical review of thermal management models and solutions of lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 106-128.
- Watrin, N., Blunier, B. and Miraoui, A. (2012a). Review of adaptive systems for lithium batteries state-of-charge and state-of-health estimation. 2012 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), IEEE, 1-6.

- Watrín, N., Roche, R., Ostermann, H., Blunier, B. and Miraoui, A. 2012b. Multiphysical lithium-based battery model for use in state-of-charge determination. *IEEE transactions on Vehicular Technology*, 61:8, 3420-3429.
- Xu, D., Wang, L. and Yang, J. (2010). Research on li-ion battery management system. 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering, IEEE, 4106-4109.
- Yong, J. Y., Ramachandaramurthy, V. K., Tan, K. M. and Mithulananthan, N. 2015. A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 365-385.
- Zhang, C., Li, K., Mcloone, S. and Yang, Z. (2014). Battery modelling methods for electric vehicles-A review. 2014 European Control Conference (ECC), IEEE, 2673-2678.



## EK 1 BYS PROGRAM KODU

```
void loop()
{

    if (ilk == 0)
        digitalWrite(PA11, HIGH);    // BATARYALARA ENERJİ GİRİŞ ÇIKIŞ KAPALI

    // MUXLARIN AKTİF EDİLMESİ
    digitalWrite(PB1 ,LOW);
    digitalWrite(PA2 ,LOW);

    // ANALOG DEĞERLERİN OKUNMASI
    digitalWrite(PA4, LOW);    digitalWrite(PA5, LOW);    digitalWrite(PA3, LOW);
    digitalWrite(PB0, LOW);    //1.OKUMA
    delay(30);
    bat1=analogRead(PA7);
    bat13=analogRead(PA6);

    digitalWrite(PA4, HIGH);    digitalWrite(PA5, LOW);    digitalWrite(PA3, LOW);
    digitalWrite(PB0, LOW);    //2.OKUMA
    delay(30);
    bat2=analogRead(PA7);
    bat14=analogRead(PA6);

    digitalWrite(PA4, LOW);    digitalWrite(PA5, HIGH);    digitalWrite(PA3, LOW);
    digitalWrite(PB0, LOW);    //3.OKUMA
    delay(30);
    bat3=analogRead(PA7);
    bat15=analogRead(PA6);

    digitalWrite(PA4, HIGH);    digitalWrite(PA5, HIGH);    digitalWrite(PA3, LOW);
    digitalWrite(PB0, LOW);    //4.OKUMA
    delay(30);
    bat4=analogRead(PA7);
    bat16=analogRead(PA6);

    digitalWrite(PA4, LOW);    digitalWrite(PA5, LOW);    digitalWrite(PA3, HIGH);
    digitalWrite(PB0, LOW);    // 5.OKUMA
    delay(30);
    bat5=analogRead(PA7);
    bat17=analogRead(PA6);

    digitalWrite(PA4, HIGH);    digitalWrite(PA5, LOW);    digitalWrite(PA3, HIGH);
    digitalWrite(PB0, LOW);    //6.OKUMA
    delay(30);
    bat6=analogRead(PA7);
    bat18=analogRead(PA6);

    digitalWrite(PA4, LOW);    digitalWrite(PA5, HIGH);    digitalWrite(PA3, HIGH);
    digitalWrite(PB0, LOW);    //7.OKUMA
```



```

delay(30);
bat7=analogRead(PA7);
bat19=analogRead(PA6);

digitalWrite(PA4, HIGH); digitalWrite(PA5, HIGH); digitalWrite(PA3, HIGH);
digitalWrite(PB0, LOW); //8.OKUMA
delay(30);
bat8=analogRead(PA7);
bat20=analogRead(PA6);

digitalWrite(PA4, LOW); digitalWrite(PA5, LOW); digitalWrite(PA3, LOW);
digitalWrite(PB0, HIGH); // 9.OKUMA
delay(30);
bat10=analogRead(PA7);
akim=analogRead(PA6);

digitalWrite(PA4, HIGH); digitalWrite(PA5, LOW); digitalWrite(PA3, LOW);
digitalWrite(PB0, HIGH); //10.OKUMA
delay(30);
bat9=analogRead(PA7);

digitalWrite(PA4, LOW); digitalWrite(PA5, HIGH); digitalWrite(PA3, LOW);
digitalWrite(PB0, HIGH); // 11.OKUMA
delay(30);
sicaklik1=analogRead(PA7);

digitalWrite(PA4, HIGH); digitalWrite(PA5, HIGH); digitalWrite(PA3, LOW);
digitalWrite(PB0, HIGH); //12.OKUMA
delay(30);
sicaklik2=analogRead(PA7);

digitalWrite(PA4, LOW); digitalWrite(PA5, LOW); digitalWrite(PA3, HIGH);
digitalWrite(PB0, HIGH); //13.OKUMA
delay(30);
sicaklik3=analogRead(PA7);

digitalWrite(PA4, HIGH); digitalWrite(PA5, LOW); digitalWrite(PA3, HIGH);
digitalWrite(PB0, HIGH); // 14.OKUMA
delay(30);
sicaklik4=analogRead(PA7);

digitalWrite(PA4, LOW); digitalWrite(PA5, HIGH); digitalWrite(PA3, HIGH);
digitalWrite(PB0, HIGH); //15.OKUMA
delay(30);
sicaklik5=analogRead(PA7);
bat11=analogRead(PA6);

digitalWrite(PA4, HIGH); digitalWrite(PA5, HIGH); digitalWrite(PA3, HIGH);
digitalWrite(PB0, HIGH); //16.OKUMA
delay(30);
bat12=analogRead(PA6);

// AKIMIN HESAPLANMASI(POZİTİF DOLMA - NEGATİF BOŞALMA)
float akim1=(akim*3.3)/4096;
float GercekAkim = (akim1-2.50)/0.066;

```

// SICAKLIK DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

Grup1 = (sicaklik1\*3.3)/4096;

Grup2 = (sicaklik2\*3.3)/4096;

Grup3 = (sicaklik3\*3.3)/4096;

Grup4 = (sicaklik4\*3.3)/4096;

Grup5 = (sicaklik5\*3.3)/4096;

float Temp1 = Grup1/0.01;

float Temp2 = Grup2/0.01;

float Temp3 = Grup3/0.01;

float Temp4 = Grup4/0.01;

float Temp5 = Grup5/0.01;

// BATARYA GERİLİMLERİNİN HESAPLANMASI

float Bat1Gerilim = ((bat1\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat2Gerilim = ((bat2\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat3Gerilim = ((bat3\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat4Gerilim = ((bat4\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat5Gerilim = ((bat5\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat6Gerilim = ((bat6\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat7Gerilim = ((bat7\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat8Gerilim = ((bat8\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat9Gerilim = ((bat9\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat10Gerilim = ((bat10\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat11Gerilim = ((bat11\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat12Gerilim = ((bat12\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat13Gerilim = ((bat13\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat14Gerilim = ((bat14\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat15Gerilim = ((bat15\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat16Gerilim = ((bat16\*3.3)/4096)\*22680/680;

float Bat17Gerilim = ((bat17\*3.3)/4096)\*26700/4700;

float Bat18Gerilim = ((bat18\*3.3)/4096)\*26700/4700;

float Bat19Gerilim = ((bat19\*3.3)/4096)\*32000/10000;

float Bat20Gerilim = ((bat20\*3.3)/4096)\*2;

Bat20VOLT = Bat20Gerilim;

Bat19VOLT = Bat19Gerilim - Bat20Gerilim;

Bat18VOLT = Bat18Gerilim - Bat19Gerilim;

Bat17VOLT = Bat17Gerilim - Bat18Gerilim;

Bat16VOLT = Bat16Gerilim - Bat17Gerilim;

Bat14VOLT = Bat14Gerilim - Bat15Gerilim;

Bat13VOLT = Bat13Gerilim - Bat14Gerilim;

Bat12VOLT = Bat12Gerilim - Bat13Gerilim;

Bat11VOLT = Bat11Gerilim - Bat12Gerilim;

Bat10VOLT = Bat10Gerilim - Bat11Gerilim;

Bat9VOLT = Bat9Gerilim - Bat10Gerilim;

Bat8VOLT = Bat8Gerilim - Bat9Gerilim;

Bat7VOLT = Bat7Gerilim - Bat8Gerilim;

Bat6VOLT = Bat6Gerilim - Bat7Gerilim;

Bat5VOLT = Bat5Gerilim - Bat6Gerilim;

Bat4VOLT = Bat4Gerilim - Bat5Gerilim;

Bat3VOLT = Bat3Gerilim - Bat4Gerilim;

Bat2VOLT = Bat2Gerilim - Bat3Gerilim;

Bat1VOLT = Bat1Gerilim - Bat2Gerilim;

```
float AnaGerilim = Bat1VOLT ;
float dizi[] = { Bat1VOLT , Bat2VOLT , Bat3VOLT , Bat4VOLT , Bat5VOLT ,
Bat6VOLT , Bat7VOLT , Bat8VOLT , Bat9VOLT , Bat10VOLT , Bat11VOLT ,
Bat12VOLT , Bat13VOLT , Bat14VOLT , Bat15VOLT , Bat16VOLT , Bat17VOLT ,
Bat18VOLT , Bat19VOLT , Bat20VOLT };
```

```
if (ilk == 0)
{
Batilk1 = Bat1VOLT;
Batilk2 = Bat2VOLT;
Batilk3 = Bat2VOLT;
Batilk4 = Bat4VOLT;
Batilk5 = Bat5VOLT;
Batilk6 = Bat6VOLT;
Batilk7 = Bat7VOLT;
Batilk9 = Bat9VOLT;
Batilk10 = Bat10VOLT;
Batilk11 = Bat11VOLT;
Batilk12 = Bat12VOLT;
Batilk13 = Bat13VOLT;
Batilk14 = Bat14VOLT;
Batilk15 = Bat15VOLT;
Batilk16 = Bat16VOLT;
Batilk17 = Bat17VOLT;
Batilk18 = Bat18VOLT;
Batilk19 = Bat19VOLT;
Batilk20 = Bat20VOLT;
ilk=1;
}
```

```
// SOC HESAPLAMA
```

```
SOC1=(9.9622*pow(Bat1VOLT,5)-49.6198*pow(Bat1VOLT,4)
+31.0136*pow(Bat1VOLT,3)-53.4720*pow(Bat1VOLT,2)-103.1386*Bat1VOLT-18.3271)
/
(pow(Bat1VOLT,4)-7.2543*pow(Bat1VOLT,3)+15.4334*pow(Bat1VOLT,2)-
11.8796*Bat1VOLT+16.3099);
```

•  
•  
•  
•  
•

```
SOC20=(9.9622*pow(Bat20VOLT,5)-49.6198*pow(Bat20VOLT,4)
+31.0136*pow(Bat20VOLT,3)-53.4720*pow(Bat20VOLT,2)-103.1386*Bat20VOLT-
18.3271)
/
(pow(Bat20VOLT,4)-7.2543*pow(Bat20VOLT,3)+15.4334*pow(Bat20VOLT,2)-
11.8796*Bat20VOLT+16.3099);
```

```
// SICAKLIK SENSÖRLERİ 40 C'YI AŞARSA FAN ÇALIŞTIRILMASI
if (Temp1>40||Temp2>40||Temp3>40||Temp4>40||Temp5>40)
    {digitalWrite(PA12, HIGH);}
else
    {digitalWrite(PA12, LOW);}
```

```
//EN DÜŞÜK BATARYA GERİLİMİNİN BELİRLENMESİ
```

```
a = dizi[0];
for (int i=1; i<20; i++)
{
    if (a>dizi[i])
    {
        a= dizi[i];
    }
}
```

```
//BATARYALARIN GERİLİM FARKLARININ BELİRLENMESİ
```

```
float fark[20];
for (int k=0; k<20;k++)
{
    c=dizi[k];
    b = c - a;
    fark[k]=b;
}
```

```
//TÜM BATARYALAR 4.2 V OLURSA ROLE SINYALI VE Dengeleme Durdur
```

```
if (Bat1VOLT >=4.2 && Bat2VOLT>=4.2 && Bat3VOLT>=4.2 && Bat4VOLT>=4.2 &&
Bat5VOLT>=4.2 && Bat6VOLT>=4.2 && Bat7VOLT>=4.2 && Bat7VOLT>=4.2 &&
Bat8VOLT>=4.2 && Bat9VOLT>=4.2 && Bat10VOLT>=4.2 && Bat11VOLT>=4.2 &&
Bat12VOLT>=4.2 && Bat13VOLT>=4.2 && Bat14VOLT>=4.2 && Bat15VOLT>=4.2
&& Bat16VOLT>=4.2 && Bat17VOLT>=4.2 && Bat18VOLT>=4.2 &&
Bat19VOLT>=4.2 && Bat20VOLT>=4.2)
{
    digitalWrite(PA11, HIGH);
    digitalWrite(PA0, LOW);
    digitalWrite(PA1, LOW);
    digitalWrite(PA8, LOW);
    digitalWrite(PA9, LOW);
    digitalWrite(PA10, LOW);
    digitalWrite(PA15, LOW);
    digitalWrite(PB3, LOW);
    digitalWrite(PB4, LOW);
    digitalWrite(PB5, LOW);
    digitalWrite(PB6, LOW);
    digitalWrite(PB7, LOW);
    digitalWrite(PB8, LOW);
    digitalWrite(PB9, LOW);
    digitalWrite(PB12, LOW);
    digitalWrite(PB13, LOW);
    digitalWrite(PB14, LOW);
    digitalWrite(PB15, LOW);
    digitalWrite(PC13, LOW);
}
```

```

digitalWrite(PC14, LOW);
digitalWrite(PC15, LOW);
}
////BATARYALARDAN BİRİ 3.2 VOLT OLURSA ROLE SINYALI VE DENGEME
DURDUR
else if (Bat1VOLT <=3.2 || Bat2VOLT<=3.2 || Bat3VOLT<=3.2 || Bat4VOLT<=3.2 ||
Bat5VOLT<=3.2 || Bat6VOLT<=3.2 || Bat7VOLT<=3.2 || Bat7VOLT<=3.2 ||
Bat8VOLT<=3.2 || Bat9VOLT<=3.2 || Bat10VOLT<=3.2 || Bat11VOLT<=3.2 ||
Bat12VOLT<=3.2 || Bat13VOLT<=3.2 || Bat14VOLT<=3.2 || Bat15VOLT<=3.2 ||
Bat16VOLT<=3.2 || Bat17VOLT<=3.2 || Bat18VOLT<=3.2 || Bat19VOLT<=3.2 ||
Bat20VOLT<=3.2)
{
digitalWrite(PA11, HIGH);

digitalWrite(PA0, LOW);
digitalWrite(PA1, LOW);
digitalWrite(PA8, LOW);
digitalWrite(PA9, LOW);
digitalWrite(PA10, LOW);
digitalWrite(PA15, LOW);
digitalWrite(PB3, LOW);
digitalWrite(PB4, LOW);
digitalWrite(PB5, LOW);
digitalWrite(PB6, LOW);
digitalWrite(PB7, LOW);
digitalWrite(PB8, LOW);
digitalWrite(PB9, LOW);
digitalWrite(PB12, LOW);
digitalWrite(PB13, LOW);
digitalWrite(PB14, LOW);
digitalWrite(PB15, LOW);
digitalWrite(PC13, LOW);
digitalWrite(PC14, LOW);
digitalWrite(PC15, LOW);
}

//SICAKLIK 60 DERECE OLURSA ROLE SINYALI VE DENGEME DURDUR

else if (Temp1>60||Temp2>60||Temp3>60||Temp4>60||Temp5>60) {
digitalWrite(PA11, HIGH);
digitalWrite(PA0, LOW);
digitalWrite(PA1, LOW);
digitalWrite(PA8, LOW);
digitalWrite(PA9, LOW);
digitalWrite(PA10, LOW);
digitalWrite(PA15, LOW);
digitalWrite(PB3, LOW);
digitalWrite(PB4, LOW);
digitalWrite(PB5, LOW);
digitalWrite(PB6, LOW);
digitalWrite(PB7, LOW);
digitalWrite(PB8, LOW);
digitalWrite(PB9, LOW);
digitalWrite(PB12, LOW);
digitalWrite(PB13, LOW);

```

```

digitalWrite(PB14, LOW);
digitalWrite(PB15, LOW);
digitalWrite(PC13, LOW);
digitalWrite(PC14, LOW);
digitalWrite(PC15, LOW); }

else if (akim1<=2.50)
//DESARJ OLDUĞU İÇİN DENGELEME YAPILMAZ
{
digitalWrite(PB11,LOW);

if (ilk == 1)
{
float Bat1Rint = (Batilk1 - Bat1VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat2Rint = (Batilk2 - Bat2VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat3Rint = (Batilk3 - Bat3VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat4Rint = (Batilk4 - Bat4VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat5Rint = (Batilk5 - Bat5VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat6Rint = (Batilk6 - Bat6VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat7Rint = (Batilk7 - Bat7VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat8Rint = (Batilk8 - Bat8VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat9Rint = (Batilk9 - Bat9VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat10Rint = (Batilk10 - Bat10VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat11Rint = (Batilk11 - Bat11VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat12Rint = (Batilk12 - Bat12VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat13Rint = (Batilk13 - Bat13VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat14Rint = (Batilk14 - Bat14VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat15Rint = (Batilk15 - Bat15VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat16Rint = (Batilk16 - Bat16VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat17Rint = (Batilk17 - Bat17VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat18Rint = (Batilk18 - Bat18VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat19Rint = (Batilk19 - Bat19VOLT)/ abs(GercekAkim);
float Bat20Rint = (Batilk20 - Bat20VOLT)/ abs(GercekAkim);

float SOH1 = ((100*(BatEskiRint-Bat1Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH2 = ((100*(BatEskiRint-Bat2Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH3 = ((100*(BatEskiRint-Bat3Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH4 = ((100*(BatEskiRint-Bat4Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH5 = ((100*(BatEskiRint-Bat5Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH6 = ((100*(BatEskiRint-Bat6Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH7 = ((100*(BatEskiRint-Bat7Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH8 = ((100*(BatEskiRint-Bat8Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH9 = ((100*(BatEskiRint-Bat9Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH10 = ((100*(BatEskiRint-Bat10Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH11 = ((100*(BatEskiRint-Bat11Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH12 = ((100*(BatEskiRint-Bat12Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH13 = ((100*(BatEskiRint-Bat13Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH14 = ((100*(BatEskiRint-Bat14Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH15 = ((100*(BatEskiRint-Bat15Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH16 = ((100*(BatEskiRint-Bat16Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH17 = ((100*(BatEskiRint-Bat17Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH18 = ((100*(BatEskiRint-Bat18Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH19 = ((100*(BatEskiRint-Bat19Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
float SOH20 = ((100*(BatEskiRint-Bat20Rint))/ (BatEskiRint-BatYeniRint));
}
}

```

```

digitalWrite(PA0, LOW);
digitalWrite(PA1, LOW);
digitalWrite(PA8, LOW);
digitalWrite(PA9, LOW);
digitalWrite(PA10, LOW);
digitalWrite(PA15, LOW);
digitalWrite(PB3, LOW);
digitalWrite(PB4, LOW);
digitalWrite(PB5, LOW);
digitalWrite(PB6, LOW);
digitalWrite(PB7, LOW);
digitalWrite(PB8, LOW);
digitalWrite(PB9, LOW);
digitalWrite(PB12, LOW);
digitalWrite(PB13, LOW);
digitalWrite(PB14, LOW);
digitalWrite(PB15, LOW);
digitalWrite(PC13, LOW);
digitalWrite(PC14, LOW);
digitalWrite(PC15, LOW);
}
else
{
    digitalWrite(PB11,LOW);

```

//BELİRLENEN BATARYA FARK DEĞERLERİNE GÖRE DENGELEMENİN YAPILMASI

```

    if (fark[0]<0.05)
        {digitalWrite(PA8 ,LOW);}
    else
        { digitalWrite(PA8,HIGH);}
    if (fark[1]<0.05)
        { digitalWrite( PB15,LOW);}
    else
        { digitalWrite(PB15 ,HIGH);}
    if (fark[2]<0.05)
        { digitalWrite(PB13 ,LOW);}
    else
        { digitalWrite(PB13 ,HIGH); }
    if (fark[3]<0.05)
        { digitalWrite(PB14 ,LOW);}
    else
        { digitalWrite(PB14 ,HIGH); }
    if (fark[4]<0.05)
        { digitalWrite(PA9 ,LOW);}
    else
        {digitalWrite( PA9,HIGH); }
    if (fark[5]<0.05)
        { digitalWrite(PB12 ,LOW);}
    else
        { digitalWrite(PB12 ,HIGH); }
    if (fark[6]<0.05)
        { digitalWrite(PA15 ,LOW);}
    else

```

```

        {digitalWrite(PA15 ,HIGH); }
if (fark[7]<0.05)
    { digitalWrite(PA10 ,LOW);}
    else
        {digitalWrite(PA10 ,HIGH); }
if (fark[8]<0.05)
    { digitalWrite(PB4 ,LOW);}
    else
        {digitalWrite(PB4 ,HIGH); }
if (fark[9]<0.05)
    { digitalWrite( PB3,LOW);}
    else
        {digitalWrite(PB3 ,HIGH); }
if (fark[10]<0.05)
    { digitalWrite(PB6 ,LOW);}
    else
        {digitalWrite(PB6 ,HIGH); }
if (fark[11]<0.05)
    { digitalWrite(PB5 ,LOW);}
    else
        { digitalWrite(PB5 ,HIGH); }
if (fark[12]<0.05)
    { digitalWrite(PB8 ,LOW);}
    else
        {digitalWrite(PB8 ,HIGH); }
if (fark[13]<0.05)
    { digitalWrite(PB7 ,LOW);}
    else
        { digitalWrite(PB7 ,HIGH); }
if (fark[14]<0.05)
    { digitalWrite(PA1 ,LOW);}
    else
        { digitalWrite(PA1 ,HIGH); }
if (fark[15]<0.05)
    { digitalWrite(PB9 ,LOW );}
    else
        {digitalWrite(PB9 ,HIGH); }
if (fark[16]<0.05)
    { digitalWrite(PC15 ,LOW);}
    else
        {digitalWrite(PC15 ,HIGH); }
if (fark[17]<0.05)
    { digitalWrite(PA0 ,LOW);}
    else
        {digitalWrite(PA0 ,HIGH); }
if (fark[18]<0.05)
    { digitalWrite(PC13 ,LOW);}
    else
        { digitalWrite(PC13 ,HIGH); }
if (fark[19]<0.05)
    {digitalWrite(PC14 ,LOW);}
    else
        {digitalWrite(PC14 ,HIGH);}
}
}

```



// YÖNTEM 2 ÜST SINIR DENGELEME EK KOD KISIM

//

// BATARYA GERİLİMLERİ 4.2V OLUNCA DENGELEME YAPMA

```
if (Bat1VOLT<4.2)
{digitalWrite(PA8 ,LOW);}
else
{ digitalWrite(PA8,HIGH);}
if (Bat2VOLT<4.2)
{ digitalWrite( PB15,LOW);}
else
{ digitalWrite(PB15 ,HIGH);}
if (Bat3VOLT<4.2)
{ digitalWrite(PB13 ,LOW);}
else
{ digitalWrite(PB13 ,HIGH); }
if (Bat4VOLT<4.2)
{ digitalWrite(PB14 ,LOW);}
else
{ digitalWrite(PB14 ,HIGH); }
if (Bat5VOLT<4.2)
{ digitalWrite(PA9 ,LOW);}
else
{digitalWrite( PA9,HIGH); }
if (Bat6VOLT<4.2)
{ digitalWrite(PB12 ,LOW);}
else
{ digitalWrite(PB12 ,HIGH); }
if (Bat7VOLT<4.2)
{ digitalWrite(PA15 ,LOW);}
else
{digitalWrite(PA15 ,HIGH); }
if (Bat8VOLT<4.2)
{ digitalWrite(PA10 ,LOW);}
else
{digitalWrite(PA10 ,HIGH); }
if (Bat9VOLT<4.2)
{ digitalWrite(PB4 ,LOW);}
else
{digitalWrite(PB4 ,HIGH); }
if (Bat10VOLT<4.2)
{ digitalWrite( PB3,LOW);}
else
{digitalWrite(PB3 ,HIGH); }
if (Bat11VOLT<4.2)
{ digitalWrite(PB6 ,LOW);}
else
{digitalWrite(PB6 ,HIGH); }
if (Bat12VOLT<4.2)
{ digitalWrite(PB5 ,LOW);}
else
{ digitalWrite(PB5 ,HIGH); }
if (Bat13VOLT<4.2)
```



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burak BAYGÜNEŞ  
Doğum Yeri : Sivas  
Doğum Tarihi : 11.12.1987  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Özel Fatih Fen Lisesi (2004)  
Lisans : Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği (2015)

### Çalıştığı Kurum/Yıl

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Araştırma Görevlisi  
Mart 2016 – Halen

### Yayınlar

Aktaş M. ve **Baygüneş B.**, 2019. Sabit Mıknatıslı Senkron Motorun Moment ve Hız Tepkisinin Vektör Kontrolle İyileştirilmesi. I. Ulusal Mühendislikte Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi (BILMES), 29-30 Haziran, Nevşehir, Turkey.