

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYA
YÖNETİM SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ
VE ÖRNEK BİR BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

MEHMET GÜRGEN

KOCAELİ 2023

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYA
YÖNETİM SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ
VE ÖRNEK BİR BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

MEHMET GÜRGEN

Prof. Dr. Ercüment KARAKAŞ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Engin ÖZDEMİR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet UÇAR
Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 12.12.2023

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Mehmet GÜRGEN

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezimi aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Mehmet GÜRGEN

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, son zamanlarda ilgi odağı olan elektrikli araçlar ve bataryalarının yönetim sistemleri incelenmiş ve elektrikli araçlar için bir batarya yönetim sistemi tasarlanılmıştır. Tez çalışmam boyunca beni yönlendiren, desteğini esirgemeyen, lisans eğitimimizde de üzerimizde büyük emekleri olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Ercüment KARAKAŞ'a, tez konusu belirlememde ve sonrasında beni bu alanda çalışma yapmam için teşvik eden Doç. Dr. M. Zeki BİLGİN hocama ve tez yazımında bana kılavuzluk ederek yazmasına başlayamadığım tezime başlamamı sağlayan Öğr. Gör. Uğur YÜCEL hocama teşekkür ediyorum. Ayrıca yüksek lisans eğitimimden bu yana fedakarlıklarda bulunan ve beni sürekli destekleyen eşime minnetlerimi sunuyorum.

Aralık-2023

Mehmet GÜRGEN



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	ix
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Araştırmanın Konusu ve Önemi	1
1.2.Araştırmanın Amacı	2
1.3. Kaynak Araştırmaları	3
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR.....	6
2.1. Elektrikli Araçların Tarihçesi	6
2.1.1. Türkiye’de Elektrikli Araç Gelişimi	9
2.2. Araç Teknolojileri.....	11
2.2.1. İçten Yanmalı Motorlu Araçlar	11
2.2.2. Hibrit Elektrikli Araçlar	11
2.2.3. Tümü Elektrikli Araçlar	14
3. BATARYALAR.....	15
3.1. Batarya Teknolojileri	15
3.2. Elektrikli Araçlarda Yaygın Olarak Kullanılan Batarya Çeşitleri.....	16
3.2.1. Kurşun Asit Bataryalar (Pb)	17
3.2.2. Nikel Kadmiyum Bataryalar (Ni-Cd)	18
3.2.3. Nikel Metal Hidrat Bataryalar (Ni-MH).....	18
3.2.4. Lityum İyon Bataryalar (Li-ion)	19
3.2.5. Lityum Polimer Bataryalar (Li-Po)	20
3.2.6. Lityum Sülfür (Li-S) Bataryalar	20
3.2.7. Lityum Demir Fosfat Bataryalar (LiFePO ₄)	20
3.3. Bataryaların Karşılaştırılması	21
3.4. Batarya Şekilleri	23
4. BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİ	24
4.1. Batarya Yönetim Sistemi Görevleri	24
4.1.1 Batarya İzleme	24
4.1.2 Batarya Koruma	26
4.1.3. Şarj-Deşarj Yönetimi	26
4.1.4.Teşhis ve Kestirim	27
4.1.5. Veri Yönetme.....	29
4.2. Batarya Yönetim Sistemi Türleri.....	29
4.2.1. Merkezi Tip BYS.....	30
4.2.2. Modüler Tip BYS	30
4.2.3. Dağıtılmış Tip BYS	31
4.2.4. Ana Kart-Yardımcı Kart BYS	31
4.3. Batarya Hücre Gerilimleri Dengeleme Yöntemleri.....	32
4.3.1. Pasif Dengeleme	33

4.3.2. Aktif Dengeleme.....	34
4.3.3. Pasif Dengeleme ve Aktif Dengelemenin Karşılaştırılması	38
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
5.1. Tezin Amacı	39
5.2. Tasarım	39
5.2.1. Mikrodenetleyici.....	39
5.2.2. Tasarımda Kullanılan Li-ion Pil	40
5.2.3. Batarya Hücreleri Gerilimi Ölçümü	40
5.2.4. Batarya Dengeleme Devresi	42
5.2.5. Haberleşme	44
5.2.6. Batarya sıcaklık ölçümü	45
5.2.7. Pil Soğutucu Fan.....	47
5.2.8. Akım Ölçümü	48
5.2.9. BYS Ana Devre Şeması.....	49
5.2.10. BYS Akış Şeması	51
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	52
7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR.....	67
EKLER	70
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Ernst Werner von Siemens'in elektrikli aracı Elektromote.....	6
Şekil 2.2.	Morris ve Salomon'un elektrikli aracı Electrobats	7
Şekil 2.3.	New York'taki ilk elektrikli ticari taksi	7
Şekil 2.4.	TOGG'un diğer rakipleri olan elektrikli araçlarla kıyası	10
Şekil 2.5.	Araç teknolojileri.....	11
Şekil 2.6.	İYM aracın şeması.....	11
Şekil 2.7.	Seri hibrit elektrikli aracın şeması.....	12
Şekil 2.8.	Paralel hibrit elektrikli aracın şeması	12
Şekil 2.9.	Seri-paralel hibrit elektrikli aracın şeması.....	13
Şekil 2.10.	Kompleks HEA'ların şeması.....	14
Şekil 2.11.	Tümü elektrikli araçların şeması	14
Şekil 3.1.	Belli başlı pil çeşitleri.....	16
Şekil 3.2.	Batarya tipine göre enerji yoğunlukları.....	17
Şekil 3.4.	Ni-Cd batarya	18
Şekil 3.5.	Ni-MH batarya	18
Şekil 3.6.	Li-ion batarya	19
Şekil 3.7.	Li-Po batarya	20
Şekil 3.8.	Pil teknolojisi zaman çizelgesi	21
Şekil 3.9.	Batarya şekilleri	23
Şekil 4.1.	BYS'lerin görevleri	24
Şekil 4.2.	Lityum-İyon bataryaların güvenli çalışma aralığı	25
Şekil 4.3.	BYS'nin blok diyagramı	26
Şekil 4.4.	LIR18650 pilin şarj ve deşarj eğrisi	27
Şekil 4.5.	Bataryaların güvenli çalışma bölgesi	28
Şekil 4.6.	Merkezi tip BYS.....	30
Şekil 4.7.	Modüler tip BYS yapısı.....	30
Şekil 4.8.	Dağıtılmış tip BYS yapısı	31
Şekil 4.9.	Ana kart-yardımcı kat BYS yapısı	31
Şekil 4.10.	Batarya gerilimlerinin eşitlenmesi.....	32
Şekil 4.11.	Batarya dengeleme yöntemleri	33
Şekil 4.12.	Sabit dirençli pasif dengeleme	34
Şekil 4.13.	Anahtarlama dirençli pasif dengeleme yöntemi.....	34
Şekil 4.14.	Anahtarlama kapasitör şeması	35
Şekil 4.15.	Tek katlı anahtarlama kapasitör şeması	36
Şekil 4.16.	Çift katlı anahtarlama kapasitör şeması	36
Şekil 4.17.	Tek sarımlı transformatör şeması	37
Şekil 4.18.	Çok sarımlı transformatör yöntemi	38
Şekil 5.1.	Atmega 328P mikrodenetleyici	40
Şekil 5.2.	Panasonic CGR18650DA Li-ion pil hücresi	40
Şekil 5.3.	Op-Amp ile gerilim farkı alma devresi	41
Şekil 5.4.	LM358N Op-Amp ve pin yapısı	42
Şekil 5.5.	Batarya dengeleme devresi.....	42
Şekil 5.6.	PC817 optokuplör ve pin yapısı	43
Şekil 5.7.	BD243C tipi transistör	43
Şekil 5.8.	Dengeleme direnci.....	44
Şekil 5.9.	LCD ekran	44

Şekil 5.10.	LCD ve seri haberleşme ekranı	45
Şekil 5.11.	Kullanılan pilin sıcaklığa göre kapasite değişim grafiği	45
Şekil 5.12.	NTC bağlantı şeması	46
Şekil 5.13.	Batarya sıcaklık koruma devresi	47
Şekil 5.14.	Fan kontrol devresi	47
Şekil 5.15.	ACS712 akım sensörünün devreye bağlantı şeması	48
Şekil 5.16.	BYS ana devre şeması	49
Şekil 5.17.	BYS anakart baskı devre şeması	49
Şekil 5.18.	BYS ana kartının 3 boyutlu şeması	50
Şekil 5.19.	BYS ana kartı görüntüsü	50
Şekil 5.20.	BYS akış şeması	51
Şekil 6.1.	BYS genel yapısı	52
Şekil 6.2.	Birinci test sonuçları	53
Şekil 6.3.	İkinci test sonuçları	54
Şekil 6.4.	Üçüncü test sonuçları	54
Şekil 6.5.	Üçüncü test sonuçları	54
Şekil 6.6.	Maksimum gerilime göre şarj işlemi	55
Şekil 6.7.	Batarya doluluk testi görüntüsü	55
Şekil 6.8.	Maksimum gerilimde sistem koruma durumu	56
Şekil 6.9.	BYS sıcaklık testi	57
Şekil 6.10.	Sıcaklığa göre hat açma rölesinin ve soğutucu fanın konumları	58
Şekil 6.11.	Tasarlanan BYS'nin görüntüsü	59
Şekil 6.12.	Baz alına fark gerilim değeri	59
Şekil 6.13.	Seri haberleşme portundan ve LCD ekranından alınan bilgiler	60
Şekil 6.14.	Düşük fark geriliminde LCD ekrandan alınan bilgiler	60
Şekil 6.15.	Soğutucu fanın çalışması	61
Şekil 6.16.	BYS sıcaklık testi	61
Şekil 6.17.	Seri haberleşme ekranı	62
Şekil 6.18.	Şarj anında pillerin dengelenme grafiği	62
Şekil 6.19.	Şarj anındaki akım değişimi grafiği	63
Şekil 6.20.	Şarj anındaki batarya sıcaklık değişimi grafiği	64

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1.	EA’larda kullanılan batarya çeşitleri ve özellikleri.....	16
Tablo 3.2.	Yaygın kullanılan Lityum tabanlı pillerin özeti	21
Tablo 3.3.	Batarya türlerinin üstün ve zayıf olan yanları	22
Tablo 4.1.	BYS türlerinin üstün ve zayıf olan yönleri.....	32
Tablo 4.2.	Pasif ve aktif dengelemenin karşılaştırılması.....	38
Tablo 6.1.	Hücrelerin dengelenme durumları.....	55
Tablo 6.2.	Maksimum gerilimde sistem koruma durumu	56
Tablo 6.3.	Sıcaklığa göre hat açma rölesinin ve fanın durumları.....	57
Tablo 6.4.	Direnç değerlerine göre dengeleme akımlarının durumları	58
Tablo 6.5.	Simülasyonun ve gerçek sonuçların karşılaştırılması	64



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Amper
Ah	: Ampere Hour
C	: Kapasitans
H ₂ SO ₄	: Hidrojen Sülfür
I	: Akım (A)
I/O	: İntput/Output
Kg	: Kilogram
kW	: Kilo Watt
Li-ion	: Lityum İyon
Li-Po	: Lityum Polimer Bataryalar
Li-S	: Lityum sülfür
LiFePO ₄	: Lityum Demir Fosfat
mA	: Mili Amper
mAh	: Milli Ampere Hour
mV	: Mili Volt
Ni-Cd	: Nikel Kadmiyum
Ni-MH	: Nikel Metal Hidrat
Pb	: Kurşun
PbO ₂	: Kurşun Dioksit
Ni(OH) ₂	: Nikel hidroksit
NiOOH	: Nikel oksihidroksit
PbO ₂	: Kurşun dioksit
V	: Volt
°C	: Celsius
Ω	: Ohm

Kısaltmalar

ADC	: Analog to Digital Convertor (Analog Dijital Dönüştürücü)
BMS	: Battery Management System (Batarya Yönetim Sistemi)
BYS	: Batarya Yönetim Sistemi
CAN-Bus	: Control Area Network-Bus (Kontrol Alan Ağı)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
EA	: Elektrikli Araç
EV	: Electric Vehicle (Elektrikli Araç)
HEA	: Hibrit Elektrikli Araç
I ₂ C	: Inter-Integrated Circuit (Entegreler Arası Devre)
İYM	: İçten Yanmalı Motor
LCD	: Liquid Crystal Display (Sıvı Kristal Ekran)
MATLAB	: Matrix Laboratory (Matris Laboratuvarı)
NTC	: Negative Temperature Coefficient (Negatif Katsayılı Termistör)
SOC	: State of Charge (Batarya Kapasite Durumu)
SOH	: State of Health (Batarya Sağlık Durumu)
SOT	: State of temperature (Batarya Sıcaklık Durumu)
SPI	: Serial Peripheral Interface (Seri Çevresel Arayüz)
3S1P	: 3Seri 1Paralel

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE ÖRNEK BİR BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

ÖZET

Günümüzde fosil kaynakların aşırı tüketilmesi sonucunda insanlığı tehdit eden sera gazlarına karşı duyarlılığın artması, içten yanmalı motorların enerji kaynağı olan petrol rezervlerinin azalması, enerji fiyatlarındaki artış; enerji ve araç sektörünü yeni arayışlara sevk etmiştir. Bu arayış sonucunda da petrolün keşfinden önce üretilmeye başlanan, sonrasında ise içten yanmalı motorların bazı avantajlarından dolayı rafa kaldırılan elektrikli araçların tekrar ilgi odağı olmasına ve üzerinde yapılan çalışmaların her geçen gün daha da artmasına sebep olmuştur. Bundan dolayı elektrikli araç teknolojisi, içten yanmalı araç üreten firmaların odak noktası haline gelmiştir. Bu hızlı gelişmelerle enerji yönetiminin ve depolanmasının önem kazanması sonucu elektrikli araçların performansını doğrudan etkileyen bataryalar üzerinde yapılan çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Bu durumun sonucunda da elektrikli araçlarda Batarya Yönetim Sistemi (BYS) meydana gelmiştir.

Bu tez çalışmasında Elektrikli Araçlar (EA) ve EA'ların performansına doğrudan etki eden BYS tekniklerinden bahsedilecektir. Bataryalar, pil hücrelerinin seri-paralel bağlanmaları sonucu oluşur. Bunun için pil hücrelerinin gerilim değerlerinin dengeli olması gerekir. Şarj anında paralel bağlanan hücreler kendilerini dengelerken seri hücrelerde bataryanın performansına etki edecek kadar hücre gerilim değerlerinde dengesizlikler meydana gelir. Bu tez çalışmasında bu dengesizliğin önüne geçmek için batarya dengeleme yöntemlerinden pasif dengeleme yöntemiyle çalışan BYS tasarlanmıştır. Tasarımda, diğer pillere göre üstünlüklerinin çok olmasından dolayı EA'larda yaygınca kullanılan Lityum-İyon (Li-ion) teknolojiği piller kullanılmıştır. Tasarlanan mikroişlemci kontrollü BYS, bataryanın verimli ve güvenli çalışabilmesi için sıcaklık, akım, gerilim ve kapasite gibi değerleri takip etmektedir. BYS bu önemli bilgileri LCD ekran üzerinden dış dünyaya aktarmaktadır. Ayrıca bu verileri seri haberleşme portu üzerinden bilgisayara aktararak gerektiğinde işlenmesi için depolanmasını sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Batarya Dengeleme, Batarya Yönetim Sistemi, Elektrikli Araçlar, Lityum İyon Bataryalar, Pasif Dengeleme.

REVIEW OF BATTERY MANAGEMENT SYSTEMS USED IN ELECTRIC VEHICLES AND AN EXAMPLE BATTERY MANAGEMENT SYSTEM DESIGN

ABSTRACT

The contemporary landscape, shaped by an excess of fossil fuel consumption, heightened concerns over greenhouse gas emissions imperiling humanity, and the diminishing reservoirs of oil the primary fuel for internal combustion engines has propelled both the energy and automotive industries into uncharted territories. This quest has resurrected electric vehicles, once initiated prior to the oil boom but subsequently shelved due to certain advantages held by internal combustion engines. Now, these vehicles have regained prominence, triggering a surge in research and development. Consequently, the realm of electric vehicle technology has captured the attention of companies traditionally focused on internal combustion vehicles. With rapid advancements and the pivotal role of energy management and storage, extensive research into batteries the cornerstone of electric vehicle performance has surged. This momentum birthed the emergence of the Battery Management System (BMS) within electric vehicles.

This thesis delves into Electric Vehicles (EVs) and the techniques employed by BMS that directly impact their performance. Batteries are structured by interconnecting battery cells in series and parallel configurations, necessitating balanced voltage values across these cells. Although cells connected in parallel self regulate during charging, imbalances in cell voltage values, crucial to battery performance, arise within seriesconnected cells. This study, in a bid to rectify such imbalances, focuses on a BMS employing the passive balancing method one among several battery balancing methodologies. Leveraging the Lithium-Ion (Li-ion) technology widely favored in EVs for its myriad advantages this design focuses on microprocessor controlled BMS, meticulously monitoring temperature, current, voltage, and capacity. Such vigilance ensures the battery's efficient and safe operation. The Battery Management System (BMS) relays this critical information through an LCD screen, facilitating external access. Furthermore, it establishes a channel for data transfer to computers via serial communication ports, facilitating storage and processing as needed.

Keywords: Battery Balancing, Battery Management System, Electric Vehicles, Lithium Ion Batteries, Passive Balancing.

1. GİRİŞ

1.1.Araştırmanın Konusu ve Önemi

Tarih boyunca ulaşım, insanoğlunun hayatında çok önemli bir konuma sahiptir. Bu ulaşım tarihin belirli dönüm noktalarında değişim göstermektedir. Örneğin tekerleğin icadıyla at arabalarının gelişimi, buhar gücünün tespitiyle buharlı araçların keşfedilmesi, petrolün keşfiyle içten yanmalı motorların gelişimi, elektrik alanında çalışmalar sonucunda elektrik motorunun icadı ve dolayısıyla da elektrikli araçların üretilmesi diye sayabiliriz.

19. yy. sonlarına doğru içten yanmalı motorların keşfiyle otomobil sanayisi ve teknolojisi günümüze kadar sürekli gelişme kat etmiştir. Bir asırdan fazla da araçlar için içten yanmalı motorlar tahrik edici güç olarak konumunu korumuştur. Bu süreç içinde alternatif tahrik kaynaklarından elektrik motorlarının gelişmesi sonucu elektrikli araba çalışmaları da yapılmıştır lakin petrolün o dönemde ucuz olması, batarya ve yarı iletken teknolojilerinin yeterince gelişmemiş olması elektrikli araçları geri plana düşürmüştür.

Günümüzde fosil yakıtların çevreye zararlarının hat safhaya çıkması sonucu ve toplumda çevreye duyarlılığın artmasıyla alternatif temiz enerji kaynaklarına yöneliş olmuştur. Örneğin sadece Türkiye’de ulaşımdaki taşıtların 2000-2017 yılları arasındaki doğaya saldıgı sera gazı %132 oranında artış göstermiştir (Civelekoğlu ve Bıyık, 2018). Fosil yakıtların bu etkisini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinilmiştir. Dolayısıyla da enerji depolama önem kazanmıştır. Enerji depolamanın yaygınlaşmasıyla da sera etkilerini ortadan kaldıran, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltan, daha ekonomik ve sessiz bir ulaşım imkânı sağlayan elektrikli araçlar yaygınlaşmıştır (Richardson, 2013).

Elektrikli arabalar üzerine araştırma yapıldığında bu alandaki çalışmaların 19. yy. başlarına kadar gittiği görülmektedir. Elektrikli araçların tarihi gelişimleri hakkında ilerleyen konularda değinilecektir.

Elektrikli araçlar depo edilebilen yüksek enerji kaynağına ihtiyaç duyarlar. Bu enerji kaynağı küçük güçlü olan pil hücrelerinin kendi aralarında seri ve paralel bağlanmasıyla oluşan batarya paketinden elde edilir. Batarya paketlerinde genellikle, yüksek enerji

yoğunluğu, uzun ömürlü olması, anlık yüksek akım verebilmeleri, bakım gerektirmemeleri gibi üstün yanlarından dolayı Lityum-İyon türü olan bataryalar tercih edilir.

Her ne kadar kullanışlı bir batarya türü de olsa Lityum-İyon bataryaların uzun ömürlü olması için, performanslı çalışabilmesi için, zarar görmemesi için ve çevreye zarar vermemesi için sıcaklıkları, aşırı şarj ve aşırı deşarj gerilimlerinin takip edilmesi gerekir. Bataryalar bir gerilim kaynağına bağlandığında yapılarında kimyasal değişimler olur. Bu değişimler bataryaların ömürlerini azaltır. Bu durum bataryanın uygun şartlarda çalışması sağlanırsa uzatılabilir. Bundan dolayı aşırı şarja, aşırı deşarja ve aşırı sıcaklığa maruz kalan bataryanın, normal şartlarda çalışan bataryaya göre ömrünün az olmasına sebep olur (Hannan ve diğ., 2018). Bu gereklilikten dolayı bataryaları takip eden ve yöneten Batarya Yönetim Sistemi (BYS) doğmuştur.

BYS'lerin görevi sadece bunla da sınırlı değildir. Bataryalar kendi aralarında seri ve paralel bağlanan hücrelerden meydana geldiği için bu hücrelerinin her birinin gerilimlerinin aynı ya da istenilen tolerans aralığında olması gerekir. Bu gerilim değerlerinin farklı olması bazı pil hücrelerin fazla şarj olmasına sebep olduğu gibi bazı hücrelerin yeterince şarj olmamasına sebep olur. Bunun için batarya hücre dengelemesi de yapması gerekir.

BYS'lerin bir diğer görevi de bataryanın şarj durumu (SOC-State of Charge) ve sağlık durumudur (SOH-State of Health). Şarj durumunun tespit edilememesi bataryanın gereksiz yere enerjiye maruz kalmasına ve yük altında aşırı deşarj olmasına sebep olur. Bu durumda bataryanın sağlık durumuna etki ederek bataryaların bozulmasına veya kapasite kaybına sebep olur. Bataryanın SOC ve SOH değerleri doğrudan ölçülmeyen değerlerdir ama değişik yöntemlerle kestirilebilir. Bu konuya tezin ilerleyen aşamalarında ayrıntılı olarak tekrar değinilecektir.

1.2.Araştırmanın Amacı

BYS'lerin üç ana görevi mevcuttur. Bunlar;

1- Akım, gerilim ve sıcaklık ölçümlerinin yapılması sonucu verilerin toplanması,

- 2- Toplanan veriler sonucunda pil doluluk oranı, pil sağlık durumu, şarj durumunu kesme ya da başlatmaya karar vermenin yapılabilmesi,
- 3- Karar vermenin yapılabilmesi için bu verilerin işlenip hesaplanması gerekir.

Hesaplanan veriler sonucunda da koruma işlevini yerine getirerek bataryanın şarj anında aşırı şarj olmasını, deşarj anında ise aşırı deşarj olmasını, yüksek ya da kaçak akım çekilmesini ve düşük ya da yüksek sıcaklıklarda çalışmasını önlemektir. BYS'lerin bir diğer önemli görevi de bu veriler sonucunda hücrelerin doluluk oranlarını tespit edip dengelemektir (Hannan ve diğ., 2017).

Bu tezde BYS'nin toplaması gereken verileri nasıl topladığı ve nasıl kararlar alıp uyguladığı incelenerek bataryaların performanslarının arttırılmaları hedeflenmiştir. Mikrodenetleyici tabanlı özgün bir BYS tasarlayarak testleri yapılmıştır. Böylelikle yapılacak olan diğer çalışmalara yardımcı olarak BYS'lerin daha da geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

1.3. Kaynak Araştırmaları

Son zamanlarda elektrikli araçların bir asır önce olduğu gibi tekrar rağbet görmesi elektrikli araçlara ve batarya yönetim sistemlerine olan ilgiyi arttırmıştır. Bunun için de birçok yerli ve yabancı araştırmacının ve bilim insanının ilgisini çekmiş ve bu alanda çalışmalar yapmasına sebep olmuştur. Yapılan bu çalışmaların bazılarını aşağıda değinilmiştir.

Rigan'ın çalışmasında dokuz adet Li-ion pillerin pasif dengeleme yöntemiyle dengelenmesi ve yönetilmesi çalışması yapılmıştır. Çalışmada en yaygın kullanılan BYS çeşidi ana kart-yardımcı kat BYS kullanılmıştır. Ana kart ile yardımcı kart arasında haberleşme tekniklerinden SPI (Serial Peripheral Interface) protokolü tercih edilmiştir (Rigan, 2020).

Yong ve arkadaşları çalışmalarında, elektrikli arabalarda en çok tercih edilen pil çeşitlerini incelemiş ve karşılaştırmıştır. Ayrıca elektrikli arabaların günümüzde tekrar yaygınlaşması ve oluşturduğu avantajlara değinilmiştir (Yong ve diğ., 2015).

Soydaş, çalışmasında lityum batarya teknolojisini incelemiş ve verimliliği artırmak için dengeleme yöntemlerine göre en başarılı yöntem olan aktif dengeleme yöntemini kullanarak bir BYS tasarlamıştır. Bu tasarımda modüller arası iletişimde Can-Bus (Control Area Network-Bus) haberleşme protokolü kullanmıştır. Ayrıca aktif dengeleme yapan BYS ile bilgi simülasyon ortamında frekansları değiştirerek en verimli frekansı tespit etmiştir (Soydaş, 2015).

Kılıç, çalışmalarında bataryalarda olabilecek olumsuz durumları önlemek için bataryaların sıcaklık, gerilim ve akım değerlerini ölçüp hücrelerin dengelendiği bir BYS tasarlamıştır. Kılıç da çalışmalarında Can-Bus haberleşme tekniğini tercih etmiştir (Kılıç, 2016).

Daowd ve arkadaşları da yaptığı çalışmalarında, BYS'lerde dengelemenin önemini vurgulayıp dengeleme tekniklerine değinmiştir. MATLAB&Simulink programında yaptığı sistemin verimliliğini, dengeleme hızını inceleyip karşılaştırmalar yapmıştır (Daowd ve diğ., 2011)

Baygüneş, yaptığı çalışmasında 20 adet seri bağlı batarya hücrelerini kontrol ederek bir BYS tasarlamıştır. Bataryaların sıcaklık, akım ve gerilim değerlerini kontrol edip pasif dengeleme yöntemini uygulamıştır. Ulaştığı sonuçları aktif dengeleme ile kıyaslayıp çıkarımlarda bulunmuştur. Pasif dengelemenin veriminin düşük olması yanında maliyetinin az olduğuna karar verilecek yöntemin maliyet, verim, hız ve ilk kurulumundaki kolaylığa göre karar verilmesi gerektiğini vurgulamıştır (Baygüneş, 2019).

Gül çalışmasında, EA'larda kullanılan BYS'nin elektronik kartını tasarlamıştır. Oluşturduğu BYS kartını laboratuvar ortamında test etmiş ve test sonucunda kartın hedeflenen kriterleri sağladığını belirtmiştir. Tasarladığı kartın ölçme performansı, işlemcinin işlem kapasitesi bakımından gelişmiş bir BYS için uygun olduğunu belirtmiştir (Gül, 2018).

Andrea, BYS'leri ayrıntılı bir şekilde ele aldığı kitabında ideal bir BYS'nin görevlerini, türlerini ve yapım aşamalarını incelemiştir. Çalışmasında Li-ion bataryaları inceleyip bir BYS ile kontrol edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Çalışma, BYS'lerin konu edinildiği

ve teknik sorunları ve çözümlerini belirttiği alanında önemli bir kitaptır (Andrea, 2010).

Ekici çalışmasında, hibrit (melez) elektrikli araçların çeşitlerine, Li-ion pillerin yapılarına ve çeşitlerine değinmiştir. MATLAB simülasyon programı üzerinde BYS farklı batarya tiplerinde denenip testleri yapılmış. Ayrıca HEA (Hibrit Elektrikli Araç) modeli tasarlanmış ve gerçekleştirilen BYS bu tasarlama üzerinde denenip sonuçları incelenmiştir (Ekici, 2019).



2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

2.1. Elektrikli Araçların Tarihçesi

İlk Elektrikli Araç (EA) Hollanda'da 1835 yılında Profesör Stratingh tarafından üretilmiştir. Thomas Davenport ise ABD'de üç tekerlekli yol aracını 1834-1836 yılları arasında tasarlayıp geliştirmiştir. Bu tarihten 4 yıl kadar sonra Robert Davidson, Elektrikli Lokomotifini üretmiştir. (Ünlü ve diğ., 2003).

1835'te ilk Amerikan yapımı DC elektrik motorunun da mucidi Thomas Davenport, küçük ölçekli bir elektrikli araba yaptı. Thomas Davenport ve İskoçyalı Robert Davidson icat ettikleri arabada şarj edilemeyen bataryaları kullanmışlardı. Fransız Gaston Plante 1865'te daha iyi bir akümülatörü icat etti. Ama EA'ların pratik hale gelmesi için daha yüksek kapasiteli akülere ihtiyaç vardı. Bundan dolayı da Camille Faure 1881'de akümülatörü daha da geliştirdi (Bellis, 2021).

Ernst Werner von Siemens tarafından Berlin'de 1882 yılında Elektromote adındaki dünyanın ilk elektrikli trolleybüsünü üretilmiştir. Havayı hattan DC 550 V enerji alan bu araç, 2 adet 2.2 kW gücünde motor ile hareket ediyordu (Singh, 2013). Elektromote Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Ernst Werner von Siemens'in elektrikli aracı Elektromote (Singh, 2013)

19. yüzyılın sonlarına doğru 1895 yılında, Electric Carriage and Wagon Company şirketinin sahipleri Morris ve Salomon 2 koltuklu Electrobats isimli elektrikli aracı üretmişlerdir (Ünlü ve diğ., 2003). Morris ve Salomon'un elektrikli aracı Electrobats Şekil 2.2' de görülmektedir.



Şekil 2.2. Morris ve Salomon'un elektrikli aracı Electrobats (Ünlü ve diğ., 2003)

Elektrikli araçların taksi filosu olarak yani ilk ticari faaliyette kullanılmaları 1901 yılında New York Şehrinde Electric Carriage and Wagon Company tarafından gerçekleştirildi (Chan, 2012). İlk elektrikli ve ticari olarak kullanılan taksi Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. New York'taki ilk elektrikli ticari taksi (Chan, 2012)

1900 yılına gelindiğinde daha uzun mesafelere giden araba düşüncesi revaçta olunca French, 1903'te ise Krieger elektrikli-benzinli araba tasarımı yaparak ilk defa hibrit arabanın temelini atarak bir ilki denemiş ve başarmıştır. Yine aynı dönemlerde ise Ferdinand Porsche İçten Yanmalı Motor (İYM)'la elektrik motorunu aynı araba üzerinde birleştirerek Mixt Wagen adını verdiği İçten Yanmalı Motor tasarlamıştır. Bu araçta İYM, jeneratörü hareket ettirerek bataryaları şarj ettirmekte, bataryalar da elektrik motorunu çalıştırmaktadır (Ünlü ve diğ., 2003).

1900'lerin başında EA'lar rakiplerine göre daha avantajlıydılar. Benzinli arabalar gibi titreşim, duman ve gürültüye sahip değillerdi, el krankıyla çalıştırmak için uğraş gerektirmiyor ve vites değişimi gerekmiyordu. Yollar o zamanlar iyi gelişmediği için de menzilleri sınırlı olmasından dolayı EA'lar için avantajlı bir durumdu onun için birçok kişi tercih ediliyordu ve kullanım kolaylığı nedeniyle genellikle kadın sürücüler tercih ettiği için de “kadın otomobilleri” ismini de almıştı (Chan, 2012).

Elektrikli araçlarda bu çalışmalar sürerken, 1910'larda Henry Ford İYM'lerin seri üretimine geçmesi, 1912 yılında Charles Kettering tarafından bir marş motorunun icadı, 1920'lerde otoyolların genişlemesi, Teksas'ta petrolün bulunması ve büyük ölçekli üretimi İYM ile EA'ları daha yarışır hale getirdi (Chan, 2012). Bu dönemde İYM'lerin gelişmesiyle benzinli otomobillere talep artmıştır. Artan akaryakıt istasyonları ile ulaşım daha uzun mesafelere çıkınca da EA'lar kısa mesafe araçları ve düşük güçlü araçlar olarak kalmıştır. 1935 yılı sonrasında da yollar artık tamamen İYM'lere teslim olmuştur (Şenlik, 2015).

1960 yıllarından sonra İYM'lerden kaynaklanan egzoz emisyon sorunlarını azaltmak ve ithal petrole bağımlılığı önlemek için alternatif yakıtlı araçlara yönelindi ve elektrikli araçların tekrar üretilmesine yönelik girişim başladı (Bellis, 2021). Japonya hükümeti 1971-1976 yılları arasında otomobil firmalarına elektrikli araçlar üzerine çalışmalar yapmaları için maddi destek sağlamıştır (Şenlik, 2015).

1990'lı yıllardan sonra batarya teknolojileri gelişmeleriyle beraber bazı otomotiv firmaları elektrikli otomobiller için rekabet oluşturmaya başlamıştır. Bunlardan bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz. Peugeot -106 Electric, Honda-EV plus, Renault-ClioElectric, Daihatsu-Hiyet EV, Nissan-Hypermini ve Ford-Think City gibi EA

modellerini üretmeye başlamışlardır (Ünlü ve ark., 2003). Japon Otomotiv şirketi yine bu dönemde ilk ticari arabası olan Toyota Prius'u üretilip 18000 adet satmıştır (Yong ve diğ., 2015)

2000'li yıllara ulaşıldığında EA'larda gelişme ivmeli bir şekilde daha da artmış ve menzillerin arttırılmasına çalışılmıştır. Mesela 2003 yılında Tesla Motor firması kurulduktan sonra %100 elektrikli olan Tesla Roadster üzerinde çalışmalara başlayıp 2006 yılında tamamlanıp otomobil fuarında sergilenmiş ve diğer araç üreten firmalara EA üretiminde ilham olmuştur. Tesla Roadster tek bir şarjla yaklaşık 320 km menzile ulaşan Li-ion tabanlı ilk seri üretim araç olmuştur (Ekici, 2019).

2.1.1. Türkiye'de Elektrikli Araç Gelişimi

Türkiye'de EA üretimi, ihracatı ve satışı ilk olarak 2011'de başlamıştır. Ülkemizde üretim yapan bir otomobil firması ürettiği bu araçta aynı zamanda elektrik motoru olarak senkron motoru kullanarak frenleme yapıldığı durumlarda bu enerjinin tekrar şarj edilerek kullanılmasını da hedeflemiştir. Bu araba ortalama 7 saatlik bir şarjla 185 km yol katetmektedir (Şenlik, 2015).

Ülkemizde ilk yerli elektrikli aracın doğuşu, 2017 yılında TOBB genel kurulunda Cumhurbaşkanı Recep Tayyip Erdoğan'ın dile getirmesi sonucu ve Turkcell, BMC Otomobil, Anadolu Grubu, Kök Grubu ve Zorlu Grubu gibi şirketlerin bunu sahiplenmesi sonucu 5 Haziran 2018 yılında Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu yani kısaca TOGG Bursa ilimizde faaliyete geçmiş oldu (Bıktım, 2019).

TOGG, 29 Ekim 2022 tarihi itibarıyla banttan indirdiği ilk modelini 2023 yılının mart ayı sonunda da kullanıcılarıyla buluşturdu. TOGG'un 314 ve 523 km menzile sahip iki farklı batarya seçeneği mevcut olan modeli, 160 kW/218 Beygir Gücü ve 350 Nm tork üretebilmektedir. Bu model 52,4 kWh kapasiteye sahip bataryası 16,7 kWh/100 km enerji tüketimine sahipken, 88,5 kWh kapasiteye sahip diğer türünün tükettiği enerji değeri ise 16,9 kWh/100 km'dir (URL-1). Şekil 2.4'te TOGG'un diğer rakipleri olan bazı elektrikli araçlarla kıyası görülmektedir.



Togg ve Rakipleri...

	TOGG T10 X	G.Kore Markası	Çin Markası	Çin Markası
FİYAT	1.215.000 TL	1.399.000 TL	1.379.000 TL	1.753.858 TL
MENZİL	523 KM	460 KM	440 KM	425 KM
ŞARJ SÜRESİ	YÜZDE 20'DEN YÜZDE 80'E 28 DK	YÜZDE 10'DAN YÜZDE 80'E 65 DK	0'DAN YÜZDE 80'E 40 DAKİKA	YÜZDE 10'DAN YÜZDE 80'E 28 DAKİKA
0-100 KM	74 SANİYE	78 SANİYE	712 SANİYE	74 SANİYE
AZAMİ HIZ	185 KM/S	167 KM/S	175 KM/S	160 KM-s
AZAMİ GÜÇ	218 PS	204 PS	177 PS	231 PS
TORK	350 Nm	255 Nm	280 Nm	330 Nm
SES SİSTEMİ	12 hi-fi Hoparlör (470W)	6 HOPARLÖR	6 HOPARLÖR	13 hi-fi Hoparlör (600W)
RENK SEÇENEĞİ	6 RENK	8 RENK	5 RENK	8 RENK
ANAHTARSIZ GİRİŞ	VAR	VAR	VAR	VAR
EKRAN	UÇTAN UCA	10.25 inç	10.1 inç	12 inç
AKILLI ASİSTAN	VAR	VAR	VAR	VAR

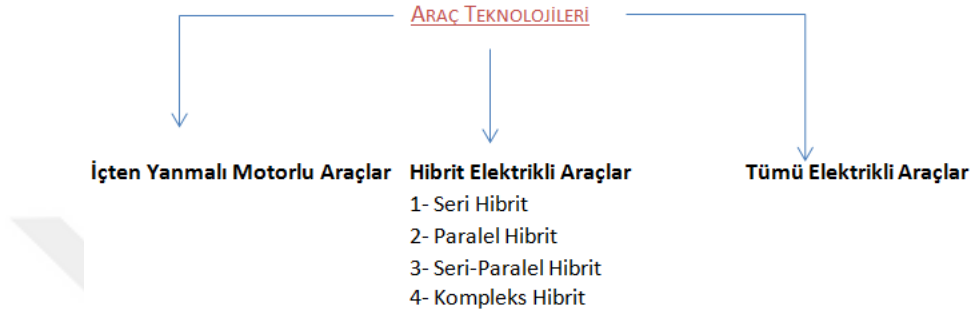
TRT HABER

Şekil 2.4. TOGG'un diğer rakipleri olan elektrikli araçlarla kıyası (URL-2)

Türkiye İstatistik Kurumu(TÜİK)'nin 2023 Şubat ayında yayınladığı Motorlu Kara Taşıtları hakkında veriler göre, şubat ayında trafiğe kayıtlı araçların %36,7'sini dizel, %34,8'ini LPG'li, %27'sini benzinli, %1'ini hibrit ve %0,1'ini elektrikli araçlar oluşturduğu görülmüştür. 2023 yılının Ocak ve Şubat aylarında Türkiye'de trafiğe katılan 128 bin 315 adet aracın ise %66,4'ü benzinli araç, %21,5'i dizel araç, %7,6'sı hibrit araç, %2,3'ü LPG'li araç ve %2,2'si elektrikli araç olarak belirtilmiştir (URL-3). Bu veriler ışığında yola çıkılırsa ülkemizde elektrikli araçların oranı her geçen gün daha da artmaktadır diyebiliriz.

2.2. Araç Teknolojileri

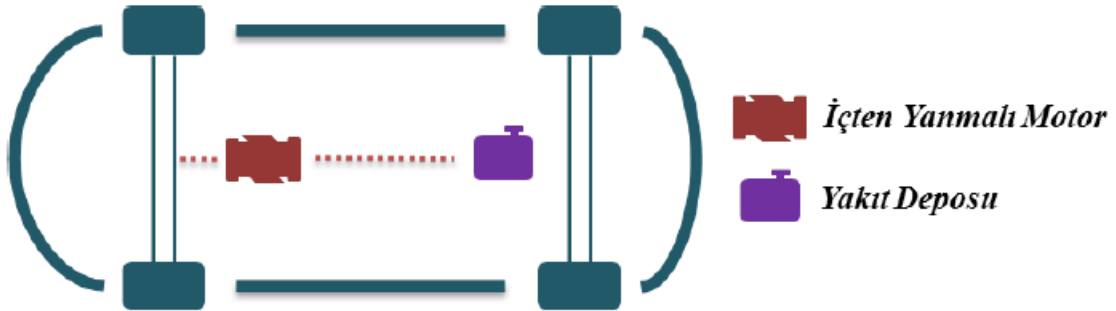
Araç teknolojileri tükettikleri enerji çeşidine ve dolayısıyla da bu enerjiyi dönüştürdüğü motorlarına göre Şekil 2.5'te görüldüğü gibi; İçten Yanmalı Motorlu Araçlar (İYM), Elektrikli Araçlar (EA) ve bu ikisinin birleşiminden olan Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA) diye üç kategoriye ayrılmışlardır (Tie ve Tan, 2013).



Şekil 2.5. Araç teknolojileri (Muratoğlu, 2017)

2.2.1. İçten Yanmalı Motorlu Araçlar

Bu araçların çalışmasında geleneksel fosil yakıt dediğimiz petrol türevleri dizel, benzin vb. yakıtlar kullanılır. Yakıt, İYM'de yakılarak oluşan enerji hareket enerjine dönüştürülüp tekerleğe aktarılır. Şekil 2.6'da aracın şeması verilmiştir.



Şekil 2.6. İYM aracın şeması (Muratoğlu, 2017)

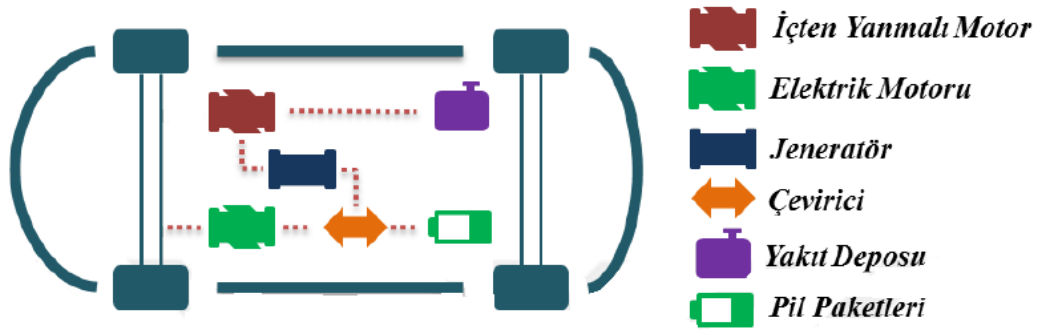
2.2.2. Hibrit Elektrikli Araçlar

Hibrit kelime anlamı olarak karma, birlikte vb. anlama gelmektedir. Adından da anlaşılacağı üzeri hibrit elektrikli araçlar tahrik gücü için elektrik motoru yanında İYM

de barındıran araçlardır. Yapı olarak bu araçlar seri, paralel, seri- paralel ve kompleks diye dört kategoriye ayrılmıştır (Muratoğlu, 2017).

2.2.2.1. Seri Hibrit Elektrikli Araçlar

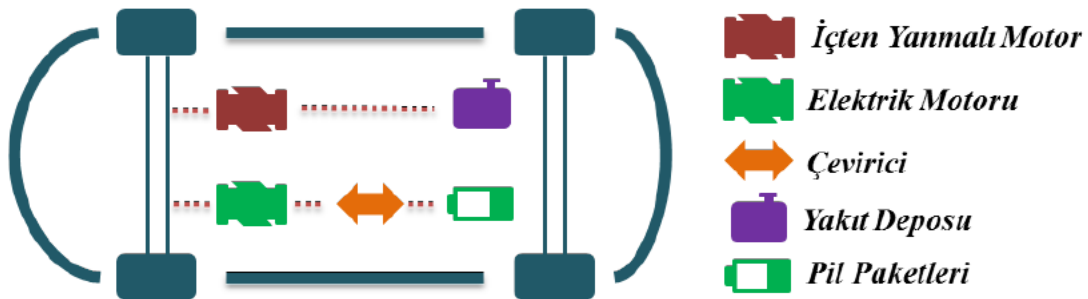
Seri HEA’larda jeneratör, İYM’lerin çalışması sonucu alınan hareket enerjisiyle elektrik enerjisi üretir. Üretilen bu enerjisi elektrik motorunu çalıştırırken aynı zamanda da bataryaların şarj olmasını sağlar (Baygüneş, 2019). Şekil 2.7’de seri hibrit elektrikli aracın şeması verilmiştir.



Şekil 2.7. Seri hibrit elektrikli aracın şeması (Muratoğlu, 2017)

2.2.2.2. Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar

Paralel HEA’lar, Şekil 2.8’de görüldüğü gibi tahrik hem İYM hem de elektrik motorlarıyla sağlanmaktadır.



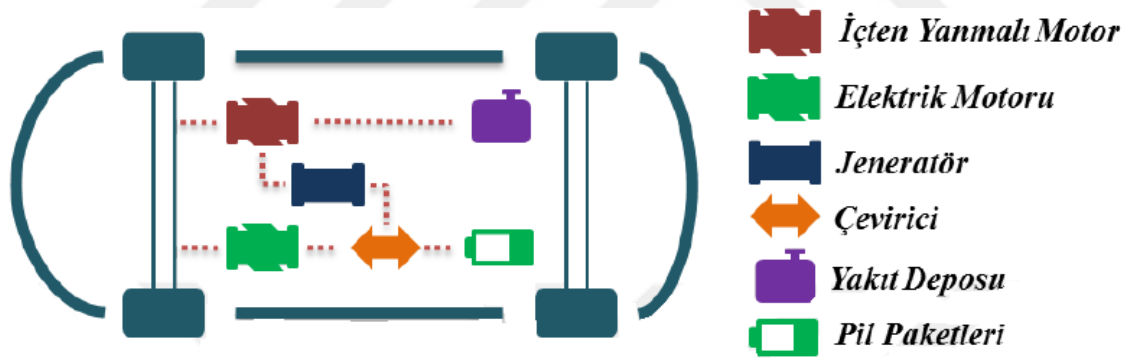
Şekil 2.8. Paralel hibrit elektrikli aracın şeması (Muratoğlu, 2017)

Paralel HEA’larda elektrik motoru ve İYM birbirinden bağımsız güç üreterek çalışmaktadırlar. Elektrik motorları bataryalardan beslenerek çalışırlar. İYM’ler ise yakıt deposundaki yakıtı yakarak oluşan kinetik enerjiyi aktarma organlarıyla tekerleğe

aktarır. Bu tip araçlarda elektrik motoru da olduğu için İYM'ler küçük güçlerde üretilir dolayısıyla da maliyet ve yerden tasarruf sağlanmış olur. Aynı zamanda İYM'ler inişlerde ve frenleme esnasında gereğinden fazla güç ürettiği esnada fazla enerji elektrik motorunu jeneratör gibi çalıştırdığı için enerjinin akülere aktarılmasını sağlayarak tasarruf sağlamış olur. Yani seri hibrit elektrikli araç gibi de çalışmış olur (Ekici, 2019).

2.2.2.3. Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Araçlar

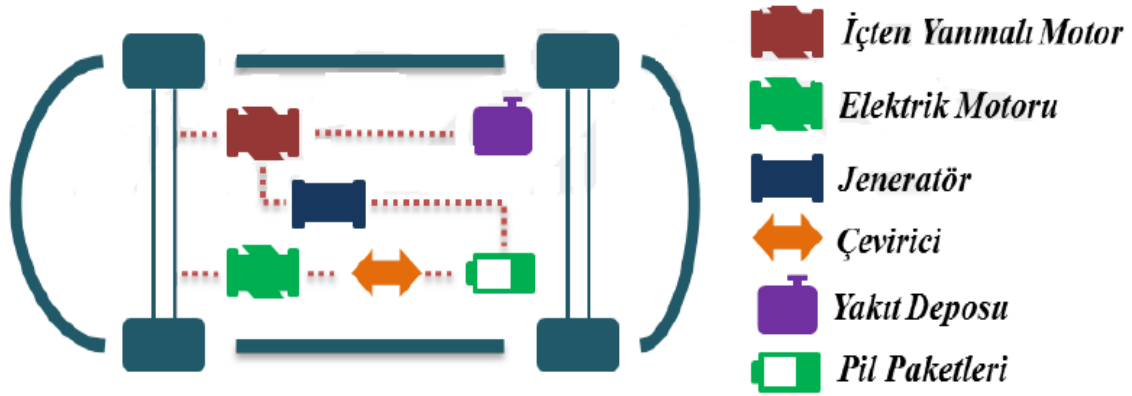
Seri-Paralel HEA, tasarım itibariyle daha çok paralel HEA'lara benzer. Elektrik motoru ve İYM direk tekerleğe bağlı olarak ve birbirinden bağımsızca güç aktarabilmektedir. Bu tasarımda aracın hızı düşükken araç seri hibrit gibi çalışabilirken hızın yükselmesinde ve torkun yüksek olması gereken durumlarda İYM devreye girerek istenilen enerji sağlanır. Buradaki amaç seri ve paralel tasarımın avantajlarını birleştirmektir (Ünlü ve diğ., 2003). Şekil 2.9'da da görüldüğü gibi tasarımın bir diğer avantajı bataryalar gerektiğinde İYM'den şarj olarak harici bir beslemeye gerek duymamasıdır.



Şekil 2.9. Seri-paralel hibrit elektrikli aracın şeması (Muratoğlu, 2017)

2.2.2.4. Kompleks Hibrit Elektrikli Araçlar

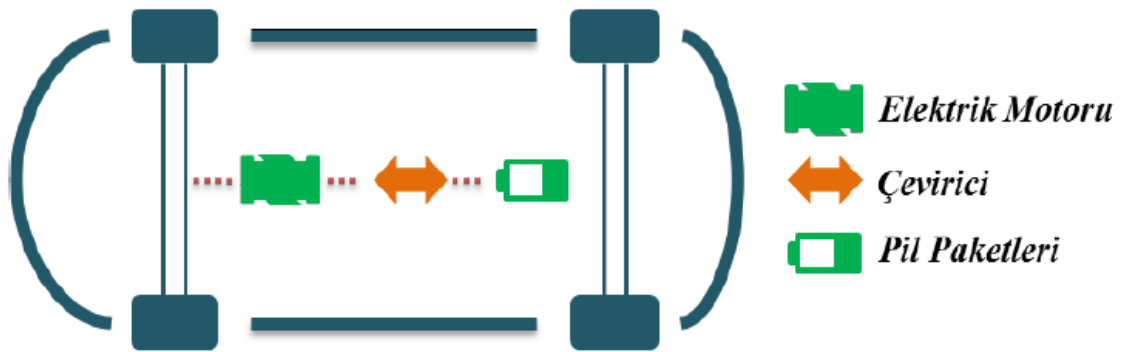
Kompleks HEA'ları, Seri-Paralel HEA'lardan ayıran tek farkı İYM'lerde aktarılan enerjinin kompleks olanda doğrudan elektrik motoruna aktarılamadan sadece bataryalara aktarılabilmesidir. Şekil 2.10'da Kompleks HEA'ların yapısı verilmiştir



Şekil 2.10. Kompleks HEA'ların şeması (Muratoğlu, 2017)

2.2.3. Tümü Elektrikli Araçlar

Tümü elektrikli araçlar, tahrik gücü için yakıt, İYM ve jeneratör bulundurmamak yerine sadece pil paketi ve elektrik motoru bulunduran araçlardır. Bundan dolayı çevreyi kirleten gaz salınımları yapmazlar ve sessiz çalışırlar. Frenleme gerektiğinde oluşacak ısı enerjisi elektrik motoruyla elektrik enerjisine dönüştürerek bataryayı şarj etmesi en avantajlı yanlarındandır. Bu şekilde yapılan rejeneratif frenleme aynı zamanda mekaniksel frenlemenin uzun ömürlü olmasını sağlar (Baygüneş, 2019). Taşıta hareket kazandıran şanzıman sistemi daha küçük olduğundan dolayı bakımları çok azdır. Yalnız menzillerinin az olması, şarj süresinin uzun olması ve menzil arttırmak için ek batarya gruplarının takviye edilmesinden dolayı ağırlıklarının artması bu araçların en olumsuz yanları olarak söylenebilir (Ünlü ve diğ., 2003).



Şekil 2.11. Tümü elektrikli araçların şeması (Muratoğlu, 2017)

3. BATARYALAR

Bataryalar, içerisinde bulunan değişik kimyasal maddelerden elektrik enerjisi oluşturan kaynaklardır. Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bataryalar, pil adını verdiğimiz küçük yapılardan oluşur. Pillerin seri ve paralel bağlanmaları sonucu da yüksek güçlerde ve değişik gerilim değerlerinde bataryalar üretilir.

Bu bölümde batarya terimlerine, batarya teknolojisine, batarya çeşitlerine, batarya şekillerine değinilecektir.

3.1. Batarya Teknolojileri

Batarya, birden fazla pil hücresinin bir araya gelerek oluşturdukları yapıya denir. Bataryalar, günlük kullandığımız elektronik araç gereçler, savunma ya da haberleşme gibi tüm elektronik ve teknolojik cihazlarda öneme sahip yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bunun en büyük sebebi bu cihazlar, bataryaların enerjilerini tüketmesinden sonra bataryaların tekrar şarj edilip tekrar kullanılabilmesidir. Bataryalar kullanım yerlerine ve kimyasal yapılarına göre göre iki grupta sınıflandırılır (Güngördü, 2022). Bunlar;

- Birincil (Primer) bataryalar: Tek kullanımlık, enerjileri bitince tekrar şarj olamayan bataryalardır.
- İkincil (Sekonder) bataryalar: Yapısı itibariyle enerjileri tükendiğinde ya da azaldığında tekrar şarj olmaya müsait olan bataryalardır.

Bataryalar hakkında bilinmesi gereken bazı bilgileri şu şekilde sıralayabiliriz (Avgın, 2012):

- Hücre: Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren en küçük yapıya denir
- Enerji yoğunluğu (Wh/L): Belirli bir hacimdeki bataryanın depo edebildiği enerji miktarıdır. Bu enerji birim hacime düşen watt-saat diye söylenebilir.
- Güç yoğunluğu (W/L): Birim hacime denk gelen gücün yoğunluk oranını gösterir.
- Anma kapasitesi (Ah): Bir bataryanın üretici tarafından belirtilen kapasitesidir. Amper-saat biriminden verilir.
- Özgül güç (W/kg): Belirli birime düşen güç yoğunluğu miktarıdır.

- Özgül enerji (Wh/kg): Belirli birime düşen enerji yoğunluğu miktarıdır.
- C oranı: Değişen şarj-deşarj durumunda pilin etkin çalışma süresini belirler. Örneğin 1 Ah kapasiteli tam şarj edilmiş bir pilin kapasitesi 1 C olarak ifade edilir. O vakit 1 saat boyunca 1 A akım sağlaması gerekir. 0,5 C’de 2 saat boyunca 500 mA akım sağlar ya da 2 C’de 30 dakika boyunca 2 A akım sağlar diye düşünebiliriz.
- Çevrim ömrü: Belirli bir kapasite oranı baz kabul edilerek sayılan şarj vedeşarj değeridir.

Şekil 3.1’de bazı pil çeşitlerin çeşitleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Belli başlı pil çeşitleri (Özer, 2021)

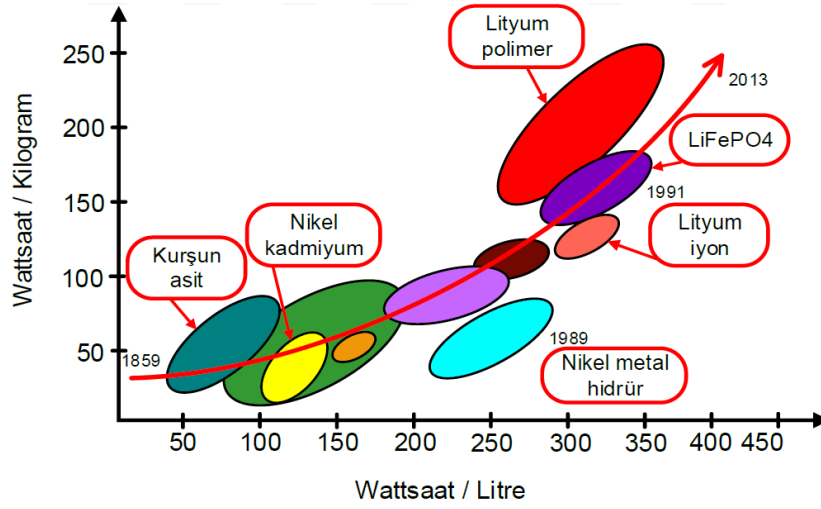
3.2. Elektrikli Araçlarda Yaygın Olarak Kullanılan Batarya Çeşitleri

Teknolojinin gelişmesiyle EA’larda kullanılan bataryaların enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu, güvenliği ve dayanıklılığı artmaktayken maliyetleri düşmektedir. Tablo 3.1’de EA’larda yaygın olarak kullanılan bataryaların çeşitleri ve özellikleri verilmiştir (Yong ve diğ., 2015).

Tablo 3.1. EA’larda kullanılan batarya çeşitleri ve özellikleri (Yong ve diğ., 2015)

Batarya Çeşitleri	Nominal Gerilim (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Çevrim Ömrü	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı (C°)
Kurşun-Asit	2	35	1000	Yok	-15, +50
Nikel Kadmiyum	1,2	50-80	2000	Var	-20, +50
Nikel Metal Hidrat	1,2	70-95	<3000	Nadir	-20, +60
Lityum İyon Batarya	3,6	118-250	2000	Yok	-20, +60
Lityum İyon Polimer	3,7	130-225	>1200	Yok	-20, +60
Lityum Sülfür	2,5	350-650	3000	Yok	-60, +70
Lityum Demir Fosfat	3,2	120	>2000	Yok	-45, +70

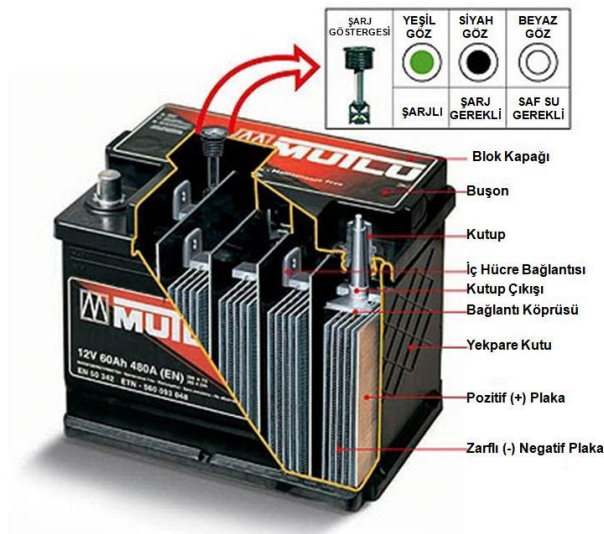
Bataryaların tipine göre enerji yoğunlukları Şekil 3.2’de verilmiştir (Kılıç, 2016)



Şekil 3.2. Batarya tipine göre enerji yoğunlukları (Kılıç, 2016)

3.2.1. Kurşun Asit Bataryalar (Pb)

Kurşun asit bataryalar ismini yapılarındaki artı elektrottaki kurşun dioksit (PbO_2) ve eksi elektrottaki kurşun ve elektroliz olan hidrojen sülfür (H_2SO_4)’den dolayı almışlardır. Pek çok alanda kullanım alanı bulmuş ilk keşfedilmiş bataryalardandır. Araçlarda akü olarak kullanılırlar. Uzun ömürlü olması, hafıza etkisinin olmaması ve ucuz olmaları en büyük avantajıyken; ağır olmaları nedeniyle enerji yoğunluklarının ve anma gerilimlerinin düşük olması en büyük dezavantajlarıdır (Yong ve diğ., 2015). Şekil 3.3’te kurşun-asit bataryanın yapısı görülmektedir.



Şekil 3.3. Kurşun asit bataryanın iç yapısı (URL-4)

3.2.2. Nikel Kadmiyum Bataryalar (Ni-Cd)

Nikel kadmiyum bataryalar ucuz olmalarının yanında güvenilirdir. Hafıza etkisi, öz boşalım, şarj-deşarj verimlerinin düşük olması eksi yanlarıdır (Yong ve diğ., 2015). Kurşun asit bataryalara göre daha fazla enerji yoğunluğuna sahip nikel kadmiyum bataryalar, 20 yıl kadar uzun raf ömürlerine de sahiptirler. Yaygın kullanıldığı yerler trenler, saatler, askeri cihazlar vb. yerlerdir (Ekici, 2019). Şekil 3.4'te Ni-Cd batarya görülmektedir.



Şekil 3.4. Ni-Cd batarya

3.2.3. Nikel Metal Hidrat Bataryalar (Ni-MH)

Ni-Cd bataryaların negatif yönlerini ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. Metal hidrat elektrotu, nikel kadmiyum elektrotu yerine kullanılmıştır. Enerji yoğunlukları fazla olduğu için Ni-MH bataryalar, Ni-Cd bataryaların yerini almıştır. Uzun sürede şarj olmalarının yanında öz boşalımının yüksek olması dezavantajlarıdır. (Yong ve diğ., 2015). Oyuncak, dizüstü bilgisayar, telefon, fotoğraf makinesi yaygın kullanıldığı yerlerdir. Şekil 3.5'te Ni-MH batarya görülmektedir.



Şekil 3.5. Ni-MH batarya

3.2.4. Lityum İyon Bataryalar (Li-ion)

Li-ion bataryalarda, pozitif elektrot olarak yüksek kapasiteli olduğu için ismini de buradan aldığı lityum metal oksitler kullanılır. Nikel tabanlı bataryalara göre anma gerilimlerinin yüksek olması ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması en avantajlı yönleridir (Yong ve diğ., 2015).

Li-ion bataryalar diğer bataryalar gibi fazla bakım gerektirmeyen bataryalardır. Nikel türü bataryalar gibi ömürleri uzun olması için periyodik olarak şarj-deşarj edilmelerine gerek yoktur ve çevreye en az zarar veren batarya türüdür. Güvenli olarak şarj veyadeşarj edilebilmeleri için BYS'ye ihtiyaç duyarlar. Saklama durumunda ömürlerinin uzun olabilmeleri için doluluk durumunun %40 seviyesinde olması istenilir. Akım kapasitesi 3 C olabildiği gibi en ideal değeri 1 C'dir. Onun için yüksek akım gerektiren devrelerde daha çok tercih edilir (Soydaş, 2015).

Li-ion bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna sahip olduğu için elektrikli arabalarda, taşınabilir elektronik aletlerde ve yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli bir şekilde depo edilmesinde çokça tercih edilir (Nitta ve diğ., 2015).

Li-ion bataryaların bazı zayıf yanları da vardır. Li-ion piller şu an için maliyetliyen her geçen gün ihtiyacının daha da artması lityum sıkıntısı doğurabilir ve dolayısıyla da bir gün talebe yetişemeyebilir. Ayrıca yaşlanma etkisi gösterdiği gibi sürekli kontrol istemesi ve kırılgan yapıda olması başka dezavantajlı yanlarıdır (Nitta ve diğ., 2015). Şekil 3.6'da Li-ion batarya görülmektedir.



Şekil 3.6. Li-ion batarya

3.2.5. Lityum Polimer Bataryalar (Li-Po)

Li-Po bataryalar yapı olarak Li-ion bataryalarla elektrolit olarak polimer malzemenin kullanımı dışında birbirlerine çok benzerlik gösterirler. Bundan dolayı Li-Po ismini alan bataryalar yapısındaki polimer malzemedan dolayı istenilen şekle sokulup değişik ebatlarda üretilmektedir (Yong ve diğ., 2015). Şekil 3.7’de Li-Po batarya görülmektedir.



Şekil 3.7. Li-Po batarya

3.2.6. Lityum Sülfür (Li-S) Bataryalar

Lityum türevi bataryalarda katot elektrotu olarak sülfürün kullanılmasında dolayı bu ismi alan Li-S bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna sahipken hücre gerilimleri düşük olan bataryalardır. (Yong ve diğ., 2015).

Kükürt elementinin doğada bol ve ucuz olması maliyetinin az olmasına sebep olduğu için ve enerji yoğunluğunun iyi olmasından dolayı elektrikli araçlarda kullanılmaya aday olmuştur (Ekici, 2019).

3.2.7. Lityum Demir Fosfat Bataryalar (LiFePO₄)

Lityum tabanlı LiFePO₄ bataryalar pozitif elektrotunda kullanılan demir fosfattan dolayı bu ismi alan bataryalar yüksek güvenlik, yüksek döngü ve yüksek yoğunluktan dolayı ön plana çıksa da Li-ion bataryalardan geride kalmaktadır (Yong ve diğ., 2015). Nominal gerilimi 3,3 V gerilime sahip LiFePO₄ bataryalar ısı kararlılığına sahip olması, zehirli madde içermemesi, karakteristiğinin güvenilir olması tercih edilmesini arttırmaktadır (Soydaş, 2015).

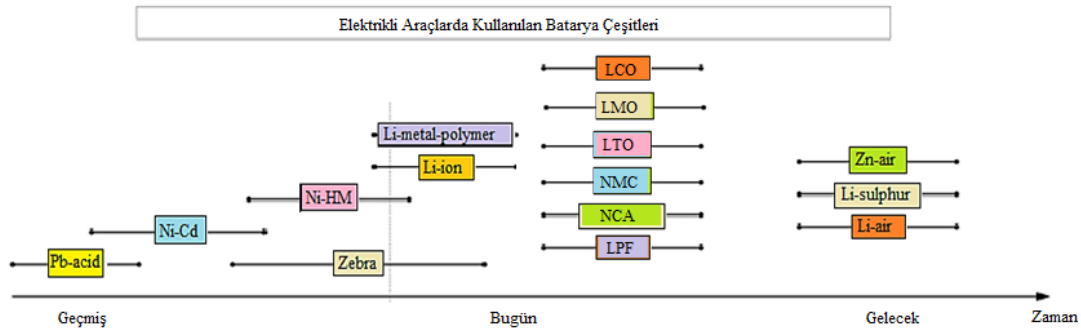
3.3. Bataryaların Karşılaştırılması

Yukarda anlatılan Lityum tabanlı bataryaların özelliklerine göre üstün ve zayıf olan yönleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir (Özcan, 2021).

Tablo 3.2. Yaygın kullanılan Lityum tabanlı pillerin özeti

Kimya	Lityum Kobalt Oksit	Lityum Manganez Oksit	Lityum Nikel Manganez Oksit	Lityum Demir Fosfat	Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit	Lityum Titanat Oksit
Kısaltma	LiCoO ₂ (LCO)	LiMn ₂ O ₄ (LMO)	LiNiMnCoO ₂ (NMC)	LiFePO ₄ (LPF)	LiNiCoAlO ₂ (NCA)	Li ₂ TiO ₃ (ortak) (LTO)
Nominal Voltaj	3,60 V	3,70 V (3,80 V)	3,60 V (3,70 V)	3,20V, 3,30 V	3,60 V	2,40 V
Tam Şarj	4,20 V	4,20 V	4,20 V (veya üstü)	3,65 V	4,20 V	2,85 V
Özgül Enerji	150-200 Wh/kg	100-150 Wh/kg	150-220 Wh/kg	90-120 Wh/kg	200-260 Wh/kg	70-80 Wh/kg
Şarj Oranı	0,7-1 C (3 saat)	0,7-1 C (3 saat)	0,7-1 C (3 saat)	1 C (3h)	1 C	1C (5C maks)
Deşarj Oranı	1 C (1 saat)	1 C, 10 C	1-2 C	1 C	1 C	10 C
Döngü Ömrü (İdeal)	500-1000	300-700	1000-2000	1000-2000	500	3.000-7.000
Kullanım Alanları	Cep Telefonları, Tabletler, Dizüstü Bilgisayarlar, Kameralar	Elektrikli Aletler, Tıbbi Cihazlar, Güç Aktarma Organları	E-Bisikletler, Tıbbi Cihazlar, Elektrikli Araçlar	Elektrikli Araçlar	Tıbbi, Endüstriyel, Elektrikli Araç (Tesla)	UPS, Elektrikli Araçlar, Güneş Sokak Aydınlatması
Üstün ve Zayıf Yönleri	Yüksek Enerji, Sınırlı Güç, Pazar Payı Durağan.	Yüksek Güç, Daha Az Kapasite, Li-Kobalttan Daha Güvenli, Performansı Artırmak için Genellikle NMC ile Karıştırılır.	Yüksek Kapasite ve Güç, Pazar Payı Artıyor.	Düz Deşarj Voltajı, Yüksek Güç, Düşük Kapasite, Çok Güvenli, Yüksek Kendi Kendine Deşarj.	Orta Güçte En Yüksek Kapasite, Li-Kobalt’a Benzer.	Uzun Ömür, Hızlı Şarj, Geniş Sıcaklık Aralığı, Güvenli, Düşük Kapasiteli, Pahalı.

Pil teknolojisinde pil çeşitlerinin, geçmişten günümüze gelişim aşaması ve günümüzden geleceğe revaçta olan pil çeşitleri Şekil 3.8’de verilmiştir (Yong ve diğ., 2015).



Şekil 3.8. Pil teknolojisi zaman çizelgesi

Tablo 3.3'te ise batarya türlerinin üstün ve zayıf olan yanları belirtilmiştir (Özcan, 2021).

Tablo 3.3. Batarya türlerinin üstün ve zayıf olan yanları

Pil Türleri	Üstün Yanları	Zayıf Yanları
Kurşun Asit (Pb-Asit)	-Düşük fiyat -Yüksek özgül güç	-Düşük özgül enerji -Kısa yaşam ömrü -Yüksek bakım maliyeti
Nikel-Kadmiyum (Ni-Cd)	-Yüksek hacimsel enerji yoğunluğu	-Geri dönüşüm maliyeti yüksek -Pahalı kadmiyum -Kadmiyumun zehirli madde olması -Çevreye zararlı -Hafıza etkisi
Nikel Metal Hidrit (Ni-MH)	-Yüksek enerji yoğunluğu -Güvenli -Uzun yaşam ömrü	-Yüksek fiyat -Kendi kendine deşarj yüksek -Hafıza etkisi
ZEBRA	-Yüksek sıcaklık aralığında çalışma -Yüksek özgül enerji	-Düşük özgül güç
Lityum-İyon (Li-İyon)	-Yüksek hacimsel enerji yoğunluğu -Yüksek özgül enerji ve özgül güç -Yüksek nominal voltaj	-Kullanım ömrü az -Güvenilirlik -Yüksek maliyet
Lityum-Demir Fosfat (LiFePO₄) (LFP)	-Yüksek çevrim ömrü -Yüksek özgül güç -Düşük maliyet -Uzun ömürlü	-Düşük özgül enerji
Lityum-Kobalt-Oksit (LiCoO₂) (LCO)	-Yüksek özgül enerji -Yüksek nominal voltaj	-Düşük güvenlik -Yüksek maliyet -Düşük yaşam ömrü
Lityum-Manganez-Oksit (LiMn₂O₄) (LMO)	-Yüksek nominal voltaj -Maliyet düşük	-Düşük çevrim ömrü
Lityum-Nikel-Kobalt-Alüminyum (NCA)	-Yüksek özgül enerji -Yüksek özgül güç	-Düşük çevrim ömrü -Düşük güvenlik -Yüksek maliyet
Lityum-Nikel-Manganez-Kobalt (NMC)	-Yüksek özgül enerji -Yüksek özgül güç Yüksek verimlilik	-Düşük kararlılık
Lityum-Titanat-Oksit (LTO)	-Yüksek özgül güç -Yüksek çevrim ömrü -Yüksek güvenlik	-Düşük özgül enerji -Düşük hacimsel enerji yoğunluğu -Yüksek maliyet
Çinko-Hava (Zn-Air)	-Yüksek özgül enerji -Yüksek hacimsel enerji yoğunluğu	-Düşük nominal voltaj -Düşük çevrim ömrü
Lityum-Kükürt (Li-S)	-Yüksek özgül enerji -Yüksek hacimsel enerji yoğunluğu -Geniş sıcaklık aralığında çalışma	-Düşük nominal voltaj -Yüksek kendi kendine deşarj oranı
Lityum-Hava (Li-Air)	-Yüksek teorik özgül enerji	-Düşük çevrim ömrü -Düşük güvenlik

3.4. Batarya Şekilleri

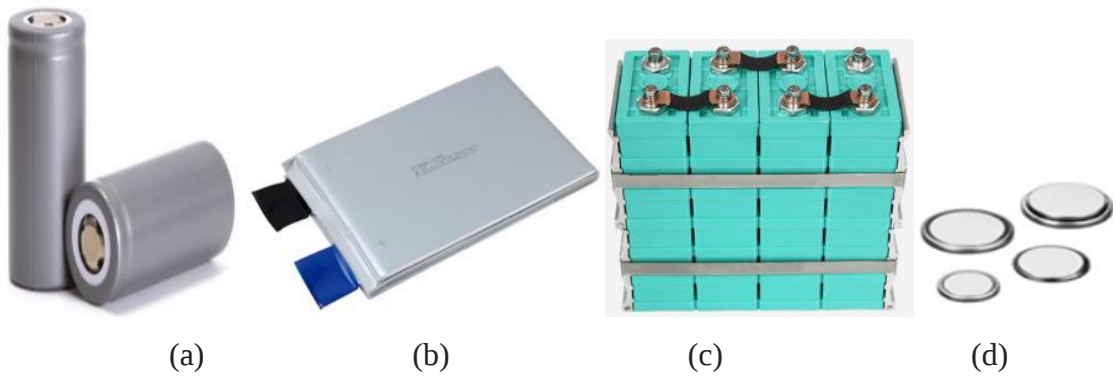
Bataryalar kullanıldığı yerlere göre; silindirik, prizmatik, kese ve düğme hücre olmak üzere 4 şekilde üretilir. Yapısı ve özellikleri aşağıda verilmiştir (Andrea, 2010).

Silindirik hücre: Silindirik yapıda üretilirler ve diğer batarya türlerine göre daha fazla alanda tercih edilmektedirler. Güvenli yapıda oldukları için silindirik hücreler, endüstriyel sektörlerde en çok tercih hücre çeşididir.

Prizmatik hücre: Kapasite ve şekillerinden dolayı enerjinin yoğun olarak ihtiyaç olduğu yerlerde tercih edilmektedirler. Genelde kutup başları vidalıdır ve yapısı gereği seri paralel bağlanmaya çok müsaittir.

Kese hücre: Alüminyum türevli bir kabın içinde anot, katot, seperatör ve elektrolitin yerleştirilmesiyle üretilmiştir. İnce oldukları için iç sıcaklık dağılımları iyidir. Bu tip hücreler, dış etmenlerden ve şarj-deşarj durumlarındaki ısınmalardan dolayı oluşabilecek patlamaları önlemek için kılıfları dayanıklı olmalıdır.

Düğme hücre: Küçük elektronik aletlerde ya da araçlar için üretilmişlerdir. Saat, hassas terazi, işitme cihazları gibi bazı mobil uygulamalarda kullanılır. Şekil 3.9’da batarya türlerinin görselleri verilmiştir.



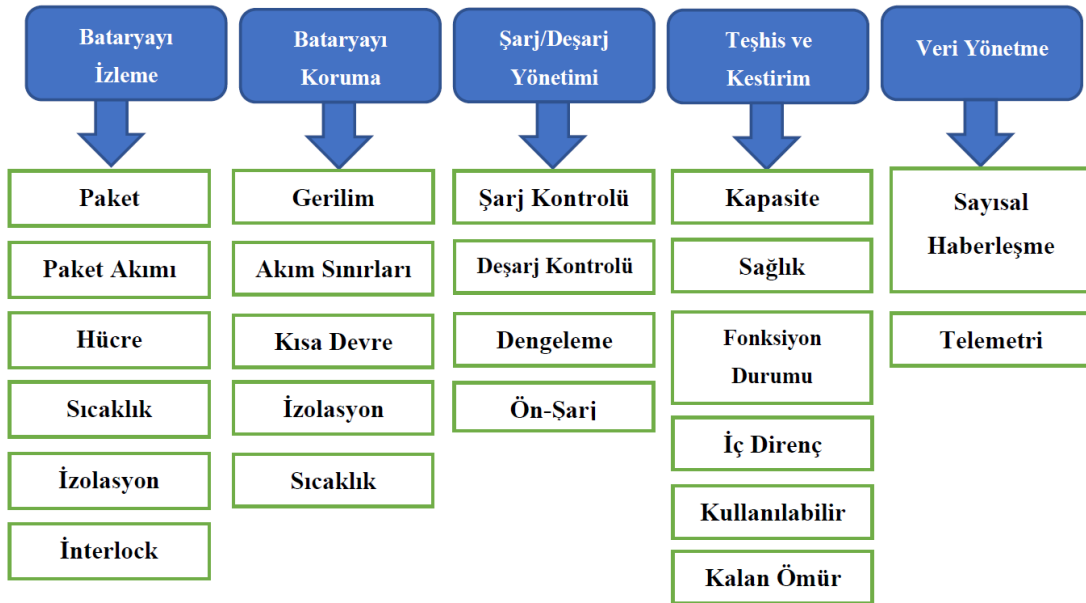
Şekil 3.9. Batarya şekilleri (a) silindirik, (b) kese, (c) prizmatik, (d) düğme tipi hücre

4. BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİ

Elektrikli araçlardaki bataryalar, pillerin seri ve paralel bağlanmaları sonucu oluşturulur. Bu seri paralel bağlı hücreler, bataryaların devrelerine verebileceği enerji, akım ve gerilim değerlerini belirler. Bu hücrelerin güvenli ve verimli çalışabilmeleri için BYS'lere ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için BYS'lerin, bataryaların verimli ve güvenli çalışması için bazı yönetmesi ve yapması gereken görevleri vardır. Bu başlıkta bu görevlerin ne olduğuna, BYS'lerin türlerine, bataryaların niçin dengelenmesi gerektiğine ve nasıl dengelendiğine değinilecektir.

4.1. Batarya Yönetim Sistemi Görevleri

Tasarlanan bir BYS görevleri yapılan tasarımın isteklerine değışse de bu görevleri beş ana kolda sınıflandırabiliriz. Bunları; izleme, teşhis ve kestirim, koruma, şarj-deşarj yönetimi ve veri yönetme diye sıralayabiliriz. Bu sınıflandırma Şekil 4.1'de belirtilmiştir (Andrea, 2010).



Şekil 4.1. BYS'lerin görevleri

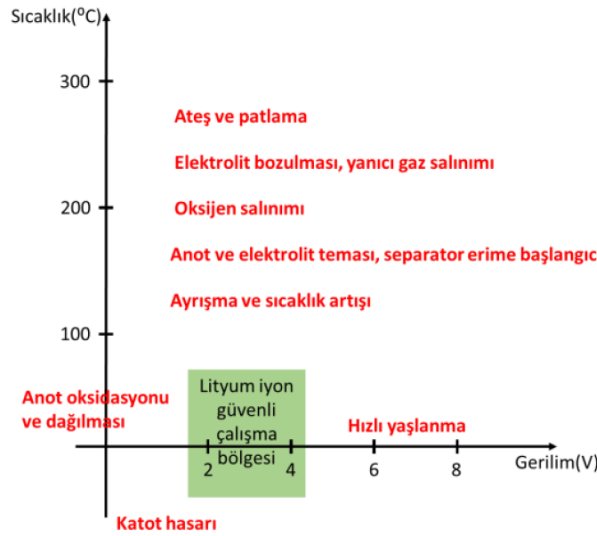
4.1.1 Batarya İzleme

Bir BYS'nin görevlerini yapabilmesi ve elinde işleyecek veri olması için ilk yapması gereken bataryayı izleme görevidir.

Bu görevleri şu şekilde sayabiliriz (Gül, 2018).

- Hücre gerilimi ölçümü
- Hücre ana kol akımı
- Batarya uç gerimi
- Ortamın ve hücrenin sıcaklığı
- Ortamın nemi
- Soğutma gazının sıcaklık seviyesi
- Bataryanın izolasyon değeri
- Kontak ve konnektörlerin konumu

BYS görevlerini başarıyla yerine getirebilmesi için ölçme işlemlerini doğru yapması gerekir. Örneğin gerilim ölçümü doğru yapılmazsa bataryanın güvenli çalışmasının dışına çıkılır ve batarya sistemi tehlike arz edebilir. Şekil 4.2’de araçlarda en çok kullanılan lityum-İyon bataryaların güvenli çalışma aralığı belirtilmiştir.



Şekil 4.2. Lityum-İyon bataryaların güvenli çalışma aralığı (Lu ve diğ., 2012)

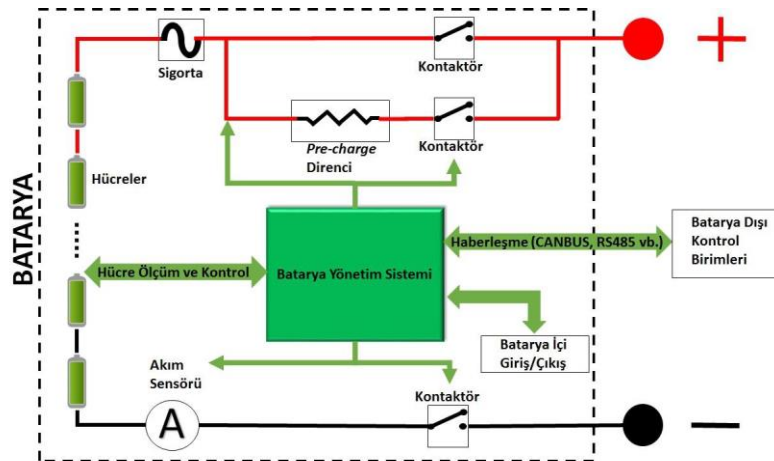
Kapasitenin ölçülebilmesi için gerilimin yanında akımın da bilinmesi gerektiği için akımın da doğru ölçülmesi gerekir. Akım geçen iletken veya pil ısınacağı için hücre sıcaklık değerleri bataryaların bazı noktalarından sürekli ölçülerek işlenmesi gerekir. Çünkü ısınan pil yalıtkanını eritip gövdeye kısa devre yapabilir. Ayrıca batarya terminal noktalarında yüksek gerilim olacağı için batarya ile şase veya düşük voltajlı devreler arasının izolasyon direncinin ölçümünü yapmak BYS’nin bir başka görevidir.

4.1.2 Batarya Koruma

BYS'lerin izleme yapmasının amacı bataryayı korumaktır. Çünkü bataryaların sıcaklık, akım ve gerilim değerleri istenilen sınırların dışına çıkması durumunda istenmeyen durumlar meydana gelebilir. Örneğin hücre gerilim değeri, sınır değeri aşarsa bataryalar bozulabilir veya eşik değerin altına düşerse bataryaların verimleri azalabilir. Ya da bataryalardan çekilecek akım değeri bellidir bu sınır aşılsa da BYS ana kol akımını kesmelidir. BYS'nin bir diğer görevi de sıcaklık değeri artarsa fanı devreye almak ya da alt ve üst sıcaklık değerlerin de sınırını aşarsa da enerji akışını kesmektir.

4.1.3. Şarj-Deşarj Yönetimi

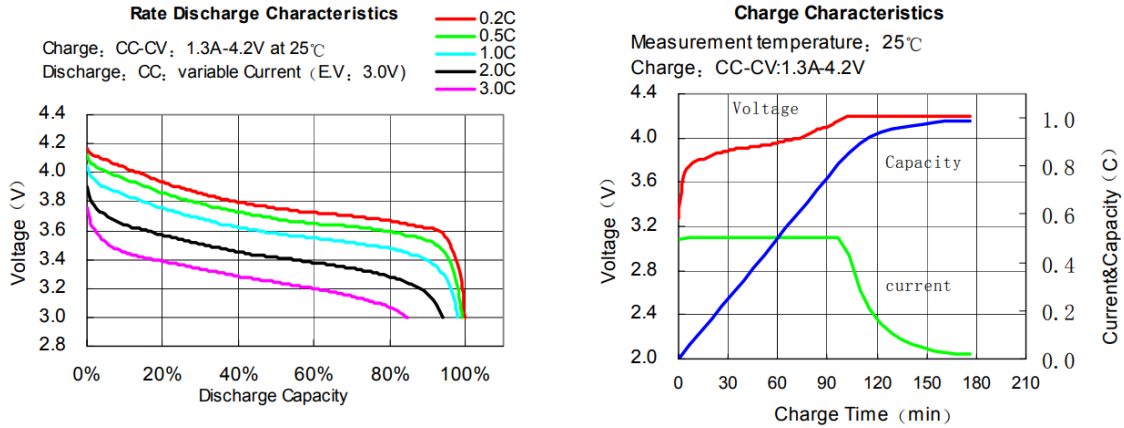
Bataryalar aynı marka ve özelliklerde de olsa üretim anında az da olsa üretim farkından dolayı özdeş değildir. Bu durum bataryaların iç dirençlerinin farklı olmasına sebep olur. Bu farklılık seri bağlı olan batarya grupların şarjı anında kapasitesi az olan bataryanın erken dolarak, şarj gerilim sınırına (4,2 V) erken ulaşmasına sebep olur. Bu durumda BYS enerjiyi kesmek zorunda kalır. Aynı bunun gibi deşarj durumunda da aynı hücrenin erken deşarj olarak sınır değere (2,7 V) düşmesi durumunda da deşarj kesilmek zorundadır. İşte bu durumun önüne geçilmek için BYS, batarya dengelemesi yapması gerekir. Bu dengelemeye ayrı başlık altında ayrıca değinilecektir. Şekil 4.3'te BYS'nin blok diyagramı görülmektedir (Gül, 2018).



Şekil 4.3. BYS'nin blok diyagramı (Gül, 2018)

BYS'ler şarj veya deşarj işlemlerinde bataryaları tehlikeye sokacak sınır gerilim değerlerini aşmaması gerekir. Bunun için de gerektiğinde ana koldaki rölenin kontağını

açarak bataryayı devreden çıkarması gerekir. Şekil 4.4'te LIR18650 pilin şarj ve deşarj tüketimlerde deşarj eğrisi görülmektedir.



Şekil 4.4. LIR18650 pilin şarj ve deşarj eğrisi (URL-5)

4.1.4. Teşhis ve Kestirim

BYS'ler ölçüm yaptıkları akım, gerilim ve sıcaklık değerlerinden yola çıkarak bazı teşhisler ve kestirimler yaparlar. Bunlar batarya şarj durumu (SOC), batarya sağlık durumu (SOH) ve pil sıcaklık durumu (SOT)'dur. İlk iki değer doğrudan değil dolaylı yollardan kestirim yapılarak bulunur.

4.1.4.1. Batarya Doluluk Durumu (State of Charge-SOC)

Bataryalar üretimdeki farklılıklarından dolayı şarj veya deşarj anında aynı özellikleri göstermezler. Onun için her bataryanın anlık doluluk durumları tahmin edilip ona göre şarj durumu veya deşarj durumu kesilebilmesi gerekir. Bundan dolayı şarj veya deşarj durumu SOC değerine bağlı olarak karar verilmesi gerekir. Bataryanın şarjı tamamen dolduğunda SOC değeri %100 olarak varsayılırken tamamen deşarj olduğunda ise SOC değeri %0 olarak kabul edilir (Ekici, 2019).

Genel olarak %SOC değeri, bataryanın gerçek yük miktarının fabrikanın belirlediği sığaya oranı olarak diyebiliriz. Denklem (4.1)'deki gibi;

$$SOC_{(t)} = \frac{Q_{(t)}}{C_{(n)}} 100 = \frac{Dolum\ Miktarı(C)}{Pil\ Kapasitesi(Ah)} 100 \quad (4.1)$$

olacaktır.

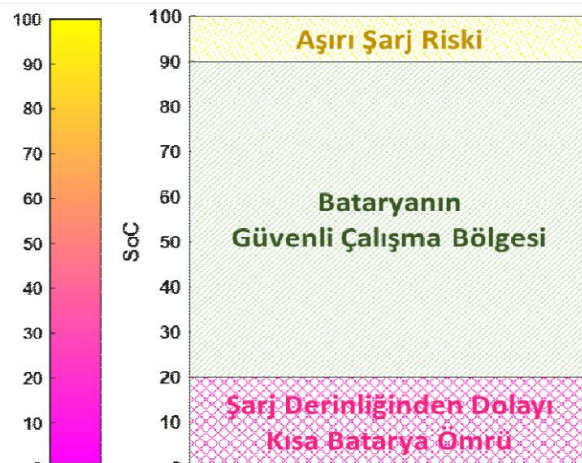
Bulunması zor olan SOC değeri için farklı yöntemler önerilmektedir. Bunlardan biri de Coulomb sayma yöntemidir. Denklem (4.2)'de akımın sayılması yöntemi ile SOC değerinin belirlenmesi;

$$SOC = SOC_{(0)} \pm \frac{1}{C_n} \int_0^t i b_{(t)} dt \quad (4.2)$$

ile bulunur. Denklem (4.2)'de t anındaki bataryanın doluluk durumu görülmektedir. Burada SOC batarya doluluk oranını, $SOC_{(0)}$ başlangıçtaki doluluk durumunu, $i b_{(t)}$ bataryanın akım değerini temsil eder (Tezde, 2018).

4.1.4.2. Batarya Sağlık Durumu (State of Health-SOH)

Bataryaların bağlı oldukları yükü besleyebilme derecelerini veren kavrama batarya sağlık durumu denir. Bataryaların değişme zamanın gelip gelmediğini ya da değişmesinin ne zaman yapılması gerektiğini belirler. Bataryalar kullanıldıkça kimyasal yapıları değiştiği için kapasitelerinde azalma olur. Bataryaların devreyi verimli bir şekilde besleyebilmesi için belirli bir SOH değerinde olması gerekir. Bu oran genelde $20 \leq SOC \leq 90$ şeklinde belirlenmiştir. Ama SOH değerini tam olarak belirleyebilmek için son kapasite bilgisi gibi ilk kapasitesinin de bilinmesi gerekir. Şekil 4.5'te bataryaların güvenli çalışma bölgesi görülmektedir (Tezde, 2018).



Şekil 4.5. Bataryaların güvenli çalışma bölgesi

Genel olarak % SOH değeri, bataryanın gerçek yük miktarının fabrikanın belirlediği sığaya oranı olarak diyebiliriz. Denklem (4.3)'teki gibi;

$$SOH_{(t)} = \frac{C_{(t)}}{C_{(n)}} 100 = \frac{\text{Bataryanın Son Sığası (Ah)}}{\text{Bataryanın İlk Sığası (Ah)}} \times 100 \quad (4.3)$$

ifade edilir.

4.1.4.3. Pil Sıcaklık Durumu (State of temperature-SOT)

Pillerin ömürleri, performansı ve güvenilirliği pil sıcaklığına bağlıdır. Pilin kimyasal yapısından dolayı düşük sıcaklıkla ya da yüksek sıcaklıklarda hızlı öz boşalma gerçekleşir. Uygun olmayan sıcaklık değerleri pilin SOC ve SOH değerlerini olumsuz etkiler. Onun için sıcaklık değerlerinin ölçümü önem arz etmektedir.

Sıcaklık ölçümü sonrasında da soğutma yöntemlerinden birisi tercih edilerek bataryanın soğutulması gerekir. Soğutma yöntemleri hava ya da sıvı soğutma olarak iki şekilde yapılmaktadır. Hava soğutma yöntemi fan ile sağlandığı için kurulumu basit, maliyeti düşük ve sıvı kaçaqlarının olmaması dolayısıyla güvenli olmaları gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedirler. Havanın ısı veriminin zayıf olmasından dolayı da bir diğer soğutma yöntemi olan sıvı soğutma yöntemi tercih edilebilmektedir. Bu yöntemde ise bataryalar doğrudan sıvıya temas halinde soğutulur ya da bataryalar arasındaki sıvı kanallarından soğutulmuş sıvı dolaştırılarak soğutma işlemi gerçekleştirilir. Tasarımda kurulum kolaylığı, tasarımının basit olması ve sıvı sızmalarının olmaması gibi avantajlarından dolayı fan ile soğutma tercih edilmiştir.

4.1.5. Veri Yönetme

Batarya yönetimi sisteminde sıcaklık, akım ve gerilim değerleri okunduktan sonra kontrol birimlerince işlenmesi için veya kullanıcıya aktarılması için veri aktarma yöntemleriyle aktarılır ya da hafıza birimlerinde depo edilir. Bu depo edilen bilgiler araba bakımında kullanılabildiği gibi bataryaların geliştirilmesinde de veri olarak kullanılır (Gül, 2018).

4.2. Batarya Yönetim Sistemi Türleri

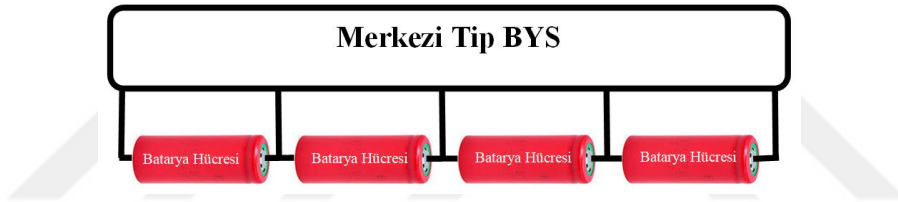
BYS türleri tasarımın mimarisine göre değişik çeşitlerde yapılabilir. Bu tasarımlar, kurulumun kolaylığına göre, ölçümlerin hassasiyetliğine göre ve bakımlarının

kolaylığına göre değişebilmektedir. BYS'lerin tasarımı genel olarak dört farklı şekilde yapılırlar (Andrea, 2010).

- Merkezi Tip BYS
- Modüler Tip BYS
- Dağıtılmış Tip BYS
- Ana Kart-Yardımcı Kat BYS

4.2.1. Merkezi Tip BYS

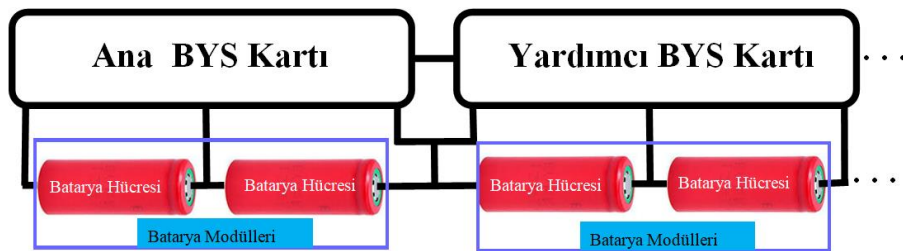
Bu tür BYS'de tek bir ana kart kullanıldığı için kolay kontrol edilebilirler, tek bir işlemci gerektiği için ucuzdurlar ve haberleşmeye gerek duymazlar. Hücre sayısının fazla olması durumunda mikroişlemcinin pinlerinin yetersiz kalması en büyük dezavantajdır (Andrea, 2010). Şekil 4.6'da merkezi tipi BYS şekli görülmektedir.



Şekil 4.6. Merkezi tip BYS

4.2.2. Modüler Tip BYS

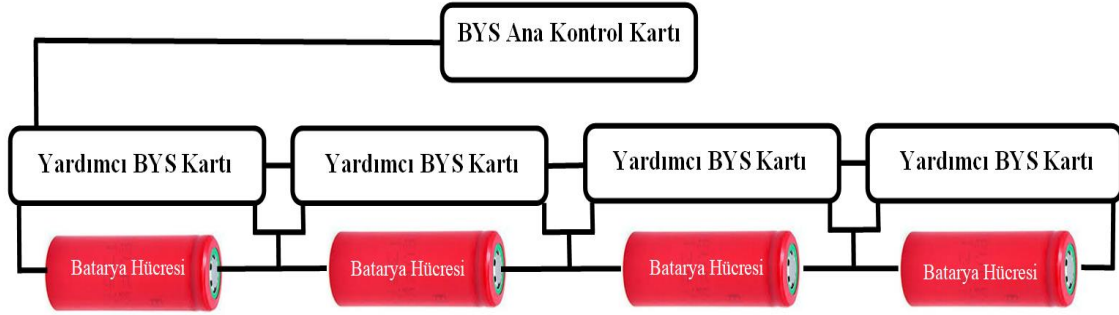
Modüler tip BYS'de hücreler gruplanarak modüllere ayrılır. Modüllerden okunan değerler, modüller arası haberleşmeyle ana modüle aktarılır. Ana modül tüm modülleri kontrol eder ve gerektiğinde ana modüle yeni modüller eklenebilir. Bundan dolayı kablolama fazladır ve maliyeti yüksektir (Andrea, 2010). Şekil 4.7'de modüler tip BYS şekli görülmektedir.



Şekil 4.7. Modüler tip BYS yapısı

4.2.3. Dağıtılmış Tip BYS

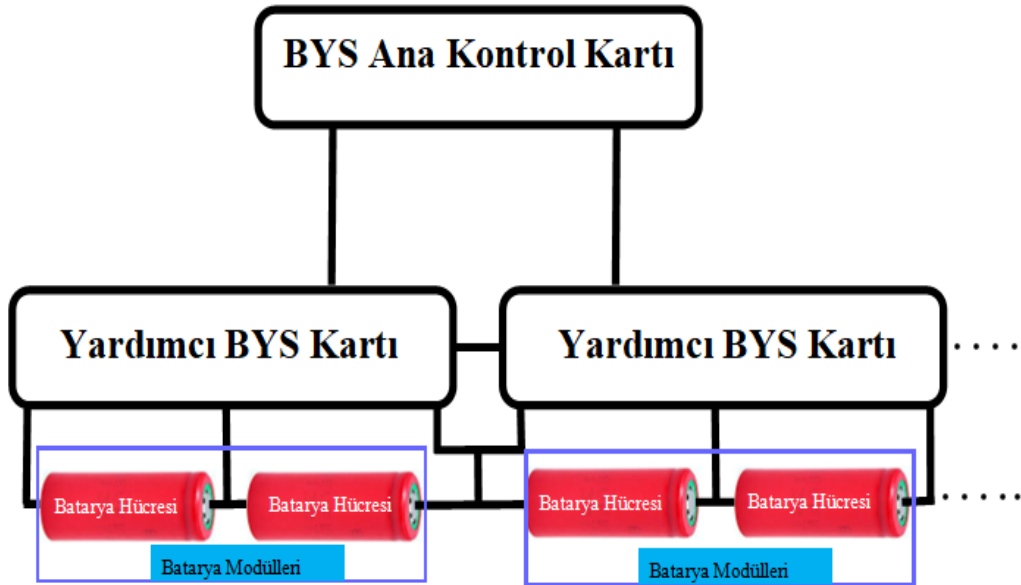
Dağıtılmış BYS’de her batarya hücresine bir yardımcı kart bağlanmıştır. Böylece daha hassas ölçüm yapılmaktadır. Yardımcı kart sayısı hücre sayısı ile arttığı için maliyeti fazladır (Andrea, 2010). Şekil 4.8’de dağıtılmış tip BYS şekli görülmektedir.



Şekil 4.8. Dağıtılmış tip BYS yapısı

4.2.4. Ana Kart-Yardımcı Kart BYS

Bu BYS türünde bataryanın sıcaklık, gerilim, akım gibi değerleri yardımcı BYS kart ile okunup işlenmesi için haberleşme kanallarıyla ana BYS kartına gönderilir. Bu tasarım modüler BYS’ye benzese de maliyet yönünden daha uygundur (Andrea, 2010). Şekil 4.9’da ana kart-yardımcı kat BYS şekli görülmektedir.



Şekil 4.9. Ana kart-yardımcı kat BYS yapısı

İncelenen bu BYS türlerinin karşılaştırılması Tablo 4.1’de verilmiştir (Andrea, 2010).

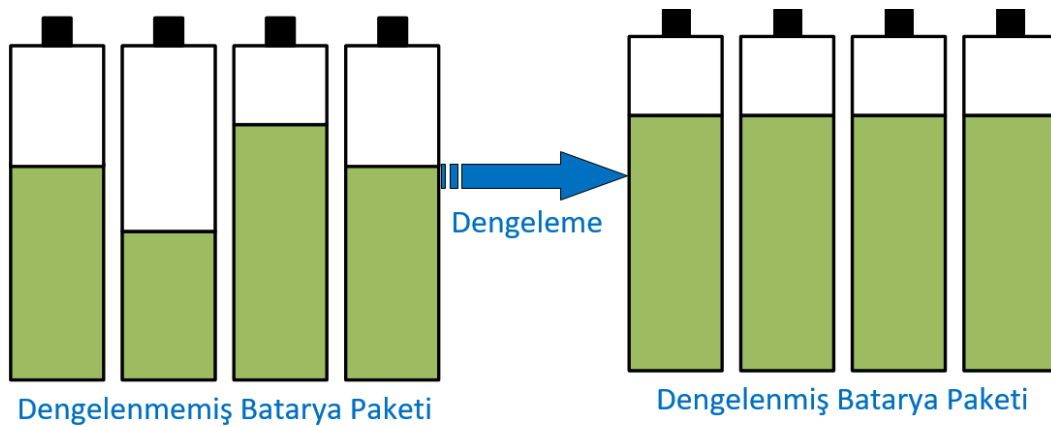
Tablo 4.1. BYS türlerinin üstün ve zayıf olan yönleri

BYS Türleri	Ölçüm Kalitesi	Gürültü	Malzeme Maliyeti	Montaj Maliyeti	Bakım Maliyeti	Güvenlik
Merkezi	++	+++	+	++	+	+
Dağıtılmış	+++	++	+++	+	++	+++
Modüler	++	+++	+++	++	+	+
Ana kart-Yardımcı-kart	++	+++	+++	++	+	+

(+: kötü, ++: orta, +++: iyi)

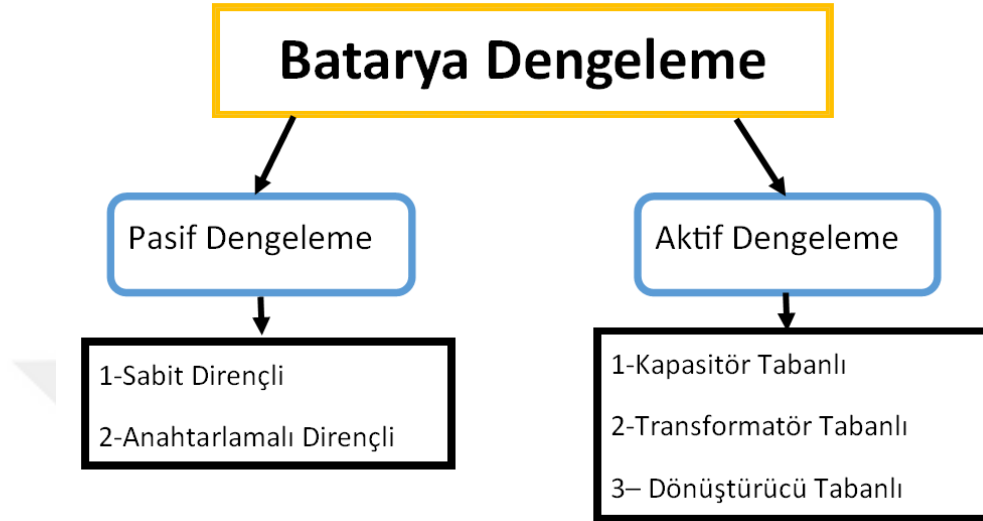
4.3. Batarya Hücre Gerilimleri Dengeleme Yöntemleri

Bataryalarda kullanılan pil hücreleri aynı fabrikada, aynı modelde, aynı seride üretilse bile kimyasal yapılarındaki farklılıktan dolayı ve ortamdaki sıcaklıktan etkilendikleri için değişik karakteristik özellik gösterebilirler. Bundan dolayı da özdeş hücre dahi olsa gerilim değerleri farklılık gösterebilir. Hücreler seri ve paralel bağlanarak bataryalar meydana getirilir. Paralel bağlı hücreler birbirini dengeleyebilmelerine rağmen seri hücrelerde bu durum gerçekleşmez. Bundan dolayı seri kolda bir hücre erken dolarken bazı hücreler dolmayabilir. Bu durum seri hücre grupları arasında gerilim dengesizliklerine sebep olur. Bu durumun önüne batarya dengeleme ile geçilebilir. Böylelikle dolan batarya daha fazla şarja maruz kalmadan dolmayan bataryalar doldurulmuş olur (Orbeyi, 2022). Şekil 4.10’da dengede olmayan ve dengelenmiş bataryaların şekli görülmektedir.



Şekil 4.10. Batarya gerilimlerinin eşitlenmesi (Orbeyi, 2022)

Batarya dengeleme yöntemleri pasif dengeleme ve aktif dengeleme olmak üzere iki başlıkta toplanmaktadır. Şekil 4.11’de bataryanın dengelenme yöntemleri görülmektedir.



Şekil 4.11. Batarya dengeleme yöntemleri (Baygüneş, 2019)

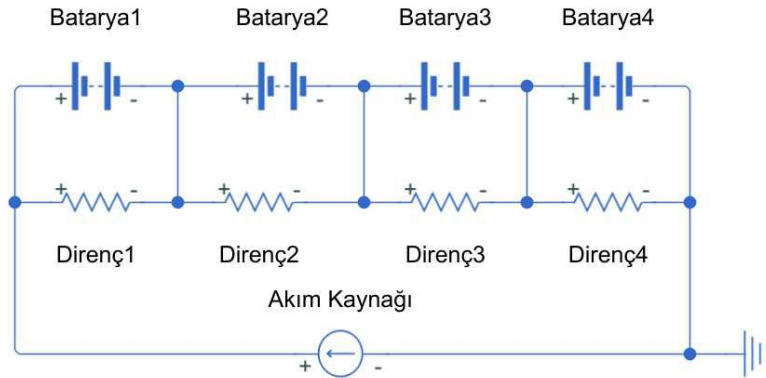
4.3.1. Pasif Dengeleme

Diğer yöntemlere göre çok az ekipman kullanılması ve kolay kurulumundan dolayı daha çok tercih edilen pasif dengeleme yöntemi batarya hücrelerine paralel bağlı dirençler bağlanmasıyla yapılır. Şarj anında erken dolan hücrenin diğer hücreler de doluncaya kadar zarar görmemesi için fazla enerjisinin direnç üzerinden atması prensibine göre çalışır. Fazla enerjinin direnç üzerinden ısıya dönüştürülüp atılması pasif dengeleme yönteminin en büyük dezavantajıdır. Sabit dirençli ve anahtarlamalı dirençli diye iki adet uygulama yöntemi mevcuttur.

4.3.1.1. Sabit Dirençli Pasif Dengeleme

En basit ve ucuz dengeleme çeşididir. Batarya hücrelerine paralel bağlı bu dirençlerden sürekli enerji tüketilmesi bu yöntemi verimsiz kılar. Batarya hücresine paralel, kaynağa seri bağlı olan bu dirençler kaynak gerilimini üzerlerinde eşit şekilde paylaştığı için hücre uçlarında gerilimlerin eşit olmasını sağlar. Yani bu yöntemde Kirşof’un gerilimler kanunundan faydalanılmıştır diyebiliriz.

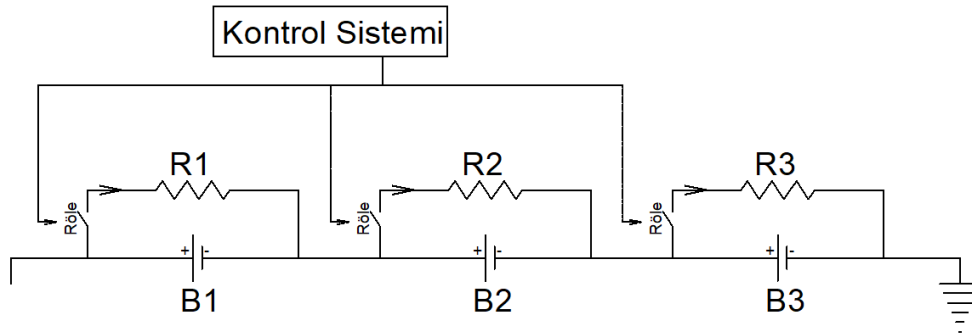
Bu yöntem sadece şarj anında görev yapar. Deşarj anında görev yapamaz (Gül, 2018). Şekil 4.12’de sabit dirençli pasif dengelemenin devresi görülmektedir.



Şekil 4.12. Sabit dirençli pasif dengeleme (Baygüneş, 2019)

4.3.1.2. Anahtarlamaalı Dirençli Pasif Dengeleme

Anahtarlamaalı dirençli pasif dengeleme sabit dirençli pasif dengelemeye göre daha verimlidir ve en kullanılabilir dengeleme çeşididir. Hücreler birbirinden bağımsız dengelenebilir. Dengeleme süresi aktif dengelemeye göre uzundur (Rigan, 2020). Bu tez çalışmasında bu dengeleme yöntemi uygulanacaktır. Şekil 4.13’te anahtarlamaalı dirençli pasif dengeleme yöntemi görülmektedir.



Şekil 4.13. Anahtarlamaalı dirençli pasif dengeleme yöntemi (Orbeyi, 2022)

4.3.2. Aktif Dengeleme

Gerilimi yüksek olan hücrenin enerjisinin farklı yöntemler kullanarak direnç üzerinden değil de düşük gerilimli hücreye aktarılmasına aktif dengeleme denir. Aktif dengelemenin verimi yüksektir ve hem şarj anında hem deşarj anında dengeleme yaptığı için de pasif dengelemeye göre daha avantajlıdır (Orbeyi, 2022). Pahalı ve kompleks

olmaları yanında hücreler arası gerilim farkının yüksek olması durumunda denge süresinin uzaması en büyük dezavantajdır.

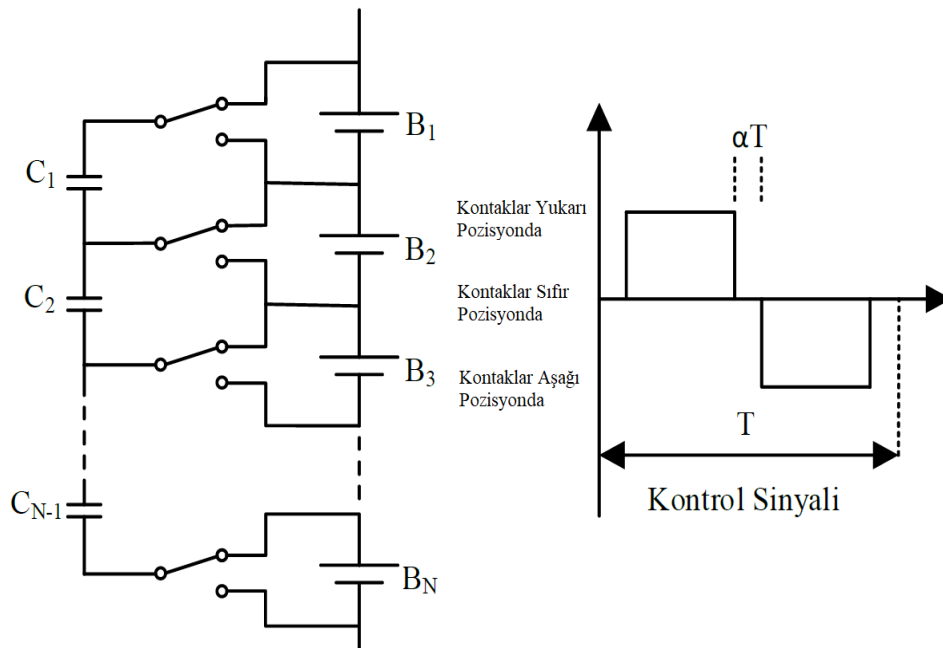
4.3.2.1. Kapasitör Tabanlı Aktif Dengeleme

Kapasitörler yük depolayan devre elemanları olarak kullanılmaktadır. Aktif dengelemede fazla enerjiye sahip bataryalar tespit edildikten sonra kontaklar ya da anahtarlama elemanları vasıtasıyla bu bataryalar üzerindeki fazla enerji kapasitörlere aktarılır. Aktarılan bu enerji yine bu kontaklar vasıtasıyla tespit edilen düşük enerjili bataryalara aktarılarak hücreler arası dengeleme gerçekleştirilmiş olur (Orbeyi, 2022).

Verimi yüksektirler, kontrol edilmeleri kolaydır, şarj ve deşarj anında çalışabilirler ama diğer aktif dengeleme yöntemlerine kıyasla hızları düşüktürler (Rigan, 2020). Bazı kapasitör tabanlı aktif dengeleme yöntemleri aşağıda değinecektir.

➤ Anahtarlama Kapasitör Yöntemi

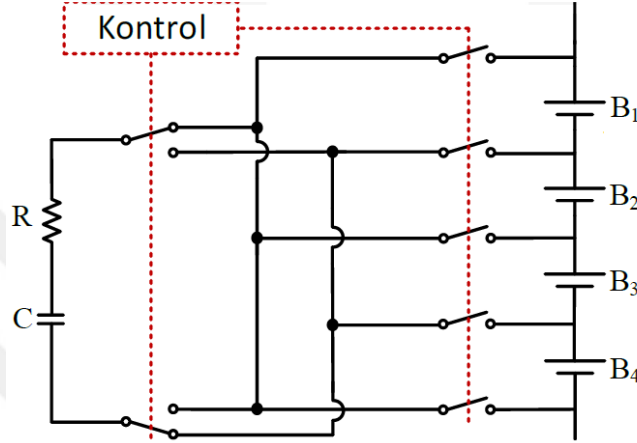
Çok sayıda kontak olduğu için kurulumu zor ama kontrol edilmesi basit ve verimi yüksek olan bu yöntemde enerjisi yüksek olan bataryadan düşük enerjili bataryaya transfer gerçekleştirilir. Şekil 4.14'te anahtarlama kapasitör şeması görülmektedir (Orbeyi, 2022).



Şekil 4.14. Anahtarlama kapasitör şeması (Daowd ve diğ., 2011)

➤ Tek Katlı Anahtarlama Kapasitör Yöntemi

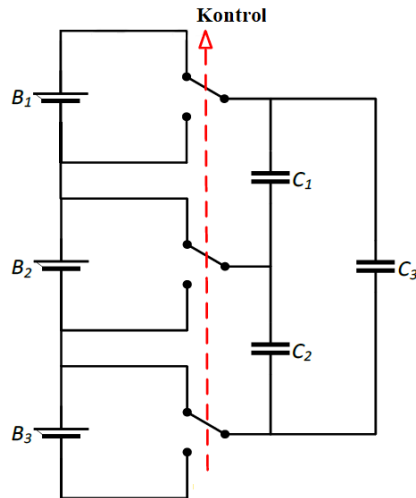
Bu yöntem şarj ve deşarj anında verimli ve hızlı bir şekilde dengeleme yapabilmektedir. Ama dengelemenin etkili olması için dengelenecek hücrelerin doğru tespiti en büyük elzendir (Orbeyi, 2022). Şekil 4.15'te tek katlı anahtarlama kapasitör şeması görölmektedir.



Şekil 4.15. Tek katlı anahtarlama kapasitör şeması (Daowd ve diğ., 2011)

➤ Çift Katlı Anahtarlama Kapasitör Yöntemi

Bu yöntemin diğr kapasitörlü yöntemlere göre en büyük avantajı ikinci bir kapasitör katının eklenmesiyle sığanın artması ve dolayısıyla da dengeleme süresinin kısalmasıdır. Şekil 4.16'da çift katlı anahtarlama kapasitör şeması görölmektedir.



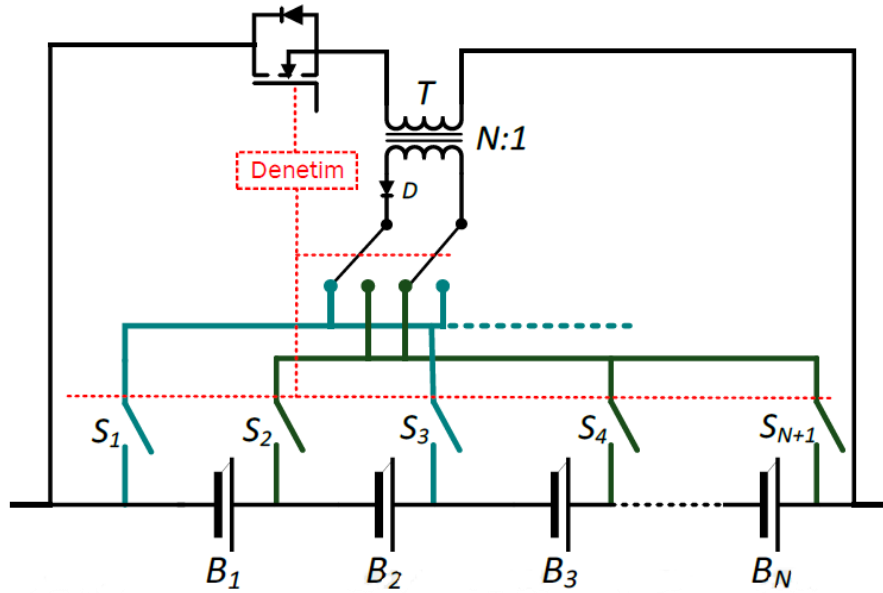
Şekil 4.16. Çift katlı anahtarlama kapasitör şeması (Daowd ve diğ., 2011)

4.3.2.2. Transformatör Tabanlı Aktif Dengeleme

Transformatörlerin yüksek hücreden düşük hücreye enerji transferi için kullanıldığı bir aktif dengeleme yöntemi çeşididir. Diğer yöntemlere göre hızlı bir şekilde dengeleme yapar. Anahtarlama frekansları çok yüksektir bunun için yüksek hızlı anahtarlama elemanı kullanılması gerektirdiği için maliyeti diğer yöntemlere göre yüksektir (Daowd ve diğ., 2011).

➤ Tek Sarımlı Transformatör Yöntemi

Anahtarlama elemanının konumuna göre iki şekilde enerji transferi yapmaktadır. Birinci transfer, hücreden pakete yani fazla enerji tespit edilen hücreden tüm batarya paketine enerjinin aktarılmasıdır. İkincisi ise tüm batarya paketinden anahtarların konumu değiştirilerek istenilen hücreye enerji transferidir (Daowd ve diğ., 2011). Verimi ve hızı yüksek olan bu sistemde çok fazla anahtar kullanılması kurulumu zorlaştırır. Şekil 4.17’de tek sarımlı transformatör şeması görülmektedir.

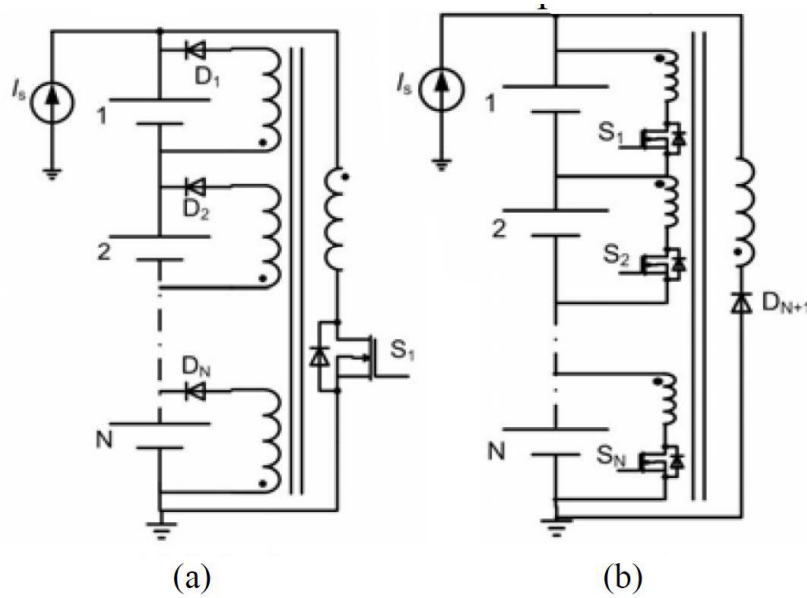


Şekil 4.17. Tek sarımlı transformatör şeması (Daowd ve diğ., 2011)

➤ Çok sarımlı Transformatör Yöntemi

Tek çekirdekli trafo ile çalışan bu yöntemde hücreler şarj edilirken tek bir anahtar kullanılırken, hücrelerdeki enerji aktarılırken o deşarj olan hücrenin anahtarı aktif edilir.

Verimi ve hızı yüksekken devresi karmaşıktır (Daowd ve diğ., 2011). Şekil 4.18’de çok sarımlı transformatör şeması görülmektedir.



Şekil 4.18. Çok sarımlı transformatör yöntemi (a) Geri dönüşlü yapı (Flyback) b) İleri yönlü yapı (Forward) (Daowd ve diğ., 2011)

4.3.2.3. Dönüştürücü Tabanlı Aktif Dengeleme

Bu dönüştürücüde hücre dengelemek için her hücreye bir düşürücü-yükseltici dönüştürücü takılarak dengeleme yapılır. Hücre sayısı ile orantılı olarak kullanılan elektronik devre elemanı artacağı için maliyetli ama verimleri yüksektirler.

4.3.3. Pasif Dengeleme ve Aktif Dengelemenin Karşılaştırılması

Tablo 4.2’de pasif ve aktif dengelemenin avantaj ve dezavantaj yönünden kıyaslanması verilmiştir.

Tablo 4.2. Pasif ve aktif dengelemenin karşılaştırılması (Soydaş, 2015).

Pasif Dengeleme Yöntemi	Aktif Dengeleme Yöntemi
Fazla enerji ısı olarak atılarak dengeleme gerçekleşir	Fazla enerji başka hücreye aktarılarak dengeleme gerçekleşir
Az sayıda devre elemanı ile devre tasarlanabilir ve basittir	Çok sayıda devre elemanı ile devre tasarlanabilir ve karmaşıktır
Bir BYS için maliyeti 1 birimdir	Bir BYS için maliyeti 10 birimdir
BYS çalışmazken enerji tüketmezler	BYS çalışmazken enerji tüketirler (50 mW)
Aktif dengelemeye göre çok yavaşlardır	Pasif dengelemeye göre çok hızlıdır

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Tezin Amacı

Bu çalışmada elektrikli araçların bataryalarında çokça tercih edilen Li-ion pilleri kullanarak mikrodnetleyici tabanlı, 3S1P tipli Batarya Yönetim Sistemi (BYS) tasarımı yapılmaktadır. Seri bağlanmış 3 adet pilin mikrodnetleyiciyle sıcaklık, akım, gerilim değerleri takip edilmiş ve pasif dengeleme ile pillerin şarj anlarında dengelenmesi gerçekleştirilmiştir.

5.2. Tasarım

Merkezi Tip BYS'nin tasarımı öncelikle Proteus uygulamasında denenmiş ve başarılı olunmuştur. Sonrası bu tasarımı baskı devre yöntemiyle baskı devre kartına aktarılıp kurulumu gerçekleştirilmiştir. Tasarımda kullanılan yöntemlere ve kullanılan devre elemanlarına değinilecektir.

5.2.1. Mikrodnetleyici

Bu çalışmada toplanması gereken verileri toplaması ve sonrası yazılan kodlara göre işlemesi için Atmega 328P mikrodnetleyici kullanılmıştır. Hız olarak ve yapılması gereken işlemlerde yeterli olduğu için bu mikrodnetleyiciyi tercih edildi. Başlıca genel özellikleri;

- 8 bit programlanabilir flash
- 20 Mhz seviyelerine kadar çalışma hızı
- 32 KB flash bellek
- 1 KB EEPROM hafıza
- 2 KB dahili RAM hafıza
- 2 adet 8 bit ve 1 adet 16 bit zamanlayıcı
- 6 adet 10 bitlik ADC giriş
- I2C (Inter-Integrated Circuit) ve SPI iletişim desteği
- 23 adet programlanabilir I/O portu
- 1,8 ve 5,5 V çalışma gerilim aralığı
- -40 ile +85 derece çalışma aralığı

Aşağıdaki Şekil 5.1’de tasarımda kullanılan Atmega 328P mikrodnetleyici görölmektedir.



Şekil 5.1. Atmega 328P mikrodnetleyici

5.2.2. Tasarımda Kullanılan Li-ion Pil

Tasarımda, Şekil 5.2’de görölen Panasonic CGR18650DA model Li-ion pil hücresi tercih edildi. Üretici firmanın katalog bilgilerine bakıldığında 25 °C sıcaklıkta; pilin nominal gerilimi 3,6 V, tipik kapasitesi 2450 mAh, maksimum şarj gerilimi 4,2 V, maksimum şarj akımı 1630 mA, şarj kesme akımı 50 mA, idealdeşarj akımı 466 mA vedeşarj kesme gerilimi 3 V olarak verilmiştir. Katalog bilgilerine bakıldığında pilin en ideal ve en verimli çalışma sıcaklığı 0 °C ile 60 °C sıcaklık aralığında olduğu görölmektedir (URL-6).

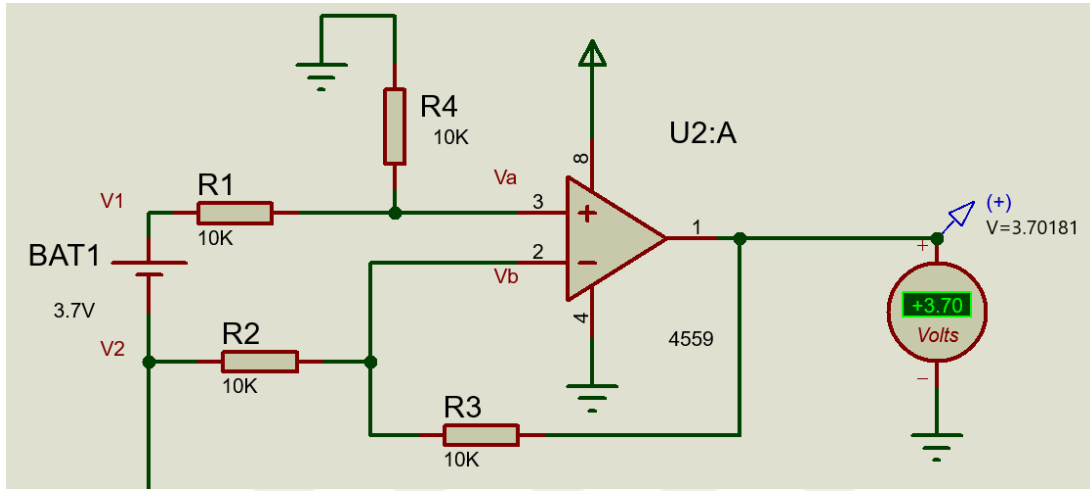


Şekil 5.2. Panasonic CGR18650DA Li-ion pil hücresi

5.2.3. Batarya Hücreleri Gerilimi Ölçümü

Dengeleme işlemlerinin yapılabilmesi için bataryaların gerilimlerinin ölçölmesi gerekir. Ölçölmlerimiz mikrodnetleyicinin analog giriş pinleri ile gerçekleştirilir. Lakin analog

giriş pinleri en fazla 5 V gerilim okuyabildikleri için ve seri bağlı hücrelerin gerilimleri de 5 V gerilimin üzerinde olduklarından dolayı bataryalar ADC (Analog to Digital Convertor) pinlerine doğrudan bağlanamaz. Bunun için Op-Amp'lar ile hücrelerin gerilim farklarının alınması gerekir. Şekil 5.3'te Op-Amp ile gerilim farkı alma devresi görülmektedir.



Şekil 5.3. Op-Amp ile gerilim farkı alma devresi

Devreyi incelediğimizde R_1 , R_2 , R_3 , R_4 dirençleri eşit değerlere sahip dirençlerdir. Devre üzerinde devre teoremleri uygulandığında;

$$V_a = V_b = \frac{R_4}{R_1 + R_4} V_1 \quad (5.1)$$

$$I_1 + I_2 = 0 \quad (5.2)$$

$$I_1 = \frac{V_2 - V_b}{R_2} \quad (5.3)$$

$$I_2 = \frac{V - V_b}{R_3} \quad (5.4)$$

denklemleri çıkartılmış olur.

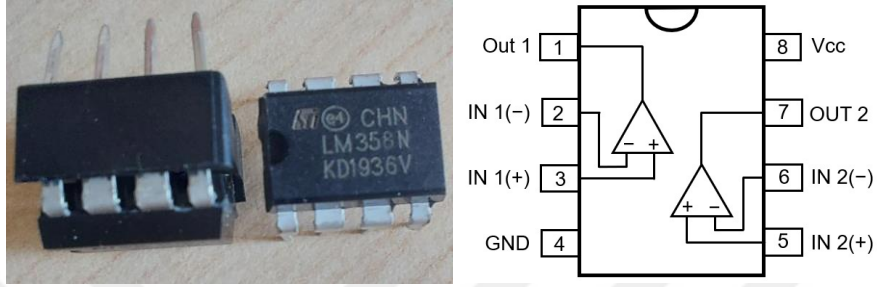
Denklem (5.1)'deki V_a ve V_b eşitliği, Denklem (5.3) ve Denklem (5.4)'te yerlerine konulursa ve çıkan denklemler Denklem (5.2) elitiğine dahil edilip V yalnız bırakılırsa;

$$V = \frac{R_2 + R_3}{R_2} \frac{R_4}{R_1 + R_4} V_1 - \frac{R_3}{R_2} V_2 \quad (5.5)$$

Denklem (5.5) oluşur. Oluşan bu denklemde dirençler sadeleştirildiğinde;

$$V = V_1 - V_2 \quad (5.6)$$

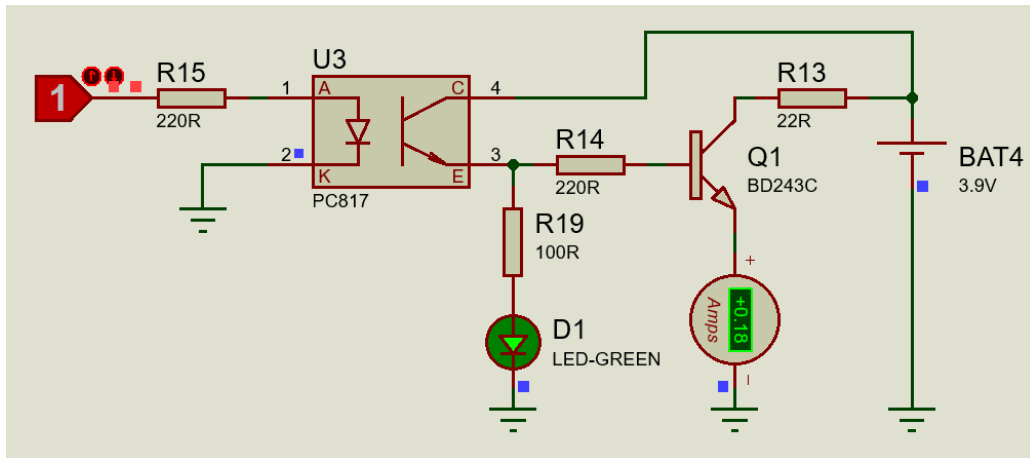
Denklem (5.6)'da da görüldüğü gibi batarya hücresi uçlarındaki gerilim ölçülmüş olur. Şekil 5.4'te kullanılan LM358N Op-Amp'ı görülmektedir.



Şekil 5.4. LM358N Op-Amp ve pin yapısı

5.2.4. Batarya Dengeleme Devresi

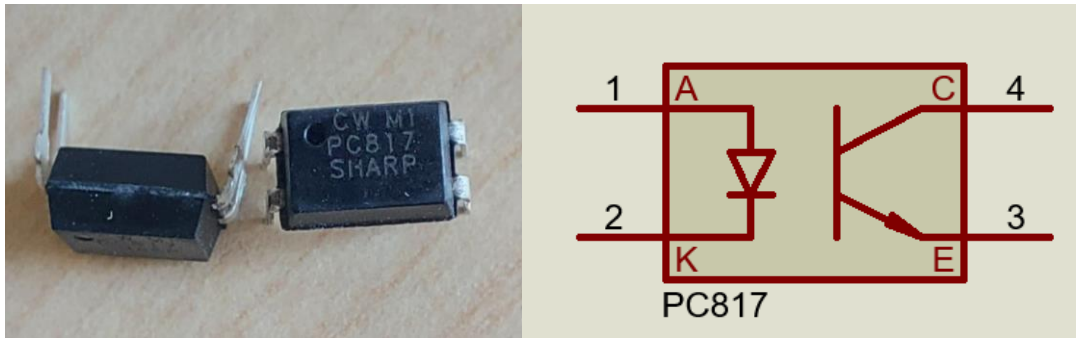
Batarya hücrelerinden okunan gerilim değerleri sürekli takip edilir ve eğer batarya şarj durumunda ise bataryanın dengelenmesi gerekmektedir. Bu durumu takip eden mikrodenetleyici, en düşük gerilime sahip olan hücreyi belirleyip tolerans değerinin üzerinde fark gerilime sahip hücreler varsa onları tespit edip dengelenmesi gerekir. Dengeleme işleminde mikrodenetleyiciden gelen sinyal ile optokuplör tetiklenerek transistör iletime geçirilir. Transistör iletime geçince fazla enerji taş dirençler üzerinden istenilen seviyeye kadar deşarj edilir. Şekil 5.5'te batarya dengeleme devresi ve dengelenen hücre görülmektedir.



Şekil 5.5. Batarya dengeleme devresi

5.2.4.1. Optokuplör

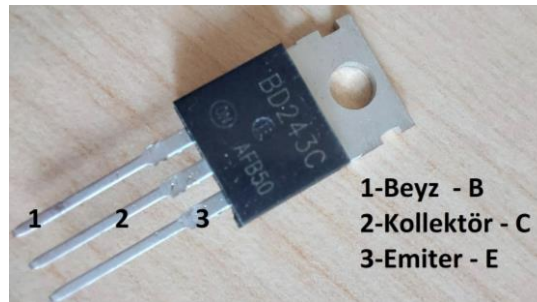
Optokuplörler ışık alıcı devre ile ışık verici devrenin aynı gövde içerisinde bulunduğu devre elemanlarıdır. Genelde mikrodenetleyici vb. hassas devre elemanlarıyla güç devresi arasını izole etmek için kullanılır. Tasarımızda da mikrodenetleyici ile batarya arasını ışık ile izole etmek için kullanıldı. Böylelikle olağan dışı hataların mikrodenetleyiciye zarar verilmesinin önüne geçilmiş oldu. Şekil 5.6’da kullanılan optokuplör ve iç yapısı görülmektedir.



Şekil 5.6. PC817 optokuplör ve pin yapısı

5.2.4.2. Transistör

Transistörler, küçük tetikleme akımlarıyla büyük akımları kontrol etmeye yarayan yarı iletken devre elemanlarıdır. Sessiz ve hızlı çalışmalarından dolayı röle gibi anahtarlama elemanlarına göre daha çok tercih edilirler. Dengeleme devresinde de optokuplörden gelen tetikleme sinyaliyle ilettime geçerek batarya hücresinin seri bağlı taş direnç üzerinden deşarj olmasını sağlar. Deşarj akımlarına dayanabilmesi için tasarımda yüksek güçlü transistör olan ve 6 A kollektör akımına sahip BD243C tipi transistör tercih edildi. Şekil 5.7’de kullanılan transistör ve pin yapısı görülmektedir.



Şekil 5.7. BD243C tipi transistör

5.2.4.3. Dengeleme Direnci

Çalışmamızda dengeleme direnci olarak ısıya ve yüksek akımlara dayanabilen 5 W gücündeki taş dirençler kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan pilin özelliklerine baktığımızda ideal deşarj akımı 466 mA'dır. Bundan dolayı da dengeleme süresini ve deşarj akım değerini gözetirsek seçilecek taş direnç değeri 10-40 Ω , aralığında olmalıdır. Şekil 5.8'de kullanılan taş dirençler görülmektedir.



Şekil 5.8. Dengeleme direnci

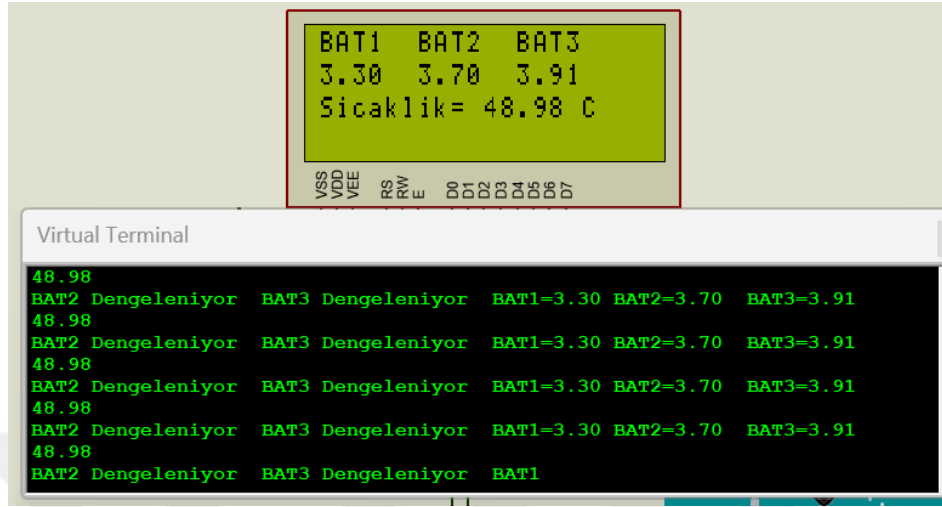
5.2.5. Haberleşme

BYS tarafından ölçülen, işlenen önemli verilerin dış dünyaya yani kullanıcıya aktarılması gerekir. Yaptığımız tasarımda haberleşme, I2C haberleşme modülü üzerinden LCD (Liquid Crystal Display) ekrana aktarılarak sağlanmaktadır. Ayrıca BYS, bilgisayara usb üzerinden bağlanırsa seri haberleşme portu üzerinden de istenilen bilgiler kullanıcı arayüz ekranına aktarılabilir. Şekil 5.9'da kullanılan LCD ekran görülmektedir.



Şekil 5.9. LCD ekran

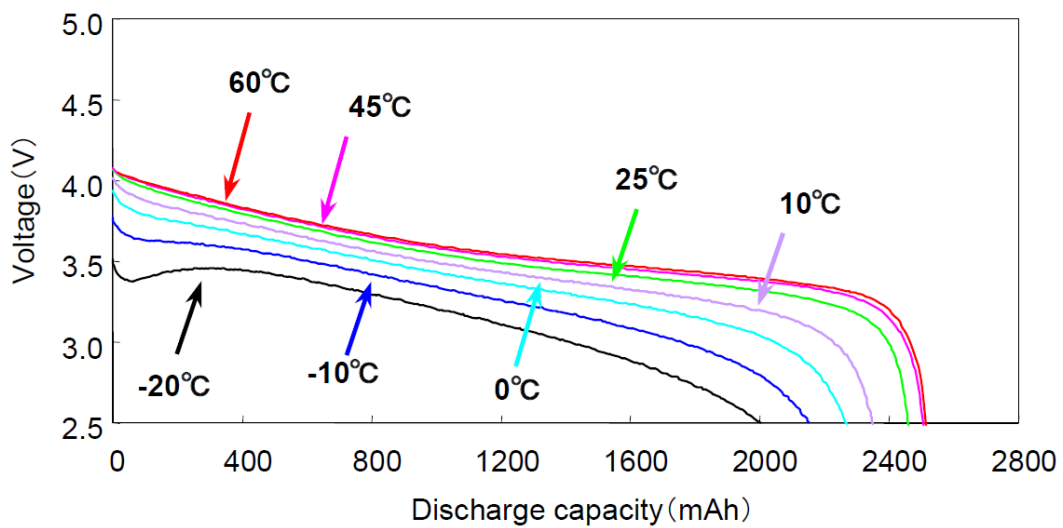
Aşağıdaki Şekil 5.10’da ölçülen bilgilerin dış dünyaya I2C haberleşme modülüyle ve seri haberleşme modülüyle ekrana aktarılması görülmektedir.



Şekil 5.10. LCD ve seri haberleşme ekranı

5.2.6. Batarya sıcaklık ölçümü

BYS’lerde en önemli konulardan biri de sıcaklıktır. Onun için anlık sıcaklık değeri sürekli takip edilmeli ve belirli bir sınırın üzerindeki sıcaklıkta şarj veya deşarj işlemi durdurulması gerekir. Aksi takdirde hücrelerde patlama vb. olumsuz durumlar gerçekleşebilir. Kullandığımız pilin özelliklerine bakıldığında en ideal çalışma sıcaklığı 0 °C ile 60 °C sıcaklık aralığında olduğu Şekil 5.11’de görülmektedir.

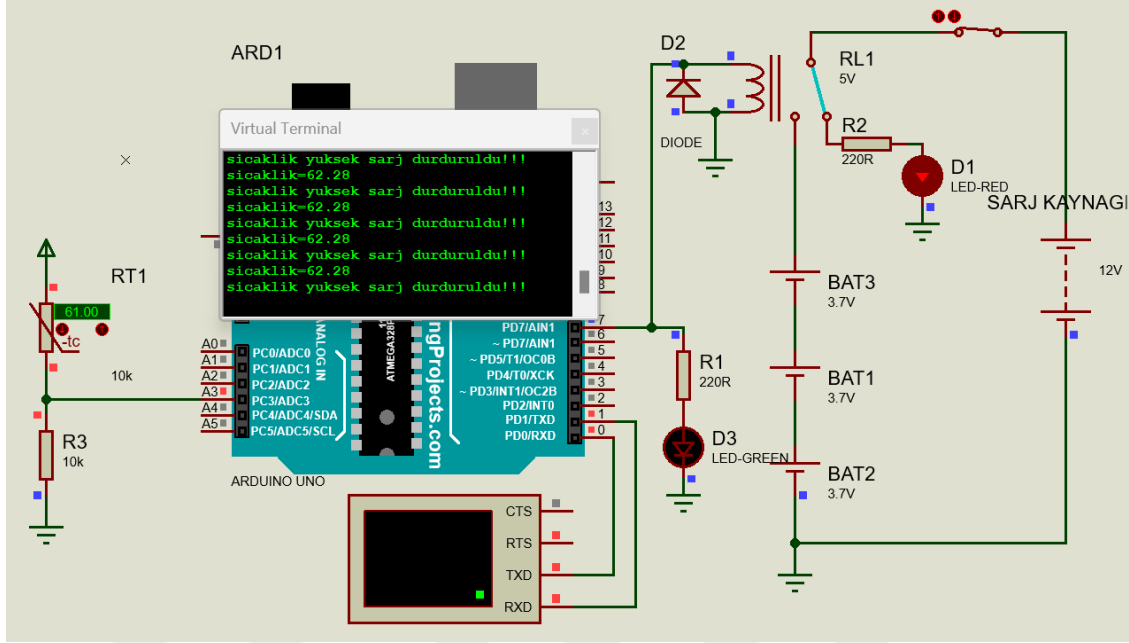


Şekil 5.11. Kullanılan pilin sıcaklığa göre kapasite değişim grafiği (URL-6)

Tasarımızda pasif bir sensör olarak nitelendireceğimiz NTC (Negative Temperature Coefficient) sensörü kullanıldı. Negatif katsayılı termistör olarak bilinen NTC, sıcaklıkla direnci ters orantılı değişen bir elemandır. Bu özelliğinden faydalanılarak sıcaklık ölçümü yapılabilir. Sıcaklık ölçümlerinde kararlı yapıda olmalarından çokça dolayı tercih edilmektedirler. Sıcaklık ölçümü Şekil 5.12’de görüldüğü gibi gerilim bölme yöntemiyle gerçekleştirilmektedir.


$$V_{OUT} = \frac{V_{in}R_t}{R_3+R_t} = \frac{5R_t}{10K+R_t} \quad (5.7)$$

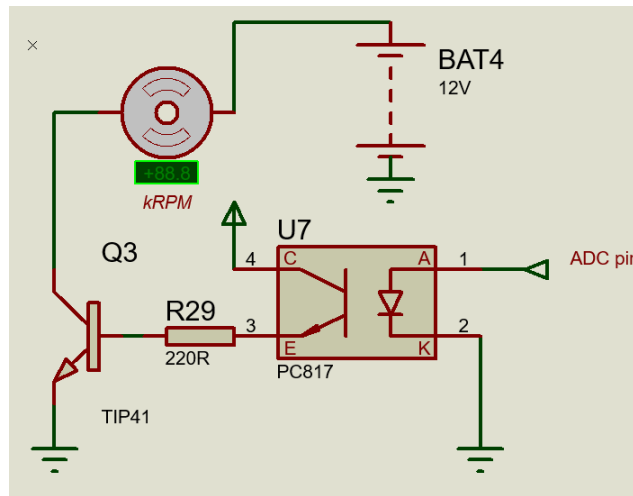
46



Şekil 5.13. Batarya sıcaklık koruma devresi

5.2.7. Pil Soğutucu Fan

Bataryanın verimli ve güvenli çalışabilmesi için sıcaklığının yüksek olmaması gerekir. Bunun için belirli bir sıcaklığın üzerinde batarya soğutulması gerekir. Soğutma işlemi havayla ya da sıvıyla yapılmaktadır. Havayla soğutma, kurulum kolaylığı, tasarımın basit olması ve sıvı sızmaları olmaması gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir. Tasarımda hava soğutma yöntemi tercih edildi ve sıcaklık değeri 40 °C ile 60 °C arasında ise bataryayı serinletmek için fan devreye girecek şekilde ayarlanmıştır. Fan kontrol devre şeması Şekil 5.14'te verilmiştir.



Şekil 5.14. Fan kontrol devresi

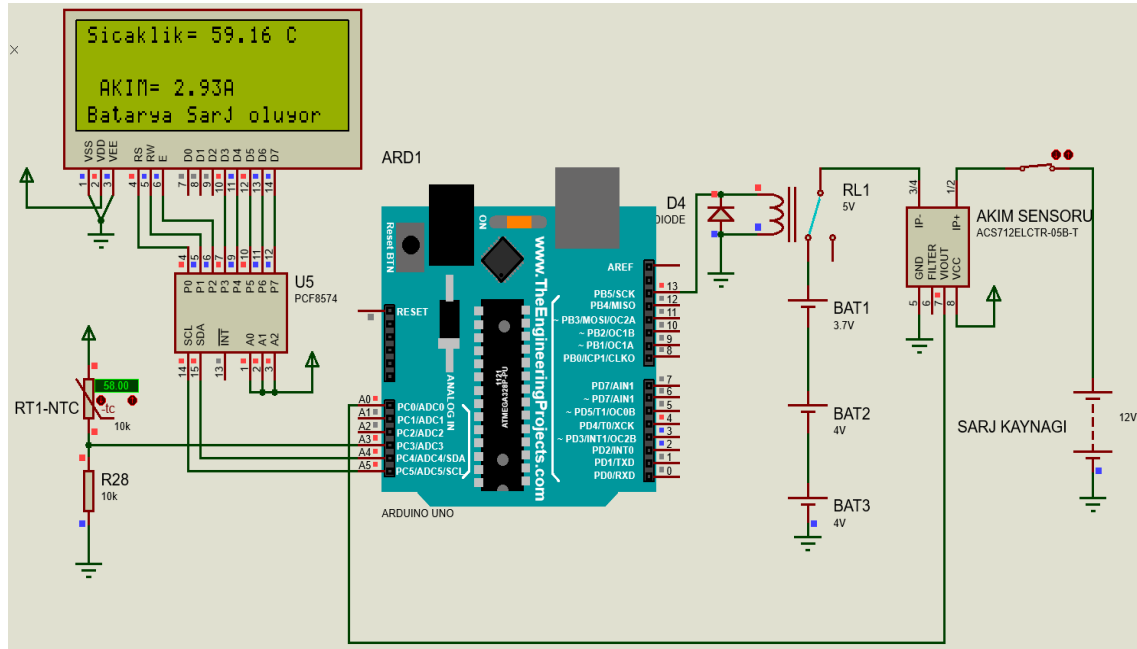
5.2.8. Akım Ölçümü

BYS şarj veya deşarj anında devreden geçen akımı anlık olarak ölçmesi gerekir. Bu akım anlık tüketilen gücün hesaplanması için ya da olağandan yüksek akım çekiliyorsa devrenin durdurulması için gereklidir.

Tasarımda ACS712 akım sensörü kullanıldı. Bu sensör içinden geçen akımın miktarı ve yönüne göre Vout pininden, içinden geçen akımla orantılı olarak mV seviyelerinde gerilim üretir. Üretilen gerilim mikrodenetleyici tarafından matematiksel işlemler yapıldıktan sonra akım olarak ölçülmüş olur.

Sensör iki yönlü akım ölçebildiği için akımın pozitif yönlü ya da negatif yönlü olmasına göre bataryanın şarj ya da deşarj olduğu tespit edilebiliyor. Böylelikle de şarj anında dengeleme yapılırken deşarj anında dengeleme yaptırılmayarak batarya enerjisinin boş yere tüketilmesinin önüne geçilmiş olunuyor.

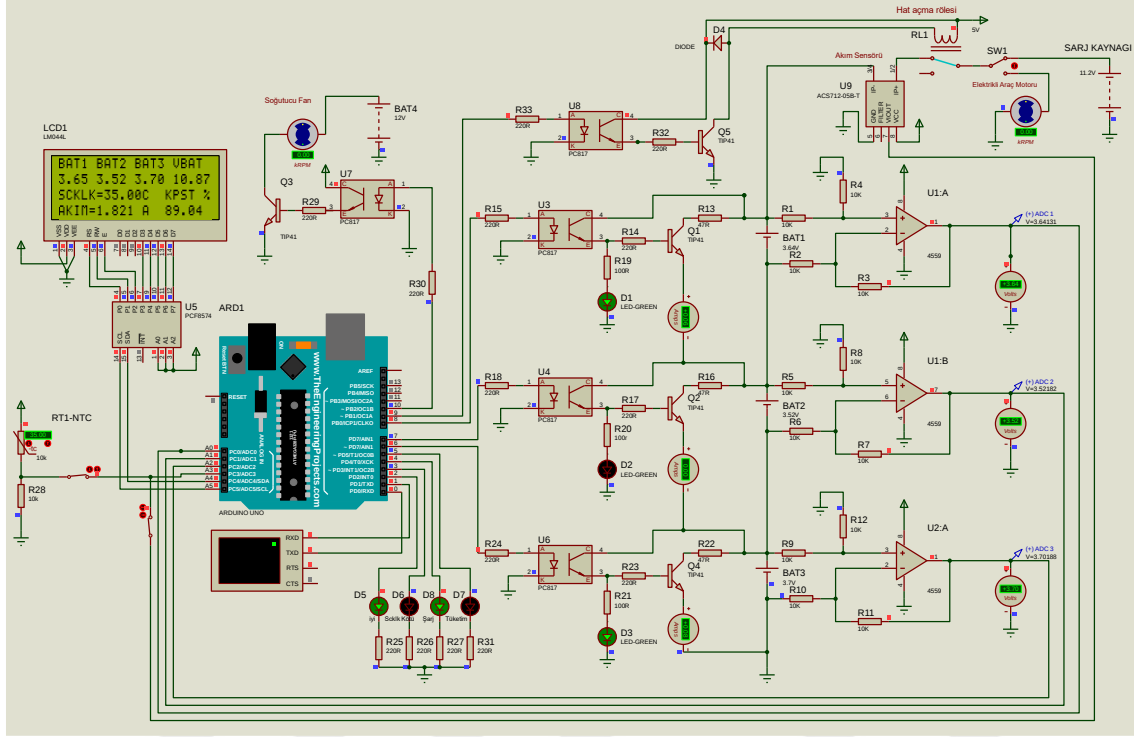
Şekil 5.15'te görüldüğü gibi eğer sıcaklık 60 °C'nin altındaysa röle kontağını kapattığı için bataryanın anlık tükettiği akım ölçülüyor. Sıcaklık bu değerin üzerinde ise bataryanın şarj ya da deşarjı durdurulması gerekmektedir.



Şekil 5.15. ACS712 akım sensörünün devreye bağlantı şeması

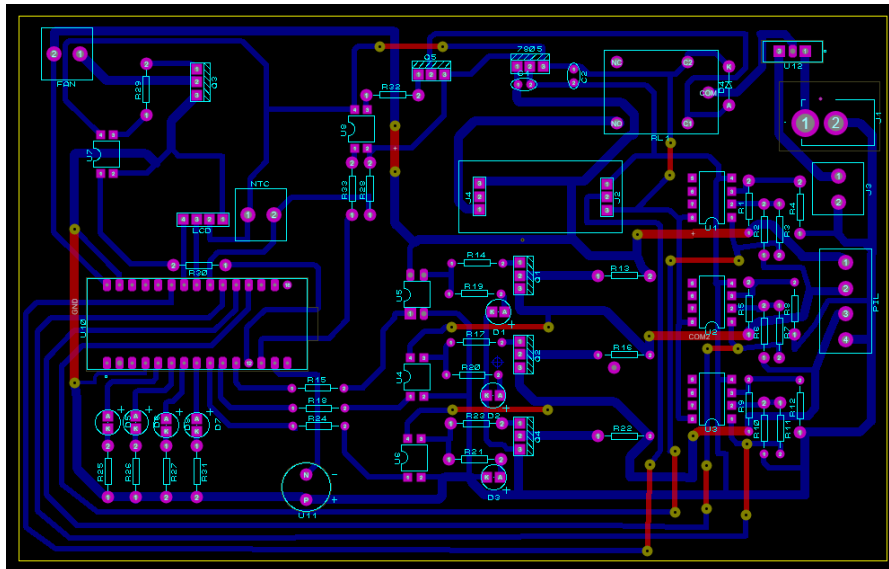
5.2.9. BYS Ana Devre Şeması

Şekil 5.16’da tasarlanan BYS’nin genel hatlarıyla açık şeması verilmiştir.



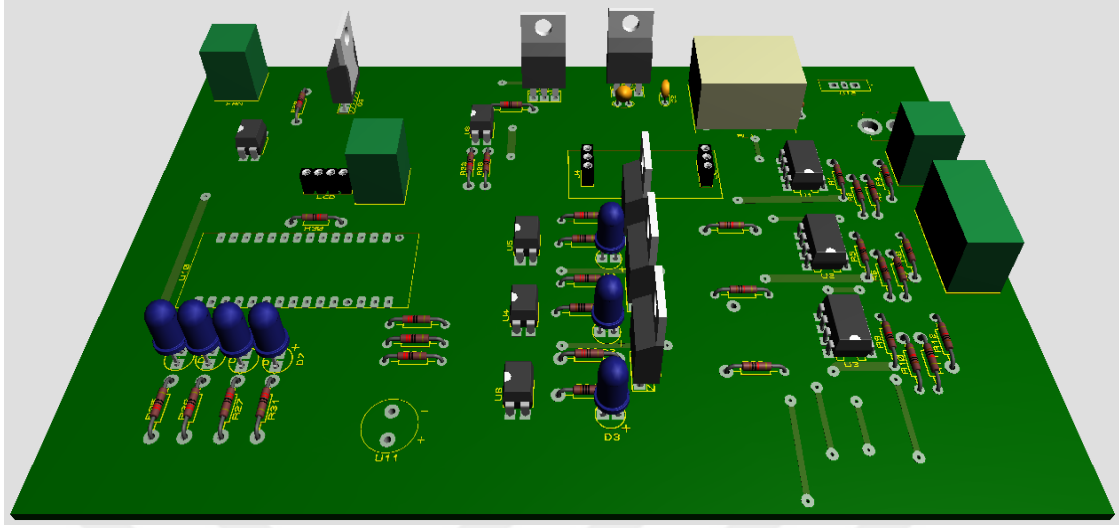
Şekil 5.16. BYS ana devre şeması

ARES simülasyon uygulamasında tasarlanan BYS’nin ana kart baskı devresi Şekil 5.17’de görülmektedir.



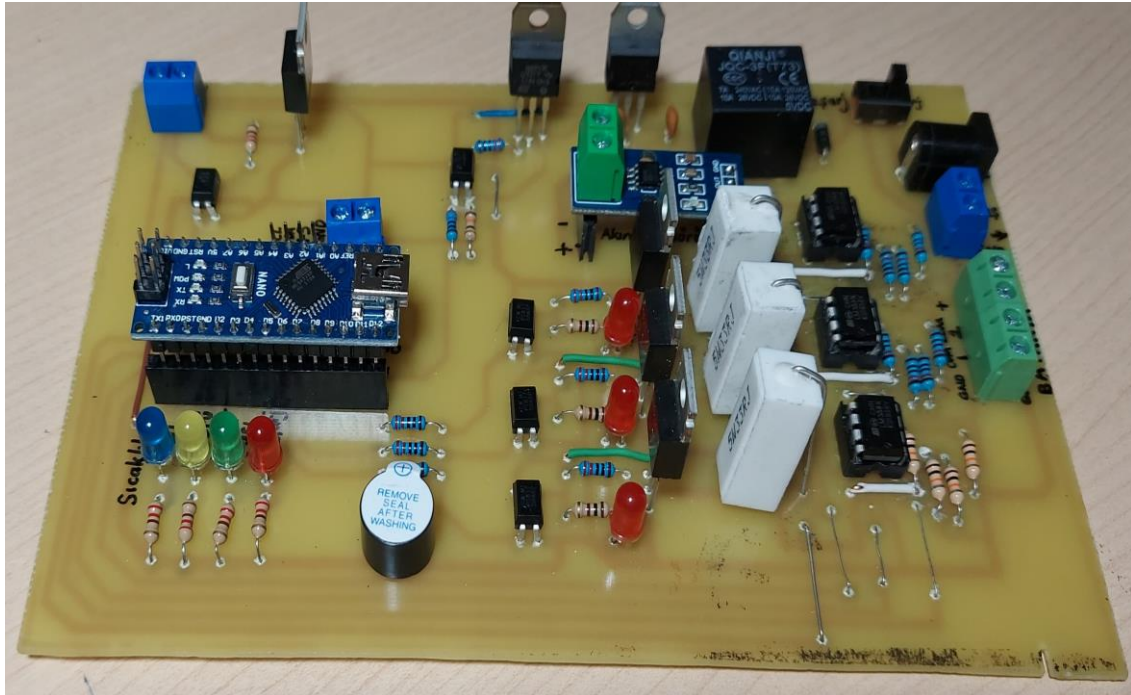
Şekil 5.17. BYS anakart baskı devre şeması

Tasarlanan BYS'nin ana kartının 3 boyutlu şeması Şekil 5.18'de görülmektedir.



Şekil 5.18. BYS ana kartının 3 boyutlu şeması

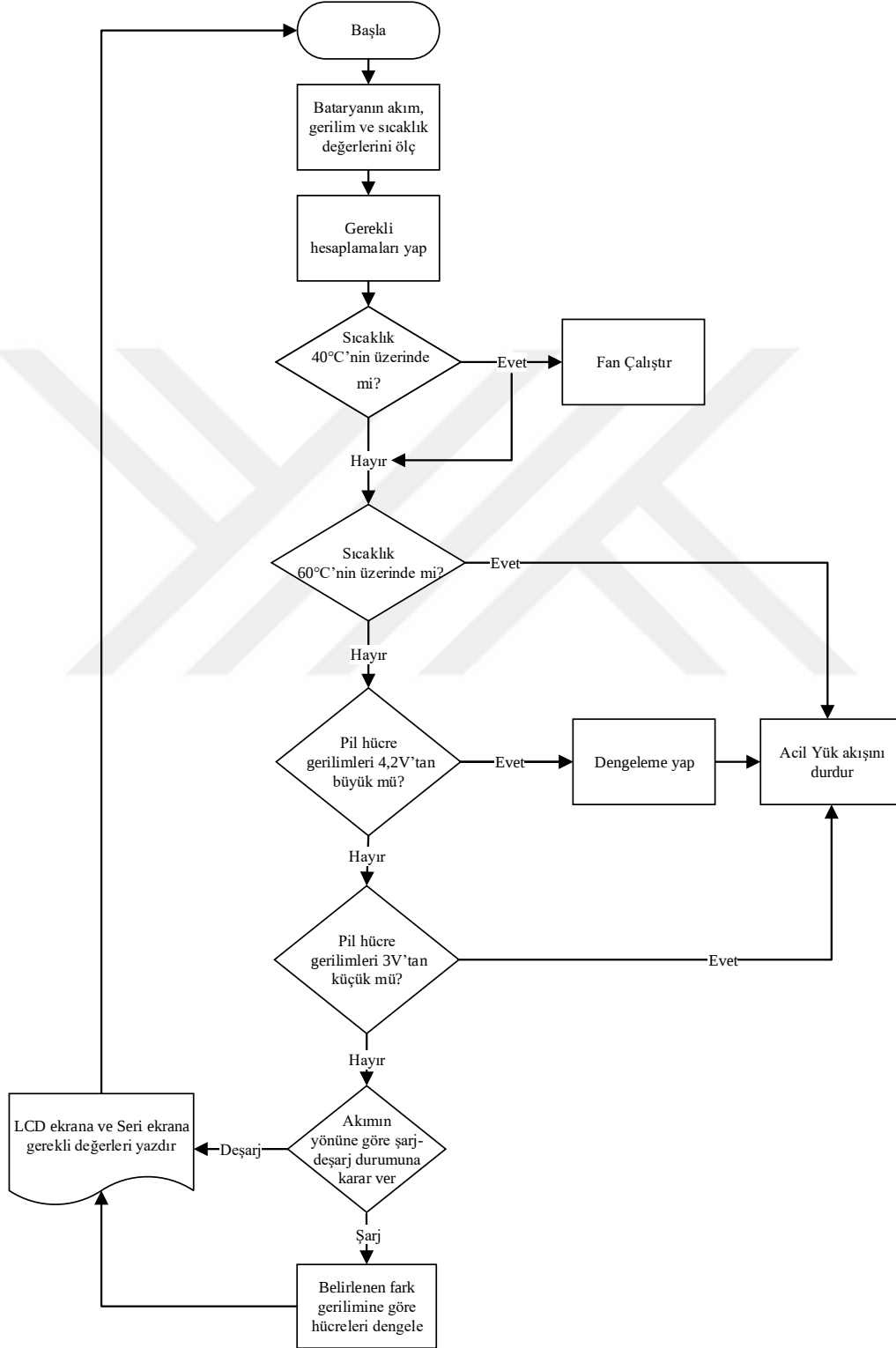
Tasarlanan BYS'nin ana kartının baskı devre şeması ARES simülasyon uygulamasında çizilip, baskı devre kartına aktarıldıktan sonra gerekli asit çözeltisine atılıp uygun akım yolları oluşturuldu. Sonrasında devre elemanlarının uygun yerlerine yerleştirilmesi için delikler açıldı ve devre elemanları uygun yerlere yerleştirildi. BYS ana kartının son hali Şekil 5.18'de görülmektedir.



Şekil 5.19. BYS ana kartı görüntüsü

5.2.10. BYS Akış Şeması

Şekil 5.20’de tasarlanan BYS’nin akış şeması görülmektedir.

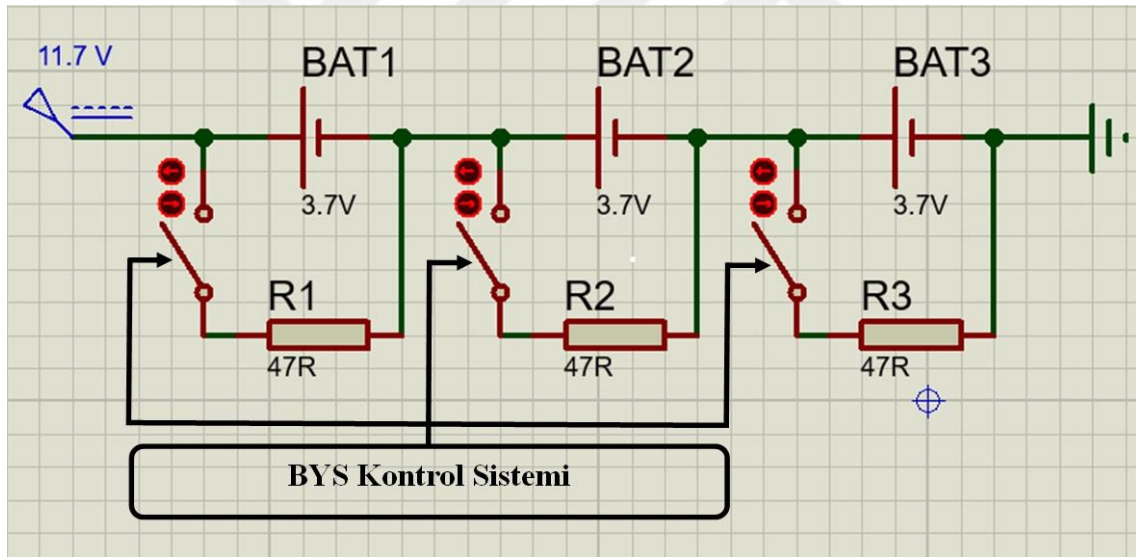


Şekil 5.20. BYS akış şeması

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada EA'larda yaygınca kullanılan Li-ion pil hücreleri tercih edilerek, pasif dengeleme yöntemiyle hücre dengelemesi yapan mikrodenetleyici kontrollü bir merkezi tip bir BYS tasarımı yapılmış, çalıştırılmış ve hazırlanan akış şemasındaki algoritmaya göre çalışıp çalışmadığı test edilmiştir.

Akış şemasında da görüldüğü üzere mikrodenetleyici pil hücre gerilimlerini, anlık sıcaklığı ve deşarj ya da şarj akımını işlemek için ölçmesi gerekmektedir. Gerekli ölçümler yapıldıktan sonra oluşturulan algoritmaya göre yazılan kodlarla BYS'nin ne yapacağına karar verip güvenli şekilde görevlerini yapması gerekmektedir. Yapılan çalışmanın, akış şemasına göre sorunsuz çalıştığı test edilmiş ve alınan bulguların hedeflenen değerlerle örtüştüğü görüşülmüştür. Ölçüler değerler tablo ve şekil olarak verilecektir. Tasarlanan BYS'nin genel yapısı Şekil 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.1. BYS genel yapısı

Çalışmada tercih ettiğimiz pasif dengeleme yönteminde pil hücrelerinin, bizim belirlediğimiz hücre gerilim farkı değerine göre dengeleme yapması gerçekleşti. Yapılan çalışmada 0,2 V gerilim toleransı belirlendi. Bu değer istenilirse mikrodenetleyiciye yüklenen kodla değiştirilebilmektedir. Algoritmaya göre en düşük hücre gerilimi tespit edilerek ve baz alınarak diğer hücrelerden, gerilim farkı 0,2 V'tan büyük olanlar direnç üzerinden deşarj edilerek dengelendi. Bu şekilde hücre gerilimlerin şarj boyunca birbirine yakın olması sağlandı ve istenilen sonuçlar alındı.

Gerilim toleransı kadar sıcaklık takibi piller için önemli kriterdir. Bunun için her an sıcaklığın takibini yapması BYS'nin en büyük görevidir. Pil hücrelerinin en ideal çalışma sıcaklığını gözetirsek sıcaklık değeri 0 °C ile 60 °C arasında olması gerekmektedir. Akış şemasında da belirtildiği üzere pil sıcaklıkları 60 °C'nin üzerine çıktığında BYS'nin ana koldaki röleyi açarak pilleri devre dışı yaptığı gözlemlendi. Eğer sıcaklık 40 °C ile 60 °C arasında ise fan devreye girdiği ve 60 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise ana hat açılıp pil hücreleri devreden çıkarılsa bile fanın çalışmaya devam ettiği gözlemlendi.

BYS'nin tüm görevlerini yerine getirip getirmeyeceği tüm ihtimaller gözetilerek denenmiş ve sonuçlar hedeflendiği gibi alınmıştır. Bu sonuçlar aşağıda verilecektir.

İlk testimizde LCD ekranda Şekil 6.2'de verilen değerler ölçülmüştür. BYS, seri ekranda da görüldüğü gibi 2. hücreyi, 3,41 V gerilimle en düşük gerilime sahip hücre olarak tespit etmiştir. Dengeleme fark gerilimi 0,2 V baz alındığı için 3,41 V + 0,2 V değerinin altında kalmasından dolayı 1. hücre dengeli olarak kabul edilirken 3. hücrenin dengelendiği görülmektedir. Dengelenen hücrenin deşarj işlemi 0,2 V baz gerilimin altına düşünceye kadar uygun transistör tetiklenerek gerçekleşecektir.

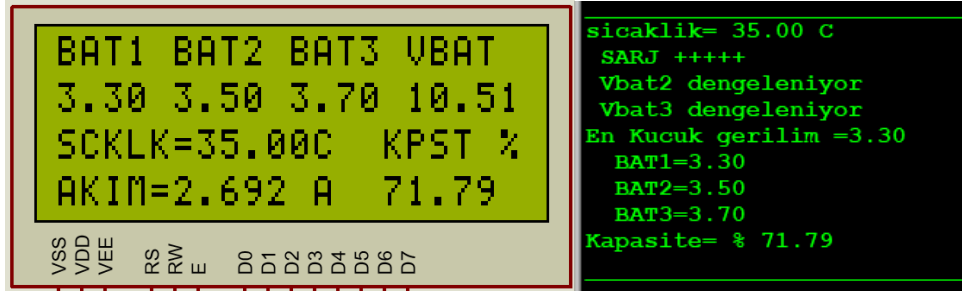


Şekil 6.2. Birinci test sonuçları

Ayrıca şekil 6.2'de sıcaklığın istenilen aralıkta olduğu için şarja izin verildiği, anlık ölçülen şarj akımı, pillerin anlık kapasitesi ve toplam batarya gerilimi LCD ekranda görülmektedir.

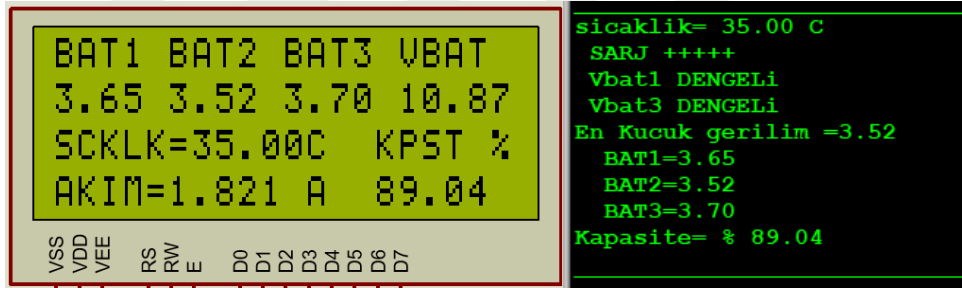
İkinci testimizde en düşük batarya tespit edildikten sonra diğer batarya gerilimlerinin istenilen baz değerinin dışında olduğu için dengelendiği görülmektedir. 1. Hücre gerilimi 3.30 V ölçüldüğü için diğer hücre gerilimleri 3,30 V+0,2 V gerilim değerlerine kadar ya da fark gerilimlerin 0,2 V altına düşünceye kadar deşarj edilmesi gerekir. Şekil

6.3'te LCD ekranda ve seri port ekranından alınan değerler ve dengelenen 2. ve 3. hücreler görülmektedir.



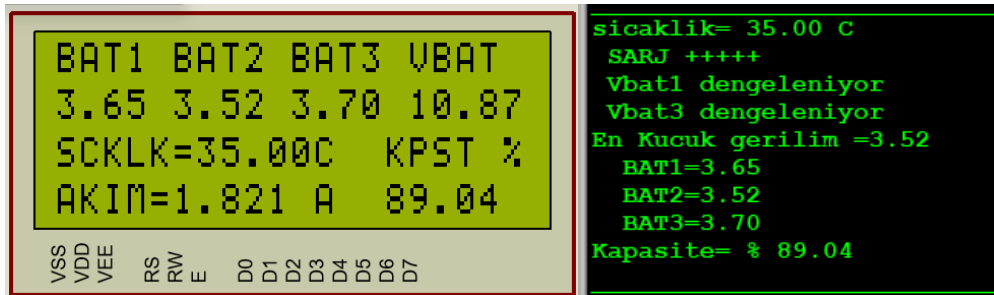
Şekil 6.3. İkinci test sonuçları

Üçüncü testimiz Şekil 6.4'te de görüldüğü üzere dengeleme fark gerilimi 0,2 V baz alındığından dolayı tüm hücreler dengeli olduğu görülmektedir. Şarj işlemi dengeli bir şekilde gerçekleşmiş olmaktadır.



Şekil 6.4. Üçüncü test sonuçları

Eğer dengeleme fark gerilimi 0,1 V baz alınır Şekil 5.4'te hücrelerin dengeli olduğuna karar veren BYS, bu sefer aynı gerilimlerde hücrelerin dengesiz olduğuna karar verip Şekil 6.5'te görüldüğü gibi dengeleme işlemi yapmaktadır.



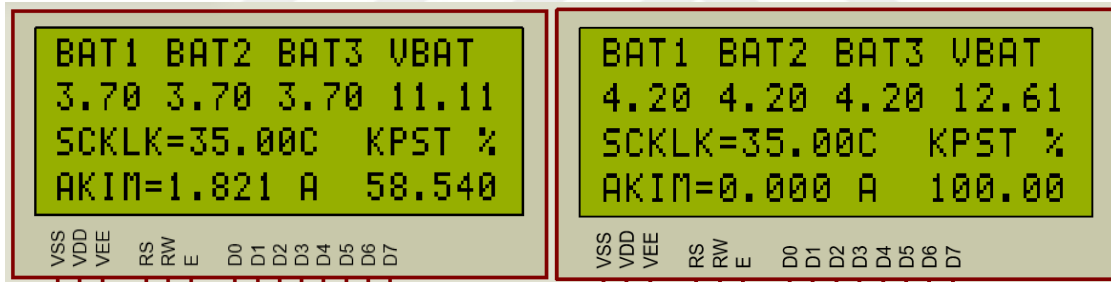
Şekil 6.5. Üçüncü test sonuçları

Baz alınan gerilim 0,1 V alındığında daha önce dengeli kabul edilen 1. ve 3. hücrelerin dengeleme transistörlerin aktif olduğunu gösteren Tablo 6.1 aşağıda görülmektedir.

Tablo 6.1. Hücrelerin dengelenme durumları

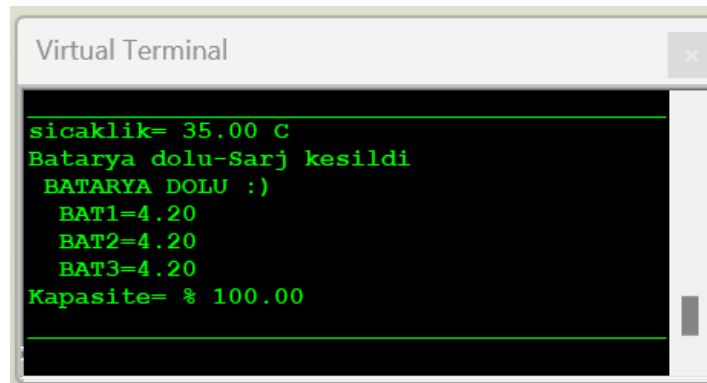
Hücreler	Gerilimler	Dengeleme-Led Durumu (0/1)	Dengeleme Akımları
Hücre 1	3,65 V	1	0,179 A
Hücre 2	3,52 V	0	0 A
Hücre 3	3,7 V	1	0,181 A

Kullanılan Panasonic CGR18650DA model Li-ion pil hücresinin üretici firmanın katalog bilgilerinde pilin nominal gerilimi 3,6 V iken maksimum şarj gerilimi 4,2 V'tur. Yukarıdaki testlerde hücre gerilimleri 3,7 V'a ulaşması durumunda şarj işlemi durdurulmasına karar verilmiştir ve batarya kapasitesinin %100 olduğu kabul edilmektedir. Bu değerlerin baz alınması bataryaların uzun ömürlü olması ve daha az ısınması içindir. Yoksa bataryalardan maksimum enerji alınabilmesi için maksimum gerilimleri olan 4,2 V gerilime kadar şarj edilebilmesi mümkündür. Şekil 6.6'da maksimum gerilime göre şarj işlemi yapıldığında önceki baz alınan gerilim değerine göre kapasitenin değişimi görülmektedir.



Şekil 6.6. Maksimum gerilime göre şarj işlemi

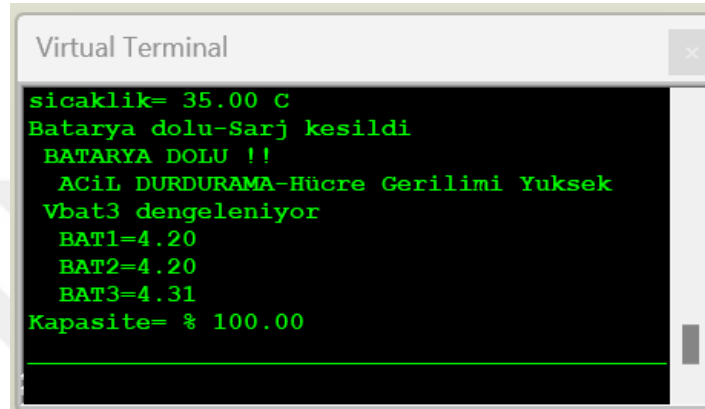
Yapılan testte pil hücre gerilimleri maksimum değere ulaştığında ise şarj işleminin durdurulduğu seri haberleşme ekran görüntüsü olan Şekil 6.7'de görülmektedir.



Şekil 6.7. Batarya doluluk testi görüntüsü

Hücre gerilimlerinden herhangi birisi olağan dışı bir durumdan dolayı bu sınır gerilim değeri olan 4,2 V gerilimi aşarsa BYS, sistemi koruyan ana hat açma rölesi kontaklarının açılmasını sağlayarak devrenin enerjisini kesmesi gerekir.

Yapılan testlerde de bu istenilen sonuçlar alınmıştır. Şekil 6.8’de görüldüğü gibi üçüncü hücre gerilimi sınır değeri olan 4,2 V gerilimi aştığı için şarj işleminin durdurulduğu ve o hücrenin dengelendiği görülmüştür.



```

Virtual Terminal
sicaklik= 35.00 C
Batarya dolu-Sarj kesildi
BATARYA DOLU !!
ACİL DURDURAMA-Hücre Gerilimi Yuksek
Vbat3 dengeleniyor
BAT1=4.20
BAT2=4.20
BAT3=4.31
Kapasite= % 100.00

```

Şekil 6.8. Maksimum gerilimde sistem koruma durumu

Yapılan incelemede batarya hücrelerinden herhangi birinin geriliminin sınır değeri aşması durumunda Tablo 6.2’deki sonuçlar alınmıştır.

Tablo 6. 2. Maksimum gerilimde sistem koruma durumu

Hücreler	Gerilimler	Dengeleme-Led Durumu (0/1)	Acil Durdurma Rölesi
Hücre 1	4,29 V	1	Aktif
Hücre 2	3,52 V	0	
Hücre 3	3,7 V	0	

BYS’nin en önemli görevlerinden biri de sıcaklık takibidir. Sıcaklık istenilen değerlerin dışına çıktığında şarj ya da deşarj işlemi kesilmeli ya da gerekliyse soğutucu fan devreye girmelidir. Bunun için pil hücrelerine temas halde bulunan NTC ile anlık sıcaklık takibi yapılmaktadır. NTC’den okunan sıcaklık değerleri istenilen değerlerin dışına çıkması durumunda mikrodenetleyici, algoritmada belirtilen şartlara göre bataryanın sıcaklığını kontrol altında tutması ya da bataryayı devreden çıkarması gerekir. Tablo 6.3’te görüldüğü gibi 0 °C’nin altı ve 60 °C’nin üzeri olağan dışı sıcaklık olarak kabul edilmektedir.

Tablo 6.3. Sıcaklığa göre hat açma rölesinin ve fanın durumları

Sıcaklıklar	Acil Durdurma Rölesi (0/1)	Fan Çalışma Durumu (0/1)
-5 °C	1	0
25 °C	0	0
43 °C	0	1
65 °C	1	1

Test aşamasında sıcaklık değeri 65 °C'ye ulaşması durumunda BYS, acil olarak hat açma rölesini aktif ederek şarj ya da deşarj işlemini durdurarak en önemli görevlerinden birini de başarıyla yerine getirmiştir. Ayrıca bataryanın sıcaklığının düşmesi için de soğutucu fanı aktif ettiği görülmektedir.

BYS'nin seri haberleşme ile dış dünyaya aktardığı bilgiler Şekil 6.9'da görülmektedir. Ayrıca sıcaklık takibiyle aynı anda gerilim değeri istenilen değerin üzerinde olan hücrenin dengelendiği de görülmektedir.

```

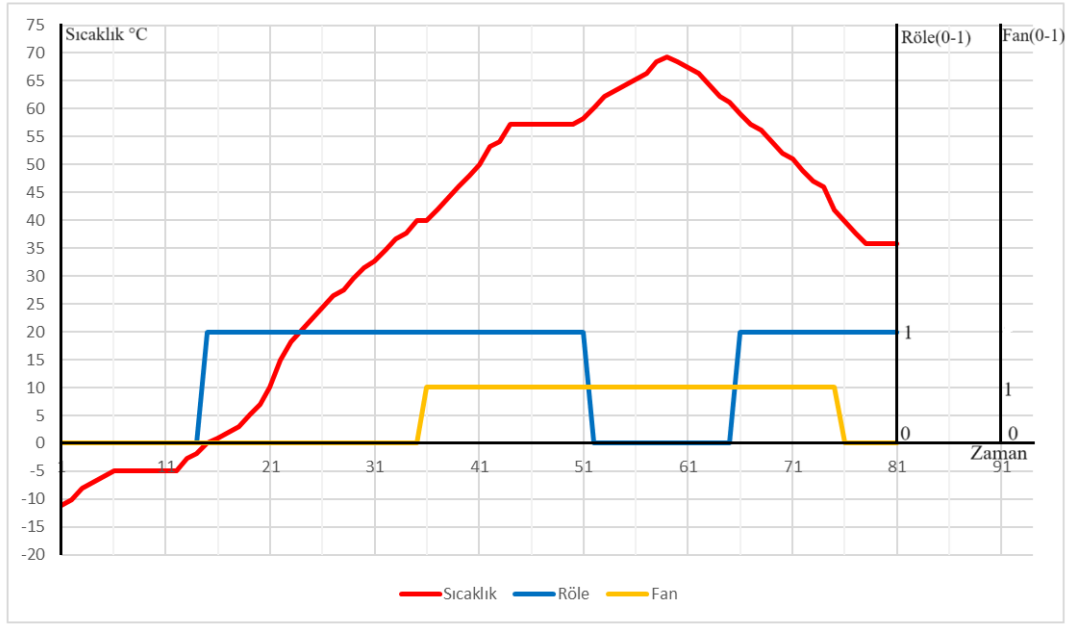
sıcaklık= 65.00 C
ACİL DURDURMA-Hücre Sıcaklığı Yüksek
FAN Devrede
ACİL DURDURMA-Hücre Gerilimleri Yüksek
Şarj-Deşarj Durduruldu
Vbat1 dengeleniyor
BAT1=4.29
BAT2=3.52
BAT3=3.70
Kapasite= % 91.61

```

Şekil 6. 9. BYS sıcaklık testi

Sıcaklık değişimine göre soğutucu fanın ve acil durdurma rölesinin konumları Şekil 6.10'da görülmektedir. Grafik incelendiğinde sıcaklık 0 °C'nin altındayken ve 60 °C'nin üzerindeyken röle konumunu 0'a çekip pasif konuma alıyor. Böylelikle de akım geçişini sonlandırmış oluyor.

Sıcaklık değişimiyle fanın konumuna baktığımızda sıcaklık 40 °C'nin üzerinde aktif oluyor ve 60 °C'nin üzerinde akım geçişi sonlansa bile batarya sıcaklığı 40 °C'nin altına düşünceye kadar aktif durumda kalarak soğutma işlemini devam ettiriyor.



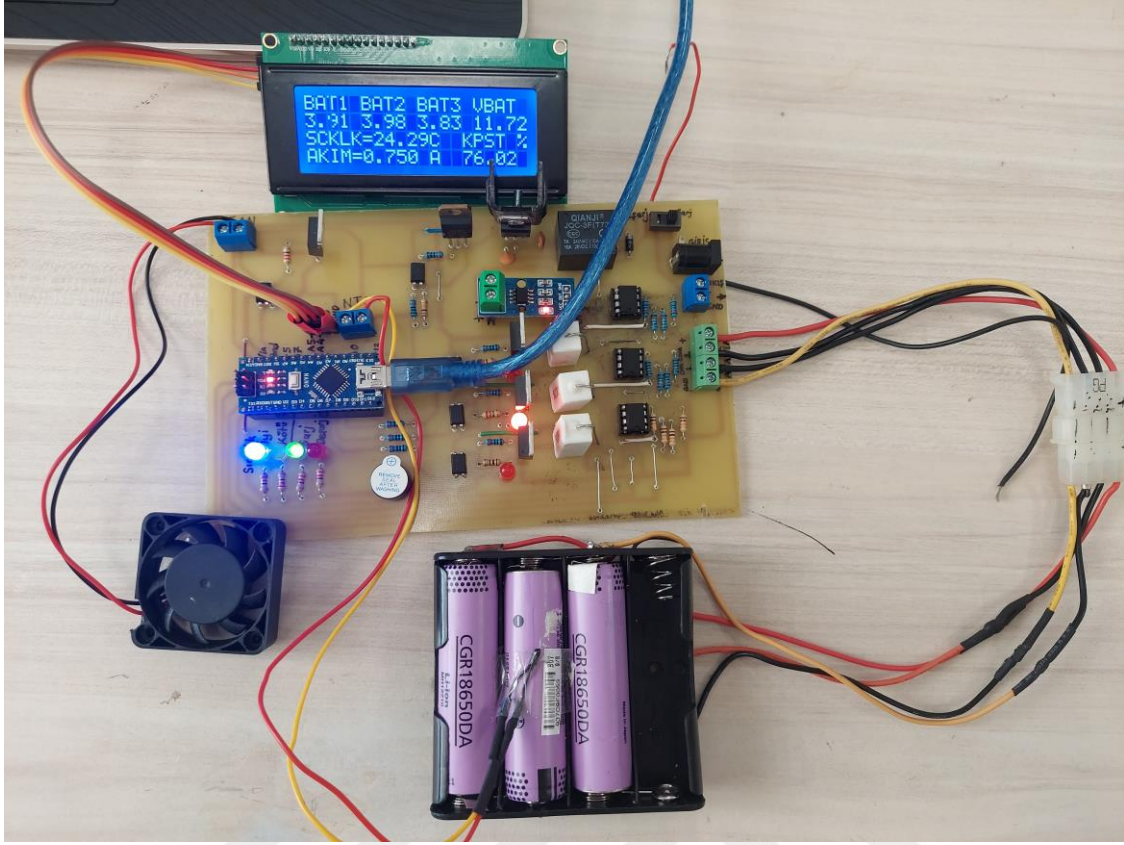
Şekil 6.10. Sıcaklığa göre hat açma rölesinin ve soğutucu fanının konumları

Tasarımda dengeleme esnasında oluşacak ısıya karşı dayanıklı olan ve yüksek güçlü dirençler olarak bilinen taş dirençler kullanıldı. Devrede 12 Ω , 22 Ω ve 33 Ω değerinde 3 dirençle dengeleme test edildiğinde Tablo 6.4'deki veriler elde edildi. Test sonucunda 22 Ω değerindeki direncin tercih edilmesi durumunda dengelemenin daha güvenli verimli gerçekleşeceği görülmüştür. 12 Ω direnç tercih edildiğinde hızlı dengeleme gerçekleşmesiyle birlikte transistör ve dirençte ısınma fazla olduğu tespit edilmiştir. 33 Ω direnç tercih edildiğinde ise dengelemenin yavaş yeterli olmadığı görülmüştür.

Tablo 6.4. Direnç değerlerine göre dengeleme akımlarının durumları

Hücre Gerilimleri	Dirençlere Göre Dengeleme Akımları		
	12 Ω	22 Ω	33 Ω
3,0 V	253 mA	150 mA	96 mA
3,2 V	268 mA	159 mA	104 mA
3,4 V	284 mA	168 mA	111 mA
3,6 V	300 mA	177 mA	117 mA
3,8 V	316 mA	185 mA	124 mA
4,0 V	331 mA	194 mA	131 mA
4,2 V	347 mA	203 mA	138 mA

Simülasyon ortamında testlerini başarılı olarak yerine getiren BYS tasarımı, aynı testleri başarıyla hatsız şekilde yerine getirmiştir. Tasarlanan BYS Şekil 6.11'de görülmektedir.



Şekil 6.11. Tasarlanan BYS'nin görüntüsü

BYS'de yapılan ilk testimiz şarj anındayken bataryalar arası fark gerilimi 0,1 V gibi küçük bir gerilim dahi baz alındığında simülasyon ortamındaki yapılan işlemleri yine başarıyla yerine getirdiği gözlemlenmiştir. Yazılan kodlarda 'j' olarak isimlendirilen bataryalar arası fark gerilimi 0,1 V alındığı Şekil 6.12'de görülmektedir.

```
float Vbat3;  
float a,b;  
float j=0.1;    //Batarya gerilim fark marj degeri  
  
int led1=2;    //Sıcaklık iyi  
int led2=3;    //Sıcaklık kötü  
int led3=4;    //Şarj oluyor
```

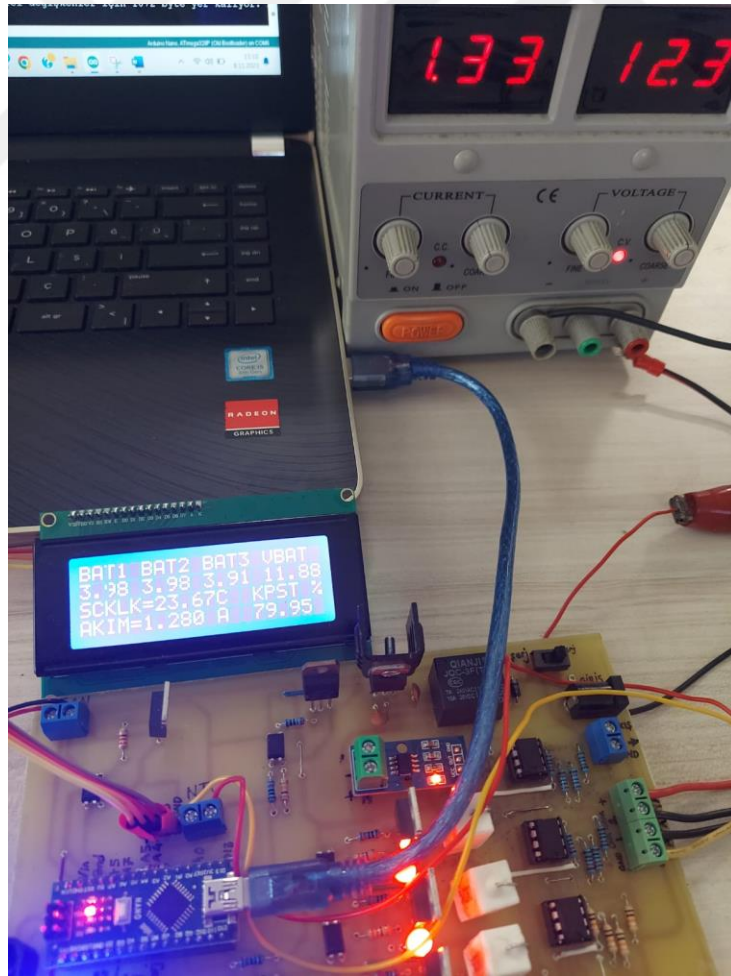
Şekil 6.12. Baz alın fark gerilim değeri

Test sonucunda bilgisayara bağlı olan BYS'den seri haberleşme ekranından ve LCD ekrandan Şekil 6.13'teki bilgiler alınmıştır.



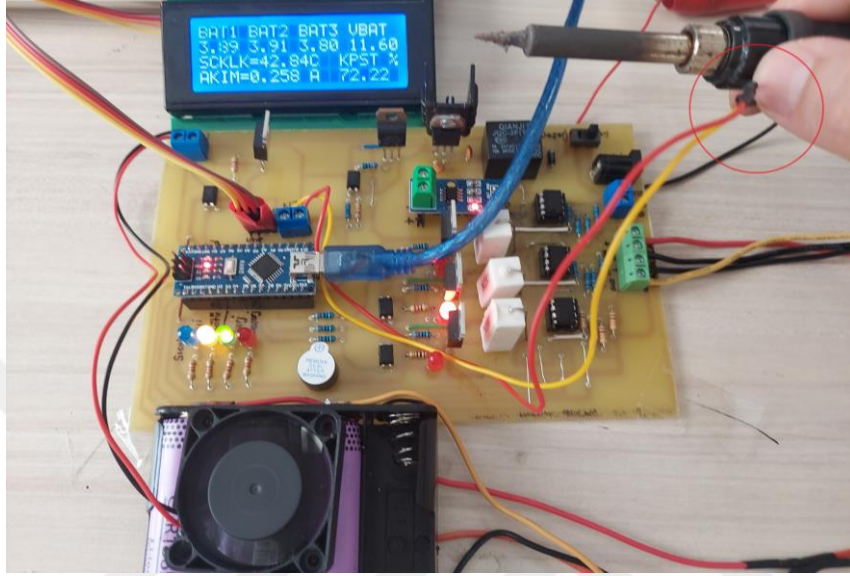
Şekil 6.13. Seri haberleşme portundan ve LCD ekranından alınan bilgiler

Okunan bilgilere bakıldığında sıcaklığın normal, BYS şarj durumunda, referans alınan 0,1 V'un üzerinde olduğu için 2. hücrenin dengelendiği, referans alınan 3. hücre olduğu için ve fark geriliminin altında kaldığı için 1. hücrenin dengelenmediği görülmektedir. Eğer fark gerilimi 0,05 V gerilime düşürülürse daha hassas bir dengeleme yapıldığını ve hücre gerilimlerinin birbirine daha yakın olduğunu gösteren teste ait görsel Şekil 6.14'te görülmektedir.



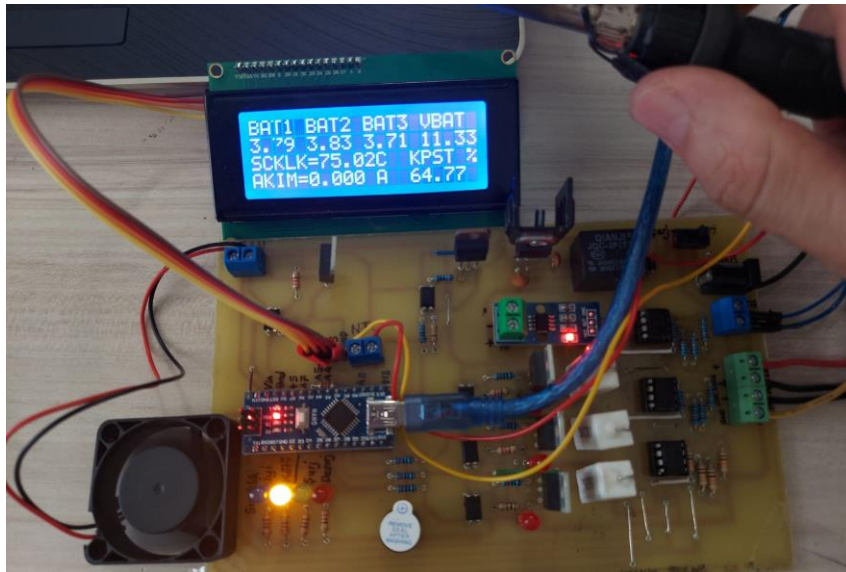
Şekil 6.14. Düşük fark geriliminde LCD ekrandan alınan bilgiler

Dengelenme testlerinden sonra sıcaklık testleri yapıldığında istenilen görevlerin yapıldığı tespit edilmiştir. Örneğin pil hücrelerine sabitlenen sıcaklık okuyucu NTC havaya ile ısıtıldığında ve sıcaklığı 40 °C'nin üzerine çıktığında soğutucu fanın devreye girdiği Şekil 6.15'te görülmektedir.



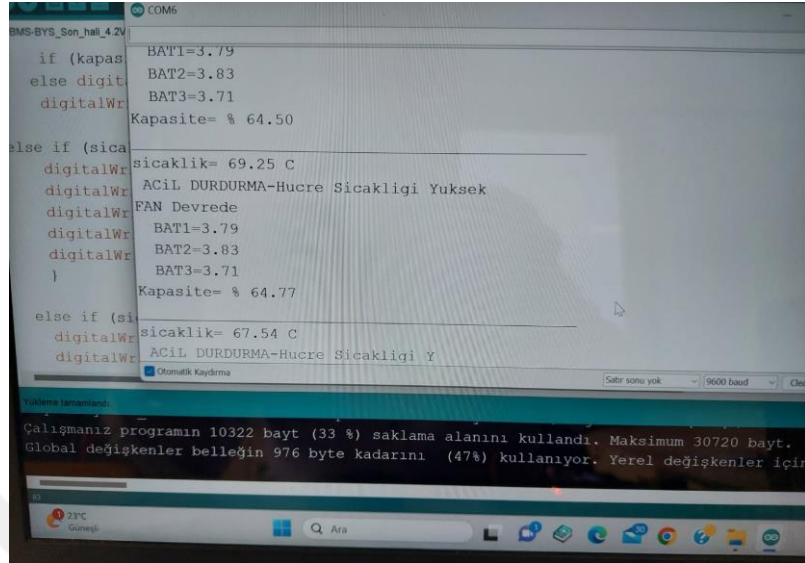
Şekil 6.15. Soğutucu fanının çalışması

Bir sonraki testimiz BYS'de kesinlikle olması gereken yüksek sıcaklıklarda acil yük akışını durdurma testidir. Yapılan testte NTC, 60 °C'nin üzerine çıktığında soğutucu fanın devreye girdiği ve şarj, deşarj ve dengeleme işleminin sonlandırıldığı Şekil 6.16'da görülmektedir.



Şekil 6.16. BYS sıcaklık testi

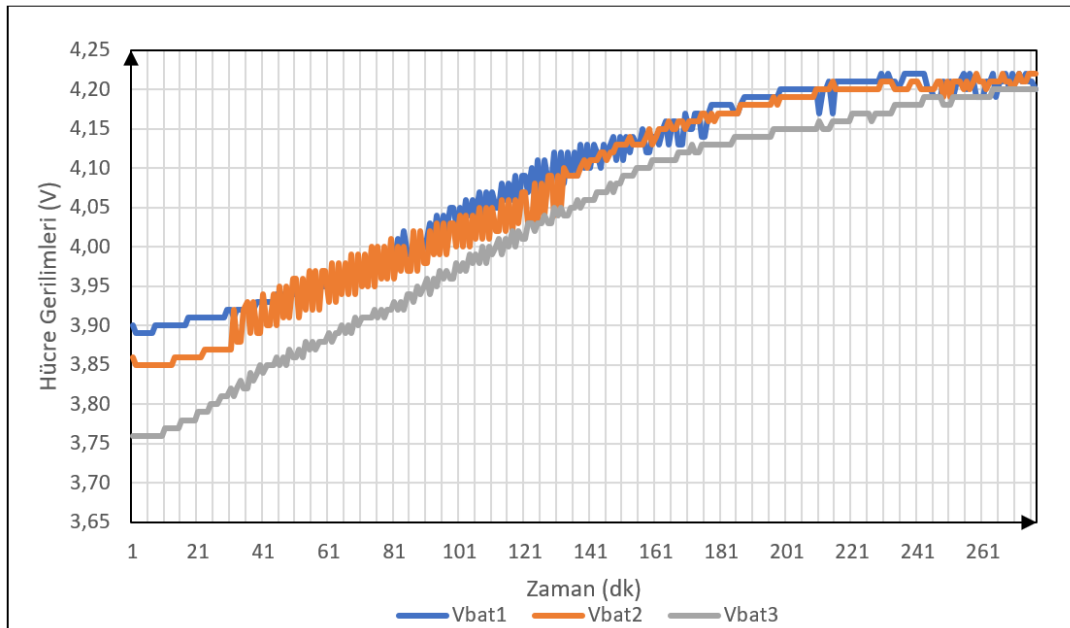
Ayrıca bilgisayarın seri haberleşme ekranından da sıcaklıktan dolayı yük akışının sonlandırıldığı ve diğer bilgiler Şekil 6.17’de görülmektedir.



Şekil 6.17. Seri haberleşme ekranı

Batarya hücreleri sabit bir gerilimde şarj edilmiştir ve şarj süresince her dakikada bir BYS’deki bilgiler SPI haberleşmesiyle bilgisayara aktarılmıştır. Bu bilgilerle, gerilim, akım ve sıcaklık grafikleri oluşturulmuştur.

Şekil 6.18’de pil hücrelerinin zamana göre şarj ve dengelenme eğrileri görülmektedir.



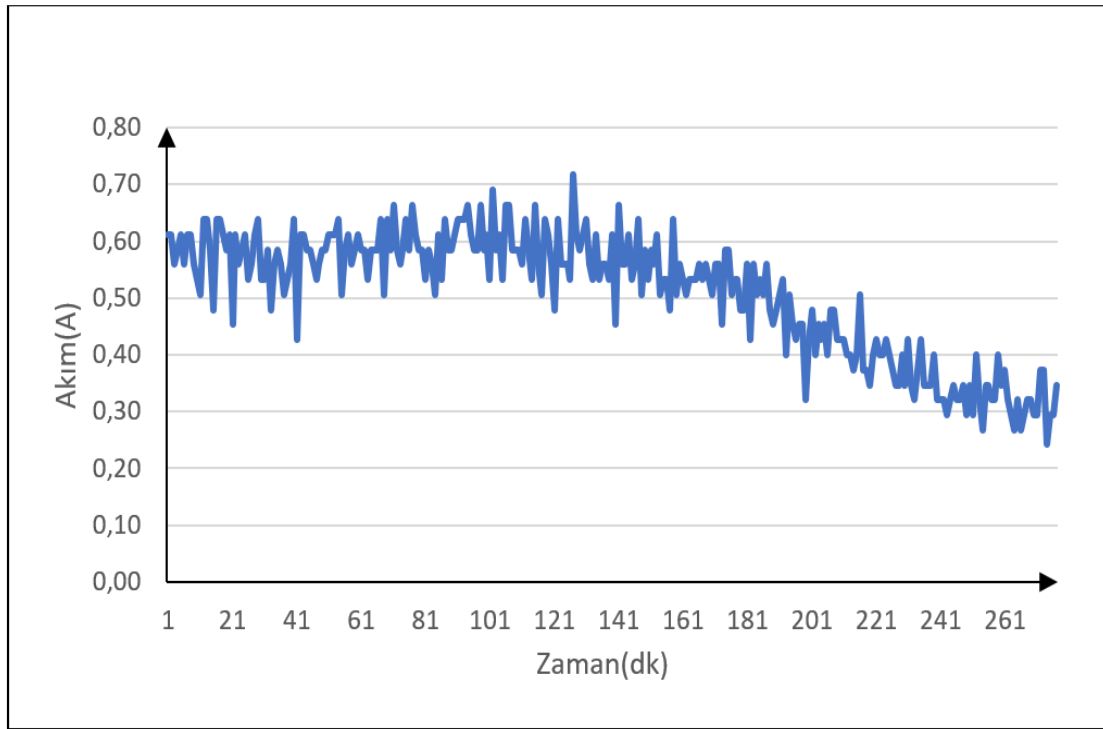
Şekil 6.18. Şarj anında pillerin dengelenme grafiği

Şekil 6.18’de görüldüğü gibi BYS, en düşük gerilime sahip olan 3. pil hücresinin gerilim değerini referans olarak alıp şarj işlemi boyunca 1. ve 2. pil hücrelerini dengelemeye sokmuştur.

Test anında bataryalar arası fark gerilimi sisteme 0,05 V olarak girildiği için şarj boyunca dengeleme, bu baz gerilimin yukarısına çıktığı durumlarda gerçekleşmiştir. Baz alınan değer altında ise dengeleme durmuştur.

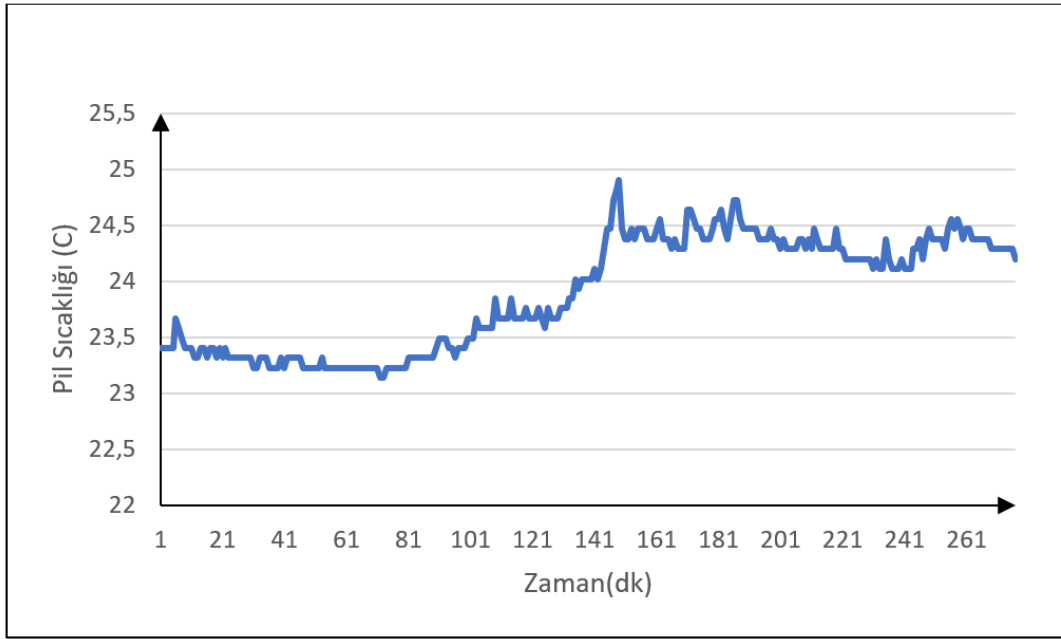
Şarj işlemi sonucunda ise tüm hücre gerilimleri 4,2 V’ta eşitlenmiş ve şarj durumu sonlandırılmıştır.

Yine BYS’den alınan akım bilgileri grafik haline getirildiğinde Şekil 6.19’daki grafik oluşmaktadır. Grafik incelendiğinde şarj işlemi devam ettikçe akım değeri azalmış ve batarya şarj işlemi sonunda akım değeri düşmüştür.



Şekil 6.19. Şarj anındaki akım değişimi grafiği

Şarj işlemi boyunca kaydedilen sıcaklık değerlerinden grafik oluşturulduğunda sıcaklığın değişim durumu Şekil 6.20’de görülmektedir.



Şekil 6.20. Şarj anındaki batarya sıcaklık değişimi grafiği

Yapılan tüm simülasyon ortamındaki ve gerçekteki testlerden çıkan sonuçlar karşılaştırıldığında BYS'nin başarılı olduğu görülmüştür. Tasarlanan BYS, tüm istenilen şartları yerine başarıyla yerine getirmiştir. Sadece akım sensöründen okunan değerlerde hatalar ve anlık değişen titreşimler tespit edilmiştir. Ölçüm hatası kodlarda yapılan düzenlemelerle, akımda oluşan parazitler ise akım sensörünün analog çıkışına sinyali filtrelemesi için kondansatör eklenerek minimize edilmiştir. Simülasyon ortamında alınan sonuçlarla gerçek ortamda alınan sonuçların tablo halinde karşılaştırılması Tablo 6.5'te görülmektedir.

Tablo 6.5. Simülasyonun ve gerçek sonuçların karşılaştırılması

BYS Görevleri	Simülasyon	Gerçek
Şarj anında dengeleme	Sağlandı	Sağlandı
En düşük gerilimli hücre tespiti	Sağlandı	Sağlandı
İstenilmeyen sıcaklıklarda hat açma rölesi	Aktif	Aktif
Şarj bitiminde ana hat açma rölesi	Aktif	Aktif
Akım değerini doğru okuma durumu	Başarılı	Orta
Gerilim değerini doğru okuma	Başarılı	Başarılı
Sıcaklık değerini doğru okuma	Başarılı	Başarılı
İstenilen sıcaklık değerinde fan aktif etme	Aktif	Aktif
Derin deşarj önleme	Sağlandı	Sağlandı

7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında EA'ların enerji ihtiyacını sağlayan bataryaların yönetimini sağlayan mikrodenetleyici tabanlı BYS tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarımda merkezi tip BYS tercih edilmiş ve Li-ion pil hücrelerinden oluşan 3S1P pil grubunun sıcaklık, akım, gerilim değerleri takip edilmiş ve pasif dengeleme ile pillerin şarj anında dengelenmeleri gerçekleştirilmiştir.

Tasarımı yapılan BYS öncelikle Proteus uygulamasında denenmiş ve tüm istenilen görevleri yerine yetirdiği saptanmıştır. Sonrası bu tasarım baskı devre yöntemiyle baskı devre kartına aktarılıp kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kurulum sonrası tüm olasılıklar denenmiş ve çıkan sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Çıkan sonuçlarda BYS'nin akış şemasındaki tüm görevlerini yerine getirdiği görülmüştür.

Tasarımda bataryanın akım, gerilim, sıcaklık değerleri okunmuş ve alınan değerler BYS'nin verimli ve güvenli çalışması için işlenmiştir. Okunan değişkenler ve mikrodenetleyici içindeki bilinmesi gerekli olan bilgiler dış dünyaya seri haberleşme yöntemiyle ve LCD ekran üzerinden aktarılmıştır. Ayrıca bilgisayara aktarılan bilgilerden gerekli grafikler oluşturulmuştur.

Tasarlanan BYS, yüksek ya da düşük sıcaklık, derin deşarj ya da yüksek voltajlara karşı acil durdurma rölesiyle kendini koruma altına alabilmektedir. Ayrıca bataryanın anlık doluluk durumu tahmin edilip ona göre şarj durumunun ya da deşarj durumunun sonlandırılması gerçekleştirilebilmektedir. Sıcaklık sensörü dışardan harici ısı kaynağı ile ısıtıldığında soğutucu fanın devreye girdiği ve sıcaklığın kritik seviyeye ulaşması durumunda ise acil koruma rölesiyle bataryanın devreden çıkartıldığı görülmüştür.

Tasarımı yapılan BYS'nin bütçe, tasarım kolaylığı, hız, az devre elemanı ile ilk kurulumunun kolaylığı, değişkenleri izleme ve sonrasında işlemek için saklama gibi avantajlı yanları vardır. Tasarımda pasif dengeleme prensibinden faydalandığı için ihtiyaç fazlası enerjinin dirençler üzerinden ısı olarak atılması tasarımın verimlilik açısından zayıf yanıdır. Bunun için verimlilik üzerine odaklanıldığı durumlarda tasarım zorluğu ve karmaşık yapıya da sahip olsa aktif dengelemeye odaklanılıp bu alanda çalışma yapmak tercih edilebilir. Ayrıca tasarımın bir diğer geliştirilmesi gereken yanı

BYS, SOH yani batarya sağlık durumunu kestirememektedir. Bataryaların sağlık durumu, pil hücreslerinin iç dirençlerindeki meydana gelen değişimler ve batarya kapasitesindeki değişmeler ölçülebilirse kestirilebilir.

Bundan sonraki çalışmalarda yapılan BYS, daha da geliştirilerek SOH kestirimi yapabilir hale getirilebilir. İç dünyadaki bilgilerin bluetooth ile kullanıcı cep telefonuna aktarılması hatta tasarlanan bir telefon uygulama ile BYS'nin kontrolü sağlanabilir.



KAYNAKLAR

- Andrea, D., (2010). *Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs*. Artech House, Boston.
- Avgın, M. S. (2012). Batarya Şarj Doluluk Durumu Model Parametresinin GEP ile Tahmin Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 325743.
- Baygüneş, B. (2019). Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 609249.
- Bellis, M. (2021). *The History of Electric Vehicles Began in 1830*. ThoughtCo, <https://www.thoughtco.com/history-of-electric-vehicles-1991603>, (Ziyaret tarihi: 27 Mart 2023).
- Bıktım, E. (2019). *Togg'un Doğuşu ve İlk Ciddi Adımlar*. Cnnrtürk, <https://www.cnntrk.com/teknoloji/toggun-dogusu-ve-ilk-ciddi-adimlar>, (Ziyaret tarihi: 30 Mart 2023).
- Chan, C. C. (2012). The rise & fall of electric vehicles in 1828–1930: Lessons learned. *Proceedings of the IEEE*, 101(1), 206-212.
- Civelekoğlu, G., Bıyık, Y. (2018). Ulaşım Sektöründen Kaynaklı Karbon Ayak İzi Değişiminin İncelenmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 157-166.
- Daowd, M. A. A. H., Omar, N., Van Den Bossche, P., Van Mierlo, J. (2011). A Review of Passive and Active Battery Balancing based on MATLAB/Simulink (in press). *International Review of Electrical Engineering*, 6(7), 2974-2989.
- Ekici, Y. E. (2019). Batarya Yönetim Sistemleri. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 558222.
- Gül, H.S. (2018). Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 531128.
- Güngördü, E. (2022). *Telefonlar Başta Olmak Üzere Hemen Her Elektrikli Cihaza Enerji Veren 'Batarya' Aslında Nedir, Nasıl Çalışır*. Webtecno, <https://www.webtekno.com/batarya-nedir-nasil-calisir-h125609.html>, (Ziyaret tarihi: 2 Nisan 2023).
- Hannan, M. A., Hoque, M. M., Hussain, A., Yusof, Y., & Ker, P. J. (2018). State-of-the-art and energy management system of lithium-ion batteries in electric vehicle applications: Issues and recommendations. *Ieee Access*, 6, 19362-19378.
- Hannan, M. A., Lipu, M. H., Hussain, A., 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.

- Kılıç, A. (2016). Batarya yönetim Sistemlerinde Ana ve Uydu Denetleyici Modül Tasarımı ve Can Protokolü Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 450615.
- Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J., Ouyang, M. (2013). A Review on the Key Issues for Lithium-ion Battery Management in Electric Vehicles. *Journal of Power Sources*, 226, 272-288.
- Muratoğlu, Y. (2017). Elektrikli Araçlarda Kullanılan Lityum İyon Pillerin Şarj Durumlarının Kokusuz Kalman filtresi ile Kestirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 465192.
- Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T., Yushin, G. (2015). Li-ion Battery Materials: Present and Future. *Materials today*, 18(5), 252-264.
- Orbeyi, Ö. (2022). PLC Kontrollü Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 748440.
- Özcan, Ö. F., Karadağ, T., Altuğ, M., Özgüven, Ö. (2021). Elektrikli Araçlarda Kullanılan Pil Kimyasallarının Özellikleri ve Üstün Yönlerinin Kıyaslanması Üzerine Bir Derleme Çalışması. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 8(2), 276-298.
- Özer, Ş., (2021). *Akü (pil) hakkında Bilmeniz Gereken Herşey*. Ronix, <https://ronixtools.com/tr/blog/everything-need-know-about-the-battery/>, (Ziyaret tarihi: 2 Nisan 2023).
- Richardson, D. B. (2013). Electric Vehicles and The Electric Grid: A Review of Modeling Approaches, Impacts, and Renewable Energy İntegration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 247-254.
- Rigan, M. (2020). Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 627217.
- Singh, M. (2013). Green energy for metropolitan transport. *International Journal on Power Engineering and Energy*, 338-342.
- Soydaş, Ş. (2015). Lityum Tabanlı batarya paketleri için batarya yönetim sistemi tasarımı. Yüksek Lisans tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 405845.
- Şenlik, İ. (2015). Uyuyan Devrim: Elektrikli Araçlar. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 455, 64-67.
- Tezde, E. İ., Okumuş, H. İ. (2018). Batarya Modelleri ve Şarj Durumu (SoC) Belirleme. *EMO Bilimsel Dergi*, 8(1), 21-25.

- Tie, S. F., Tan, C. W. (2013). A Review of Energy Sources and Energy Management System in Electric Vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 82-102.
- URL-1:<https://www.trthaber.com/haber/gundem/toggda-on-siparis-sureci-basladi-753497.html>, (Ziyaret tarihi: 30 Mart 2023).
- URL-2:<https://www.trthaber.com/haber/infografik/togg-ve-rakipleri-753506.html>, (Ziyaret tarihi: 30 Mart 2023).
- URL-3:<https://www.enerjigunlugu.net/turkiyede-yeni-otomobillerin-yuzde-98i-elektrikli-53358h.htm>, (Ziyaret tarihi: 30 Mart 2023).
- URL-4:<https://otomobilteknoloji.blogspot.com/2018/02/aku-nedir-akunun--yapisi-gorevi-parcalari.html>, (Ziyaret tarihi: 3 Nisan 2023).
- URL-5:<https://www.ineltro.ch/media/downloads/SAAItem/45/45958/36e3e7f3-2049-4adb-a2a7-79c654d92915.pdf>, (Ziyaret tarihi: 7 Nisan 2023).
- URL-6: <http://www.dipmicro.com/?datasheet=CGR18650DA.pdf>, (Ziyaret tarihi: 28 Ekim 2023).
- Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., ... & Tırıs, M. (2003). Elektrikli Araçlar. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze.
- Yong, J. Y., Ramachandaramurthy, V. K., Tan, K. M., & 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.



Ek-A

Geliştirilen sistem için yazılan kaynak kodları aşağıda verilmiştir.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <math.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f, 20, 4); //proteus'da 3f yerine 27 yazılacak
int deger;
int bat1; // A0
int bat2; // A1
int bat3; // A2
int Vx,Vy,Vz; //batarya doluluk oranı
int min_deger =614;
float yuzde1=0,yuzde2=0,yuzde3=0;
float doluluk1=0,doluluk2=0,doluluk3=0, kapasite=0;
int tr1=8; // optokuplör sinyalleri
int tr2=7;
int tr3=6;
float Vbat1;
float Vbat2;
float Vbat3;
float a,b;
float j=0.05; //Batarya gerilim fark marj degeri
int led1=2; //Sıcaklık iyi
int led2=3; //Sıcaklık kötü
int led3=4; //Şarj oluyor
int led4=5; //Deşarj oluyor
int fan=9;
int role=10;
int bazir=11;
const int analogIn = A6; //ACS712 SENSOR BAĞLANTI PINI

int mV_Amp = 185; // 185 5A MODÜL
int ilk_deger = 0;
int akimset = 2500;
double Voltaj = 0; //VOLT HESABI
double Amper = 0; // AMPER HESABI

void setup() {
  lcd.begin();
  Serial.begin(9600);
  pinMode(tr1, OUTPUT);
  pinMode(tr2, OUTPUT);
  pinMode(tr3, OUTPUT);
  pinMode(led1, OUTPUT); // Sıcaklık iyi
```

Şekil A.1. BYS mikroişlemci kodları

```

pinMode(led3, OUTPUT); //Şarj
pinMode(led4, OUTPUT); //Deşarj
pinMode(role, OUTPUT); //Role
pinMode(fan, OUTPUT); //Fan
pinMode(bazir, OUTPUT); //Fan
}

double NTC(int analog_Okuma) {
double sicaklik;
sicaklik = log(((10240000 / analog_Okuma) - 10000));
sicaklik = 1 / (0.001129148 + (0.000234125 + (0.0000000876741 * sicaklik *
sicaklik)) * sicaklik);
sicaklik = sicaklik - 273.15;
return sicaklik;
}
void loop()
{ deger = analogRead(A3); // Sıcaklık oku
double sicaklik = NTC(deger);
Serial.print("sicaklik= ");
Serial.print(sicaklik);
Serial.println(" C");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("SCKLK=   C");
lcd.setCursor(6,2);
lcd.print(sicaklik);

if (sicaklik >=0&&sicaklik<40) {
digitalWrite(led1, HIGH); //sicaklık iyi
digitalWrite(led2, LOW); //sicaklık kötü
if (kapasite==100) {digitalWrite(role, LOW); digitalWrite(led3, LOW);
Serial.println("Batarya dolu-Sarj kesildi");} //kapasite %100 olunca akımı kes
else {digitalWrite(role, HIGH);
digitalWrite(fan, LOW);} }
else if (sicaklik >=40&&sicaklik<60) {
digitalWrite(led1, LOW); //sicaklık iyi
digitalWrite(led2, HIGH); //sicaklık kötü

if (kapasite==100) {digitalWrite(role, LOW); digitalWrite(led3, LOW);
Serial.println("Batarya dolu-Sarj kesildi");} //kapasite %100 olunca akımı kes
else {digitalWrite(role, HIGH);
digitalWrite(fan, HIGH); } }
else if (sicaklik >=60) { Serial.println(" ACİL DURDURMA-Hucre Sicakligi
Yuksek");Serial.println("FAN Devrede");
digitalWrite(led1, LOW); //sicaklık iyi
digitalWrite(led2, HIGH); //sicaklık kötü

```

Şekil A.1. (Devam) BYS mikroişlemci kodları

```

digitalWrite(role, LOW);
digitalWrite(fan, HIGH);
digitalWrite(tr1, LOW); digitalWrite(tr2, LOW); digitalWrite(tr3, LOW);
}

else if (sicaklik <0) { Serial.println(" ACiL DURDURMA-Hucre Sicakligi Dusuk");
digitalWrite(led1, LOW); //sicaklık iyi
digitalWrite(led2, HIGH); //sicaklık kötü
digitalWrite(role, LOW);
digitalWrite(fan, LOW); }

//// Gerilim okuma
bat1=analogRead(A0);
bat2=analogRead(A1);
bat3=analogRead(A2);

Vbat1=bat1*5.0/1023;
Vbat2=bat2*5.0/1023;
Vbat3=bat3*5.0/1023;

if((Vbat1>=4.2)&&(Vbat2>=4.2)&&(Vbat3>=4.2)) { // röleyi aç şarj dursun/sicaklık
uygunsa da dengelesin sonra röleyi kapat
Serial.println(" BATARYA DOLU !!");
digitalWrite(led3, LOW);digitalWrite(led4,LOW); digitalWrite(role, LOW);

if (sicaklik<60) { // sıcakken dengeleme yapma
if(Vbat1>4.25) {digitalWrite(tr1, HIGH); Serial.println(" Vbat1 dengeleniyor");}
else digitalWrite(tr1, LOW);
if(Vbat2>4.25) {digitalWrite(tr2, HIGH); Serial.println(" Vbat2 dengeleniyor");}
else digitalWrite(tr2, LOW);
if(Vbat3>4.25) {digitalWrite(tr3, HIGH); Serial.println(" Vbat3 dengeleniyor");}
else digitalWrite(tr3, LOW);
}}

if (sicaklik >=0&&sicaklik<60) { //sicaklık normalse Şarj ya da Deşarj yapabilir
if(Vbat1>4.25) {digitalWrite(tr1, HIGH); digitalWrite(role, LOW);
Serial.println(" ACiL DURDURAMA-Hucre Gerilimi Yuksek"); Serial.println(" Vbat1
dengeleniyor");}
else {digitalWrite(tr1, LOW); }
if(Vbat2>4.25) {digitalWrite(tr2, HIGH); digitalWrite(role, LOW); Serial.println("
ACiL DURDURAMA-Hucre Gerilimi Yuksek");Serial.println(" Vbat2
dengeleniyor");}
else {digitalWrite(tr2, LOW); }
if(Vbat3>4.25) {digitalWrite(tr3, HIGH); digitalWrite(role, LOW); Serial.println("
ACiL DURDURAMA-Hucre Gerilimi Yuksek");Serial.println(" Vbat3
dengeleniyor");}
else {digitalWrite(tr3, LOW); }

```

Şekil A.1. (Devam) BYS mikroişlemci kodları

```

// AKIM OKUMA-----
ilk_deger = analogRead(analogIn);//MODUL ANALOG DEĞERİ OKUNUYOR
A6=Akım

Voltaj = (ilk_deger / 1023.0) * 5000; // VOLT HESABI YAPILIYOR
Amper = ((Voltaj - akimset) / mV_Amp)+0.115; // AKIM HESAPLA 0.115=Kalibre
Amper=Amper*(-1);
if(Amper<0.09&&Amper>-0.09){ Amper=0;digitalWrite(led3,
LOW);digitalWrite(led4, LOW);} //hata toleransı

// AKIMI EKRANA YAZ
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("AKIM= ");
lcd.setCursor(5, 3);
lcd.print(Amper, 3); //virgülden sonra 3 basamak
lcd.setCursor(11, 3);
lcd.print("A");

////////////////////
if(Amper>=0.09) // 0.09 hata akımı olarak belirlendi
{ Serial.println(" SARJ +++++"); digitalWrite(led4, LOW);digitalWrite(led3, HIGH);
// _____ DENGELME KODLARI
a=min(Vbat1, Vbat2);
b=min(a, Vbat3); // b referans alınan en düşük gerilimli batarya

if (b==Vbat1)
{ digitalWrite(tr1, LOW); //referans batarya
if (j<=abs(Vbat1-Vbat2))
{ digitalWrite(tr2, HIGH);Serial.println(" Vbat2 dengeleniyor");}
else {digitalWrite(tr2, LOW); Serial.println(" Vbat2 DENGELi");}
if (j<=abs(Vbat1-Vbat3))
{ digitalWrite(tr3, HIGH); Serial.println(" Vbat3 dengeleniyor");}
else {digitalWrite(tr3, LOW); Serial.println(" Vbat3 DENGELi");}
}

else if (b==Vbat2)
{ digitalWrite(tr2, LOW); //referans batarya
if (j<=abs(Vbat2-Vbat1))
{ digitalWrite(tr1, HIGH); Serial.println(" Vbat1 dengeleniyor");}
else
{ digitalWrite(tr1, LOW); Serial.println(" Vbat1 DENGELi");}
if (j<=abs(Vbat2-Vbat3))
{ digitalWrite(tr3, HIGH);Serial.println(" Vbat3 dengeleniyor");}
else
{ digitalWrite(tr3, LOW);Serial.println(" Vbat3 DENGELi");}
}
}

```

Şekil A.1. (Devam) BYS mikroişlemci kodları

```

else if (b==Vbat3)
{digitalWrite(tr3, LOW); //referans batarya
if (j<=abs(Vbat3-Vbat1))
{digitalWrite(tr1, HIGH);Serial.println(" Vbat1 dengeleniyor");}
else
{digitalWrite(tr1, LOW);Serial.println(" Vbat1 DENGELİ");}

if (j<=abs(Vbat3-Vbat2)) {digitalWrite(tr2, HIGH);Serial.println("Vbat2
dengeleniyor");}
else
{digitalWrite(tr2, LOW);Serial.println(" Vbat2 DENGELİ");}
}
Serial.print("En Kucuk gerilim =");Serial.println(b); //En Küçük gerilim
}
else if(Amper<=-0.09) {Serial.println(" DESARJ ---"); Serial.println("Dengeleme
Durdu");
if((Vbat1<3)||(Vbat2<3)||(Vbat3<3)) // pil gerilimi min=3V olsun-Derin Deşarj
Önleme
{digitalWrite(role, LOW);digitalWrite(bazir, HIGH); delay(5000);}

else { digitalWrite(bazir, LOW);
digitalWrite(tr1, LOW);digitalWrite(tr2, LOW);digitalWrite(tr3, LOW);
digitalWrite(led3, LOW);digitalWrite(led4, HIGH);
}}}
digitalWrite(bazir, LOW);

// Gerilimi ekrana yaz
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("BAT1");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(Vbat1);

lcd.setCursor(5,0);
lcd.print("BAT2");
lcd.setCursor(5,1);
lcd.print(Vbat2);

lcd.setCursor(10,0);
lcd.print("BAT3");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print(Vbat3);

lcd.setCursor(15,0);
lcd.print("VBAT");
lcd.setCursor(15,1);
lcd.print(Vbat1+Vbat2+Vbat3);

```

Şekil A.1. (Devam) BYS mikroişlemci kodları

```

// _____ Batarya kapasite hesabı _____
Vx=analogRead(A0);
Vy=analogRead(A1);
Vz=analogRead(A2);

if(Vx>= 860)Vx=860; if(Vy>= 860) Vy=860; if(Vz>= 860) Vz=860; //3.7V=757
yukarisında gerilimleri 3.7V'ta sabit tuttuk ya da 4.2V=860
if(Vx <=614)Vx=614; if(Vy <=614) Vy=614; if(Vz <=614) Vz=614; //3.0V
aşağısındaki gerilimleri 3.0V'ta sabit tuttuk//min-deger=614
yuzde1 = Vx - min_deger;
doluluk1 = (100.00/246.00) * yuzde1; //246=860-614
yuzde2 = Vy - min_deger;
doluluk2 = (100.00/246.00) * yuzde2;
yuzde3 = Vz - min_deger;
doluluk3 = (100.00/246.00) * yuzde3;
kapasite=(doluluk1+doluluk2+doluluk3)/3;

lcd.setCursor(14,2);
lcd.print("KPST %");
lcd.setCursor(14,3);
lcd.print(kapasite);

Serial.print(" BAT1=");
Serial.println(Vbat1);
Serial.print(" BAT2=");
Serial.println(Vbat2);
Serial.print(" BAT3=");
Serial.println(Vbat3);

Serial.print("Kapasite= % ");Serial.println(kapasite);
Serial.println("_____");
delay(1000);
lcd.clear(); }

```

Şekil A.1. (Devam) BYS mikroişlemci kodları

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Gürgen, M., Karakaş, E. (2023). Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sisteminin İncelenmesi ve Tasarımı, *9. Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 29-30-01 Nisan-Mayıs 2023.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Adana’da tamamladı. 2007 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü’nden 2011 yılında Elektrik Elektronik Teknolojisi Öğretmeni olarak, 2021 yılında Kocaeli Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği’nden Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 2019 yılında Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2014 yılından beri Elektrik Elektronik Teknolojisi Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.

