

**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN BATARYA
YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI VE
GELİŞTİRİLMESİ**

**2018
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Mustafa TURĞUT

**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ
TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ**

Mustafa TURĞUT

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Şubat 2018

Mustafa TURĞUT tarafından hazırlanan “ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Raif BAYIR

Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 15/02/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Selim ÖNCÜ (KBÜ)



Üye : Prof. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fecir DURAN (GÜ)



...../...../2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.

.....



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mustafa TURĞUT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

Mustafa TURĞUT

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Raif BAYIR

Şubat 2018, 101 sayfa

Elektrikli araçlar günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektrikli araçların en önemli sorunu enerji kapasitelerinin sınırlı olmasıdır. Elektrikli araçların bataryasının kullanımları esnasında sürekli olarak izlenmesi gerekir. Bunun için batarya kullanıcıları ve üreticileri batarya yönetim sistemleri (BYS) geliştirmektedir. Bu tez çalışmasında Li-Ion bataryalar için modüler tip batarya yönetim sistemi geliştirilmiştir. Her bir batarya hücresi grubu üzerine bir modül bağlanmıştır. Bu modüller hücrenin gerilim ve sıcaklık değerlerini okumaktadır. Bu veriler kontrol alan ağı (CAN) ağı üzerinden ana modüle gönderilmektedir. Sistem CAN ağının haberleşmesine izin verdiği kadar modül sayısı artırılabilir. Ana modül üzerinde bu bilgiler ile gerçek zamanlı olarak bataryanın şarj durumu (SOC) durumu hesaplanmaktadır. Ayrıca kapasitesi en yüksek ve en düşük hücreler belirlenerek hücreler arası kapasite farklılıkları giderilmektedir. Dengelemede ise pasif hücre dengeleme yöntemi tercih edilmiştir. Hücre geriliminin dengelenmesinde ise bulanık

mantık denetleyici (BMD) kullanılmaktadır. Hücreler arasındaki kapasite farklılıkları giderilerek batarya ömrü arttırılmaktadır. Ana modül üzerinden bataryaya ait bilgiler kayıt edilmekte ve kablosuz haberleşme ile uzaktan bir bilgisayara aktarılabilir. Düşük maliyetli ve modüler yapıda geliştirilen bu BYS batarya elektrikli araçlarda (BEA) rahatlıkla kullanılabilir. Araç bataryasını emniyetli şarj ve deşarjını başarı ile kontrol edebildiği deneysel çalışmalarda test edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Batarya Yönetim Sistemi, Pasif Dengeleme, Batarya Elektrikli Araç, CAN Ağı, SOC, Bulanık Mantık Denetleyici

Bilim Kodu : 929.1.096



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLES

Mustafa TURĞUT

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechatronics Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Raif BAYIR

February 2018, 101 pages

Electric vehicles are widely used today. The most important problem of electric vehicles is that their energy capacities are limited. Batteries of electric vehicles must be monitored continuously during their use. For this, users and manufacturers of battery are developing battery management systems (BMS). In this thesis study, a modular battery management system was developed for Li-Ion batteries. A module is attached to each battery group. These modules read the voltage and temperature values of the cell. This data is sent in the master module over the Controller Area Network (CAN). The number of modules can be increased as the system allows the CAN network to communicate. With this information on the master module, the state of charge (SOC) of the battery is calculated in real time. Capacity differences between cells are also eliminated by determining the highest and lowest cells. Passive cell balancing is preferred in the balance. When the cell voltage is balanced, a fuzzy logic controller (FLC) is used. Capacity differences between cells are eliminated and battery

life is increased. The information about the battery is recorded via the main module and can be transferred to a computer remotely via wireless communication. The low-cost and modularly developed BMS this battery can use to on electric vehicle (BEV) easily. It has been tested by experimental study that the car battery can be successfully controlled for safe charging and discharging.

Key Word : Battery Management System, Passive Balancing, Battery Electric Vehicles, CAN Network, SOC, Fuzzy Logic Controller.

Science Code : 929.1.096



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Raif BAYIR' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sürecinde manevi desteklerini, bilgi, birikim ve tecrübelerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Ali UYSAL' a, Arş. Gör. Dr. Tuncay SOYLU' ya, Arş. Gör. Dr. Emel SOYLU' ya teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans hayatım boyunca varlığından güç aldığım, çalışma arkadaşlarım Yusuf KARABACAK'a, Süleyman ÇEVEN' e ve Yusuf AKSÜT' e tez çalışmasının hayata geçirilmesinde desteklerini ve emeklerini esirgemeyen Karabük Üniversitesi Elektrikli Araç Takımı ailesinin tüm fertlerine teşekkür ederim.

Sevgili aileme, babama, anneme, ağabeyim ve ablama maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemediğim yanşımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

KBU-BAP-17-YL-040 numaralı, “Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı ve Geliştirilmesi” isimli proje, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
BÖLÜM 3	8
BATARYALAR VE BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ.....	8
3.1. BATARYA TÜRLERİ.....	9
3.1.1. Kurşun Asit Bataryalar	10
3.1.2. Nikel Kadmiyum Bataryalar	11
3.1.3. Nikel Metal Hidrit Bataryalar	12
3.1.4. Lityum Polimer Bataryalar	13
3.1.5. Li-Ion Bataryalar	14
3.1.6. Şarj Edilebilen Bataryaların Karşılaştırılması	16
3.2. BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİ	17
3.2.1. Gerilim Ölçümü	17
3.2.2. Akım Ölçümü	18
3.2.3. Sıcaklık Ölçümü	19
3.2.4. SOC Kestirimi	20

	<u>Sayfa</u>
3.3. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TÜRLERİ.....	21
3.3.1. Merkezi Batarya Yönetim Sistemi.....	21
3.3.2. Modüler Batarya Yönetim Sistemi	21
3.3.3. Ana Kart-Yardımcı Kart Batarya Yönetim Sistemi.....	22
3.3.4. Dağıtılmış Batarya Yönetim Sistemi	22
3.4. HÜCRE GERİLİMLERİ Dengeleme YÖNTEMLERİ	23
3.4.1. Pasif Yöntemler	24
3.4.2. Aktif Yöntemler.....	25
3.4.2.1. Kapasitör İçeren Hücre Dengeleme Yöntemleri.....	26
3.4.2.2. Bobin ve Transformatör İçeren Hücre Dengeleme Yöntemleri.....	29
3.4.2.3. Diğer Hücre Dengeleme Yöntemleri	31
3.4.3. Hücre Dengeleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	32
BÖLÜM 4	33
MATERYAL VE METOD	33
4.1. MATERYAL.....	33
4.1.1. Bataryada Kullanılan Li-Ion pil.....	34
4.1.2. Kullanılan Denetleyiciler.....	38
4.1.2.1. LPC1768 Mikrodenetleyici Kartı	38
4.1.2.2. PIC18F25K80 Mikrodenetleyicisi	39
4.1.3. Kullanılan Algılayıcılar	40
4.1.3.1. LV25-P Gerilim Algılayıcı	41
4.1.3.2. ACS758LCB-100B-PFF-T Akım Algılayıcı	42
4.1.3.3. LM35 Sıcaklık Algılayıcı	43
4.1.4. Kullanılan Haberleşme Elemanları.....	43
4.1.4.1. XBee Pro Kablosuz Haberleşme Modülü	44
4.1.4.2. CAN Ağı Haberleşmesi İçin MCP2551 Entegresi.....	44
4.1.5. Regülatör Entegreleri.....	45
4.1.5.1. NCP1402 Alçaltıcı-Yükseltici DA-DA Dönüştürücü Entegresi.....	45
4.1.5.2. LM2576 DA-DA Dönüştürücü Entegresi.....	46
4.1.6. SD Kart Modülü	47
4.1.7. Hücre Dengeleme Elemanları.....	48

	<u>Sayfa</u>
4.1.8. Programlanabilir Array 3711A DA Yük Cihazı.....	49
4.1.9. TT-Technich RXN605D Ayarlı Güç Kaynağı	50
4.1.10. Yardımcı Modül Tasarımı	51
4.1.10.1. Hücre Gerilim Okuma.....	52
4.1.10.2. Yardımcı Modül Denetim Yazılımı Akış Diyagramı	52
4.1.10.3. Yardımcı Modül Üretimi	54
4.1.11. Ana Modül Tasarımı.....	55
4.1.11.1. Ana Modül Denetim Yazılımının Akış Diyagramı.....	56
4.1.11.2. Ana Modül Üretimi.....	57
4.1.12. Batarya Koruma Kutusu	58
4.2. METOD.....	58
4.2.1. CAN Haberleşme Protokolü.....	59
4.2.1.1 CAN Haberleşme Protokolünün Temelleri.....	59
4.2.1.2 CAN Haberleşme Protokolünün Katmanları	60
4.2.1.3. CAN Mimarisi	61
4.2.1.4. CSMA/CD+CR ve Mesaj Önceliği İşlemi.....	61
4.2.1.5. Mesaj Tabanlı Haberleşme	62
4.2.1.6. CAN Mesajı	62
4.2.1.7. CAN Hata Yapıları	64
4.2.2. Bulanık Mantık Denetleyici.....	65
4.2.2.1. Bulanık Kümeler	65
4.2.2.2. Bulanık Küme İşlemleri	67
4.2.2.3. Bulanık Mantık Denetleyici Bileşenleri.....	68
4.2.2.4 Bulanık Mantık Denetleyicisi Tasarımı	73
4.2.3. SOC Tahmini Algoritması.....	77
BÖLÜM 5	79
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	79
5.1. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	79
5.1.1. Modüllerin Güç Testleri	79
5.1.2. Gerçek Zamanlı Ölçüm Testleri	80
5.1.3. Batarya Şarj Deneyi.....	81

	<u>Sayfa</u>
5.1.4. Batarya Deşarj Deneyi	84
5.1.5. Batarya Boşta Deneyi	86
5.1.6. Bataryanın Batarya Elektrikli Araç Testi	88
BÖLÜM 6	93
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	93
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	101



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Bataryaların Sınıflandırılması.....	9
Şekil 3.2. Kurşun asit bataryalar.	10
Şekil 3.3. Ni-Cd bataryalar.	11
Şekil 3.4. Ni-MH bataryalar.....	12
Şekil 3.5. LiPO bataryalar.....	13
Şekil 3.6. Li-Ion bataryalar.	15
Şekil 3.7. Li-Ion bataryaların ölçeklendirmeli karşılaştırılması [37].	15
Şekil 3.8. Şarj edilebilir bataryaların enerji ve güç grafikleri [38].	16
Şekil 3.9. Gerilim ölçme a) Hücresel, b) Tek noktadan, c) Diferansiyel.	18
Şekil 3.10. Şönt direnç ile akım ölçüm sistemi.	19
Şekil 3.11. Sıcaklık ölçümü (a) Her hücrenin (b) Batarya paketinin.	20
Şekil 3.12. Merkezi batarya yönetim sistemi.	21
Şekil 3.13. Modüler batarya yönetim sistemi.	21
Şekil 3.14. Ana kart-yardımcı kart batarya yönetim sistemi.....	22
Şekil 3.15. Dağıtılmış batarya yönetim sistemi.	22
Şekil 3.16. Hücre gerilimleri dengeleme.....	23
Şekil 3.17. Hücre dengeleme yöntemi türleri.....	24
Şekil 3.18. Anahtarlama direnç yöntemi.....	24
Şekil 3.19. Tekli direnç yöntemi.	25
Şekil 3.20. Anahtarlama kapasitör yöntemi.	26
Şekil 3.21. Çift katlı kapasitör yöntemi.	27
Şekil 3.22. Modülerize kapasitör yöntemi.	28
Şekil 3.23. Tekli anahtarlama kapasitör yöntemi.....	28
Şekil 3.24. Anahtarlama bobin yöntemi.	29
Şekil 3.25. Tek sarımlı transformatör yöntemi.	30
Şekil 3.26. Çoklu transformatör yöntemi.	30
Şekil 3.27. Paralel transistör yöntemi.	31
Şekil 3.28. Tamamen bypass etme yöntemi.....	32
Şekil 4.1. BYS blok diyagramı.	33

Şekil 4.2. Batarya yönetim sistemi kutu içerisine yerleşimi.	34
Şekil 4.3. Panasonic NCR18950PF Li-Ion pil.	35
Şekil 4.4. Batarya Paketi	35
Şekil 4.5. Bataryanın şarj karakteristiği [47].	36
Şekil 4.6. Sıcaklığa bağlı deşarj grafiği [47].	37
Şekil 4.7. C oranına bağlı deşarj karakteristiği grafiği [47].	37
Şekil 4.8. Çevrim ömrü kapasite grafiği [47].	38
Şekil 4.9. LPC1768 mikrodenetleyici kartı.	39
Şekil 4.10. PIC18F25K80 mikrodenetleyici.	40
Şekil 4.11. LV25-P gerilim algılayıcı.	41
Şekil 4.12. Gerilim algılayıcısı devre şeması.	41
Şekil 4.13. ACS758-100 PPF akım algılayıcı.	42
Şekil 4.14. Akım algılayıcı devre şeması.	42
Şekil 4.15. LM35 sıcaklık algılayıcısı.	43
Şekil 4.16. Sıcaklık ölçüm devre şeması.	43
Şekil 4.17. XBee Pro haberleşme modülü.	44
Şekil 4.18. C# ortamında oluşturulan görsel arayüz.	44
Şekil 4.19. MCP2551 entegresi.	45
Şekil 4.20. MCP2551 devre şeması.	45
Şekil 4.21. NCP1402 entegresi.	46
Şekil 4.22. NCP1402 alçaltıcı-yükseltici DA-DA dönüştürücü devre şeması.	46
Şekil 4.23. 12V regülatör devresi.	47
Şekil 4.24. 5V regülatör devresi.	47
Şekil 4.25. SD kart modülü.	47
Şekil 4.26. SD Kart modülü devre şeması.	48
Şekil 4.27. PWR220T-35 direnç.	48
Şekil 4.28. IRLZ34N lojik mosfet sembolü ve dış görüntüsü.	49
Şekil 4.29. Hücre dengeleme devre şeması.	49
Şekil 4.30. Programlanabilir Array 3711A DA Yük Cihazı	50
Şekil 4.31. TT-Technich RXN605D ayarlı güç kaynağı.	51
Şekil 4.32. Yardımcı modül blok diyagramı.	52
Şekil 4.33. Gerilim okuma devre şeması.	52
Şekil 4.34. Yardımcı modül denetim yazılımının akış diyagramı.	53

Şekil 4.35. Tasarlanan yardımcı modül devresi.	54
Şekil 4.36. Yardımcı modül hücre dengeleme bloğu görseli.	54
Şekil 4.37. Batarya paketi ve yardımcı modüllerin montaj edilmiş resmi.	55
Şekil 4.38. Ana modül blok diyagramı	55
Şekil 4.39. Ana modül denetim yazılımının akış diyagramı.	56
Şekil 4.40. Ana modül devresi.	57
Şekil 4.41. Batarya yönetim sistemi kutusu BEA içine yerleşimi	58
Şekil 4.42. CAN protokolü kablolama blok diyagramı.	59
Şekil 4.43. CAN veri çerçevesi yapısı.	63
Şekil 4.44. Genişletilmiş CAN veri çerçevesi yapısı.	63
Şekil 4.45. Standart istek çerçevesi.	64
Şekil 4.46. Genişletilmiş istek çerçevesi.	64
Şekil 4.47. Hata çerçevesi.	64
Şekil 4.48. Üçgen üyelik fonksiyonu.	66
Şekil 4.49. A ve B bulanık kümelerinin kesişimi.	68
Şekil 4.50. A ve B bulanık kümelerinin birleşimi.	68
Şekil 4.51. Bulanık küme ile klasik kümenin karşılaştırılması.	69
Şekil 4.52. Üyelik fonksiyonlarının çeşitleri.	69
Şekil 4.53. Bulanık mantık denetleyicisi temel yapısı.	70
Şekil 4.54. Beş değişkenli üyelik fonksiyonu.	71
Şekil 4.55. Bulanık kural tablosu.	72
Şekil 4.56. Tasarlanan üyelik fonksiyonları.	73
Şekil 4.57. Bulanık mantık tanımlamalar.	74
Şekil 4.58. Üyelik derecesi hesaplama kodlaması.	74
Şekil 4.59. Bulanık çıkarım işlemi.	75
Şekil 4.60. Kural tabanı.	76
Şekil 4.61. Maksimum üyelik derecesi hesaplama.	76
Şekil 4.62. Ağırlık merkezi yöntemi.	77
Şekil 4.63. Matlab curve fitting ile eğri uydurma.	77
Şekil 5.1. Kullanılan görsel arayüzü.	80
Şekil 5.2. Maksimum ve minimum hücre gerilimi zaman grafiği.	81
Şekil 5.3. Maksimum ve minimum hücre gerilimleri farkı zaman grafiği.	82
Şekil 5.4. Maksimum ve minimum hücre sıcaklığı zaman grafiği.	82

Sayfa

Şekil 5.5. Toplam batarya gerilimi zaman grafiği.	83
Şekil 5.6. Ana kol akımı zaman grafiği	83
Şekil 5.7. SOC zaman grafiği.....	84
Şekil 5.8. Maksimum ve minimum hücre gerilimi zaman grafiği.	84
Şekil 5.9. Maksimum ve minimum hücre sıcaklığı zaman grafiği	85
Şekil 5.10. Toplam batarya gerilimi zaman grafiği	85
Şekil 5.11. Ana kol akımı zaman grafiği.....	86
Şekil 5.12. SOC zaman grafiği.....	86
Şekil 5.13. Maksimum ve minimum hücre gerilimi zaman grafiği.	87
Şekil 5.14. Maksimum ve minimum hücre sıcaklığı zaman grafiği.	87
Şekil 5.15. Toplam batarya gerilimi zaman grafiği.	88
Şekil 5.16. TÜBİTAK elektrikli araç yarışları.....	89
Şekil 5.17. Anakol akımı zaman grafiği.	89
Şekil 5.18. Araç hızı zaman grafiği.....	90
Şekil 5.19. Toplam batarya gerilimi zaman grafiği.	90
Şekil 5.20. Maksimum ve minimum hücre gerilimi zaman grafiği.	91
Şekil 5.21. Ortam sıcaklığı zaman grafiği.....	91
Şekil 5.22. SOC zaman grafiği.....	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Şarj edilebilir bataryaların karşılaştırılması.	17
Çizelge 4.1. Batarya hücresi ve batarya paketinin teknik özellikleri.	36
Çizelge 4.2. Array 3711A DA yük cihazı teknik özellikleri.	50
Çizelge 4.3. TT-Technich RXN605D ayarlı güç kaynağı teknik özellikleri.	51
Çizelge 4.4. CAN veri transfer hızının hat uzunluğu ile ilişkisi.	60
Çizelge 5.1. Yardımcı modüllerin ölçüm testleri.	81
Çizelge 5.2. BEA teknik özellikleri.	88

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Ah	: Amper saat
C	: Kapasite
C _N	: Nominal kapasite
CO ₂	: Karbondioksit
kbps	: Kilobit per second
LCO	: Lityum kobalt oksit
LFP	: Lityum demir fosfat
Li-Ion	: Lityum iyon
LiPo	: Lityum iyon polimer
LMO	: Lityum mangan oksit
LTO	: Lityum titanat oksit
NaS	: Sodyum sulfur
NCA	: Lityum nikel kobalt alüminyum oksit
Ni-Cd	: Nikel kadmiyum
Ni-MH	: Nikel metal hidrit
NMC	: Lityum nikel manganez kobalt oksit
D	: Coulombik verimliliği
Pb	: Kurşun asit

KISALTMALAR

ABS	: Antilock Braking System (Kilitlenme Karşıtı Frenleme Sistemi)
ADC	: Analogue to Digital Converter (Analog Dijital Dönüştürücü)
BEA	: Battery Electric Vehicle (Batarya Elektrikli Araç)
BMD	: Bulanık Mantık Denetleyicisi
BYS	: Battery Management System (Batarya Yönetim Sistemi)
CAN	: Controller Area Network (Kontrol Alan Ağı)
CSMA/CD	: Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection (Çarpışma Algılayıcıyla Taşıyıcı Dinleyen Çoklu Erişim)
DAC	: Digital to Analogue Converter (Dijital Analog Dönüştürücü)
EEPROM	: Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory (Elektrik İle Silinebilen Sadece Okunabilen Bellek)
EKM	: Enerji Koruma Modu
GUI	: Graphical User Interface (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü)
ICSP	: In-Circuit Serial Programming
ID	: Identifier Number (Tanımlayıcı Numarası)
I/O	: Input/Output (Giriş/Çıkış)
I2C	: Inter – Integrated Circuit (Entegre Devre)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilâtı)
OCV	: Open Circuit Voltage (Açık Devre Gerilimi)
OSI	: Open Systems Interconnection (Açık Sistemler Bağlantısı)
PWM	: Pulse Width Modulation (Sinyal Genişlik Modülasyonu)
RAM	: Random Access Memory (Rasgele Erişimli Bellek)
ROM	: Read – Only Memory (Sadece Okunabilir Bellek)
SOC	: State Of Charge (Şarj Durumu)
SOH	: State Of Health (Sağlık Durumu)
SPI	: Serial Peripheral Interface (Seri Çevresel Arabirim)
UART	: Universal Asenkron Receiver Transmitter (Evrensel Asenkron Alıcı Verici)
USB	: Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Fosil yakıtlı araçlar insanlar için çok kullanışlı bir teknoloji imkanı sağlamıştır. Ancak bu teknoloji ilerleyen zamanlarda çevre kirliliğinin artmasına sebep olmuştur [1]. Fosil yakıtlı araçların çevreye yaydığı CO₂ gazı küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bilim adamlarının bu konuda yaptığı araştırmalar dünyanın daha yaşanmaz bir hale sürüklediğini göstermektedir. Yeryüzü sıcaklığının ortalama 2 °C artması dünyada açlık, sıtma, sel felaketi ve tatlı su kıtlığıyla karşı karşıya bırakacaktır [2]. Bu olayın en aza indirilmesi için elektrikli araç kullanımı arttırılmalıdır. Petrol fiyatlarının yüksek olması ve buna karşılık elektrik fiyatlarının düşük olması tüketicilerin elektrikli araçlara yönelmektedir. Günümüzde bütün otomotiv üretici firmaların seri üretime sundukları elektrikli araçlar vardır [3].

Bataryaların gelişmesi, enerji kapasitelerinin artması ve ağırlıklarının azalması ile elektrikli araçların otomotiv dünyasındaki yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Li-Ion piller, enerji yoğunluğunun yüksek olmasından dolayı elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek enerji kapasiteleri elde etmek için batarya hücreleri birbirlerine seri ve paralel bağlanarak istenilen gerilim ve kapasiteye ulaşılmaktadır. Bataryalar kullanımları esnasında normal şartlar altında çalışmalarının sağlanması gerekmektedir. Bataryalar şarj-deşarj döngüsü yapıldıkça hücreler arası kapasite farklılıkları oluşmaktadır. Bu farklılıklar hücrelerin eşdeğer şarj vedeşarj olmalarını engellemektedir. Bazı hücreler aşırı şarjdan bazıları ise aşırıdeşarjdan bozulmaktadır. Bu durum bazı batarya tiplerinde yanma ve patlama gibi durumlara sebebiyet vermektedir. Bazı güvenli batarya tiplerinde, kapasitede düşme, kimyasal sızıntı, verimsizlik ve gerilimde düşme gibi durumlar olmaktadır. Batarya paketlerinde dengesizlik ve hücre kaybı istenmeyen bir durumdur ve bu durumun oluşmaması için batarya yönetim sistemine ihtiyaç vardır. Batarya yönetim sistemi, temel olarak bataryaların şarj vedeşarj işlemleri sırasında akım ve gerilim denetimlerini yapan

sistemlerdir. Bataryaların kullanım ömürlerini uzatmak ve verimini arttırmak için tasarlanmışlardır [4].

Bu tez çalışmasının amacı elektrikli araçlar için batarya hücrelerinin şarj-deşarj durumlarında en uygun şartlar altında çalışmasını sağlamaktır. Li-Ion bataryalar için CAN ağı ile haberleşen yardımcı ve ana modüllerden oluşan batarya durumlarına göre gerekli denetimleri yapan bir sistem oluşturulmuştur. Her hücre üzerine bağlanan modüller enerjisini bağlı olduğu hücre üzerinden almaktadır. Her hücrenin gerilim ve sıcaklık bilgileri CAN ağı üzerinden ana modüle göndermektedir. Ana modülde gerçekleştirilen yazılım ile hücrelerden gelen bilgiler değerlendirilerek şarj vedeşarj denetimi yapmaktadır. Hücre gerilimleri dengelemesinde BMD tercih edilmiştir. Bataryanın SOC durumunun belirlenmesinde akım sayma yöntemi kullanılmaktadır. Batarya grubu 8'erli 28 adet hücrenin seri bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Ayrıca ana modül üzerinde bulunan kablosuz haberleşme modülü ile bilgisayar üzerinden uzaktan izlenebilmektedir.

Bu tez çalışmasında geliştirilen BYS Karabük Üniversitesi bünyesindeki NAR V2 Plus BEA üzerine yerleştirilerek gerçek bir BEA üzerinde test edilmiştir. Bu araç ile 2017 Tübitak Alternatif Enerjili Araç yarışlarında kullanılmıştır. Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde literatür taraması yer almaktadır. Batarya yönetim sistemleri, hücre dengeleme türleri ve batarya şarj durumu tahmini hakkında yapılan akademik çalışmalara yer verilmektedir. Üçüncü bölümde bataryalar ile ilgili temel kavramlar açıklanmaktadır. Ayrıca batarya türlerine göre sınıflandırılması verilmektedir. Şarj edilebilir bataryaların karşılaştırılması yapılmaktadır. Batarya yönetim sistemi türleri ve hücre dengeleme türleri açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde kullanılan materyaller, tasarlanan modüllerin özellikleri ve akış diyagramları verilmektedir. Batarya yönetim sisteminde kullanılan CAN haberleşme protokolü, BMD ve SOC tahmininde kullanılan yöntemler açıklanmaktadır. Beşinci bölümde ise, BYS'nin şarj durumunda,deşarj durumunda, bataryadan akım çekilmediği durumda ve BEA üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve elde edilen sonuçlar verilmektedir. Altıncı bölümde, deneysel sonuçlar değerlendirilerek, yapılan çalışmanın başarımları ve performans değerlendirmekte ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

BYS bataryaların güvenli, verimli ve uzun ömürlü kullanabilmek için tasarlanan donanım ve yazılım bütünüdür. Batarya hücrelerinin gerilim, sıcaklık ve akım bilgilerini optimum değerler arasında kullanılmalarını sağlayan sistemdir. Şarj ve deşarj işlemlerini kontrollü bir şekilde yaparak aşırı şarj, aşırı deşarjdan korur. Batarya hücreleri arasında kapasite farklılıklarını ortadan kaldırmak için hücre dengeleme işlemlerini yapar. Günümüzde elektrikli araçlar için BYB üzerine birçok çalışma bu alanlarda yapılmaktadır.

CAN protokolü kullanılan bu çalışmada birbirleri ile haberleşen 18–22 adet arası batarya hücresini kontrol edebilen modüler bir batarya yönetim sistemi tasarlanmıştır. Bu modüllerden sistemde dört adet bulunur. Bu modüllerde hem kendi aralarında hem de elektrikli araç içerisindeki sistemlerle CAN ile haberleşebilmektedir. Her modül kendisinin bağlı olduğu kısmın akım, gerilim ve sıcaklık bilgilerini ölçerek ana birime gönderir. Ana birim ise akım değerleriyle SOC kestirimi yapar. SOC kestiriminde Kalman filtresi kullanmıştır [5].

Çift yönlü DA-DA dönüştürücü kullanılarak yapılan çalışmada 12 adet Li-Ion batarya hücresini kontrol eden bir batarya yönetim sistemi oluşturmuştur. Batarya modeli üzerinden hücrelerin SOC durumunu hesaplanarak hücre dengelemesi yapılmaktadır. Dengeleme devresinin kontrolünü BMD ile yapmaktadırlar [6].

Şarj verimliliği hesaplanan bir çalışmada 32 Ah lik 4 adet LiPo seri bağlayarak batarya grubu oluşturmuştur. Bataryaların şarj ve deşarj anında Peukert etkisini ve şarj verimliliğini hesaplamışlardır. Bataryalarını şarj ve deşarj anında akım sayma yöntemi kullanarak SOC tahmini yapmışlardır [7].

DA-DA dönüştürücü kullanılarak yapılan bu çalışmada hücreden hücreye, hücreden batarya paketine ve batarya paketinden hücreye doğru olmak üzere çeşitli teknikleri

Süper kapasitörler kullanarak hücre dengeleme işlemleri yapmışlardır. Batarya paketinden veya batarya hücresinden, yükselten veya alçaltan DA-DA dönüştürücülerle süper kapasitörlere oradan da batarya grubuna veya hücreye enerji aktarımı yapmışlardır. Çalışma sonucunda aktif eşitleme tekniklerini karşılaştırmış ve verimleri değerlendirilmiştir [8].

Batarya durumunun incelendiği bu çalışmada elektrikli tramvaylarda bulunan batarya paketi kullanılmaktadır. Tasarladıkları batarya yönetim sistemiyle tramvayda bulunan batarya hücrelerinin katalog bilgileri ile aynı olup olmadığının kontrolü için kullanmışlardır. Tramvaylara uygun batarya paketinin kullanılması için çeşitli batarya türleri için testler yapılmıştır. BYS' nin tramvayda bulunan diğer elektronik sistemler (Motor Sürücü, AA-DA ve DA-AA Dönüştürücüler vb.) ile uyumlu çalışıp çalışmadıklarının testlerini gerçekleştirilmiştir. Böylece tramvaylar için birkaç batarya paketi kullanılması sonucuna varmışlardır [9].

Ölçüm performansının incelendiği bir diğer çalışmada Linear Technology firmasının LTC6802 entegresi ile batarya yönetim sistemi tasarımı yapmışlardır. Her biri on iki adet batarya hücresi bağlı olan devreden üç adet kullanarak 36 adet hücrenin geriliminin ölçümünü gerçekleştirmişlerdir. Analog Devices firmasının ADUM1411 izolasyon entegresi sağlıklı ölçümlerin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği konusunda testler gerçekleştirmişlerdir [10].

Ölçüm performanslarının incelendiği bu çalışmada Li-Ion batarya paketleri için Linear Technology ve Maxim Integrated firmaların elektrikli araç bataryalarında kullanmak için (LTC6802 ve MAX11068) deneme kartları ile denemeler yapmışlardır. Çalışmalarının amacı iki firmanın ürettiği kartlar arasındaki ölçüm performansını karşılaştırmak ve ileriki tasarımlarda hangi firmanın ürünü kullanılması gerektiğine karar vermektir. Ayrıca bu çalışma ile bu iki ürünün artıları ve eksileri çeşitli açılardan karşılaştırılmıştır [11].

Kapasite hesaplanan bu çalışmada fabrika içinde bataryalı otomatik taşıma araçları için BYS geliştirilmiştir. SOC durumlarına göre şarja ihtiyaç duyup duymadıklarını, mevcut şarj ve hangi orandaki şarj ile daha ne kadar daha çalışabileceklerini kestirmeye çalışmışlardır. Otomatik taşıma araçları merkezi bir yerden kablosuz

haberleşmeyle kontrol edilmektedir. Bu haberleşmeyle şarj durumları merkeze aktararak, araçların daha ne kadar çalışabilecekleri merkezden izlenmiştir. Kullanılan bataryanın OCV-SOC eğrisinin matematiksel benzetimiyle kalan kapasite hesaplanmaya çalışmıştır [12].

Bir yüksek lisans tez çalışmasında BYS'nin yazılım algoritmalarını incelemiş ve genel ihtiyaçlarını belirleyerek hem ana modül hemde yardımcı modül tasarımı yapmıştır. Bu modüller için yazılım algoritmaları tasarlamıştır. Bu çalışma kapsamında batarya paketinin verimli bir şekilde kullanılması için Enerji Koruma Modu (EKM) algoritması geliştirmiştir [13].

Bir diğer yüksek lisans tez çalışmasında lityum polimer bataryaların sıcaklık ve gerilim verilerini ölçecek ve bilgisayar üzerinde görüntüleyecek batarya izleme sisteminin prototipini gerçekleştirmiştir. Bu çalışma için dört adet seri bağlanmış lityum polimer batarya grubu oluşturmuştur. Her hücre üzerine paralel olarak bağlanan modüller yardımıyla gerilim ve sıcaklık bilgileri okuyan modüller tasarlamışlardır. Bu modüller bağlı oldukları hücrelerden enerjisini almaktadır. Haberleşme protokolü olarak RS485 kullanmıştır [14].

Açık kaynak kodlu yüksek performanslı çalışan bir BYS konfigürasyonu hücre sayısı bilinmeyen batarya paketi için tasarlanmıştır. Her hücre batarya yönetim sistemi kartına bağlıdır. Hücrelerin gerilimleri izlenerek hücre dengeleme işlemi yapılmaktadır. Her hücrenin gerilimi, iç direnci, akımı görüntülenmektedir. Ayrıca akım sayma yöntemi ile hücre kapasitesi hesaplanmaktadır [15].

Almanya'da bulunan Fraunhofer Güneş Enerjisi Sistemleri Enstitüsü'nde yenilenebilir enerji kaynaklarında kullanılan bataryaların depolama ömrünü ve güvenilirliğini artıran BYS geliştirilmiştir. Bu sayede bataryanın bakım ve kullanım ömrü maliyeti azalmaktadır. Geliştirilen BYS klasik batarya sistemleriyle mümkün olmayan yeni çalışma stratejilerine sahiptir. Bataryalar diziler halinde birbirine paralel bağlıdır. Böylelikle her bir pil dizisi birbirinden bağımsız olarak şarj ya da deşarj edilebilmektedir. Her bir dizi sürekli olarak izlenen SOC tahminine göre anahtarlanabilir özelliğe sahiptir. Düşük SOC değerinde BYS her batarya dizisi için kısa döngü sağlar ve batarya akım oranını artırır ve şarj olmasını sağlar. Sistem bir yıl

boyunca BYS'li ve BYS'siz olarak denenmiştir. Analiz sonuçlarına göre BYS'nin kesinlikle bağımsız pil dizilerindeki yönetimi iyileştirdiği belirtilmiştir [16].

Tek hücreli BYS'nin öneminin belirtildiği bir çalışmada batarya paketinin içindeki en zayıf hücreden güçlü olamayacağını ve bir hücre bozulursa tüm batarya paketinin bozulacağını belirtilmiştir. BYS en zayıf hücre tabanlı olmalıdır. Tek hücreli BYS kullanıcıya sıcaklık ve gerilimle ilgili bilgi vermektedir ve aşırı deşarjı önlemeye yardımcı olmaktadır [17].

Bir doktora çalışmasında LiPo batarya karakteristiklerinin analizi ve arıza teşhisi yapılmıştır. LiPo bataryaların hücre kinetik parametreleri elde edilmiş ve hücrelerin zorlanmış dolma ve boşalma durumlarında bu parametrelerin değişimi incelenmiştir. LiPo bataryaların şarj ve deşarj durumunda oluşabilecek hatalar sınıflandırılmıştır. Sistemin modeli MATLAB ortamında BMD ile gerçekleştirilmiştir [18].

SOC durumu kestirimi ve batarya türü tahmini yapılan bir doktora çalışmasında çeşitli bataryalar kullanılmıştır. Bu bataryalar şarj ve deşarj edilerek veri setleri oluşturulmuştur. Bu veri setleri sayesinde ileri beslemeli yapay sinir ağı, kademeli bağlantılı yapay sinir ağı ve radyal tabanlı yapay sinir ağları ile batarya türü ve SOC durumu tahmin edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır [19].

SOC durumu kestirimi yapılan bir çalışmada elektrikli araç bataryası üzerinde çalışmışlardır. Bataryanın farklı akımlarda deşarj etmişler. Deşarj anındaki bu veriler kaydedilmiş ve bu veriler ile yapay sinir ağının veri setlerini oluşturmuşlar. Matlab Simulink ortamında STM32F4DISCOVERY kartı ile gömülü olarak çalışmıştır. Elektrikli aracın yarış sırasında SOC durumunu tahmin etmiştir [20].

Kurşun asit bataryalar kullanılarak DC-DC dönüştürücüler kullanılarak batarya hücrelerinin SOC bilgisine göre hücre dengelemesi gerçekleştirmiştir. SOC tahmininde kalma filtresi kullanılmıştır. Bu çalışmada 4 adet seri bağlı batarya hücresi bulunmaktadır. Gerilimi yüksek olan batarya hücresinden gerilimi az olan hücreye doğru enerji aktarımı yapılmıştır [21].

Bir diğer çalışmada LT1513, LTC6802 ve CS5460A entegreleri kullanılarak batarya hücrelerinin gerilim ve akım durumları kontrol edilmiş ve bilgisayar üzerinde

izlenmiştir. 12 adet Li-Ion batarya hücresi kullanılmıştır. Hücre dengelemesinin aktif ve pasif durumda şarj deneyleri gerçekleştirmiştir. Ayrıca ölçüm teslerinin doğrulukları kontrol edilmiştir [22].

Batarya hücrelerinin gerilim, akım ve sıcaklıkları kontrol edebilmektedir. Batarya hücre dengelemesinde pasif hücre dengelemesi BMD ile kontrol edilmektedir. Batarya hücrelerine bağlanan kartlar ile hücrelerin gerilim ve sıcaklık bilgileri ölçülerek merkezi bir karta CAN ağı ile gönderilmektedir. Bataryanın SOC tahmininde akım sayma yöntemi kullanılmaktadır [23].

Modüler tip CAN ile haberleşebilen BYS gerçekleştirilmiştir. Gerilim ve sıcaklık ölçümleri batarya hücrelerine bağlanan kartlar ile ölçülmüştür. Hücre gerilimleri BMD ile pasif hücre dengelesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. BEA üzerinde BYS testleri gerçekleştirmiştir. Bataryaya ait bilgilerin uzaktan bilgisayar üzerinde kablosuz haberleşme modülleri ile izlenmesine olanak sağlamıştır [24].

Bu çalışma pasif hücre dengelemesi bulanık mantık denetimi ile hücreler arası kapasite farklılıkları giderilmiştir. Bataryanın SOC tahmini ile bataryanın kalan kapasitesi belirlenmektedir. Batarya hücrelerinin gerilim ve sıcaklıkları anlık olarak izlenmektedir. BEA için modüler tip CAN ağı ile haberleşebilen bulanık mantık denetimli BYS geliştirilmiştir.

BÖLÜM 3

BATARYALAR VE BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ

Bataryalar elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek depo edebilen ve istenildiği zaman kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren kimyasal devrelerdir. Bataryalar hücrelerden oluşur ve bu hücreler seri ya da paralel bağlanarak bataryayı oluşturur. Paralel bağlantılar kapasiteyi ve çekilebilecek akımı arttırırken seri bağlantılar gerilimi arttırır. Bataryanın kapasitesi Ah (amper-saat) veya mAh (miliamper-saat) ile ifade edilmektedir. Bataryaların şarj-deşarj döngüsü yapıldıkça tam dolu haldeki kapasiteleri zamanla azalmaktadır. Bataryaların nominal kapasitelerinin %80'ine indiği andaki şarj-deşarj döngüsü sayısı çevrim ömrü olarak adlandırılmaktadır [19].

Bataryalar kullanımları esnasında aşırı şarj ve aşırıdeşarj edilmekten korunmalıdır. Bataryanın katalog bilgilerine göre şarjdeşarj akımı, hücre sıcaklığı ve hücre gerilimleri optimum şartlar altında kullanılmaları gerekmektedir. Bu şartlar sağlanmadığı takdirde bazı batarya türlerinde kapasitede düşme ve kimyasal sızıntı gibi durumlar ortaya çıkarken bazılarında ise patlamalara ve yangınlara sebebiyet vermektedir. Bataryanın sahip olduğu SOC durumu belirlenerek bataryanın mevcut kapasitesi hakkında bilgi vermektedir. Bataryanın geçerlideşarj koşulları altında harcanan batarya kapasitesinin belirlenmesi gerekmektedir. Kalan kapasitenin harcama süresi yükün tipine bağlı olarak iki yolla hesaplanabilir. Bunlar, şarj olarak ifade edilen mAh cinsinden bir akım tipi yükü için kalan ve enerji olarak ifade edilen mWh cinsinden güç tipi kalan kapasitedir [25].

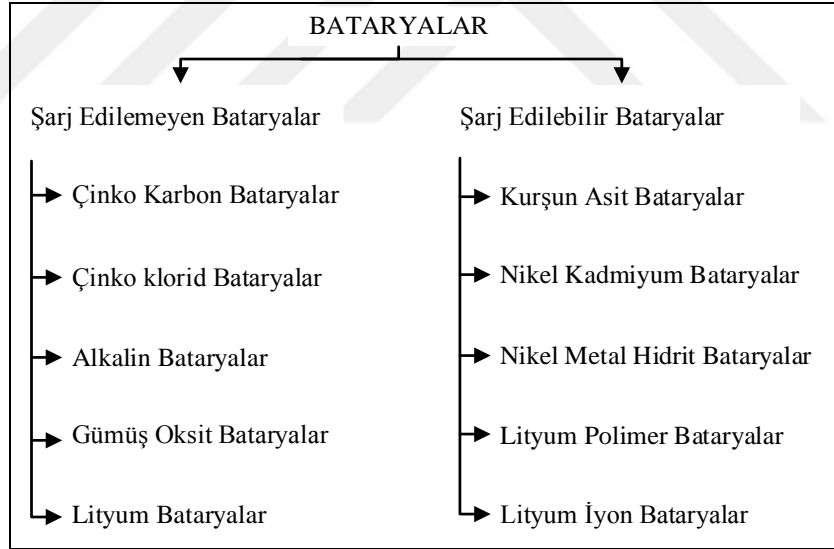
BYS bir veya daha çok hücreden oluşan batarya paketlerinin şarj vedeşarj sırasında denetimini yapan sistemlerdir. Bataryalar şarj vedeşarj edilirken akım, gerilim ve sıcaklık değerlerinin ölçümünü yaparak optimum değerler dışına çıkıldığında sisteme müdahale etmektedir. Bataryaların kullanım ömürlerini uzatmak ve verimini arttırmak için tasarlanmıştır. YYS yüksek akım, yüksek gerilim, düşük gerilimden korur ve

güvenli bir şekilde kullanılmalarını sağlar. BYS'nin görevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Akım, gerilim ve sıcaklık bilgilerine göre batarya güvenliğini sağlamak.
- Akım ve gerilim bilgisine göre SOC hesaplamak.
- Bataryanın hücre dengelemesini gerçekleştirmek.
- Bataryayı aşırı şarj, aşırı deşarj ve kısa devreden korumak.
- Yüksek sıcaklıklarda soğutma sistemini devreye girmesini sağlamak.
- Batarya ömrünü uzatmak ve verimini arttırmak.

3.1. BATARYA TÜRLERİ

Bataryalar elektriksel olarak şarj edilebilme yeteneklerine göre şarj edilebilen ve şarj edilemeyen bataryalar olmak üzere iki sınıfta incelenebilir [26]. Şekil 3.1'de şarj edilebilir ve şarj edilemeyen batarya çeşitleri verilmektedir.



Şekil 3.1. Bataryaların Sınıflandırılması

Şarj edilemeyen bataryalar kimyasal yapısı gereği tekrar doldurulma özellikleri yoktur. Bu yüzden boşaldıktan sonra tekrar kullanılamazlar. Enerji yoğunlukları düşük olmasına rağmen fiyatlarının ucuz olması ve uzun bekleme süresi günlük hayatımızda birçok alanda kullanılmaktadır. Çinko karbon bataryalar düşük güç gerektiren ve düşük maliyetli uygulamalar için uygundur. Ancak bu bataryaların elektrolitlerinin zamanla batarya dışına akmaları sisteme yarardan çok zarar verebilirler. Çinko klorid

bataryalar çinko karbon bataryalara göre daha uzun ömürlüdür. Raf ömürleri oldukça yüksektir. Alkalin bataryalar ise yüksek güç gerektiren düşük maliyetli uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

Gümüş oksit bataryalar ise küçük boyutlu olmalarına rağmen yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler. İşitme cihazlarında kullanılmaktadırlar. Lityum piller çok uzun bekleme süreleri ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip olduklarından dolayı saat ve bilgisayar saatlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şarj edilebilir bataryalar; kurşun asit, Nikel Kadmiyum (Ni-Cd), Nikel Metal Hidrit (Ni-MH), Lityum İyon Polimer (LiPO) ve Lityum İyon (Li-Ion) olmak üzere sınıflandırılabilir. Bu bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler.

3.1.1. Kurşun Asit Bataryalar

Kurşun-asit bataryalar elektrik enerjisinin depolanması hususunda en eski ve olgunlaşmış teknolojidir. Düşük yatırım maliyeti, tekrar şarj edilebilir bataryalar arasında en düşük kendi kendine boşalma oranına sahip olması ve nispeten daha kolay bakımı gibi üstünlükleri sayesinde birçok alandaki depolama sorununun çözülmesinde kurşun asit bataryalar oldukça yüksek bir yoğunlukta kullanılmaktadırlar. Şekil 3.2'de kurşun asit batarya örneğine ait görsel verilmektedir. [27].



Şekil 3.2. Kurşun asit bataryalar.

Bu teknolojinin yetersizlikleri ise sınırlı çevrim ömrü, nispeten düşük enerji yoğunluğu, düşük ve yüksek ortam sıcaklıklarında azalan performans, derin deşarja

karşı hassasiyet ve çevresel olarak zararlı kurşun bileşenini ve asit elektroliti bünyesinde barındırmasıdır [27,28]. Bunun yanı sıra her bir kurşun-asit batarya hücresi yaklaşık 2V'luk bir çıkış gerilimine sahiptir [29].

Bu durumda hücre başına daha yüksek gerilim seviyesine sahip olan lityum-iyon bataryalara kıyasla yetersiz kalmakta, aynı gerilim seviyesine sahip olmak için lityum-iyon bataryalara göre daha çok sayıda kurşun-asit batarya hücresinin kullanımını gerektirmektedir. Kurşun asit bataryaların hafıza etkisinin olmaması ve kendi kendine boşalmalarının çok az olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.1.2. Nikel Kadmiyum Bataryalar

Nikel-Kadmiyum bataryalar kurşun-asit bataryalara kıyasla yüksek enerji yoğunlukları, uzun çevrim ömrü ve düşük bakım gereksinimleri sayesinde günlük uygulamalarda kullanışlı bir alternatif olmuştur [27,28]. Yüksek çevrim ömrü, yüksek enerji yoğunlukları ve düşük bakım gereksinimleri ile kurşun-asit bataryalar ile yarışır konuma gelmişlerdir. Ni-Cd bataryalar sert koşullar altında iyi performans sağlayabilen tek batarya türüdür. Ni-Cd piller 1000 defaya kadar şarj edilebilirler. Ancak bataryayı şarj etmeden önce tamamen deşarj olduklarından emin olmak gerekir. Çünkü bataryayı tam deşarj etmeden şarj etmek bataryanın şarj kapasitesini düşürecek ve ömrü kısılacaktır. Bu yüzden periyodik olarak tam deşarj edilmesi gerekmektedir. Şekil 3.3'te Ni-Cd batarya örnekleri verilmektedir.



Şekil 3.3. Ni-Cd bataryalar.

Ni-Cd bataryalar herhangi bir şarj oranında uzun süreli raf ömrüne sahiptir. Çevrim başına fiyat karşılaştırması yapıldığında en ekonomik batarya türüdür. Diğer batarya

türleri ile karşılaştırıldığında enerji yoğunluğu düşüktür. Hafıza etkisinin bulunması en büyük yetersizliğidir. Ni-Cd bataryalar, çevreye zararlı kimyasal maddeler içerir [30].

Ni-Cd bataryaların en büyük üstünlüğü uzun ömürlü olmaları, fiziksel ve kimyasal tepkilere karşı dayanıklı olmasıdır. Eneji yoğunluğu bakımından kurşun asit bataryalara göre daha pahalı olması ve kadmiyum içermesi gibi yetersizlikleri vardır [31].

3.1.3. Nikel Metal Hidrit Bataryalar

Ni-MH bataryaların enerji kapasiteleri oldukça yüksektir. Ni-MH piller Ni-Cd pillere oranla çok daha fazla kapasite içerirler. Ni-MH piller de Ni-Cd bataryalar gibi tamamen deşarj olmadan şarj edilmemelidir, çünkü bellek etkisi bu piller için de geçerlidir. Ni-MH bataryalar Ni-Cd bataryalardan %30-40 daha fazla kapasiteye sahiptirler. Ni-MH bataryaların dayanıklılığı Ni-Cd bataryalara göre daha azdır. Ni-MH piller birçok açıdan üstün görünse de tek olumsuz yanları kullanılmadıklarında kendi deşarj olma sürelerinin oldukça kısa olmasıdır. Yüksek bakım kristalleşmeyi önleyebilmek için Ni-MH bataryalar da belirli süreler içinde deşarj edilmeli. Ni-Cd bataryalar için bu süre ayda bir, Ni-MH bataryalar için de üç ayda birdir. Şekil 3.4'te Ni-MH bataryaya ait görsel verilmektedir.



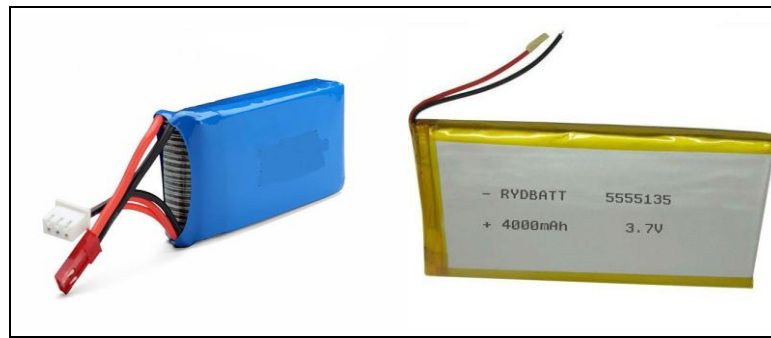
Şekil 3.4. Ni-MH bataryalar.

Nikel metal hidrit bataryalar kadmiyum, kurşun veya cıva gibi zararlı maddeler içermediğinden ötürü kurşun-asit ve nikel-kadmiyum bataryalara kıyasla çevre dostu bir yapıya sahiptirler. Ni-MH bataryalar kendi kendine boşalma konusundaki

problemleri, nikel metal hidrit bataryaları uzun zamanlı enerji depolaması açısından oldukça yetersiz kalmaktadır. Ancak maliyet açısından Li-ion bataryalardan daha ucuzdur [28]. Ni-MH bataryaların aşırı akımda şarj edildikleri takdirde çevrim ömürlerinde ciddi azalmalar olmaktadır. Şarj sırasında karmaşık bir algoritma ile şarj edilmesi gerekmektedir. Ni-Cd bataryalar ile karşılaştırıldığında şarj süresinin daha uzun ve kendi kendine boşalmaları daha yüksektir. Ayrıca deşarj akımlarının düşük olmasıdır [32].

3.1.4. Lityum Polimer Bataryalar

LiPO bataryalar diğer şarj edilebilir bataryalardan farklı elektrolit maddesi kullanılmaktadır. Elektrolit iletkenliği yoktur ancak iyonların geçişine izin veren sıvı elektrolit vardır. Yapısında sıvı elektrolit bulunması sebebiyle pildeki sızmalara karşı metal folyolarla kaplanmıştır. LiPO bataryalar istenilen boyutlarda bulunan bir batarya çeşididir. Genellikle büyük cihaz üreticilerin taleplerine göre özel şekilde üretilirler. Bu nedenle taşınabilir elektronik cihazlarda kullanılmaktadır. Yanıcı ve patlayıcı bir yapıya sahip olmasından dolayı kullanımları sırasında dikkat edilmesi gerekmektedir. LiPO bataryalar yanarken suya atılsa dahi içerisindeki kimyasal yoğunluktan dolayı yanmaya devam etmektedir. Kimyasal yapılarından dolayı hafiftir ve aşırı deşarja daha dayanıklıdır. Şekil 3.5'de LiPO bataryalara ait resim verilmektedir.



Şekil 3.5. LiPO bataryalar.

LiPO bataryaların iletkenliğinin az olmasından dolayı yüksek sıcaklıklarda daha iyi performans sağlamaktadır. Li-Ion'a bataryalara göre enerji yoğunluğu düşüktür ve çevrim sayısı daha azdır. LiPO bataryalar Ni-Cd ve Ni-MH bataryalara göre ise enerji yoğunluğu fazla ve kullanım ömürleri daha uzundur. LiPO batarya hücreleri için katı

lityum negatif elektrot bir problem kaynağıdır; güvenlik zorlukları vardır ve bazen metaldeki bozulmalar nedeni ile performans düşüşleri görülür. Bu sebeple bu tip bataryaların yerini büyük ölçüde Li-Ion bataryalar almıştır [33].

3.1.5. Li-Ion Bataryalar

Li-Ion bataryalar günümüzde elektrikli araç uygulamalarında ve elektronik cihazlarda en çok tercih edilen batarya türüdür. Günümüzdeki teknolojiyle birim hücre başına en yüksek gerilim ve birim kütle başına en yüksek enerji yoğunluğuna sahip bataryalardır. Li-Ion bataryaların hafıza etkisinin olmaması, kendi kendilerine deşarj olmaları çok düşük olması ve çevrim ömürlerinin yüksek olması bakımından diğer batarya çeşitlerinden üstündür.

Li-Ion bataryaların şarj durumunda -20°C ile $+60^{\circ}\text{C}$ arasında, deşarj sırasında -40°C ile $+65^{\circ}\text{C}$ arasında kullanılabilirliklerinden dolayı geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahiptir. Li-Ion batarya hücre gerilimleri 2.5V ile 4.2V'tur ve diğer batarya türlerinden yaklaşık olarak üç katıdır [34].

Lityum çok çabuk tepkimeye girebilen bir madde olduğu için kullanımları sırasında patlama ve yanma riski vardır. Li-Ion bataryalar doğrudan güneş ışığına veya yüksek ısıya maruz kalmalarında tehlikeli durumlar ortaya çıkmaktadır. Şarj işlemi sırasında, şarj geriliminin maksimum değeri batarya geriliminin %80'ine ulaşıncaya kadar sabit akımda gerçekleştirilmelidir. Sonrasında sabit gerilimde şarj işlemine devam edilmelidir. Şarj akımı belirli bir değere kadar azaldığında şarj işlemi sonlandırılmalıdır.

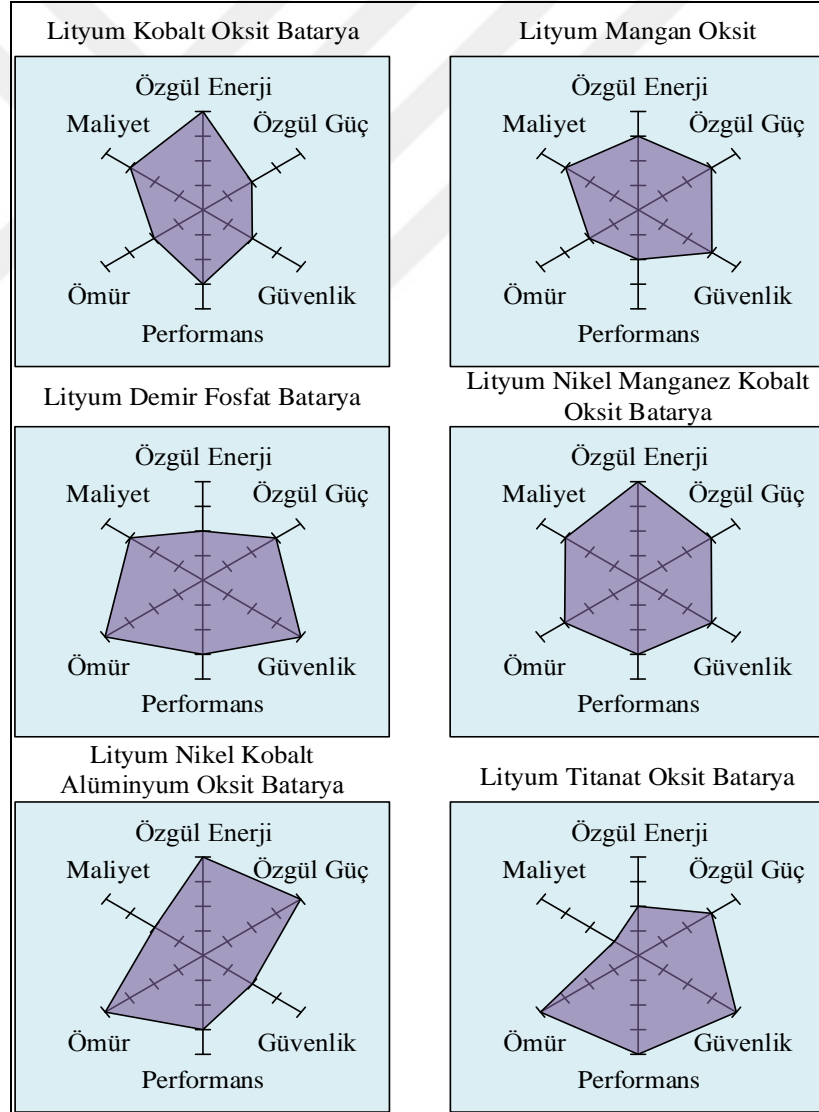
Batarya paketi Li-Ion batarya hücrelerinin seri ve paralel bağlanmasıyla oluşturulduğunda batarya hücrelerinin aşırı şarj ve aşırı deşarjdan korumak için koruma devrelerine ihtiyaç vardır [35].

Li-Ion bataryalarda farklı malzemeler kullanılarak çeşitli batarya türleri ortaya çıkmıştır. Bunlar, LCO (Lityum Kobalt Oksit), LMO (Lityum Mangan Oksit), LFP (Lityum Demir Fosfat), NMC (Lityum Nikel Mangan Kobalt Oksit), LTO (Lityum Titanat Oksit) ve NCA (Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit) bataryalardır. Şekil 3.6'da Li-Ion batarya çeşitlerine ait görsel verilmektedir.



Şekil 3.6. Li-Ion bataryalar.

Lityum bataryaların özgül enerji, özgül güç, güvenlik, perfortmans, ömür ve maliyet açısından karşılaştırılması Şekil 3.7’de verilmektedir [36,37].

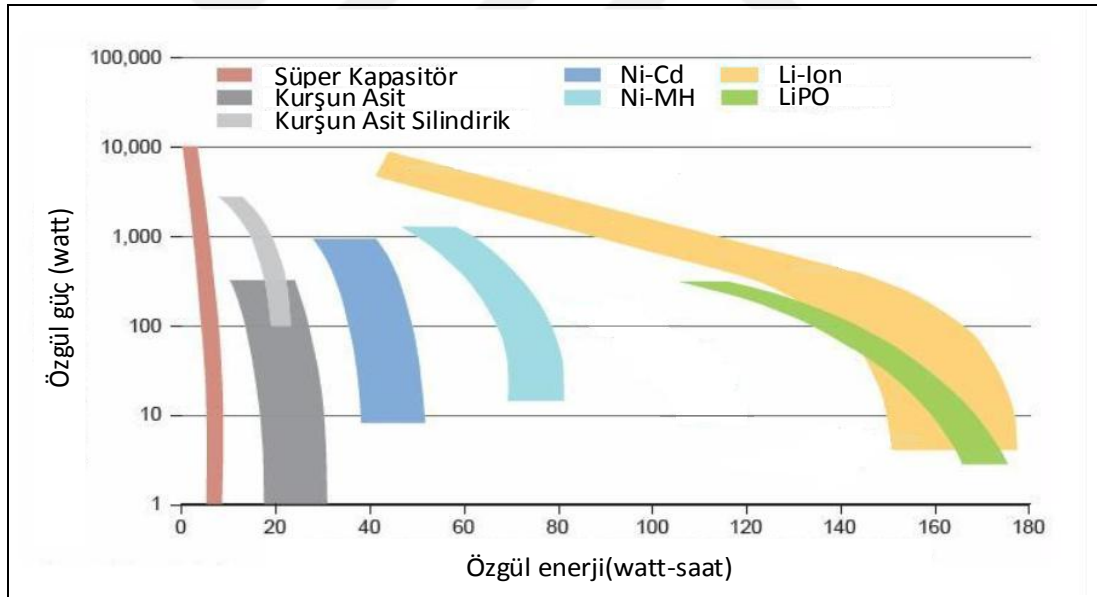


Şekil 3.7. Li-Ion bataryaların ölçeklendirmeli karşılaştırılması [37].

Li-Ion batarya çeşitleri özgül enerji bakımından LCO, NMC ve NCA, özgül güç bakımından NCA, güvenlik bakımından LFP ve LTO, performans bakımından LTO, çevrim ömrü bakımından LTO, maliyet bakımından LTO bataryalar tercih edilmektedir.

3.1.6. Şarj Edilebilen Bataryaların Karşılaştırılması

Akü tipleri arasında üçüncü nesil olarak görülen Li-Ion bataryalar elektrikli araçlar için sıkça tercih edilen akü modelidir. Li-Ion pillerde şarj ve deşarj süreleri kurşun asit, Ni-MH pillere göre çok çok kısadır. Bunun yanında aynı miktarda enerji elde etmek için Ni-MH akülere göre %40 daha az yere ihtiyaç duyar. Gerek hızlı şarj gerekse en az yer gerektirmesi nedeni ile kompakt elektrikli araçlarda kullanımı gittikçe yayılmaktadır. Şarj edilebilir bataryaların özgül enerji ve özgül güç karşılaştırılması grafiği Şekil 3.8’de verilmektedir.



Şekil 3.8. Şarj edilebilir bataryaların enerji ve güç grafikleri [38].

Şarj edilebilir bataryalar arasında Li-Ion bataryalar geniş bir enerji ve güç aralığına sahiptir. İstenilen güç ve enerji yoğunluğunda bulunması kolaydır. Süper kapasitörler en fazla güç yoğunluğuna sahiptir. Li-Ion ve LiPO bataryalar diğer batarya türlerinden daha yüksek güç ve enerji yoğunluğuna sahiptir. Şarj edilebilir bataryaların gerilim, spesifik enerji, şarj oranı, deşarj oranı ve çevrim ömrü bakımından karşılaştırılması Çizelge 3.1’de verilmektedir [37,39,40].

Çizelge 3.1. Şarj edilebilir bataryaların karşılaştırılması.

	Çalışma Gerilim	Nominal Gerilim	Enerji (Wh/kg)	Şarj oranı	Deşarj Oranı	Çevrim Ömrü	Bakım
Pb	1.8-2.45V	2V	30-50	0.2C	1C	100	3-6 ay
Ni-Cd	1.1V-1.44V	1.25V	45-80	1C	2C	100-200	30-60 gün
Ni-MH	0.8V-1.5V	1.25V	60-120	0.5C	5C	200-300	60-90 gün
LiPO	2.75V-3.9V	3.6V	100-130	1C	2C	300-500	Gerekmez
LTO	1.8V-2.85V	2.4V	50-80	5C	10C	3000-7000	Gerekmez
LMO	3V-4.2V	3.7V	100-150	1C	1C-10C	300-700	Gerekmez
LCO	3-4.2	3.6V	150-200	1C	1C	500-1000	Gerekmez
NCA	3-4.2	3.6V	200-260	0.7C	2.5C	500	Gerekmez
LFP	2.5-3.65	3.3V	90-120	1C	2.5C	1000-2000	Gerekmez
NMC	3-4.2	3.6V	150-220	1C	2C	1000-2000	Gerekmez

Enerji yoğunluğu bakımında NCA bataryalar üstündür ancak çevrim ömürleri düşüktür. LTO bataryaları hızlı şarj, hızlı deşarj ve çevrim ömürlerinin bakımından diğer batarya türlerinden üstündür. Ancak enerji yoğunlukları düşüktür. LCO bataryalar hızlı şarj ve hızlı deşarja karşı çok duyarlıdır. LMO bataryalar LTO bataryalara göre enerji yoğunluğu fazla olmasına rağmen çevrim ömürleri düşüktür ve hızlı şarj özellikleri yoktur. Bakım gerektirmemeleri Lityum bazlı bataryaları ön plana çıkarmaktadır.

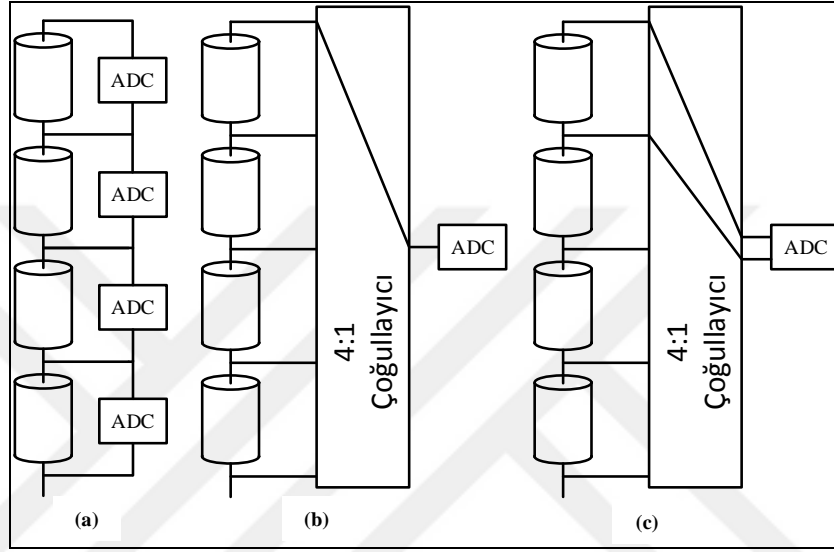
3.2. BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİ

BYS hücre ve batarya gerilimi ölçümü, batarya şarj akımı, batarya deşarj akımı, hücre sıcaklığı ölçümü yapılmalıdır. Ayrıca bu ölçümlerin yanında maksimum şarj akımı, maksimum deşarj akımı, maksimum ve minimum hücre gerilimleri, maksimum ve minimum hücre sıcaklıkları ve SOC durumunun belirlenmesi gerekmektedir.

3.2.1. Gerilim Ölçümü

Batarya yönetim sistemi, seri bağlanmış tüm hücre gerilimlerini ölçmelidir. Toplam batarya gerilimi ayrı ayrı ölçülmüş bu değerlerin toplamı şeklinde hesaplanılabileceği gibi ayrı bir ölçüm sonucu olarak ölçülebilmektedir. Hücresel ölçüm sisteminde, her hücreye bağlanan elektronik devre ile hücre gerilimi ölçülebilmektedir. Diğer ölçüm yönteminde, bataryanın çeşitli noktalarının gerilimlerini ölçer ve hücre gerilimlerine

bu noktaların gerilim farkına bakarak hücre gerilimleri hesaplanabilmektedir. Diğer ölçüm yönteminde ise hücre bağlantı uçlarından diferansiyel olarak ölçülür ve hücre gerilimleri bu gerilim farkına bakılarak ölçülebilmektedir. Gerilim ölçümleri analog çoğullayıcı ve bir ADC(Analog Dijital Çevirici) kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Hücre gerilimi ölçüm yöntemleri Şekil 3.9'da verilmektedir.



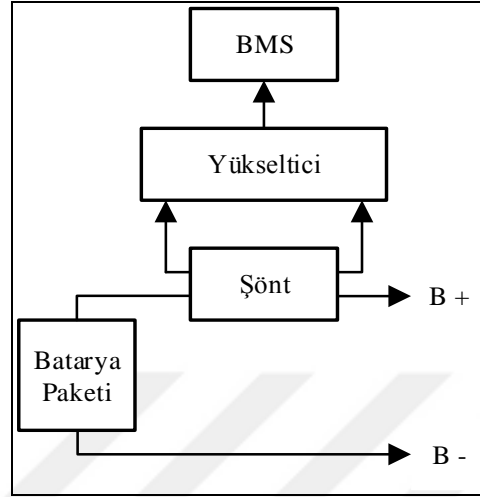
Şekil 3.9. Gerilim ölçme a) Hücresel, b) Tek noktadan, c) Diferansiyel.

Gerilim ölçümünün doğruluğu, BYS'de nasıl kullanılmak istenmesiyle ilgilidir. Basitçe hücrenin tamamen şarj veya deşarj olduğuna karar verebilmek için 100mV tolerans yeterlidir. Maksimum gerilimde eşitleme yapılan uygulamalarda ise 50 mV doğruluk yeterlidir. Piyasada bulunan BYS'in gerilim ölçümü doğruluğu 10mV ile 30 mV arasındadır [41].

3.2.2. Akım Ölçümü

Batarya akımı ölçümü, şarj ve deşarj edilen enerji hesaplamalarında kullanılmaktadır. Anlık akım ölçümü yapılarak yüksek deşarj ve şarj akımı bataryanın kimyasal yapısında bozulmalara ve batarya ömrünün azalmasına yol açmaktadır. Belirli periyotlarda akım ölçüm verisi, SOC durumu kestiriminde kullanılmaktadır. Temel olarak, şönt direnç ve alan etkili akım algılayıcı ile ölçüm yapılmaktadır. Şönt akım ölçümü sistemden izole değildir. Şönt dirençle yapılan ölçümlerde yükseltici bir devre kullanılmaktadır. Bu da yükselticinin gürültülerden etkilenmesi söz konusudur. Ortam

sıcaklığının artmasıyla ve direnç üzerinden geçen akımın artmasıyla şönt direncinin iç direnci artar. Bununla birlikte akım ölçüm doğruluğu azalmaktadır. Şönt direnç ile akım ölçüm sistemi Şekil 3.10'da verilmektedir.



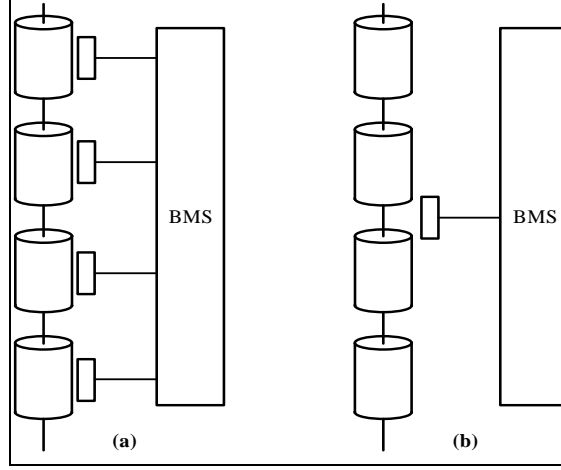
Şekil 3.10. Şönt direnç ile akım ölçüm sistemi.

Alan etkili algılayıcılar, içerisinde geçen akımın manyetik etkisi ile orantılı olarak bir çıkış gerilimi ile akım hesaplanabilmektedir. Alan etkili akım algılayıcıları üzerine bağlanarak veya algılayıcı içerisinde geçirilerek ölçüm yapılabilir. Şekil 3.11'de akım algılayıcı görselleri verilmektedir.

Akım ölçümünde, alan etkili algılayıcı ile sistem izole edilmektedir. İki yönlü veya tek yönlü ölçüm yapabilmelerinden dolayı uygulamada üstünlük sağlayabilmektedir. Örneğin; şarj ve deşarj durumu 0A seviyesi altına ve üstüne çıkmasıyla anlaşılabilir. Bu yöntem yükselteç devrelerine ihtiyaç duymamaktadır.

3.2.3. Sıcaklık Ölçümü

BYS batarya paketinin veya her hücrenin sıcaklığını ölçebilmektedir. Ancak her hücrenin sıcaklık ölçümüne izin verecek kadar girişe sahip olmayan sistemlerde, sıcaklık algılayıcıları batarya paketinin stratejik noktalarına (en sıcak veya en soğuk) konularak sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. BYS için bütün hücre sıcaklıklarını ölçebilmek sistemin batarya üzerindeki kontrolünü arttırmaktadır. Bataryalar nominal sıcaklıklarının dışında şarj ve deşarj edilmemelidir. Şekil 3.12'de sıcaklık ölçüm türlerine ait görsel verilmektedir.



Şekil 3.11. Sıcaklık ölçümü (a) Her hücrenin (b) Batarya paketinin.

3.2.4. SOC Kestirimi

Batarya yönetim sistemi için SOC belirlenmesi en zor görevidir. Sistem üzerindeki kayıplar, batarya modelinin oluşturulamaması, her batarya hücresinin kimyasal özelliklerinin zamanla farklılık göstermesi gibi nedenlerden dolayı SOC kesin olarak belirlenmesi zordur ve direkt olarak ölçmenin bir yolu yoktur. Çeşitli yöntemler kullanılarak SOC hesaplanmaya çalışılmaktadır. Batarya yönetim sistemi, SOC bilgisini hesaplayarak bataryada kalan enerji miktarı hakkında bilgi vermektedir [4].

Bataryanın mevcut ölçümlerinden SOC tahmin etmek için çeşitli algoritmalar ve yaklaşımlar önerilmiştir. SOC tahmin etmek için yaygın olarak akım sayma yöntemi kullanılmaktadır [7]. Bu yöntemin uygulanması kolaydır. Bu yöntem Eşitlik 3.1 ile ifade edilebilmektedir.

$$SOC = SOC_{t_0} - \frac{1}{C_N} \int_{t_0}^t \eta I. dt \quad (3.1)$$

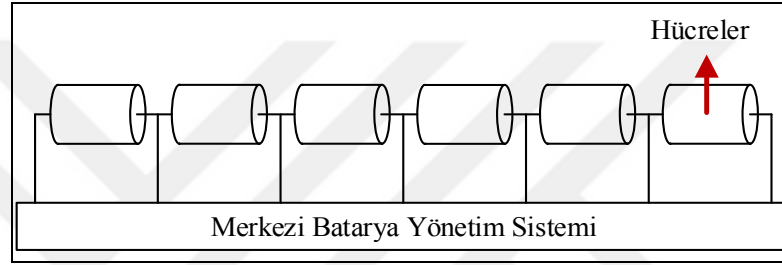
Eşitlik 3.1’de SOC_{t_0} başlangıç zamanındaki SOC’u belirtmektedir. C_N nominal kapasiteyi, η deşarj sırasında 1’e eşit olan ve şarj edilirken 1’den küçük olan coulombik verimliliğini temsil eder. SOC hesaplanırken şarj anında η pozitif, deşarj anında negatif alınarak hesaplanmaktadır. Akım sayma yönteminde önemli olan t_0 anında SOC durumunun doğru bir şekilde hesaplanmasıdır. Ayrıca akım ölçümünün hassaslığında bu yöntemin doğruluğunu etkilemektedir. Akım sayma yöntemi pek çok taşınabilir cihazda ve elektrikli araçta kullanılmaktadır [42].

3.3. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TÜRLERİ

Batarya yönetim sistemleri yapısal olarak dört farklı çeşidi vardır. Bunlar merkezi, modüler, ana kart-yardımcı kart ve datılış batarya yönetim sistemidir [41].

3.3.1. Merkezi Batarya Yönetim Sistemi

Batarya grubunda tüm hücreler tek bir BYS kartına bağlanarak oluşturulmaktadır. Kompakt bir yapıya sahiptir. Maliyet açısından diğer BYS türlerine göre ucuzdur. Şekil 3.13'te merkezi batarya yönetim sistemi verilmektedir.

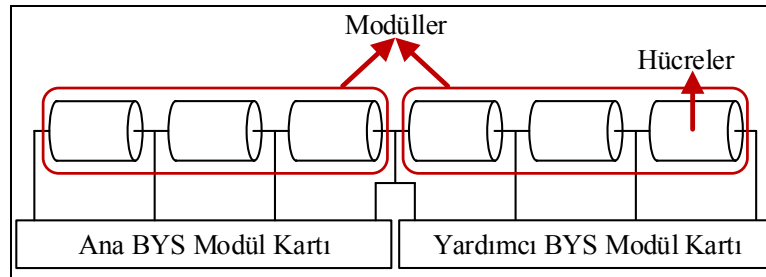


Şekil 3.12. Merkezi batarya yönetim sistemi.

Merkezi batarya yönetim sistemi kablo bağlantısının az olmasından dolayı basit bir yapıya sahiptir.

3.3.2. Modüler Batarya Yönetim Sistemi

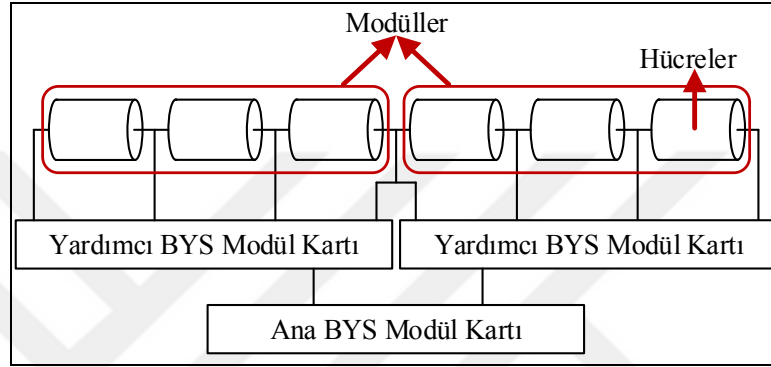
Modüler batarya yönetim sisteminde her modül belirli bir sayıda hücre için tasarlanmıştır. Modül sayısı arttırılabilir. Merkezi batarya yönetim sistemine göre daha maliyetlidir. Modüllerden biri ana modül olarak kullanılmaktadır. Ana modül çevre birimler ile haberleşmeyi sağlamaktadır. Şekil 3.14'te modüler batarya yönetim sistemi verilmektedir.



Şekil 3.13. Modüler batarya yönetim sistemi.

3.3.3. Ana Kart-Yardımcı Kart Batarya Yönetim Sistemi

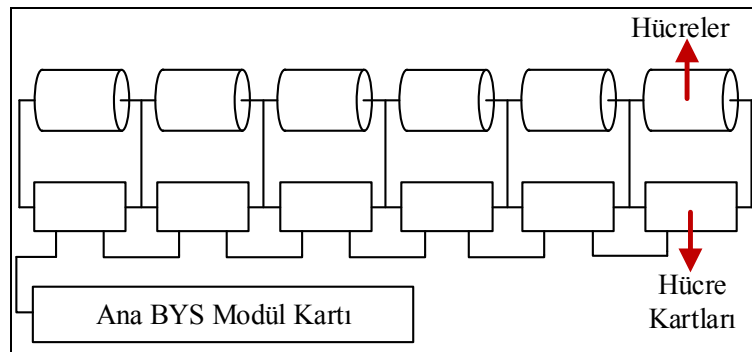
Bu batarya yönetim sisteminde akım, gerilim sıcaklık vb. değerlerin ölçülmesi yardımcı kartlar üzerinde yapılır. Ölçülen değerler ana karta gönderilerek veri işleme ve araç ile haberleşme ana kart ile yapılır. Yardımcı kartlar belirli sayıda hücreleri kontrol etmektedir. Şekil 3.15'te ana kart-yardımcı kart batarya yönetim sistemi görseli verilmektedir.



Şekil 3.14. Ana kart-yardımcı kart batarya yönetim sistemi.

3.3.4. Dağıtılmış Batarya Yönetim Sistemi

Dağıtılmış batarya yönetim sisteminde her hücre tek bir karta bağlanarak oluşturulur. Bu kartlar üzerinde gerilim, sıcaklık, akım vb. değerlerin ölçümleri yapılır. Ölçüm doğruluğu diğer türlere göre daha yüksektir. Kartlardan herhangi biri arıza yaptığında değiştirilmesi kolaydır. Şekil 3.16'da dağıtılmış batarya yönetim sistemi verilmektedir.

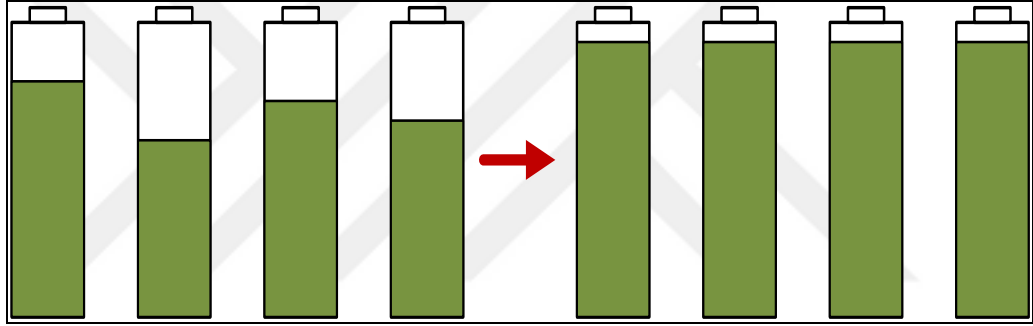


Şekil 3.15. Dağıtılmış batarya yönetim sistemi.

3.4. HÜCRE GERİLİMLERİ DENGELEME YÖNTEMLERİ

Bataryalarda paralel bağlı olan hücreler birbirlerinin gerilimlerini eşitlemek için zorlarlar. Böylece paralel bağlı olan hücreler birbirlerini otomatik olarak dengelemiş olurlar. Seri bağlı olan hücrelerde ise ana kol akımı bütün bataryadan geçer ve en düşük kapasiteye sahip olan hücre belirler. Batarya hücrelerinin eşdeğer şarj ve deşarj olmamalarından dolayı farklı kapasitelere sahip olurlar.

Dengesiz bir batarya paketinde, şarj sırasında seri bağlı hücrelerden bir veya birden fazlası diğerlerinden önce maksimum şarj düzeyine ulaşacaktır. Bataryanın şarj olmadığı durumda, tam şarj edilmemiş hücreler serideki diğer hücrelerden daha önce tükenecektir [38]. Şekil 3.17’de şarj sırasında dengelenmiş batarya gösterilmektedir.

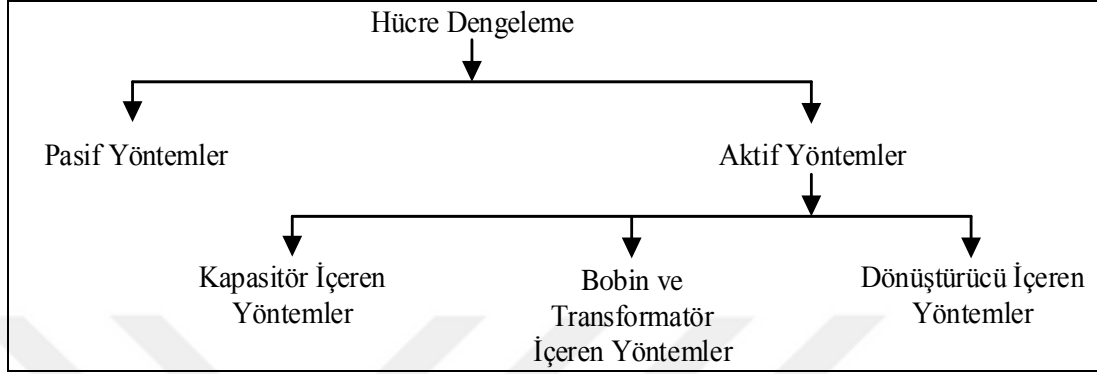


Şekil 3.16. Hücre gerilimleri dengeleme.

Hücreler arası kapasite farklılıklarını ortadan kaldırmak için hücre gerilimleri dengelemesine ihtiyaç vardır. Bataryada az doluluk oranına sahip olan hücreler dolana kadar yüksek doluluk oranına sahip olan hücrelerin daha fazla şarj olması engellenir. Hücre dengeleme sistemi batarya ömrünün uzaması ve enerjinin verimli kullanılması açısından önemlidir. Hücreler arasındaki dengesizliklerin nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Batarya hücrelerden farklı oranlarda şarj çekilmesine yol açan koruma kılıfları.
- Bataryanın farklı bölgelerinin farklı şekilde ısınması.
- Üretimsel farklılıklar.
- Hücre empedanslarındaki farklılıklar.
- Toparlanma oranlarındaki farklılıklar.
- BYS modüllerindeki anahtarlama elemanlarından kaynaklanan nedenler.

Hücre dengeleme yöntemleri pasif ve aktif hücre dengeleme olarak iki ana başlık altında incelenebilir. Aktif yöntemler, kapasitör içeren, bobin ve transformatör içeren ve dönüştürücü içeren hücre dengeleme yöntemleri olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Şekil 3.18’de hücre dengeleme yöntemi türleri verilmektedir [43,44,45].

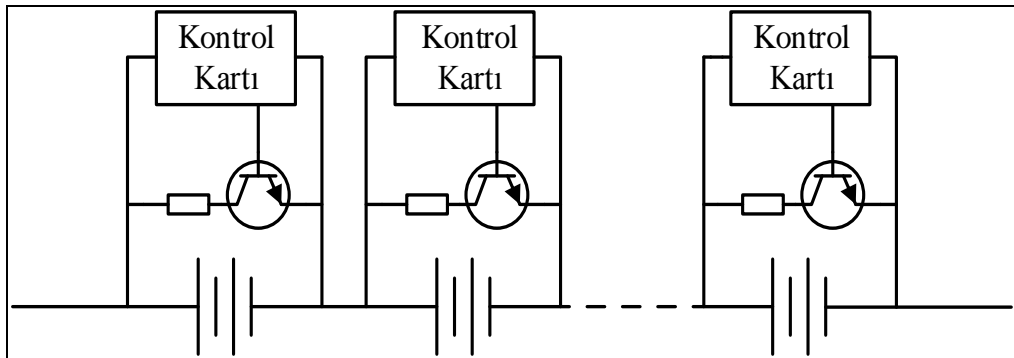


Şekil 3.17. Hücre dengeleme yöntemi türleri.

Pasif yöntemler ile fazla enerji ısıya dönüştürülerek harcanır. Aktif yöntemler enerjisi fazla olan hücreden enerjisi az olan hücreye, enerjisi fazla olan hücreden bataryaya veya bataryadan enerjisi düşük olan hücreye doğru enerji aktarımı yapılır.

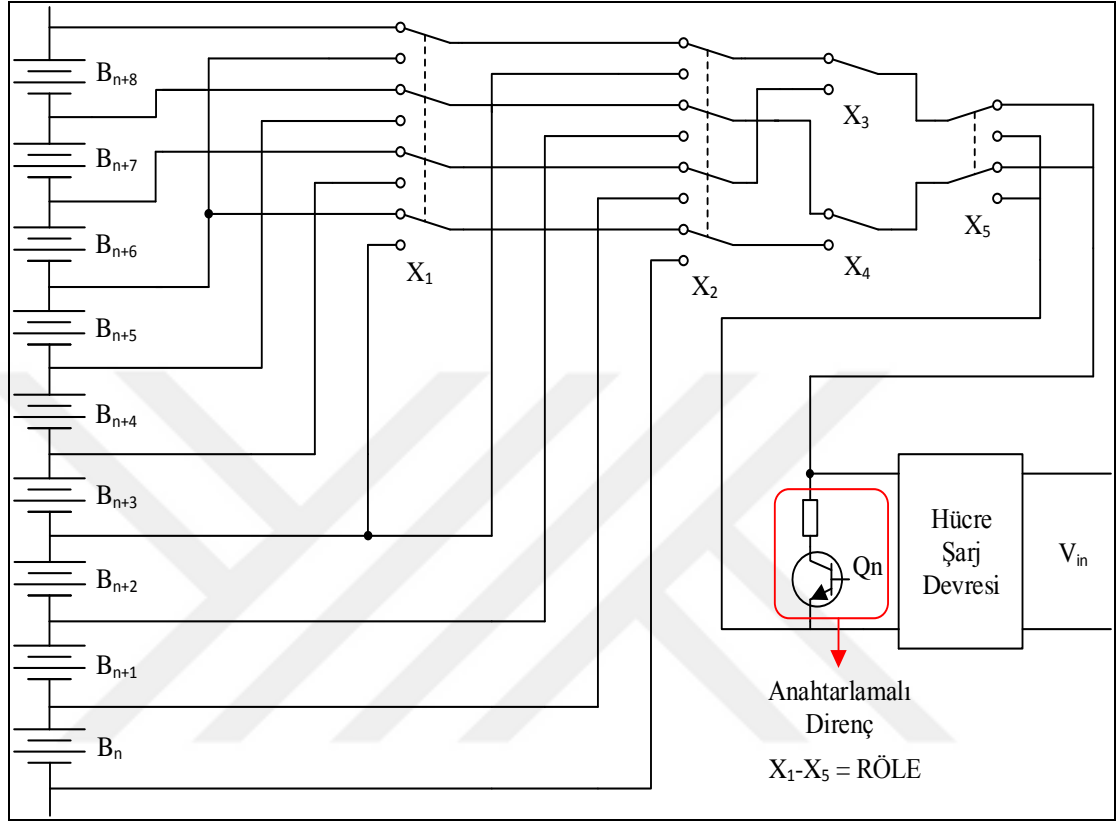
3.4.1. Pasif Yöntemler

Pasif yöntemlerde enerjisi fazla olan batarya hücresi belirlenerek hücreye bağlanan paralel direnç ile fazla olan enerji harcanarak ısıya dönüştürülür. En basit dengeleme türü olup kurulumu ve uygulaması kolaydır. Dengeleme hızı direncin değerine ve gücüne bağlıdır. Anahtarlamalı direnç ve tekli direnç olmak üzere iki türü vardır. Şekil 3.19’da anahtarlamalı direnç yöntemine ait görsel verilmektedir.



Şekil 3.18. Anahtarlamalı direnç yöntemi.

Anahtarlamalı direnç yönteminde her hücreye bağlanan kontrol kartı ile direnç iletime geçirilerek hücre dengelemesi gerçekleştirilir. Şekil 3.20’de tekli direnç yöntemine ait görsel verilmektedir [44,45].



Şekil 3.19. Tekli direnç yöntemi.

Tekli direnç yönteminde tek bir direnç ve daha fazla anahtarlama elemanı kullanılarak gerçekleştirilir. Anahtarlama elemanları belirli bir kurala göre değiştirilmesi gerekmektedir. Uygulanması zordur ve verimi düşüktür.

3.4.2. Aktif Yöntemler

Aktif hücre dengeleme yönteminde enerjisi fazla olan hücreden diğer hücrelere veya tüm batarya paketine enerji aktarılır. Bu işlemler hücre gerilimleri eşitleninceye kadar kontrollü olarak devam eder. Bu yöntemin yetersizliklerinden biri şarj ve deşarj işlemlerindeki enerji aktarım verimliliğinin düşük olmasıdır. Diğer bir yetersizliği ise bu türün dengeleme süresinin ve dengeleme oranının, eşitleme yapılacak minimum ve maksimum hücre gerilimleri farkına bağlı olmasıdır. Gerilim farkı ne kadar fazla ise

eşitleme zamanı aynı oranda düşer.

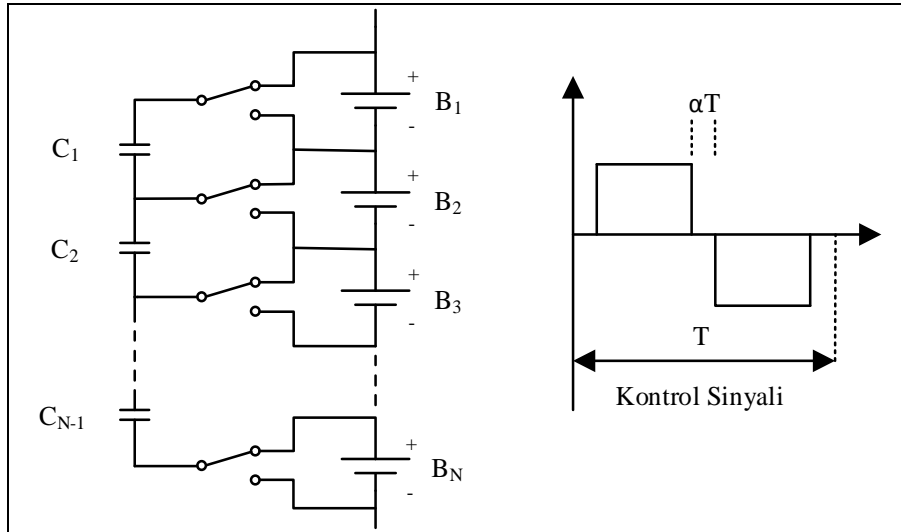
Aynı zamanda işlemin verimliliği yükselir. Gerilim farkı düştükçe kapasite üzerindeki şarj ve deşarj işlemi ile daha az enerji aktarılmaya başlanır ancak devre elemanları üzerindeki kayıplar halen aynıdır. Aktif yöntemlerin en büyük üstünlüğü hem şarj hem de deşarj durumunda kullanılabilir olmasıdır.

3.4.2.1. Kapasitör İçeren Hücre Dengeleme Yöntemleri

Kapasitör içeren hücre dengeleme yöntemlerinde enerjisi fazla olan hücre üzerinde kondansatör şarj edilir ve enerjisi az olan hücre üzerine aktarılır. Bu teknikte aynı anda bir hücrenin dengelemesi yapılabilir. Batarya grubunun en sonuna yakın hücrelerde bir dengeleme yapılacak ise işlem daha uzun zaman almaktadır. İndüktif dengeleme sistemine göre daha yavaş dengeleme yaparlar.

Anahtarlama Kapasitör Yöntemi

Anahtarlama kapasitör yöntemi n adet hücreye $n-1$ tane kondansatör bağlanarak oluşturulur. Anahtarlar için sürekli sabit bir çalışma oranı olduğundan dolayı akıllı bir algoritma gerekmez. Şekil 3.21’de anahtarlama kapasitör yöntemine ait görsel verilmektedir [43,45].



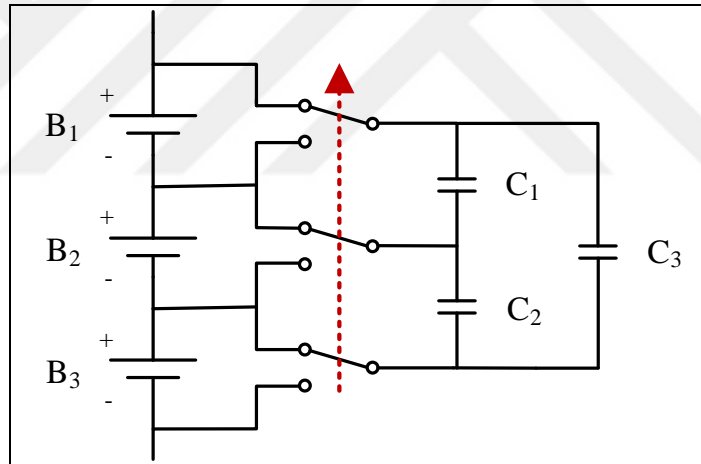
Şekil 3.20. Anahtarlama kapasitör yöntemi.

Birinci durumda B1-C1 bağlantısı varken ikinci durumda B2-C1 bağlantısı kurulur. Kondansatörler gerilimi yüksek olan hücrede şarj olur ve gerilimi düşük olan hücre

üzerine aktarılır. Böylece enerjisi yüksek olan hücreden düşük olan hücreye doğru enerji akışı söz konusudur. Hücre gerilimleri yüksek ve düşük olan hücreler arası hücre sayısı artarsa dengeleme hızı azalır. Bu yöntemde çok fazla anahtar olduğu için kurulumu zor, dengeleme hızı düşüktür. Bu yöntemin üstünlüğü hem şarj hemde deşarj sırasında kullanılabilir olmasıdır.

Çift Katlı Kapasitör Yöntemi

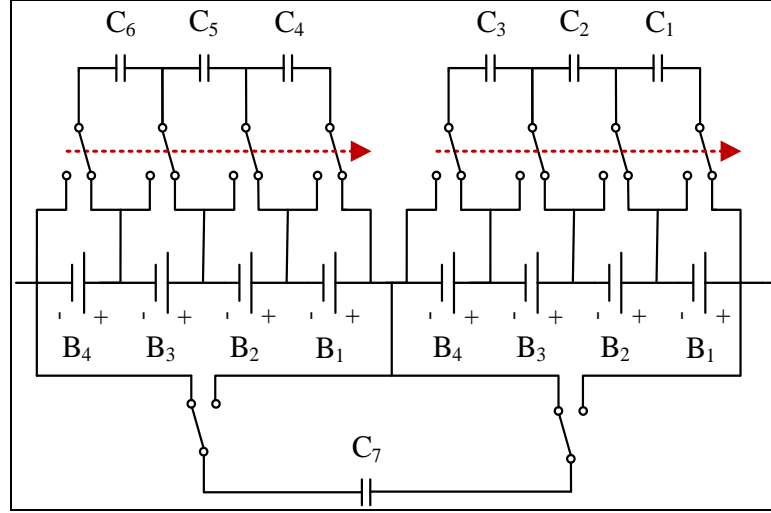
Anahtarlamalı kapasitör yöntemindeki yapıya benzerdir. Anahtarlar sürekli sabit bir çalışma oranı ile anahtarlanır. Birinci durumda B1-C1 bağlantısı varken ikinci durumda B2-C2 bağlantısı kurulur. Aynı esnada C1 ve C2 kondansatörleri C3 üzerinden birbirine eşitlenir. Anahtarlı kapasitör yöntemine göre dengeleme hızı yüksek ve verimliliği fazladır. Şekil 3.22’de çift katlı kapasitör yöntemine ait görsel verilmektedir [43,44].



Şekil 3.21. Çift katlı kapasitör yöntemi.

Modülerize Kapasitör Yöntemi

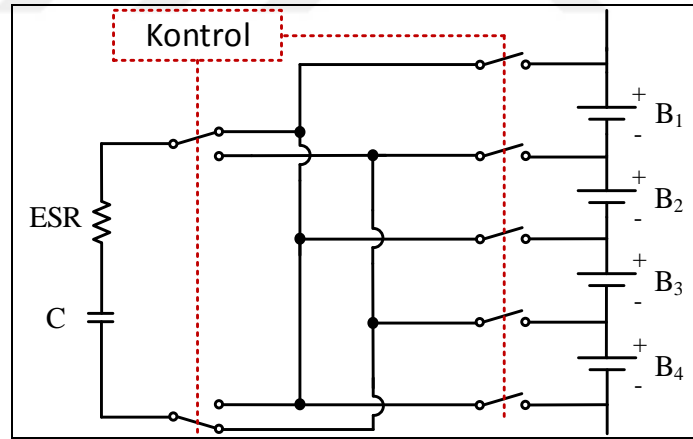
Modülerize kapasitör yönteminde batarya hücreleri aynı sayıda gruplanarak modüller oluşturulur. Bu modüllerde kendi içlerinde ve modüller arası dengeleme mantığına dayanır. Dengeleme hızı anahtarlamalı kapasitör yöntemine göre daha hızlıdır. Sabit bir anahtarlama mantığı olduğundan dolayı akıllı bir kontrol algoritması gerekmemektedir. Bu yöntem bataryanın hem şarj anında hemde deşarj anında kullanılmalıdır. Şekil 3.23’te Modülerize kapasitör yöntemine ait görsel verilmektedir [43].



Şekil 3.22. Modülerize kapasitör yöntemi.

Tekli Anahtarlama Kapasitör Yöntemi

Bu yöntemde kontrol devresi yardımıyla en dolu ve en boş hücreler belirlenir. Direnç ve kondansatör seri olarak bağlanır. Şekil 3.24'te tekli anahtarlama kapasitör yöntemine ait görsel verilmektedir.



Şekil 3.23. Tekli anahtarlama kapasitör yöntemi.

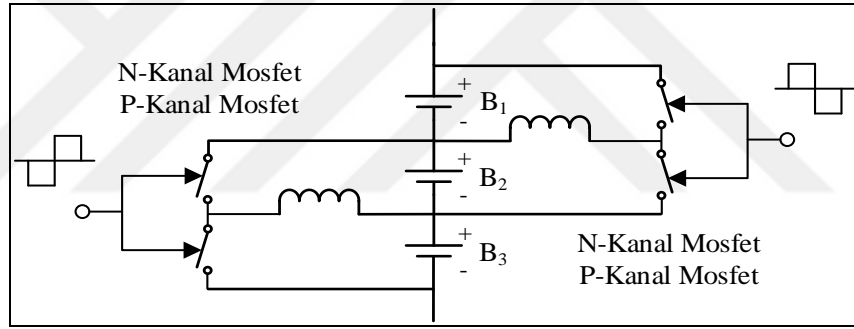
Birinci durumda uygun anahtarlama yapılarak en dolu hücre üzerinde kondansatör şarj edilir. İkinci durumda en boş hücre belirlenerek kondansatör bu hücre üzerinde deşarj edilir. Böylece en dolu hücreden en boş hücreye doğru enerji aktarılır. Dengeleme hızı anahtarlama kapasitör yönteminden yüksektir. Kurulumu zordur ancak verimi yüksektir. Akıllı bir algoritma gerektirdiği için uygulanması zordur. Ayrıca en dolu ve en boş hücrelerin doğrulukla belirlenmesi gerekmektedir [46].

3.4.2.2. Bobin ve Transformatör İçeren Hücre Dengeleme Yöntemleri

Bu yöntemde bir grup hücreden alınan enerji başka bir hücreye veya batarya grubuna bobin veya transformatör yardımıyla enerji aktarılır. Dengeleme işlemi hızlı bir şekilde yapılabilir. Bu yöntemlerin yapısının karmaşıklığı ve maliyetinin yüksekliğinden kaynaklanan yetersizlikleri mevcuttur.

Anahtarlama Bobin Yöntemi

Kontrol sistemi yardımıyla komşu iki hücre arasındaki gerilim farkı algılanır. Üstteki anahtarlar iletimde iken alttaki anahtar kesimdedir. Dolu hücredeki fazla enerji bobine depolanır. Anahtar kesime gittiğinde diğer hücreye aktarılır. Bu işlem tüm hücreler eşitleninceye kadar devam eder. Şekil 3.25'te anahtarlama bobin yöntemine ait görsel verilmektedir.

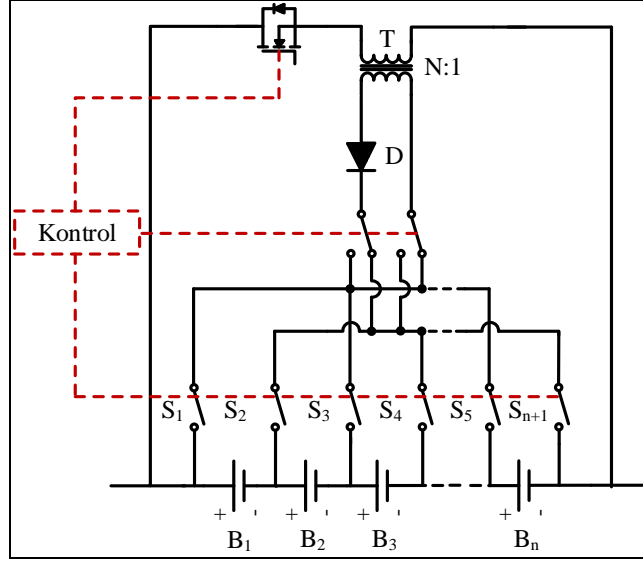


Şekil 3.24. Anahtarlama bobin yöntemi.

Bu yöntemin dengeleme hızı ve verimi yüksektir. Devrede bir çok anahtar olduğu için kurulumu zordur. Hücre sayısı arttıkça kurulumu dahada zorlaşır. Sabit bir çalışma oranı olduğundan uygulanabilirliği kolaydır.

Tek Sarımlı Transformör Yöntemi

Tek sarımlı transfer yönteminin iki modu vardır. Bunlar hücreden batarya paketine veya batarya paketinden hücreyedir. Batarya paketinde hücreye modunda en boş hücre belirlenir. Önce anahtar iletimdedir ve transformatörün bir sargısına enerji depolanır. Anahtar kesime gittiğinde depolanan enerji en boş hücreye aktarılır. Bu işlemler bütün hücreler eşitlenene kadar devam eder. Şekil 3.26'da tek sarımlı transformör yöntemine ait görsel verilmektedir [45].

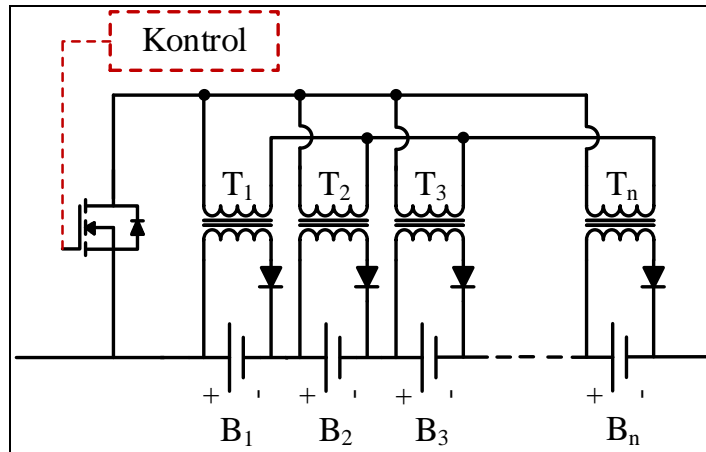


Şekil 3.25. Tek sarımlı transformatör yöntemi.

Dengeleme hızı ve verimi yüksektir. Çok fazla anahtar olduğundan kurulumu zordur. Hücre sayısı arttıkça kurulumu dahada zorlaşır. En düşük veya en yüksek gerilim seviyesindeki hücrelerin belirlenmesine dayanır.

Çoklu Transformatör Yöntemi

Çoklu transformatör yönteminde her hücreye transformatör bağlanarak oluşturulur. Transformatörleri hücrenin katot ucuna bağlantısına ters gerilimlere karşı koruma diyodu eklenir. Bu yöntemde sürekli enerji aktarımı vardır. Mosfetin sabit bir çalışma oranı ile anahtarlanır. Şekil 3.27’de çoklu transformatör yöntemine ait görsel verilmektedir [45].



Şekil 3.26. Çoklu transformatör yöntemi.

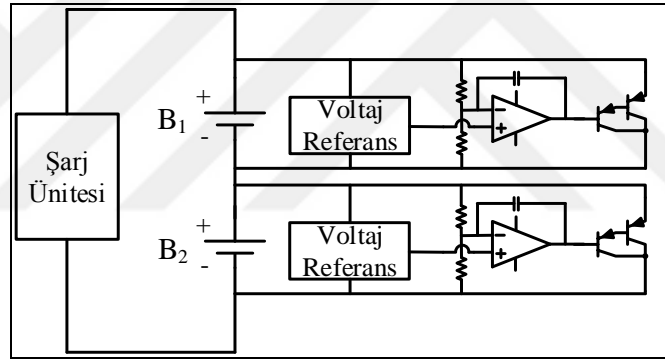
Dengeleme hızı ve verimi yüksektir. Anahtar sayısının az olmasından dolayı kurulumu daha basittir. Sistemin kontrolü için akıllı bir algoritma geliştirmeye gerek yoktur.

3.4.2.3. Diğer Hücre Dengeleme Yöntemleri

Bu yöntemler seri bağlı olan hücrelerin herbirine bir tane dönüştürücü bağlanması ile oluşturulur. Verimleri genellikle çok yüksektir. Anahtarlama elemanlarının sayısı çok olduğundan dolayı kurulumu zordur. PWM (Pulse Width Modulation) ile anahtarılandığından dolayı iyi bir kontrol algoritması gereklidir.

Paralel Transistör Yöntemi

Anahtarlama direnç yöntemine benzer ama fazla olan enerji transistör üzerinde harcanmaktadır. Şekil 3.28’de paralel transistör yöntemine ait görsel verilmektedir.



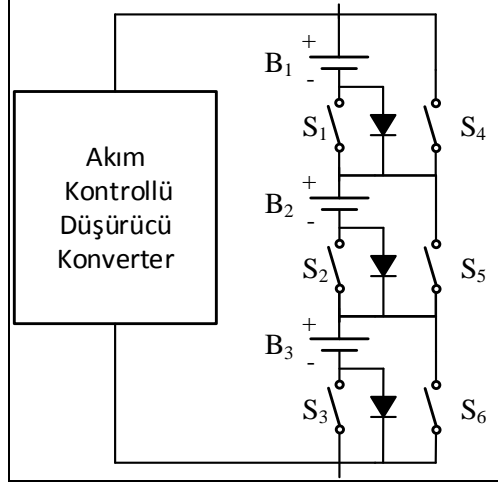
Şekil 3.27. Paralel transistör yöntemi.

Bir hücre gerilim referansına veya gerilim bölücü tarafından belirlenmiş maksimum şarj gerilimine ulaştığında transistör iletime geçer. Şarj akımı devresini transistör üzerinden tamamlar ve o hücre bypass olmuş olur. Dengeleme hızı ve verimi düşüktür. Kurulumu basit uygulaması kolaydır. Sadece şarj esnasında kullanılabilir.

Tamamen Devreden Çıkarma Yöntemi

Bu yöntemde tamamen şarj olan hücre bypass edilerek daha fazla şarj olması engellenir. Bütün hücreler tamamen şarj olana kadar devam eder. Her hücre bypass olduğunda şarj geriliminin azalması gerekmektedir.

Bu yüzden şarj ünitesi düşürücü dönüştürücü olması gerekir. Şekil 3.29’da tamamen bypass etme yöntemine ait görsel verilmektedir.



Şekil 3.28. Tamamen bypass etme yöntemi.

Dengeleme hızı ve verimi yüksektir. Şarj esnasında dönüştürücünün kontrol edilebilmesi için bir algoritma gereklidir. Bu yüzden uygulaması zordur.

3.4.3. Hücre Dengeleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Teorikte, aktif hücre dengeleme yöntemleri pasif eşitleme yöntemlerine göre enerji çevrimi çok daha üstün , pratik uygulamalarda pasif eşitleme yöntemleri daha verimli olabilmektedir. Aktif hücre dengeleme yöntemlerinin elektronik devre elemanlarının sayısı oldukça fazladır. Bu yüzden daha karışık tasarımlara ve daha fazla maliyete yol açar [43,45].

Pasif hücre dengeleme yöntemleri sadece dengeleme gerektiği zaman çalışır ve enerji kaybı hem devre tarafından hem de harcanan enerji şeklinde oluşur. Aktif hücre dengeleme yönteminde ise devre hazır konumda bekler ve devre tarafından hazırda bekleme enerjisi harcanır. Aktif hücre dengeleme yöntemindeki toplam hazırda bekleme enerjisi pasif hücre dengeleme yönteminden fazla olabilir. Aktif hücre dengeleme yönteminde, hücreden batarya paketine doğru veya batarya paketinden hücreye doğru enerji çevrimi yapılır. Çevrim işlemi de belirli bir verimle çalışır. Özel tasarımlar kullanılmadıkça bu verim genellikle %70-%80 civarındadır. Bu durumda enerji kaybıda artar.

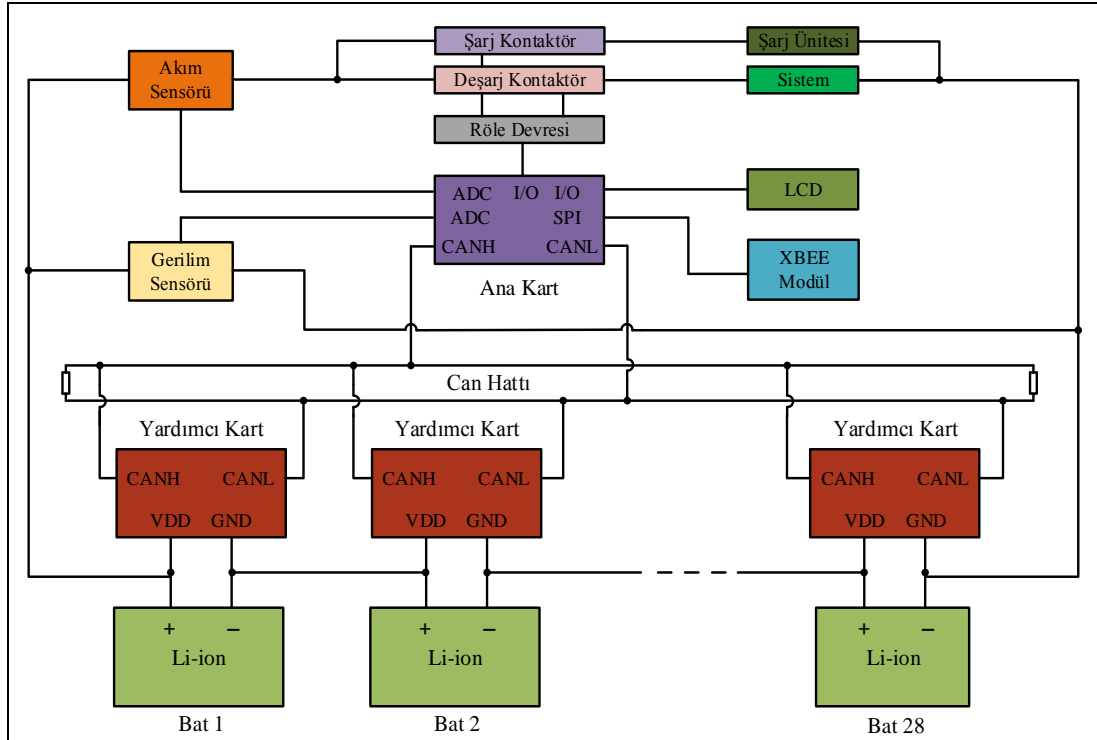
BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

Bu bölümde tez çalışması tasarımlarına kullanılan denetleyici bilgilerine, kullanılan materyaller hakkında bilgilere, modüllerin tasarımlarına, yazılımların akış diyagramları ve devre şemaları verilmektedir.

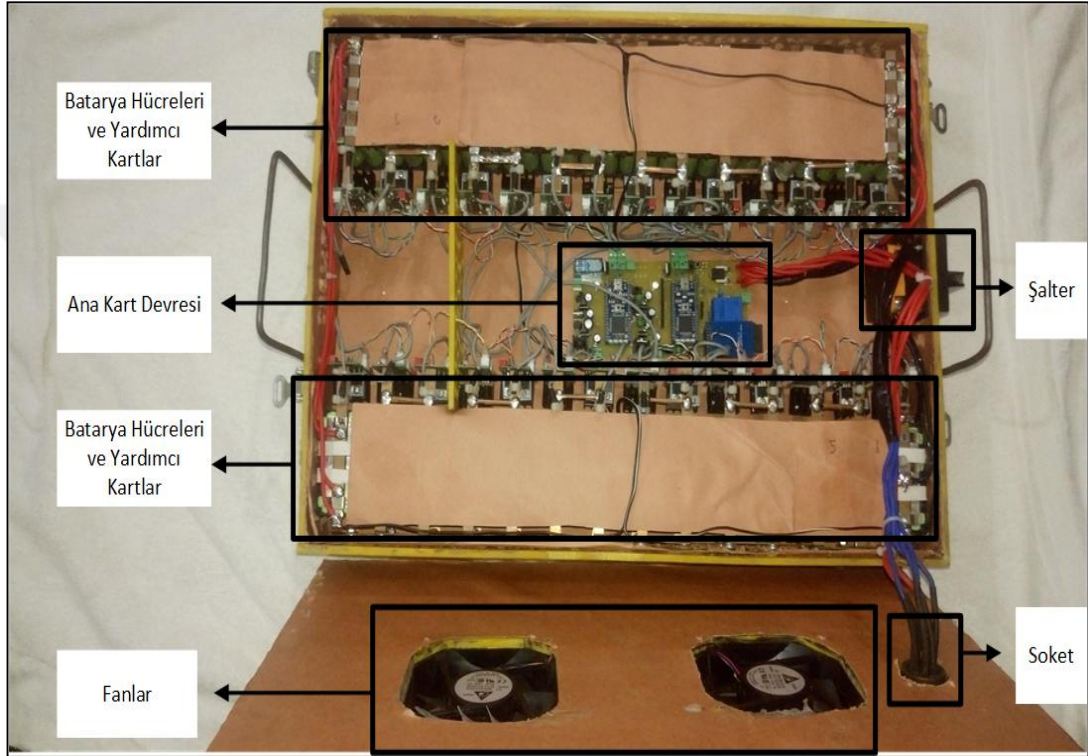
4.1. MATERYAL

Bu tez çalışmasında kullanılan batarya paketi, paralel olarak bağlanmış 8'erli gruplardan 28 tane seri olarak bağlanarak oluşturulmuştur. Her 8'erli paralel grup üzerine bir yardımcı modül bağlanmıştır. Bu yardımcı modülleri kontrol eden ana modül ile birlikte çalışan bir sistem tasarlanmıştır. Bu sayede verimi yüksek ve batarya paketine montajı kolay bir batarya yönetim sistemi oluşturulmuştur. Şekil 4.1'de BYS'nin blok diyagramı verilmektedir.



Şekil 4.1. BYS blok diyagramı.

Yardımcı modüller üzerinde gerilim ve sıcaklık değerleri 12 bit çözünürlükte okunmaktadır. Ana modül ana kol akımını, batarya gerilimini okumaktadır. Bu veriler ana modül üzerinde değerlendirilerek BYS işlemleri yürütülmektedir. Ana modül LCD modül üzerinde önemli batarya bilgilerini göstermektedir. Ayrıca Xbee Pro kablosuz haberleşme modülü ile bilgisayar üzerinden izlenebilmektedir. Batarya yönetim sistemi devrelerinin kutu içerisine yerleşimi Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.2. Batarya yönetim sistemi kutu içerisine yerleşimi.

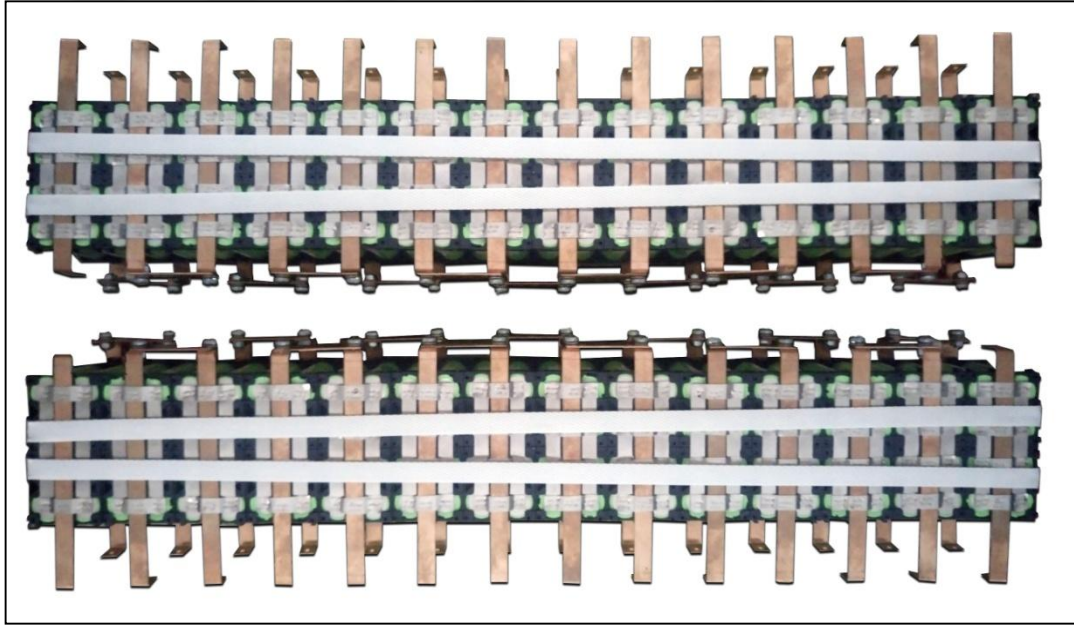
4.1.1. Bataryada Kullanılan Li-Ion pil

Bu çalışmada Panasonic firmasının ürettiği NCR18650PF Li-Ion pillerden oluşturulmuştur. Batarya paketinde toplam 224 adet pil bulunmaktadır. Bu pil 3.6 V nominal gerilime ve 2600 mAh kapasiteye sahiptir. Boş bir pil yaklaşık 4 saatte tam şarj edilebilmektedir. Bataryalar şarj-deşarj döngüsü yapıldıkça kullanılabilir kapasitelerinin azaldığı bilinmektedir. Ortalama bu Li-Ion pil 500 defa şarj vedeşarj edilip kullanılabilir. Batarya hücre gerilimleri 2.5V altına düştüğündedeşarj işlemi sonlandırılmalıdır. Batarya paketideşarj sırasında 41.6A kadar akım çekilebilmektedir. Batarya paketinde kullanılan batarya hücrelerine ait resim Şekil 4.3’te verilmektedir.



Şekil 4.3. Panasonic NCR18950PF Li-Ion pil.

Batarya elektrikli aracımızın motorunun, çalışma gerilimi sağlamak için 28 tane seri bağlı batarya hücresi bulunmaktadır. İstenilen menzili ve akımı sağlamak için her seri bağlı batarya hücresinde 8 tane pil vardır. Batarya paketinde 14 tane seri bağlı 2 tane batarya grubu şeklinde oluşturulmuştur. Bakır baralar ile batarya hücreleri puntalanmıştır. Bu bakır baraların bir tarafında batarya hücrelerinin seri bağlantıları, diğer tarafında ise yardımcı modüllerin bağlantıları bulunmaktadır. Bu bataryanın gruplanmış hali Şekil 4.4’te verilmektedir.



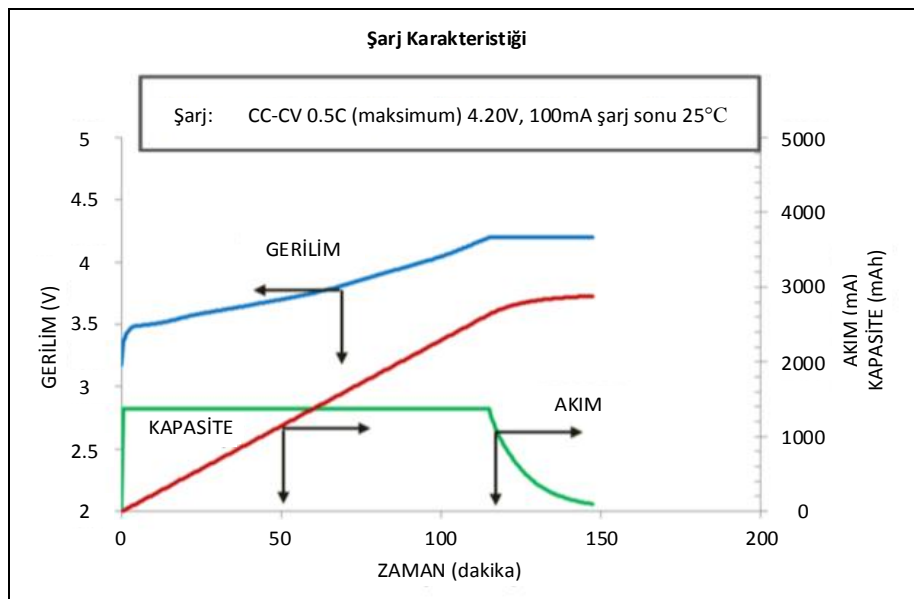
Şekil 4.4. Batarya Paketi

Bu batarya grupları batarya kutusu içerisine karşılıklı olarak yerleştirilmiştir. Batarya paketi 2380 wattlık güce sahiptir ve anlık olarak 41.6A akım verebilmektedir. Batarya hücresi ve batarya paketinin teknik özellikleri Çizelge 4.1’de verilmektedir [47].

Çizelge 4.1. Batarya hücresi ve batarya paketinin teknik özellikleri.

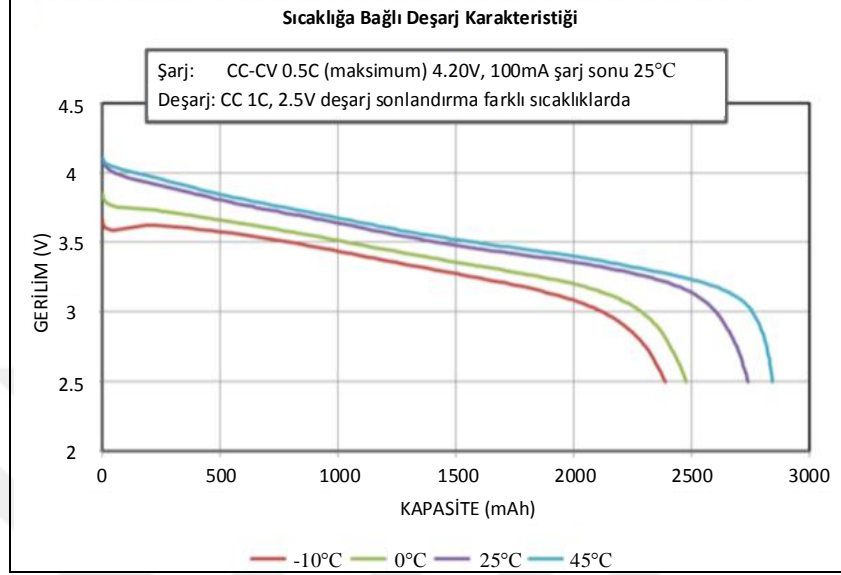
Özellikler	Tek Hücre	Batarya Paketi
Kapasite	2.9 Ah	23.2 Ah
Nominal gerilim	3.6 V	100.8
Şarj gerilimi	4.2 V	117.6 V
Kesme gerilimi	2.5 V	70 V
Şarj akımı	1.375 A	11 A
C oranı	2 C	2 C
Ağırlık	48.0 g	10752 g
Şarj sıcaklığı	0 °C ile 45 °C arasında	
Deşarj sıcaklığı	-20 °C ile 60 °C arasında	
Depolama sıcaklığı	-20 °C ile 50 °C arasında	
Çevrim ömrü	500	

Tek pil hücresine ait şarj karakteristiği grafiği Şekil 4.5'te verilmektedir. Tek bir batarya hücresi için şarj akımı 0.5C'dir. Böylece şarj akımının kapasitesinin yarısı kadar yani 1.375A'dır. Li-Ion piller şarj gerilimine ulaşıncaya kadar sabit akımda, şarj gerilimine ulaştıktan sonar sabit gerilimde şarj işlemine devam edilmelidir. Şarj akımı 100mA kadar azalınca şarj işlemi sonlandırılmalıdır.



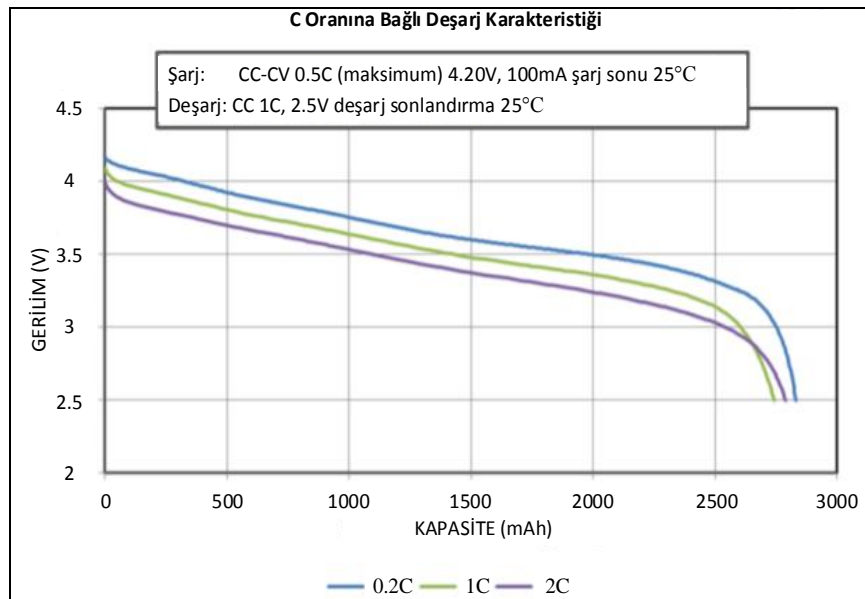
Şekil 4.5. Bataryanın şarj karakteristiği [47].

Kullanılan Li-Ion pilin 1C deşarj akımı altında farklı sıcaklıklardaki deşarj karakteristiği grafi Şekil 4.6'da verilmektedir. Bu pil 45°C en yüksek kullanılabilir kapasiteye sahiptir. Düşük sıcaklıklarda ise bu pil kullanılabilmektedir.



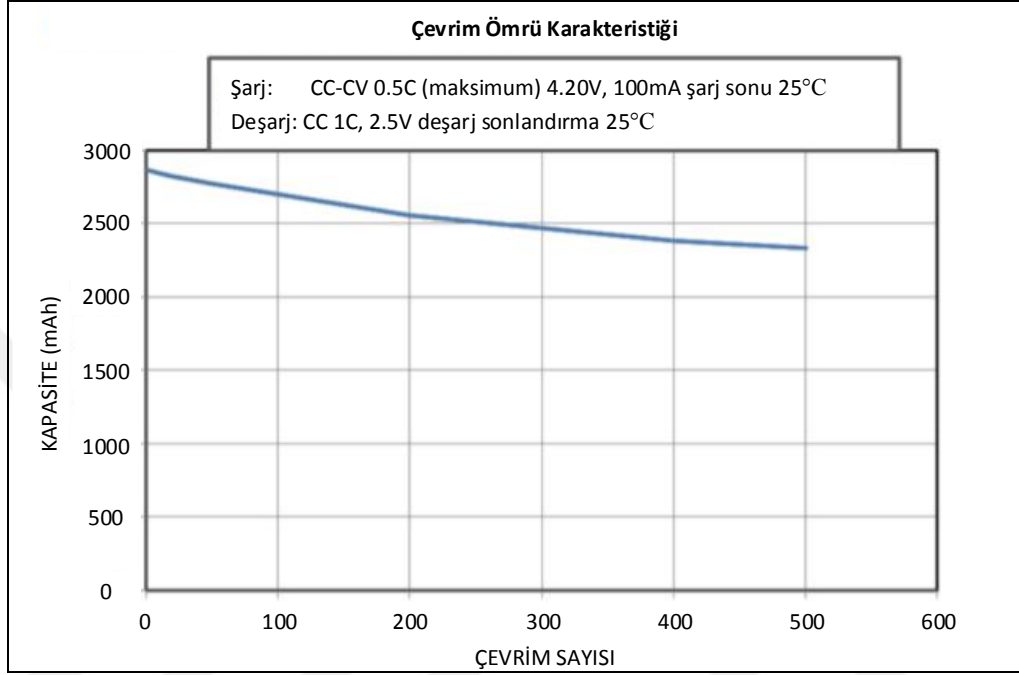
Şekil 4.6. Sıcaklığa bağlı deşarj grafiği [47].

Bu Li-Ion pilin 25°C sıcaklıktaki ortamda farklı C oranlarında karakteristiği grafiği Şekil 4.7'de verilmektedir. Grafik incelendiğinde bu pilin 0.2C ve 2C deşarj oranında en yüksek kullanılabilir kapasiteye sahiptir. Bu pil yüksek deşarj akımlarında iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 4.7. C oranına bağlı deşarj karakteristiği grafiği [47].

Piller şarj-deşarj döngüsü yapıldıkça kullanılabilir kapasiteleri azalmaktadır. Çevrim ömrü bataryanın kullanılabilir kapasitesi nominal kapasitesinin %80'ine düştüğü zamanki sayıdır. Nominal şartlarda bu batarya türü için çevrim ömrü 500'dür. Şekil 4.8'de çevrim ömrü karakteristiği grafiği verilmektedir.



Şekil 4.8. Çevrim ömrü kapasite grafiği [47].

4.1.2. Kullanılan Denetleyiciler

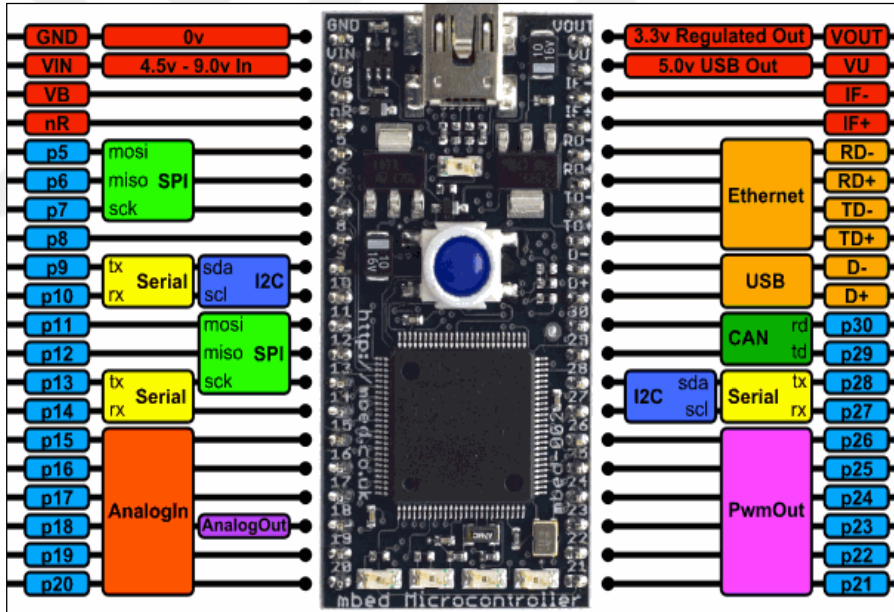
Bu çalışmada ARM tabanlı LPC1768 mikrodnetleyici kartı ve PIC18F25K80 mikrodnetleyicisi kullanılmaktadır. Bu işlemcilerin teknik özellikleri aşağıda verilmektedir.

4.1.2.1. LPC1768 Mikrodnetleyici Kartı

BYS ana modül işlemcisi olarak NXP firması üretimi LPC1768 mikroişlemci geliştirme kartı kullanılmaktadır. 32 bit ARM Cortex-M3 işlemciye sahip geliştirme kartına ait resim Şekil 4.9'da verilmektedir. LPC1768 kartının teknik özellikleri aşağıda verilmektedir:

- 100 MHz'e kadar frekanslarda çalışan ARM Cortex-M3 işlemcisi.
- 512 Kb'ye kadar çip üzerine flash programlama hafızası.

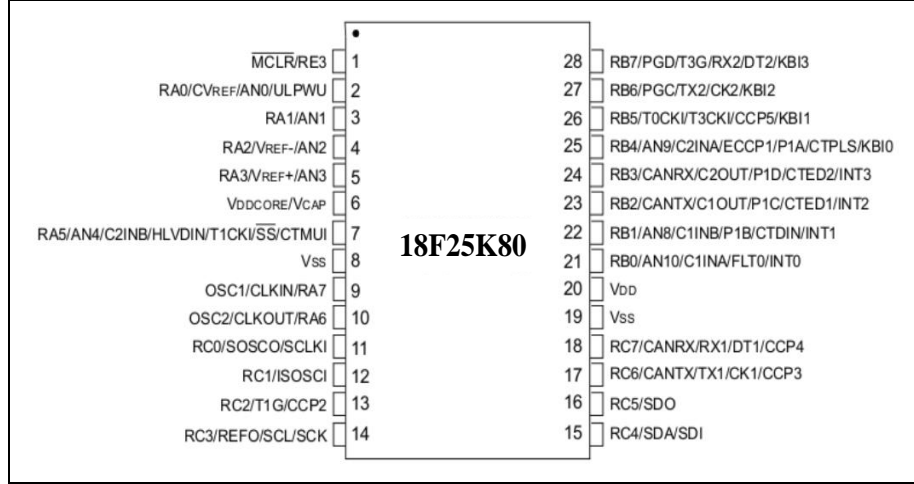
- ARM Cortex-M3 yerleşik NVIC (Nested Vector Interrupt Control) denetleyicisi.
- 64 Kb'ye kadar çipli SRAM (Static Random Access Memory).
- 2 adet CAN 2.0B birimi.
- 3 adet geliştirilmiş I2C (Inter – Integrated Circuit) veriyolu arabirimi.
- 200 kHz' e kadar 8 kanal ADC (Analoge to Digital Converter) birimi.
- 6 kanal 10 bit PWM (Pulse Width Modulation) birimi.
- Dört adet uyku modu: Uyku, Derin Uyku, Güç Kesme ve Derin Kapatma.
- 1 kanal 10 bit DAC (Digital to Analoge Converter) birimi.
- Senkron, seri, tam çift yönlü iletişimli SPI (Serial Peripheral Interface).
- 4 adet UART (Universal Asenkron Reciever Transmitter) birimi.
- Ethernet ve USB (Universal Serial Bus).
- 4 adet genel amaçlı timer bulunur.



Şekil 4.9. LPC1768 mikrodenetleyici kartı.

4.1.2.2 PIC18F25K80 Mikrodenetleyicisi

BYS yardımcı modül işlemcisi olarak Microchip firması üretimi olan PIC18F25K80 mikrodenetleyicisi kullanılmaktadır. Aşırı düşük güç uyku modu sayesinde bina kontrolü, asansör kontrolü, pil uygulamaları için uygundur. 28 pin ve 8 bit yüksek performanslı işlemciye sahip olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır. İşlemciye ait resim Şekil 4.10'da verilmektedir.



Şekil 4.10. PIC18F25K80 mikrodenetleyici.

PIC18F25K80 işlemcisinin teknik özellikleri aşağıda verilmektedir:

- Çalışma gerilimi 1.8 - 5.5V.
- Çalışma sıcaklığı -40 - 85°C.
- 64 MHz'e kadar çalışma hızı.
- 32 Kb program hafızası.
- 3648 byte RAM (Random Access Memory) hafızası.
- 1024 byte EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) hafızası.
- 8 kanal 12 bit ADC birimi.
- 4 adet Capture / Compare / PWM modülü.
- 1 adet geliştirilmiş Capture / Compare / PWM modülü.
- SPI veya I2C iletişimi için 1 adet MSSP (Master Synchronous Serial Port) birimi.
- 2 adet geliştirilmiş UART modülü.
- 1 adet CAN 2.0B modülü.
- 2 adet analog karşılaştırıcı modülü.

4.1.3. Kullanılan Algılayıcılar

Bataryanın, geriliminin ölçümünde LV25-P gerilim algılayıcısı, akım ölçümünde ACS758LCB-100B-PFF-T akım algılayıcı, batarya sıcaklıklarının ölçümünde ise LM35 sıcaklık algılayıcısı kullanılmaktadır.

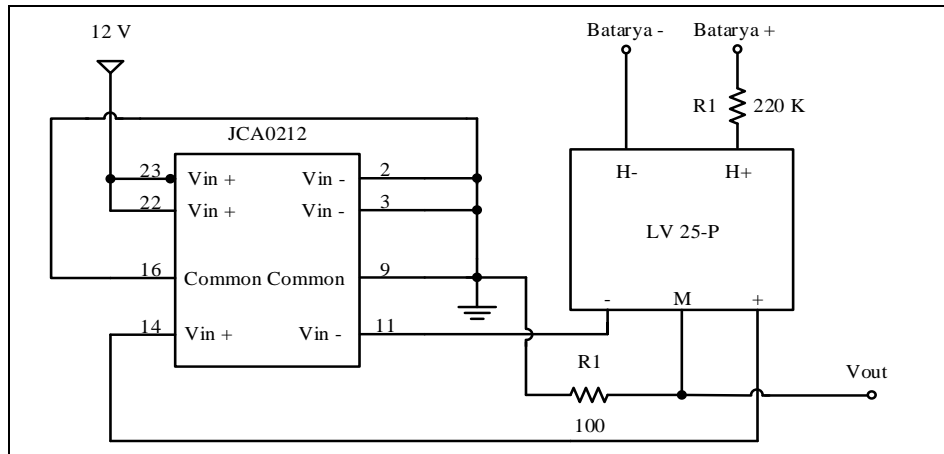
4.1.3.1. LV25-P Gerilim Algılayıcı

Sistemde toplam batarya gerilimini ölçmek için kullanılmaktadır. Gerilim algılayıcı Hall-Effect prensibi ile çalışır. Ayrıca algılayıcı %99,2 gibi çok yüksek doğruluk oranına, çok yüksek doğrusallığa, yüksek band genişliğine ve düşük cevap zamanına sahiptir [48]. Gerilim algılayıcı $\pm 12V$ simetrik kaynakla beslenmektedir. Çalışma sıcaklığı $0-70^{\circ}C$ aralığındadır. Ölçüm aralığı $0-500V$ aralığındadır. Ölçüm yapılacak aralık katalog bilgerine göre $0-120 V$ aralığına ayarlanmıştır. Şekil 4.11'de bu algılayıcıya ait resim verilmektedir.



Şekil 4.11. LV25-P gerilim algılayıcı.

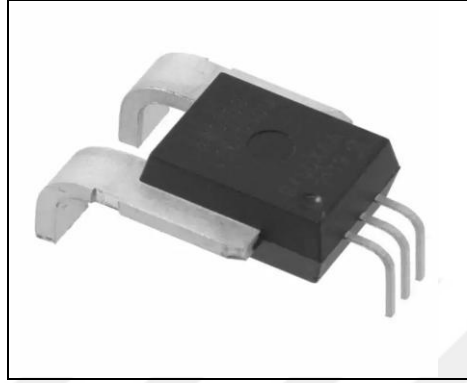
Bu algılayıcı simetrik beslenerek çalışmaktadır. Simetrik gerilim kaynağı olarak XP Power firmasının üretmiş olduğu JCA0212 kullanılmaktadır. Algılayıcı üzerinden gerilime göre $0-10 mA$ arasında çıkış vermektedir. Ölçüm yapılacak gerilim değerine göre gerekli bağlantılar yapılmaktadır. Çıkış bacağına direnç bağlanarak direnç üzerine düşen gerilim LPC1768 kartının ADC bacağına bağlanarak ölçüm yapılmaktadır. Bu ölçülen değer belirli katsayılarla çarpılarak gerilim değeri hesaplanmaktadır. Şekil 4.12'de gerilim algılayıcı devre şeması verilmektedir.



Şekil 4.12. Gerilim algılayıcısı devre şeması.

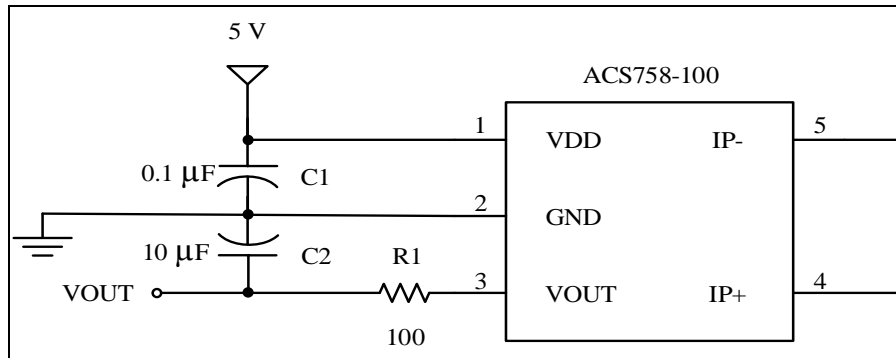
4.1.3.2. ACS758LCB-100B-PFF-T Akım Algılayıcı

Allegro firmasının üretmiş olduğu akım algılayıcı $\pm 100A$ aralığında ölçüm yapmaktadır. İki yönlü ölçüm yapabildiğinden dolayı tercih edilmiştir. Şekil 4.13'te akım algılayıcısına ait resim verilmektedir.



Şekil 4.13. ACS758-100 PPF akım algılayıcı.

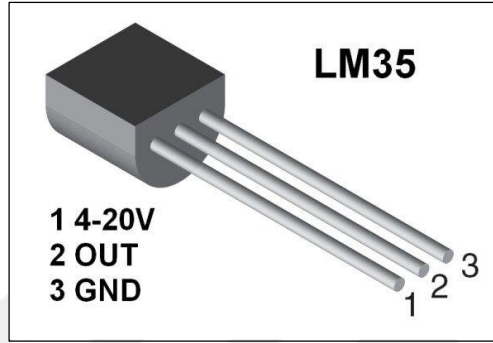
Alan etkili akım algılayıcıları yüksek akım uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışma gerilimi 3.3V ile 5V aralığında çalışmaktadır. Çalışma sıcaklığı $-40^{\circ}C$ ile $150^{\circ}C$ aralığındadır. Üzerinden geçen her amper başına 20mV çıkış vermektedir. Bu akım algılayıcısı üzerinden akım geçmezken sabit 2.5V çıkış vermektedir. Doğru yönde akım geçirilirse çıkış gerilimi artmakta, ters yönde akım geçirilirse çıkış gerilimi azalmaktadır. Bataryaların şarj veya deşarj durumunda olduğu akım algılayıcısı sayesinde anlaşılmaktadır. Vout bacağından çıkan gerilim LPC1768 kartının ADC bacağına bağlanarak ölçülmektedir. Bu gerilim değeri belirli katsayılarla çarpılarak akım değerine dönüştürülmektedir. Şekil 4.14'te akım algılayıcı devre şeması verilmektedir.



Şekil 4.14. Akım algılayıcı devre şeması.

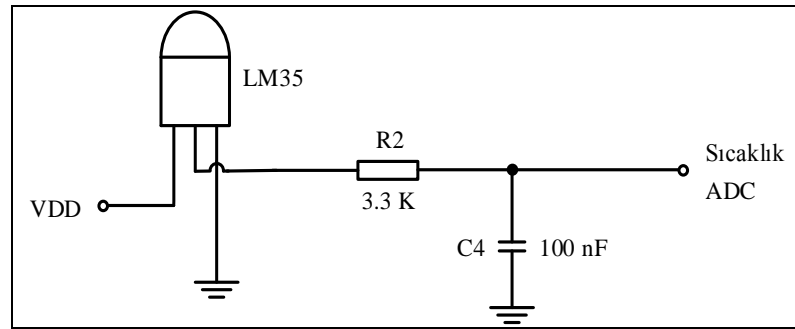
4.1.3.3. LM35 Sıcaklık Algılayıcı

LM35 serisi sıcaklık algılayıcıları, çıkış olarak sıcaklık ile doğru orantılı bir gerilim verirler. LM35 kullanırken kalibrasyon amaçlı bir devre kurmak gerekmez. $60\mu\text{A}$ gibi düşük bir akım çeker. -55°C ile 150°C arasında ölçüm yapabilmektedir. 1°C sıcaklık değişimde çıkış sinyali 0.1V değişmektedir [49]. Şekil 4.15'te LM35 sıcaklık algılayıcısına ait görsel verilmektedir.



Şekil 4.15. LM35 sıcaklık algılayıcısı.

LM35 sıcaklık algılayıcısı batarya hücrelerinin sıcaklığını kontrol altında tutabilmek için kullanılmaktadır. Algılayıcının çıkış ucuna alçak geçiren filtre konularak işlemcinin ADC bacağına bağlanmıştır. Sıcaklık ölçüm çözünürlüğü 12 bitlik çözünürlükte okunmuştur. Şekil 4.16'da sıcaklık okuma devre şeması verilmektedir.



Şekil 4.16. Sıcaklık ölçüm devre şeması.

4.1.4. Kullanılan Haberleşme Elemanları

Sistemdeki yardımcı modüller ve ana modül arasında CAN ağı haberleşmesi için MCP2551 entegresi ve batarya bilgilerinin uzaktan bilgisayar üzerinde izlenmesi için Xbee Pro kablosuz haberleşme modülü kullanılmaktadır.

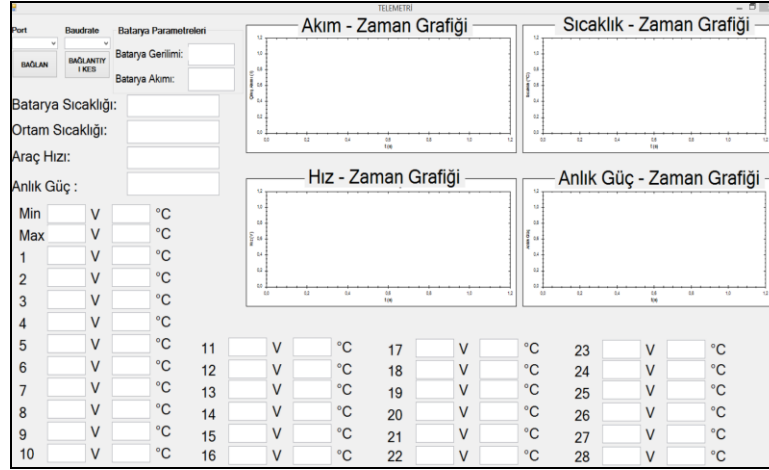
4.1.4.1. XBee Pro Kablosuz Haberleşme Modülü

Sistemin uzaktan izlenmesi için XBee Pro modülü kullanılmaktadır. Mikrokontrolcü, bilgisayarlar ve seri porta sahip hemen her cihazla sorunsuz bir bağlantıya olanak sağlar. Noktadan noktaya veya çok noktalı haberleşme modlarını desteklemektedir. Veri hızı maksimum 250kbps ve menzili 1.6km'dir. Çalışma gerilimi 3.3V'tur. Şekil 4.17'de XBee Pro'ya ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 4.17. XBee Pro haberleşme modülü.

Ana modül üzerine bağlanan gönderici Xbee Pro modül üzerinden bilgiler bilgisayar üzerindeki modüle gönderilmektedir. Bilgisayar üzerinde seri porttan C# ortamında oluşturulan arayüze batarya bilgileri aktarılmaktadır. Şekil 4.18'de oluşturulan görsel arayüz verilmektedir.

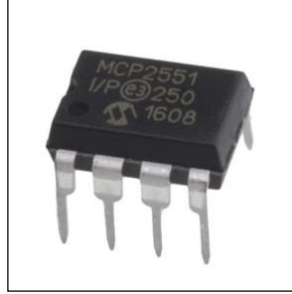


Şekil 4.18. C# ortamında oluşturulan görsel arayüz.

4.1.4.2. CAN Ağı Haberleşmesi İçin MCP2551 Entegresi

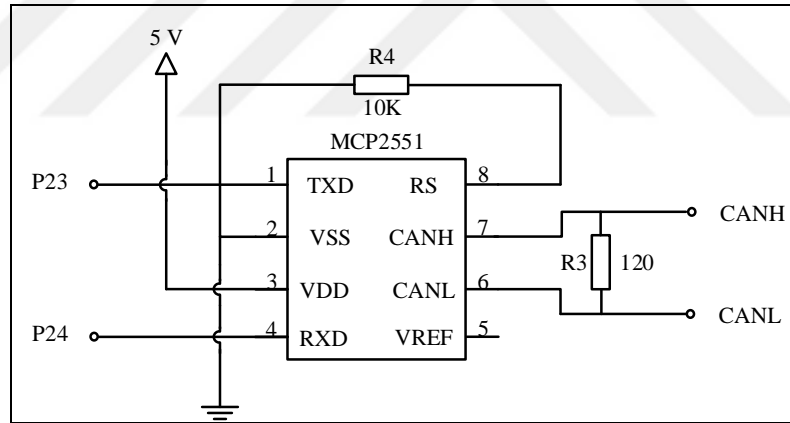
Ana ve yardımcı modülleri birbirleri ile CAN protokolüyle haberleşmesi için, kullanılan kontrolcü yapılarını haberleşme protokolüne adapte eden MCP2551 CAN dönüştürücü entegresidir. Microchip firmasının üretmiş olduğu MCP2551 entegresine 112 düğüm

bağlanabilir. Çalışma sıcaklığı -40 ile 125°C aralığında çalışmaktadır. MCP2551 entegresine ait görsel Şekil 4.19'da verilmektedir.



Şekil 4.19. MCP2551 entegresi.

CAN haberleşmesinde kullanılan MCP2551 entegresinin devre şeması Şekil 4.20'de verilmektedir. CAN ağının başlangıç ve bitiş noktalarına 120 ohm sonlandırma direnci bağlanmıştır. MCP2551 entegresinin TXD ve RXD bacakları mikro denetleyicinin CAN uçlarına bağlanmıştır.



Şekil 4.20. MCP2551 devre şeması.

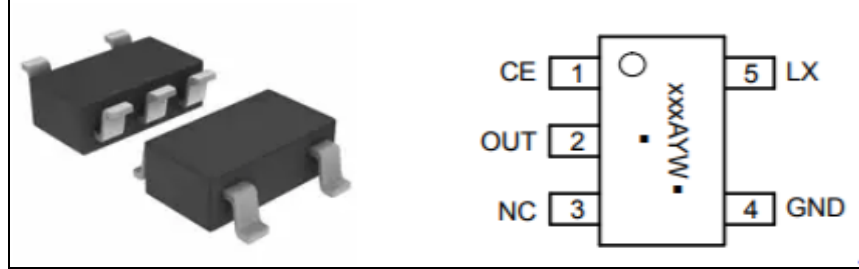
4.1.5. Regülatör Entegreleri

Ana ve yardımcı modüllerin çalışma gerilimleri sağlamak için NCP1402 ve LM2576 entegreleri kullanılmaktadır. Bu entegrelerin teknik özellikleri aşağıda verilmektedir.

4.1.5.1. NCP1402 Alçaltıcı-Yükseltici DA-DA Dönüştürücü Entegresi

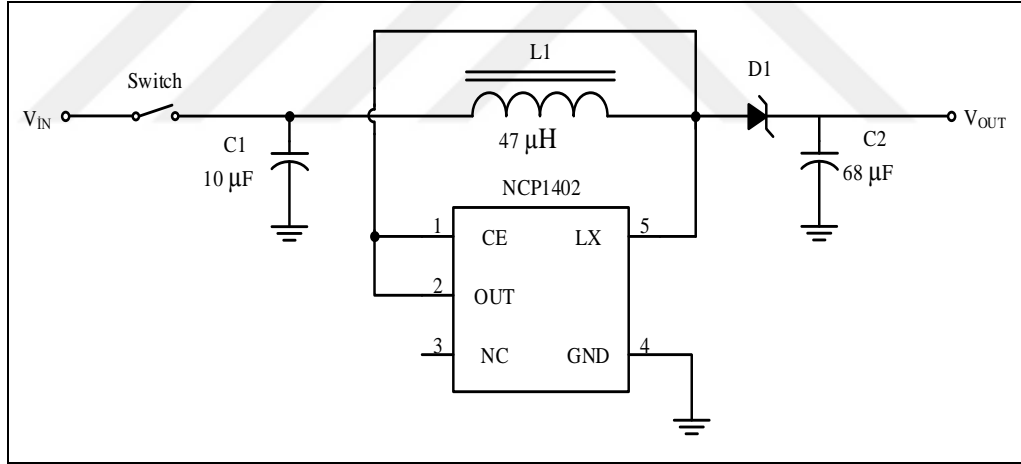
Semiconductor firması tarafından üretilen NCP1402 entegresi sabit çıkış veren dönüştürücü kullanılmaktadır. 0.8V ile 5.5V giriş gerilimleri arasında sabit 5V çıkış

vermektedir. Her hücre üzerine bağlanan yardımcı modüllerin çalışma gerilimi bu entegre tarafından sağlanacaktır. Çıkış akımı maksimum 200mA' dir. SOT23-5 kılıfa ve %85 verime sahiptir. NCP1402 entegresine ait görsel Şekil 4.21'de verilmektedir.



Şekil 4.21. NCP1402 entegresi.

Hücre gerilimleri 2.5V ile 42 V arasında değişmektedir. Yardımcı modüller normal çalışma modunda batarya hücresinden 8 mA çekerken uyku modunda 2 mA çekmektedir. Şekil 4.22'de regülatör devre şeması gösterilmektedir.



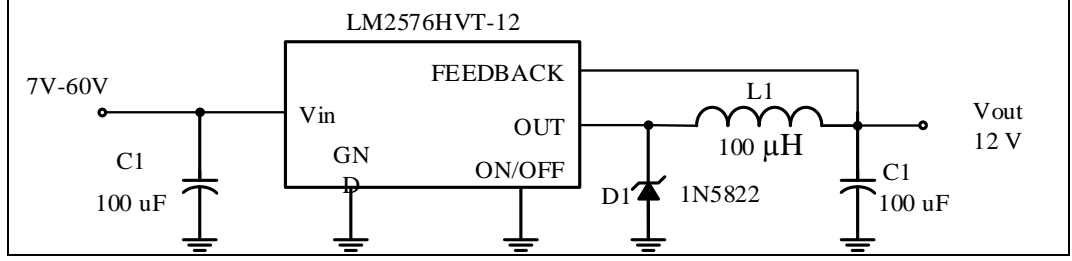
Şekil 4.22. NCP1402 alçaltıcı-yükseltici DA-DA dönüştürücü devre şeması.

Bataryaların uzun süre kullanılmazlarsa hücre gerilimleri 2.5V sınırının altına düşebilmektedir. Bu durumlarda yardımcı modüllerin enerjisi devre üzerine bağlanan switch yardımıyla kesilebilmektedir.

5.1.5.2. LM2576 DA-DA Dönüştürücü Entegresi

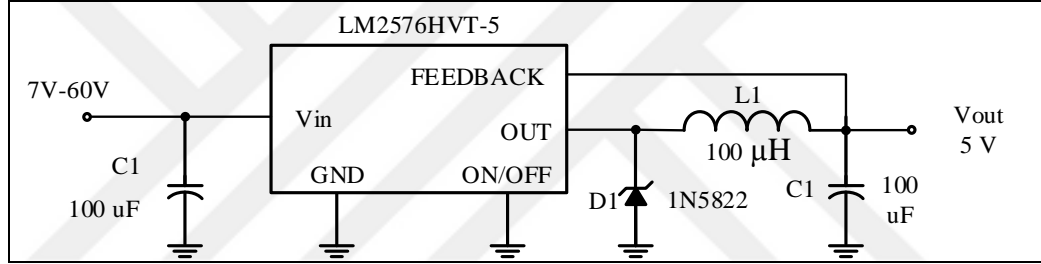
Ana modül, çalışması için gerekli olan enerjiyi bataryadan almaktadır. Gerilim regülatörü olarak Texas Instruments firmasının üretmiş olduğu LM2576 serisi

regülatörler kullanılmaktadır. Bu regülatörler 60V kadar giriş gerilimini regüle edebilmektedirler. Şekil 4.23'te 12V regülatör devre şeması verilmektedir.



Şekil 4.23. 12V regülatör devresi.

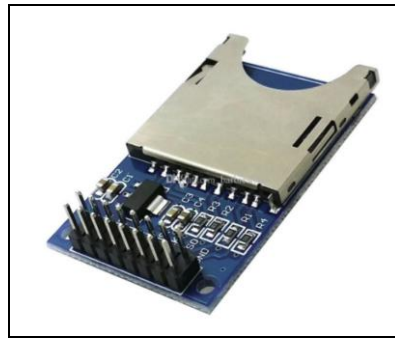
İşlemci ve algılayıcılar için 5V çalışma gerilimine ihtiyaç vardır. Şekil 4.24'te 5V regülatör devresi verilmektedir.



Şekil 4.24. 5V regülatör devresi.

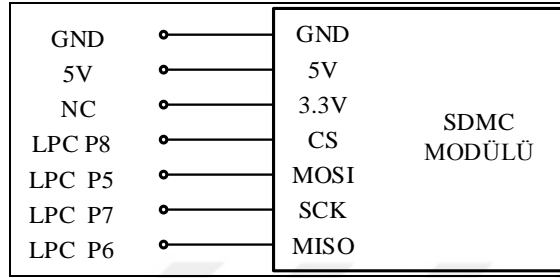
4.1.6. SD Kart Modülü

Bilgi saklama, okunan bilgileri hafıza kartına yükleme, sürekli gelen bilgileri kayıt altına alma gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Kart üzerinde dahili 3.3V regülatörü bulunmaktadır. Bu sayede 3.3V ve 5V sistemlerle rahatlıkla kullanılabilir. Şekil 4.25'te sisteminde kullanılan SD kart modülü verilmektedir.



Şekil 4.25. SD kart modülü.

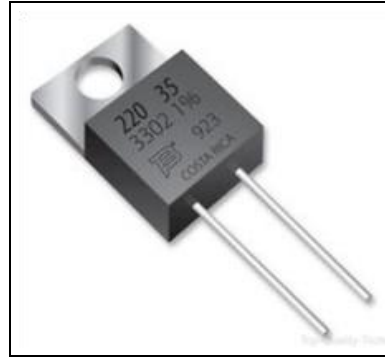
Yardımcı modüller üzerinde ölçülen gerilim ve sıcaklık veriler CAN ağı üzerinden ana modüle gönderilmektedir. Hücre verileri, ana modül üzerinde ölçülen ve hesaplanan veriler SD karta anlık olarak kaydedilmektedir. LPC1768 kartı SD kart modülü ile SPI protokolünü kullanarak haberleşmektedir. SD kart modülü devresinin bağlantı şeması Şekil 4.26’da verilmektedir.



Şekil 4.26. SD Kart modülü devre şeması.

4.1.7. Hücre Dengeleme Elemanları

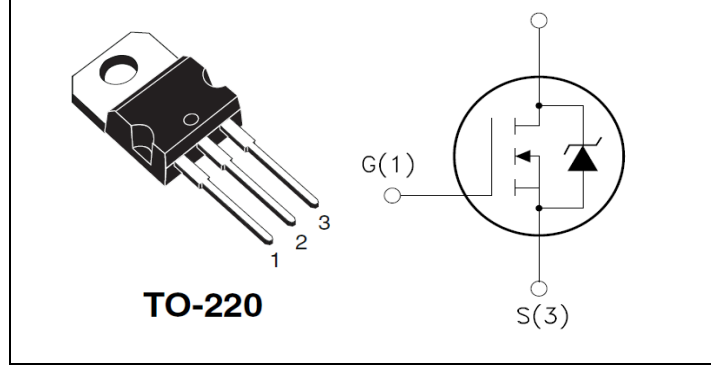
Hücre dengeleme işleminde Bourns firmasının ürettiği PWR220T-35 serisi 1 ohmlük direnç kullanılmaktadır. Güç gerektiren uygulamalarda kullanılabilir. Bu direncin en büyük özelliği sıcaklığa göre direncinin değişmemesidir. TO-220 kılıfına sahip olmasından dolayı soğutucuya kolay bir şekilde sabitlenebilir. -55°C ile 155°C arasında kullanılabilir. Şekil 4.27’de dirence ait resim verilmektedir.



Şekil 4.27. PWR220T-35 direnç.

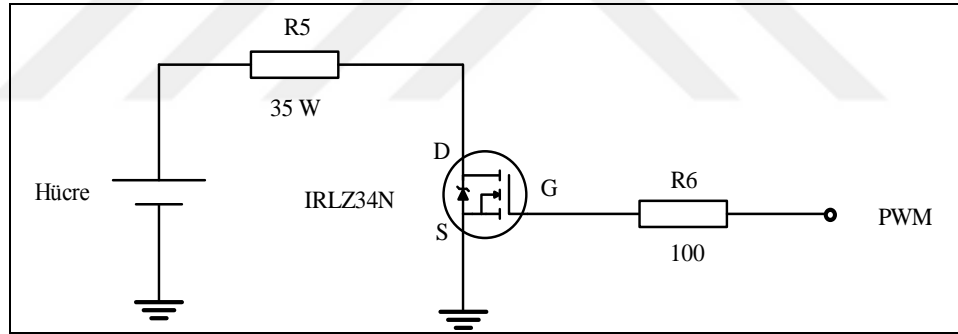
Hücre dengeleme işleminde direncin kontrolünde lojik seviyeli gate mosfet olan IRLZ34N kullanılmaktadır. Çalışma sıcaklığı -55°C 155°C arasında kullanılabilir. 30A çalışma akımına sahiptir. 35mΩ iç dirence sahiptir. Sürücü devresine ihtiyaç duymadıklarından dolayı lojik uygulamalarda yaygın olarak

kullanılmaktadır. IRLZ34N lojik mosfet sembolü ve dış görüntüsü Şekil 4.28'de verilmektedir.



Şekil 4.28. IRLZ34N lojik mosfet sembolü ve dış görüntüsü.

Hücreler arası kapasite farklılıkları ve şarj sırasında fazla olan enerji direnç üzerinde ısıya dönüştürülmektedir. Bulanık Mantık Denetimi ile PWM modülünün doluluk oranı belirlenmektedir. Şekil 4.29'da hücre dengeleme devre şeması verilmektedir.



Şekil 4.29. Hücre dengeleme devre şeması.

4.1.8. Programlanabilir Array 3711A DA Yük Cihazı

Sistemde bataryayı sabit akımda deşarj etmek için Array 3711A programlanabilir DA yük kullanılmaktadır. Bu cihaz genel olarak batarya ve güç kaynağı testlerinde kullanılmaktadır. Sabit akım, sabit güç ve sabit yük ayarlarında çalıştırılabilmektedir. Üzerindeki tuş takımı ile ayar yapılabilmektedir. Gerilim, akım, güç, sıcaklık değerleri ayarlanabilmektedir. Bilgisayar ile seri porttan kontrol edilebilir. 0-50°C sıcaklık aralığında çalıştırılabilir. Programlama dilleri ile programlanabilir. Maksimum 0-360V aralığında çalıştırılabilir. Maksimum 300W güce sahiptir. Şekil 4.30'da bu cihazın resmi verilmektedir.



Şekil 4.30. Programlanabilir Array 3711A DA Yük Cihazı

Array 3711A DA yük cihazının bazı teknik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Array 3711A DA yük cihazı teknik özellikleri.

Tipi	Özellikleri
Giriş sayısı	1
Giriş gerilimi	0-360V DC
Giriş akımı	0-30A DC
Giriş gücü	0-300W
Gerilim doğruluğu	0.000-3.999V: 0.2% + 3mV
	4.000-35.99V: 0.2% + 30mV
	36.00-360.0V 0.2% + 30mV:
Akım doğruluğu	0.000-2.999V: 0.2% + 3mA
	3.000-30.00V: 0.2% + 30mA
Minimum çözünürlük	Gerilim 1mV, Akım 1mA
Düşük iletken direnci	<0.08Ω
Dalgalanma	<10 mVpp
Arayüz	RS232 / RS485 / USB
Koruma	Aşırı gerilim / aşırı akım / aşırı güç / aşırı sıcaklık
AC giriş	110V / 220V AC ±%15, 47-63 Hz
Çalışma ortamı	0-50°C
Ağırlık	5.0kg
Boyutlar	212.6mm en x 250mm boy x 88.1mm yükseklik

4.1.9. TT-Technich RXN605D Ayarlı Güç Kaynağı

Batarya paketinin şarj edilmesinde TT-Technich firmasının üretimi RXN605D modeli ayarlı güç kaynağı kullanılmaktadır. Bu güç kaynağında iki tanesi seri olarak bağlanarak şarj edilmektedir. Bu ayarlı güç kaynağına ait resim Şekil 4.31’de, teknik özellikleri ise Çizelge 4.3’de verilmektedir.



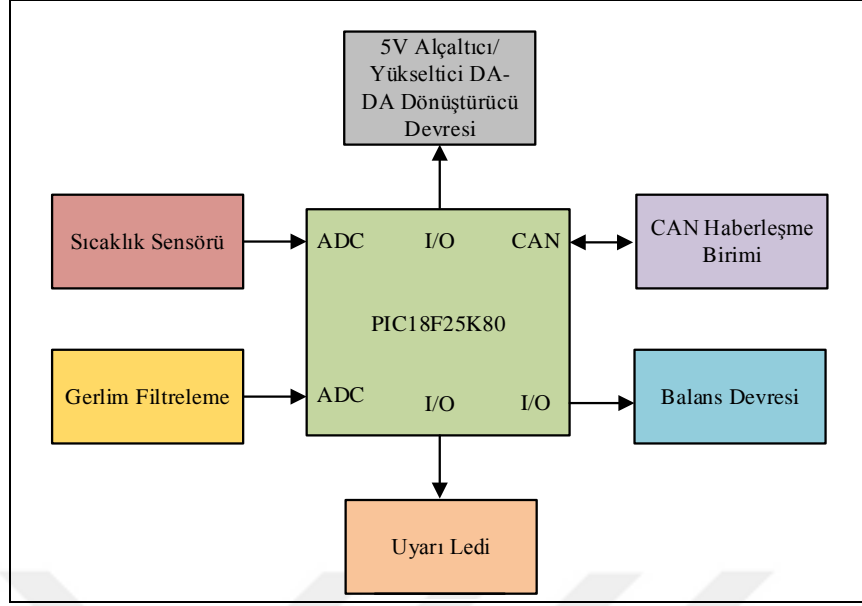
Şekil 4.31. TT-Technich RXN605D ayarlı güç kaynağı.

Çizelge 4.3. TT-Technich RXN605D ayarlı güç kaynağı teknik özellikleri.

Özellikleri	Değeri
Çıkış kanal sayısı	1
Giriş gerilimi	220V AC \pm %10 50Hz
Gerilim çıkışı	0-60V DC
Akım çıkışı	0-5A
Çalışma sıcaklığı	-10 - 40°C
Gerilim kararlılığı	\pm %0.01
Çıkış gücü	300W
Ölçüleri	200mm x 127mm x 155mm
Ağırlık	2.22kg
Kısa devre koruması	Var
Aşırı yük koruma	Var
Devre koruması	Var

4.1.10. Yardımcı Modül Tasarımı

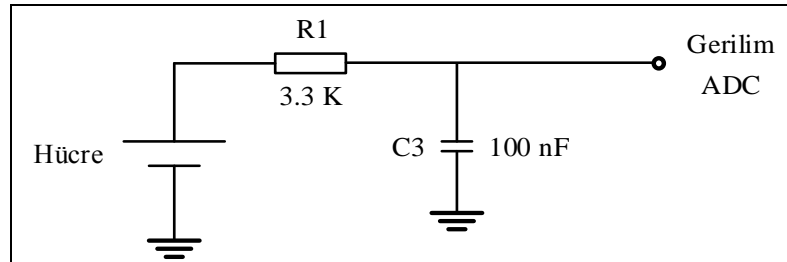
Yardımcı modül tasarımı batarya hücreleri üzerine kolay monte edilebilir şekilde tasarlanmıştır. Modülleri hücreye monte edilebilmek için baralar yapılmıştır. Yardımcı modüller bu baralar sayesinde hücre üzerinde sabit olarak kalmaktadır. Yardımcı modüller bağlı olduğu hücrelerin gerilim ve sıcaklık bilgilerini okuyup ana modüle CAN ağı üzerinden göndermektedir. Ayrıca ana modülden gelen bilgilere göre balans işlemini yapmaktadır. Yardımcı modüller 5V alçaltıcı/yükseltici DA-DA dönüştürücü, sıcaklık algılayıcı, gerilim filtreleme, balans devresi, CAN haberleşme, uyarı ledi olmak üzere altı birimden oluşmaktadır. Şekil 4.32’de yardımcı modül blok diyagramı verilmektedir.



Şekil 4.32. Yardımcı modül blok diyagramı.

4.1.10.1. Hücre Gerilim Okuma

Yardımcı modüller üzerinde gerilim ölçümü bağlı olduğu hücrenin pozitif ucundan direkt olarak işlemcinin ADC bacağına bağlanarak ölçülmektedir. Ölçümlerin sağlıklı bir şekilde yapılması için bir alçak geçiren filtre yapılmıştır. Ölçüm çözünürlüğü 12 bittir. Şekil 4.33'te gerilim okuma devre şeması verilmektedir.

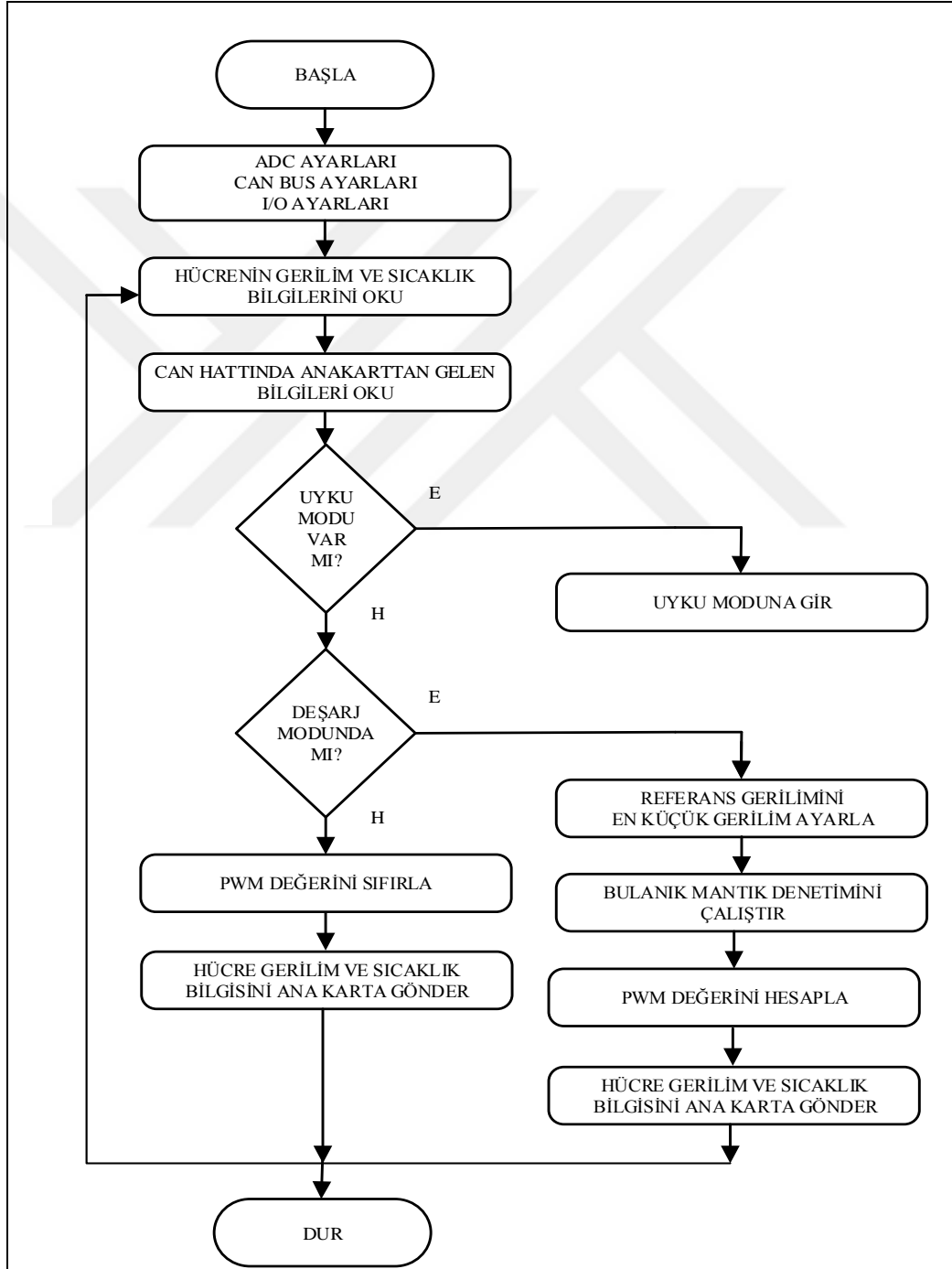


Şekil 4.33. Gerilim okuma devre şeması.

4.1.10.2. Yardımcı Modül Denetim Yazılımı Akış Diyagramı

Şekil 4.34'te yardımcı modüllerin akış diyagramı verilmektedir. Döngü içerisinde öncelik olarak giriş-çıkış ayarları, CAN haberleşme ayarları ve ADC ayarları yapılmaktadır. Programda CAN haberleşme kesmesi kullanılmaktadır. Her veri geldiğinde bu kesme oluşmaktadır ve sadece ana modülden gelen bilgileri okumaktadır. CAN hattında sekiz bitlik veri gönderilebilmektedir. Gönderilecek

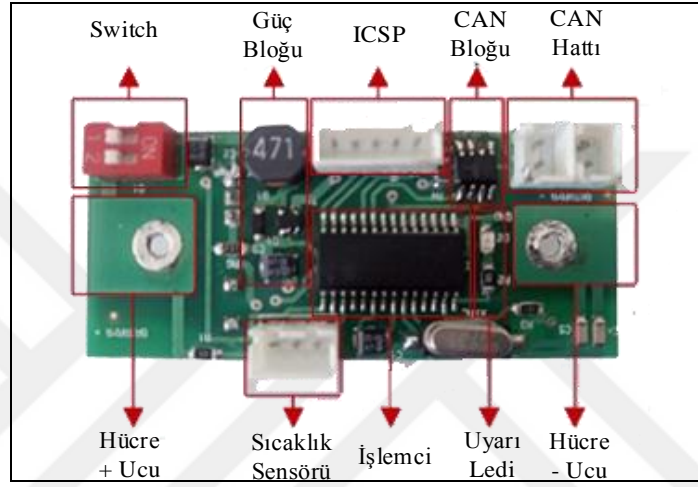
bilgilerin ondalık ve tam kısımları ayrı gönderilmektedir. Yardımcı modüllerden gönderilen bilgilerin ilk iki biti hücre gerilimi, sonraki iki bitinde ise sıcaklık bilgisi gönderilmektedir. Ana modülden gelen bilgileri bütün hücreler aynı anda okuyabilmektedir. Ana modülden gelen bilgilerin ilk biti uyku modu, ikinci bitinde ise şarj-deşarj durumu ve sonraki iki bitinde ise en düşük hücre gerilimi bilgisidir. Yardımcı modüllerin uyku modundan çıkmasında CAN kesmesi kullanılmıştır.



Şekil 4.34. Yardımcı modül denetim yazılımının akış diyagramı.

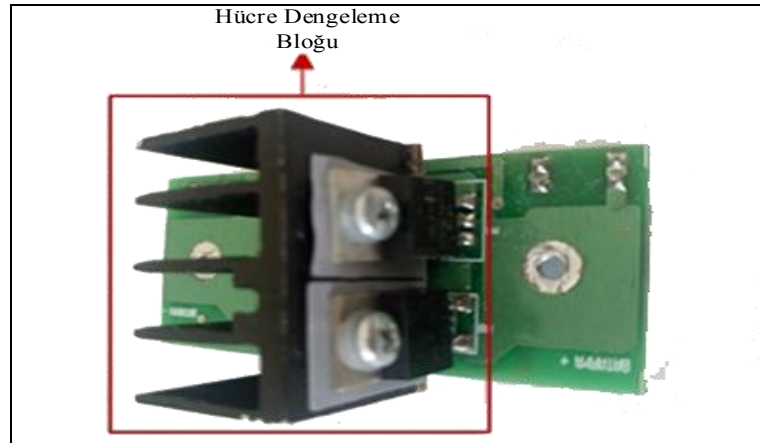
4.1.10.3. Yardımcı Modül Üretimi

Tasarlanan yardımcı modüller çift taraflı olarak tasarlanmıştır. Modüllerin boyutları 30mm x 65mm'dir. Devrenin üst tarafında işlemci katı oluşturulmuştur. Diğer tarafta ise hücre dengeleme bloğu oluşturulmuştur. Sıcaklık algılayıcısı, ICSP programlama ve CAN haberleşme hattı bağlantıları soketli olarak oluşturulmuştur. Yardımcı modüllerin devre üzerine yerleşimi Şekil 4.35'te verilmektedir.



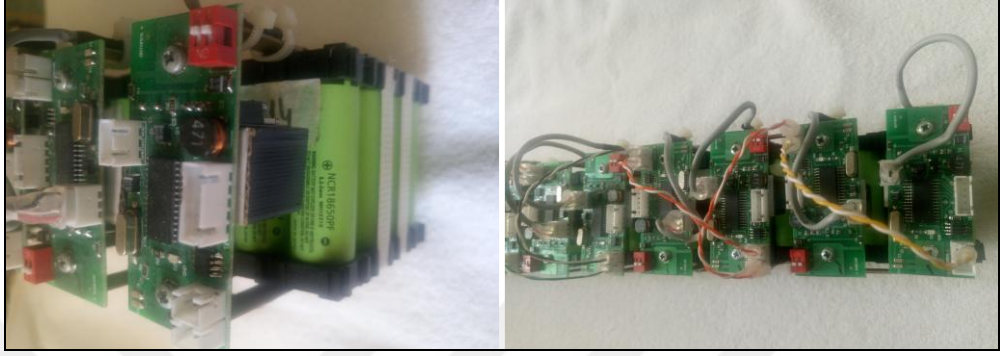
Şekil 4.35. Tasarlanan yardımcı modül devresi.

Hücre dengeleme akımının yüksek olmasından dolayı yardımcı modülün tek katmanına yerleştirilmiştir. Balans direncinin aşırı ısınmasını engellemek için soğutucu bağlanmıştır. Hücre dengeleme bloğunun yardımcı modül üzerinde yerleşimi Şekil 4.36'da verilmektedir.



Şekil 4.36. Yardımcı modül hücre dengeleme bloğu görseli.

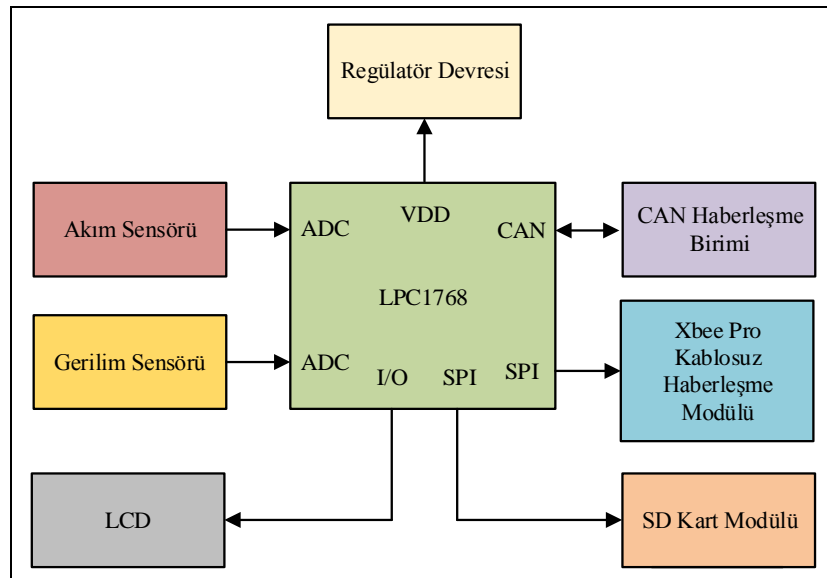
Elektrikli araç için oluşturulan batarya paketi ve yardımcı modüllerin batarya hücreleri üzerine montaj edilmiş resimleri Şekil 4.37’de verilmektedir. Yardımcı karların batarya hücrelerine 3mm çapında civata somun bağlantısı ile baralara montaj edilmektedir.



Şekil 4.37. Batarya paketi ve yardımcı modüllerin montaj edilmiş resmi.

4.1.11. Ana Modül Tasarımı

Ana modül, yardımcı modüllerden CAN protokolü üzerinden gönderilen gerilim ve sıcaklık bilgilerini değerlendirip batarya yönetim sistemi işlemlerini yürütmektedir. Ana modül devresi üzerinde regülatör, akım, gerilim, CAN haberleşme, Kablosuz Haberleşme ve SD kart modülü devrelerinden oluşmaktadır. Şekil 4.38’de Ana modül blok diyagramı verilmektedir.

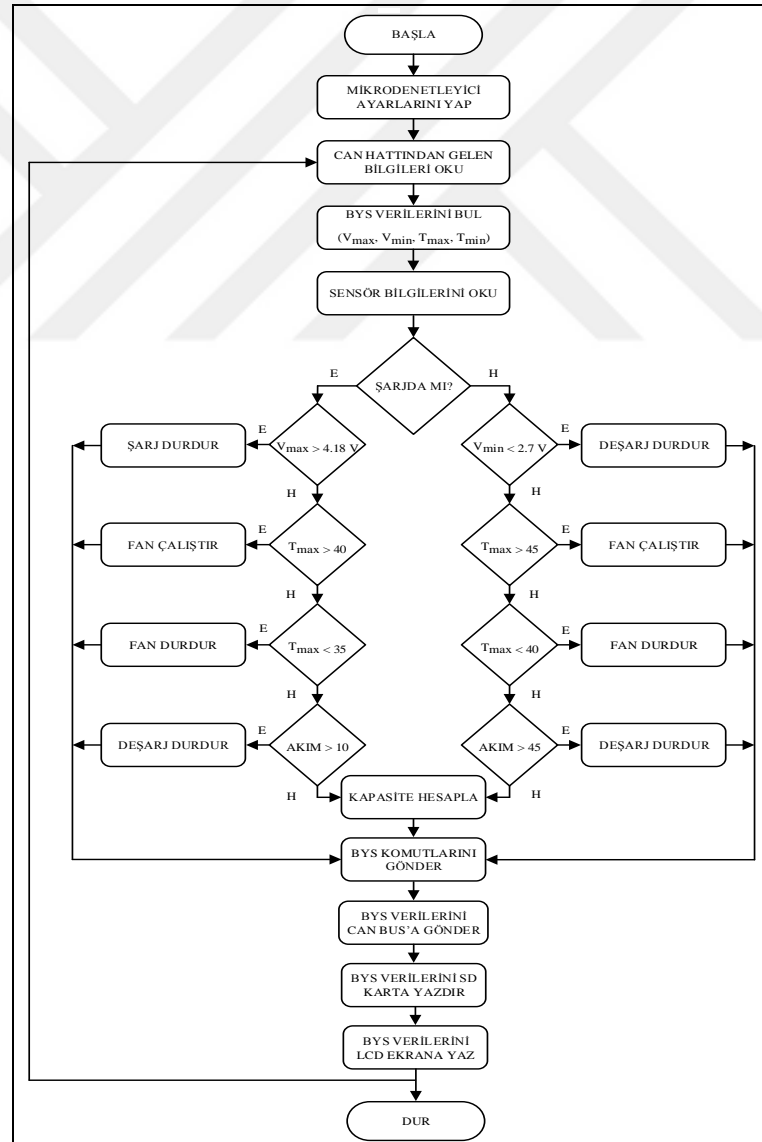


Şekil 4.38. Ana modül blok diyagramı

Ana modül şarj ve deşarj işlemlerinin durmasına veya başlamasına karar vermektedir. Batarya kapasitesini hesaplar ve gösterir. Gerekli durumlarda bataryayı yükten veya şarj cihazından ayırmaktadır. Bu sayede bataryaların aşırı şarj veya aşırı deşarj olmalarını engellemektedir. Bataryaya ait bilgiler ana modül üzerinden kablosuz haberleşme ile uzaktan bilgisayar ile izlenebilmektedir. Bilgisayar üzerinde BYS izlemek için GUI (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü) yazılımı geliştirilmiştir.

4.1.11.1. Ana Modül Denetim Yazılımının Akış Diyagramı

Ana modül ile gerekli hesaplamalar ve şarj-deşarj kontrolü yapılmaktadır. Şekil 4.39'da ana modül devresinin akış diyagramı verilmektedir.

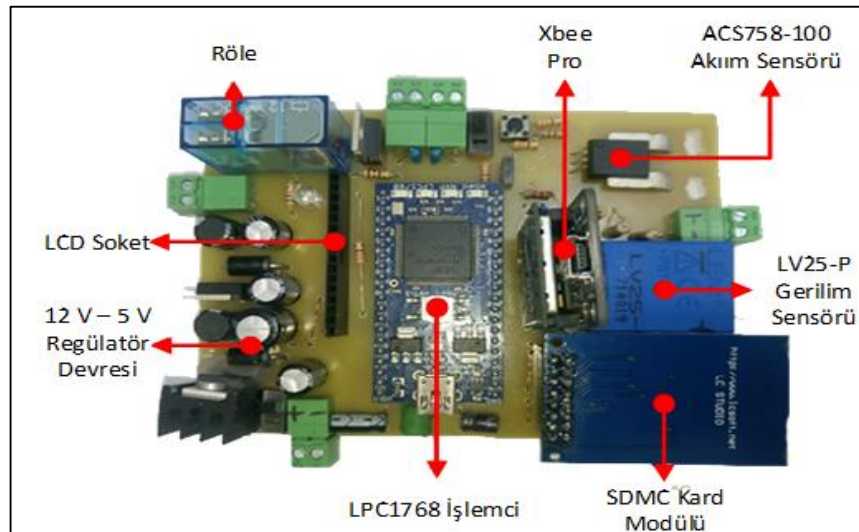


Şekil 4.39. Ana modül denetim yazılımının akış diyagramı.

Akış diyagramında ilk olarak mikrodenetleyicinin başlangıç ayarları yapılmaktadır. Ana modül BY5 işlemleri için CAN hattından gelen bilgileri okumaktadır. Gelen bilgiler değerlendirilerek V_{mak} , V_{min} , V_{toplam} , T_{mak} ve T_{min} gibi veriler bulunarak BY5 komutlarına karar verilmektedir. Ayrıca akım ve gerilim bilgisi algılayıcılar yardımıyla ölçülmektedir. V_{mak} ve V_{min} , şarj-deşarj durumu bilgileri yardımcı modüllere CAN hattı üzerinden gönderilmektedir. Ana modül şarj işlemi sırasında batarya hücrelerinden gerilimi en yüksek olan şarj üst limiti olan 4.18V değerine ulaştıysa şarj rölesi açılarak şarj işlemi durdurulmaktadır. Aynı şekilde batarya hücre sıcaklıkları üst limite ulaştığında fan çalıştırılmaktadır ve alt limite ulaştığında durdurulmaktadır. Ana modüldeşarj işlemi sırasında ise batarya hücrelerinden gerilimi en düşükdeşarj alt limitine ulaştığında bataryanın sistemle bağlantısını kesmektedir. Bu şekilde batarya hücrelerini aşırıdeşarjdan korumaktadır. BY5 gerilim ve akım bilgilerine göre bataryanın SOC belirlemektedir. Hesaplanan ve ölçülen bilgiler SD karta anlık olarak kayıt edilmekte ve Xbee Pro modülü üzerinden uzaktan bilgisayara gönderilmektedir. Ayrıca LCD üzerinde bütün bilgiler kullanıcıya gösterilmektedir.

4.1.11.2. Ana Modül Üretimi

Batarya yönetim sistemi için oluşturulan ana modül devresi Şekil 4.40'da verilmektedir. Ana modül üzerinde işlemci, algılayıcı, regülatör, veri kayıt ve haberleşme elemanları bulunmaktadır.



Şekil 4.40. Ana modül devresi.

4.1.12. Batarya Koruma Kutusu

Bu çalışma kapsamında, batarya hücrelerini, batarya yönetim sistemi devrelerini ve elemanlarını içinde bulunacağı bir koruma kutusu içerisine yerleştirilmiştir. Batarya hücrelerini ve BYS devrelerini kısa devreye karşı korumaktadır. BYS devrelerini, sigorta, fan ve batarya soketini kutu içerisine sabitlenmektedir. Batarya kutusu malzemesi olarak, ısıl yalıtıcı ve yangın etkisi azaltıcı özelliği olan kestamid kullanılmaktadır. Bataryanın darbelere karşı korumak için alt kısmı saç bir malzeme ile dışarıya çevrelenmiştir. Kutu üzerine delikler açılarak fan sistemi çalıştırıldığında dışarıya doğru hava akışı sağlanarak soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.41’de yapılan batarya yönetim sistemi kutusunun araç içerisine yerleşimi gösterilmektedir.



Şekil 4.41. Batarya yönetim sistemi kutusu BEA içine yerleşimi

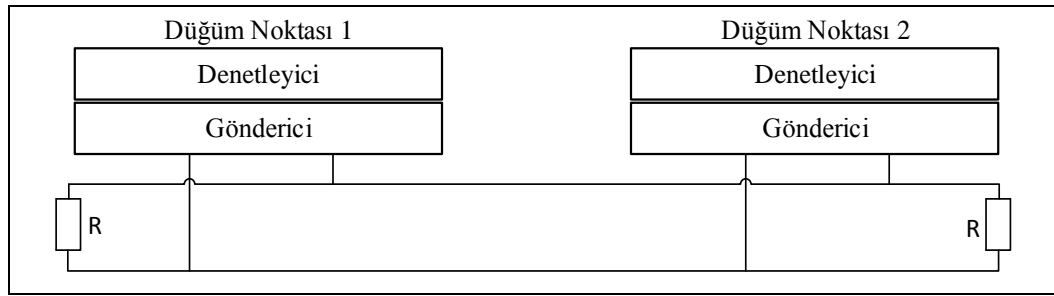
4.2. METOD

Bu bölümde batarya hücrelerine yerleştirilen yardımcı modüller ve ana modül arasındaki CAN haberleşmesinden, hücre dengelemesinde kullanılan bulanık mantık denetiminden ve bataryanın şarj ve deşarj durumunda SOC tahmini algoritması tanıtılacaktır.

4.2.1. CAN Haberleşme Protokolü

Controller area network (CAN) haberleşme protokolü, 1980'lerin ortalarında Robert Bosch tarafından, otomotiv uygulamalarında güçlü bir seri veri iletişiminin oluşturulması amacıyla ortaya çıkarılmıştır. CAN protokolü, 1993 yılında ISO tarafından uluslararası bir standart olarak kabul edilmiştir. 1995 yılında SAE (Society of Automotive Engineers) dizel motor uygulamalarında CAN protokolünü standart olarak kabul etmiştir [50].

Can protokolü, otomotiv sektöründe araç içerisinde bulunan sistemler tek bir merkezi yöneticiye bilgi göndermek için kullanılır. Örneğin, ABS (Antilock Braking System) fren sistemi, araçların yolda kaymasını engelleyen sistemler gibi kritik zamanlı çalışan elektronik sistemlerin tek bir merkezden yönetilebilmesini sağlar. Ayrıca kapılar, camlar, lambalar gibi kritik olmayan bilgilerin de aynı merkezden kontrol edilebilmesini sağlar. Can protokolü, hat yapısı bakımından karmaşık kablolama yapısını ortadan kaldırır. Çift sarmal bir kablo yardımıyla haberleşme hattı kolay bir şekilde kurulabilir. CAN protokolü adres temelli değil mesaj temelli çalışmaktadır. Her mesaja özgü bir gönderici kimlik numarası vardır. Veri ve istek mesajları olarak ikiye ayrılırlar. İstek mesajlarında veri bulunmaz. Veri mesajlarında ise 8 baytlık veri aktarılır. CAN protokolü kablolamasına ait blok diyagram Şekil 4.42'de verilmektedir.



Şekil 4.42. CAN protokolü kablolama blok diyagramı.

4.2.1.1 CAN Haberleşme Protokolünün Temelleri

CAN protokolü, OSI (Open System Interconnection) haberleşme modelini kullanmaktadır. Fakat bu modelin en alttaki iki katmanı sabit olarak aynen CAN tarafından kullanılmakta olup, diğer katmanlar üst seviyeli protokoller yardımı ile kullanılmaktadır [50].

Can protokolünde haberleşme hattı uzunluğuna göre haberleşme hızı ilişkisi Çizelge 4.4'te verilmektedir.

Çizelge 4.4. CAN veri transfer hızının hat uzunluğu ile ilişkisi.

Haberleşme Hattı Uzunluğu [m]	Haberleşme Hızı
40	1 Mbit/s
100	500 kbit/s
200	250 kbit/s
500	125 kbit/s
6000	10 kbit/s

Haberleşme topolojisi olarak Hat, Yıldız, Halka topolojilerinden herhangi birini kullanmasına rağmen, Hat topolojisi yaygın olarak kullanılmaktadır. Mesajlaşma işlemlerinde CSMA/CD+CR (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection And Collision Resolution) yapısını kullanan CAN protokolü, mesaj çatışmalarında “Mesaj önceliği” yöntemini kullanmaktadır. CAN mesajları, sistem içerisinde bağlı olan tüm modüllere gönderilmesi sebebiyle mesaj tabanlı bir protokoldür. CAN protokolü, maksimum 1 Mbit/saniye haberleşme hızına sahiptir. Tabii ki bu hız farklı iletim mesafelerine göre değişmektedir [51,52].

4.2.1.2 CAN Haberleşme Protokolünün Katmanları

CAN haberleşmesi 3 katmandan oluşmaktadır. İlk iki katman OSI (Open Systems Interconnection) referans modelinin aynısıdır. Üçüncü katman ise uygulama katmanıdır. Ancak ilk iki katman kendi içerisinde fiziksel katman, transfer katmanı ve nesne katmanına ayrılmıştır. Fiziksel katman, iletim ortamının elektriksel yapısını, kablolama, sinyal zamanlaması ve CAN modülleri arasında CAN mesajlarının ortamdaki iletilmesi işlemlerini yerine getirmektedir. Transfer katmanı, hata tespiti, arıza hapsi, mesaj önceliği, mesaj çerçeveleme, transfer hızı ve zamanlaması, mesaj onaylama ve kabulü gibi işlemleri yerine getirmektedir. Nesne katmanı, transfer ve uygulama katmanları arasında haberleşme işleminin sağlanması için tasarlanmıştır. Gerekli olan tüm mesajlar için filtreleme işlemini yapmasıyla beraber, bağlı olan tüm donanımlara uygulama katmanları için bir ara yüz oluşturur [53] Son katman olan

uygulama katmanı ise katman parametrelerinin tanımlanmasını ve ayarlanmasını sağlamaktadır.

4.2.1.3. CAN Mimarisi

CAN topolojisi, ağ üzerindeki CAN modüllerini birbirine bağlayan kablonun yapısıdır. CAN protokolünde kullanılan topolojiler Hat, Halka veya Yıldız topolojilerinden biri olabilir.

CAN protokolünde kullanılan en yaygın topoloji Hat topolojisidir [53]. Bu topolojide, her modül ağ içerisindeki mesajlaşmayı sağlayabilmek için tek bir seri kablo ile birbirlerine bağlıdır. İstasyonlar arasında CSMA/CD+CR erişim kuralları kullanılır. Bu kurallar, iki modül aynı anda mesaj gönderdiğinde ortaya çıkan çarpışmaları engellemek için kullanılır [54].

4.2.1.4. CSMA/CD+CR ve Mesaj Önceliği İşlemi

CAN protokolü, CSMA/CD+CR yapısında bir protokoldür. CSMA, ağda bulunan tüm modüllerin, bus üzerinden bir mesajı göndermeye çalışmadan önce bir periyotluk boş işlem zamanının izlenmesi anlamına gelmektedir. Boş işlem periyodu olduğu anda, hat üzerinde bulunan tüm modüller, eşit haklara sahip hale gelirler. CD (Collision Detection), ağda iki modülün aynı zamanda mesaj göndermeye başlaması neticesinde oluşan çakışmanın algılanmasıdır. CR (Collision Resolution), bu çakışmanın çözümlenmesidir. Çakışmanın çözümünde kullanılan yöntem ise “mesaj önceliği” yöntemidir [55,56].

Mesaj önceliği işlemi sayesinde yüksek önceliğe sahip olan mesaj gecikmeksizin ve bozulmaksızın gönderilmektedir. Bit seviyesinde mesaj önceliği işleminin gerçekleşebilmesi için iki önemli noktanın oluşması gerekmektedir. Birincisi, sistemdeki lojik durumların baskın (dominant) ve çekinik (recessive) olarak tanımlanması gerekir [57]. İkincisi ise, bus üzerinde aktuel olarak görünen gönderme girişimlerinin lojik durumlarının nasıl olduğunun mesaj gönderen modül tarafından gözetlenebilmesidir. CAN protokolü, lojik 0 seviyesini baskın, lojik 1 seviyesini ise çekinik olarak tanımlamaktadır. Baskın bit durumu, her zaman çekinik bit durumunun üzerinde mesaj önceliği işlemini kazanacaktır.

CAN mesaj çerçevesi (Frame) içerisinde bulunan Message Identifier'deki (mesaj önceliği işleminde kullanılan alan) en düşük değerden dolayı, gönderilecek olan mesaj en yüksek öncelikteki mesaj olacaktır. Örnek olarak, aynı zamanda iki modül mesaj göndermeye çalıştıklarında, öncelikle bus üzerindeki aktüel lojik durumu anlayabilmeleri için bus'ı izleyeceklerdir. Bu noktada, bu biti gönderen modül mesaj önceliği işlemini kaybedecek ve aniden mesaj gönderme işlemini durduracaktır. Yüksek önceliğe sahip mesaj, gönderme işlemi bitene kadar hat üzerinde istenen yerlere gidecektir [58]. Mesaj önceliği işlemini kaybeden modül bir sonraki boş işlem periyodunu bekleyecek ve daha sonra mesajını tekrar gönderecektir.

4.2.1.5. Mesaj Tabanlı Haberleşme

CAN protokolü, mesaj tabanlı bir protokoldür. Mesaj gönderme işlemi modüllerin adreslerine göre yapılmamaktadır [59]. Mesajın içerisinde içerik ve öncelik bilgisi vardır. Gideceği modülün adresi yoktur. Sistem içerisinde bulunan her modül, bus üzerinden gönderilen her mesajı alır. Bu noktadan sonra, modüller gelen mesaja bakarak kendilerine ait ise kabul ederler, değil ise reddederler. Mesaj tabanlı haberleşmede, sistem içerisine yeni bir modül bağlandığında diğer modüllerin takılan bu modülü tanımaları için yeniden programlanmalarına gerek yoktur. Yeni modül, sisteme takılır takılmaz diğer modüllerden gelecek olan mesajları almaya başlar ve kendi üzerindeki programa ve gelen mesajın tanımlama bilgisine göre mesajı kabul eder veya reddeder [60].

4.2.1.6. CAN Mesajı

CAN protokolü içerisinde 4 farklı mesaj tipi bulunur. Bunlar:

- Veri çerçevesi
- İstek çerçevesi
- Hata çerçevesi
- Taşma çerçevesi

Bu mesaj çerçevelerinden, veri çerçevesi içerisinde veri, diğerlerinde ise kontrol amaçlı mesajlar bulunur. Veri çerçevesi, CAN tarafından tanımlanmış olan mesaj hakkında ekli bilgi sağlayan alanları içerir. Standart veri çerçevesi ve genişletilmiş veri

çerçevesi olmak üzere iki tip veri çerçevesi bulunmaktadır. Her iki çerçeve içerisinde ortak olarak farklı amaçlar için kullanılan başlangıç biti, mesaj öncelik alanı, kontrol alanı, veri alanı, CRC (Cyclic Redundancy Code) alanı, ACK (Acknowledges) alanı ve çerçeve sonu gibi alanlar bulunmaktadır. Standart veri çerçevesi içerisinde 12 bitlik mesaj öncelik alanı bulunur. Bu 12 bitten 11'i mesajı tanımlamak için, 1 bit ise RTR (Remote Transmission Request) bitidir [60].

CAN protokolünde bir anda en fazla 8byte'lık veri yollanabilir. Yani veri alanı uzunluğu en fazla 8 byte olur. Ama daha da az olabilir. Gönderilecek veri uzunluğu kontrol alanında belirtilir. Şekil 4.43'te standart bir veri çerçevesi gösterilmektedir.

0	11-bit Identifier	0	0	0	LC	data	CRC	ACKN	OF
SOF		RTR	IDE	RES					

Şekil 4.43. CAN veri çerçevesi yapısı.

Genişletilmiş veri çerçevesi içerisinde 32 bitlik mesaj öncelik alanı bulunur. 32 bitin 29'u mesajı tanımlamak için kullanılır. 1 bit IDE (Identifier Extension) bitidir. Bu bit veri çerçevesini genişletilmiş formatta olduğunu göstermek için kullanılır [61]. Şekil 4.44'te genişletilmiş veri çerçevesi gösterilmektedir.

0	11-bit Identifier	1	1	18-bit Identifier	0	0	0	DLC	DATA	CRC	ACKN	EOF
SOF		SRR	IDE		RTR	RES	RES					

Şekil 4.44. Genişletilmiş CAN veri çerçevesi yapısı.

İstek çerçevesi, veri çerçevesi içerisinde bulunan RTR biti, bir modülün başka bir modülden bilgi istemesi durumunda kullanılmaktadır. İstek çerçevesi içerisinde veri alanı bulunmamaktadır. Bir istek çerçevesinin yapısı, standart veri çerçevesi için Şekil 4.45'te ve genişletilmiş veri çerçevesi için Şekil 4.46'da gösterilmektedir. Bir modül, istek çerçevesi mesajı gönderirken istekte bulunduğu veri çerçevesinin tanımlayıcı bilgisini koymalı ve RTR bitini lojik 1 yaparak göndermesi gerekmektedir [55]. Hem veri hem de istek çerçevelerinin mesaj öncelik alanında bulunan RTR biti, istek

çerçevesi ile veri çerçevesi arasındaki farkı oluşturmaktadır. Eğer RTR biti lojik 1 ise bu çerçeve, istek çerçevesi, lojik 0 ise veri çerçevesi olduğu anlaşılır.

0	11-bit Identifier	1	0	0	DLC	data	CRC	ACKN	EOF
SOF		RTR	IDE	RES					

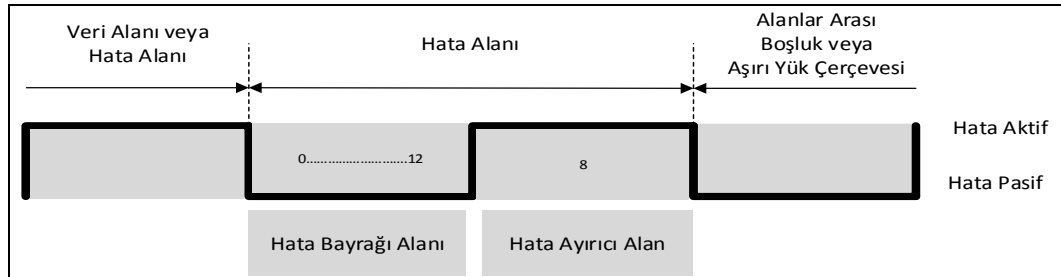
Şekil 4.45. Standart istek çerçevesi.

0	11-bit Identifier	1	1	18-bit Identifier	1	0	0	DLC	DATA	CRC	ACKN	EOF
SOF		SRR	IDE		RTR	RES	RES					

Şekil 4.46. Genişletilmiş istek çerçevesi.

4.2.1.7. CAN Hata Yapıları

CAN protokolünde CRC hatası, ACK hatası, form hatası, bit hatası ve taşıma hatası oluşan hata yapılarıdır. Aynı zamanda CAN haberleşmesinde hata – aktif, hata – pasif ve hata – kapalı modları olmak üzere 3 farklı hata modu mevcuttur. Şekil 4.47’de CAN hata çerçevesi verilmektedir.



Şekil 4.47. Hata çerçevesi.

Veri çerçevesi içerisinde bulunan CRC alanı içerisinde gönderilen mesajın toplam bit sayısı bulunmaktadır. Eğer herhangi bir modül gelen mesajın toplam bit sayısı ile CRC alanındaki sayı arasında farklılık görürse CRC hatası oluşur. Veri çerçevesi içerisinde bulunan ACK slot biti mesaj gönderilirken “1” yapılır. Eğer herhangi bir modül bu biti “0” olarak görürse ACK hatası oluşur. Modüller CAN protokolünün içerisinde kullanılan mesaj çerçevelerinin yapısında bir bozukluk tespit ederse form hatası oluşur

[54]. Eğer gönderici modül lojik “1” biti gönderirken bus üzerinde o biti lojik “0” olarak görürse ya da tersi durum da bit hatası oluşur. Eğer mesaj çerçevesi içerisinde aynı seviyeli 6 bit tespit edilirse taşıma hatası oluşmaktadır.

4.2.2. Bulanık Mantık Denetleyici

Bulanık Mantık, insanın algılama yapısına dayanan ve akıllı bir kontrole ihtiyaç duyan sistemlerde kullanılan bir yapay zekâ türüdür. Bulanık Sistemler iki değerli önerme yerine çok değerli kümelerle işlem yapmakta ve çok değerli kümelerle sisteme cevap vermektedir. Bulanık sistemler kuralları saklayıp dilsel girişten dilsel çıkışa örneklenmiş fonksiyonları belirler. Klasik mantığın dayandığı temel varsayım “her önerme doğru veya yanlış” şeklindedir. Bu Aristo’dan beri tartışma konusu olmuştur. Aristo “Temel Varsayım” adlı tezinde gelecek şartlara bağlı olarak olayların şüpheli doğruluk durumlarından bahseder. Bahsettiği gelecek olaylar hakkındaki önermeler aslında ne doğru ve ne de yanlıştır. Bulanık kümeleri konusu ilk defa Lutfi A. Zade tarafından 1965 yılında ortaya atılmıştır [62].

Zadeh’in bu çalışması şu gerçeği kuvvetlendirmiştir ki, insanların bazı sistemleri, makinelerden daha iyi kontrol edebilmelerinin bir sebebi, insanların kesinlik ifade etmeyen birtakım bilgileri kullanarak karar verebilme özelliğine sahip olmalarındandır. Dolayısıyla eğer bu özellik sistemlerin modellenmesinde kullanılırsa, tasarlanan denetleyicilerin performansının arttırılması mümkün olacaktır. Bulanık mantık ile ilgili yapılan ilk uygulama 1974 yılında Mamdani tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile Zadeh’in dilbilimsel kural yaklaşımının bilgisayar tarafından kolaylıkla işlenen bir konu olduğunu kanıtlamıştır. 1982 yılında Danimarka’daki bir çimento fırınının bulanık mantık ile kontrolü ise endüstriyel olarak yapılan ilk uygulamadır [63]. Bunlar bazı küçük çaplı endüstriyel uygulamalardır. İlk bulanık mantık denetleyicine uygun çip ise 1980’lerin başında AT&T Bell laboratuvarlarında Togai ve Watanabe tarafından geliştirilmiştir [64].

4.2.2.1. Bulanık Kümeler

Bulanık kümelerde bir elemanın, kümeye ait olup olmadığından daha ziyade kümeye ne kadar ait olduğuyula ilgilenilir. Klasik kümelerde ise eleman ya kümeye tamamen aittir ($var=1$) ya da kesinlikle ait değildir ($yok=0$). Bulanık kümelerde elemanın varlığı

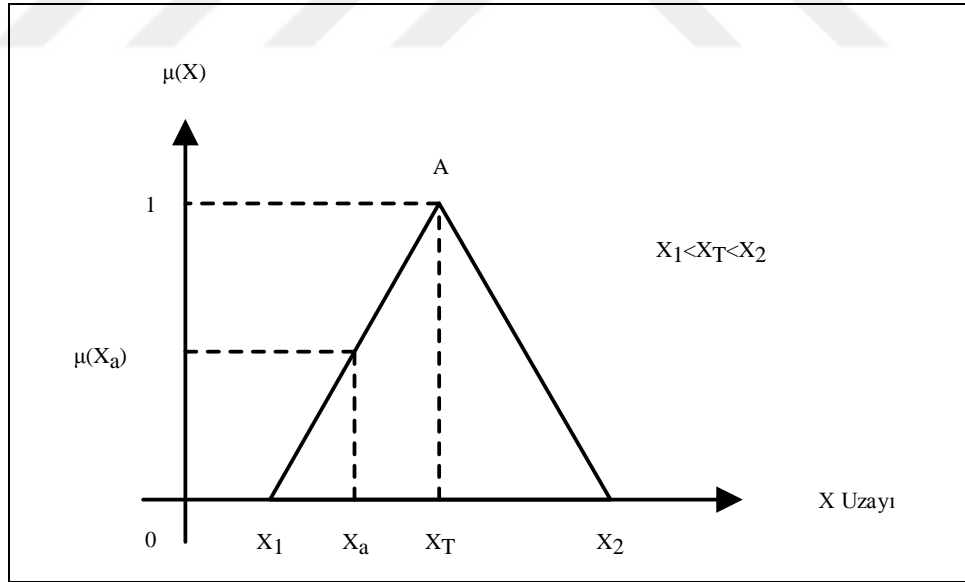
(0-1) aralığındaki üyelik dereceleri (μ) ile temsil edilir. Elemanın üyelik derecesi klasik kümelerdeki gibi "1" ise tamamen ilgili bulanık kümeye ait kabul edilirken, "0" ise bulanık kümenin elemanı değildir. X uzayında tanımlı bulanık A kümesi sürekli veya ayrık biçimde tanımlanabilir [65].

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in X\} \quad (4.1)$$

$$A = \sum_{x_i \in X} \frac{\mu_A(x_i)}{x} \quad (4.2)$$

$$A = \int \frac{\mu_A(x)}{x} \quad (4.3)$$

Her bir elemanın üyelik derecesini gösteren bulanık kümeler, üyelik fonksiyonları ile temsil edilebilir. Literatürde üçgen, yamuk, gaussian, çan, sigmoid ve sinüzoidal üyelik fonksiyonlarını görmek mümkündür. Şekil 4.48'de üçgen üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 4.48. Üçgen üyelik fonksiyonu.

X kesin uzayında, x_a gibi bir kesin değer için bulanık A kümesinde, $\mu_A(x_a)$ kadar üyelik derecesine sahip olduğu Şekil 4.48'den anlaşılmaktadır. Üyelik derecesi kestiği üyelik fonksiyonlarının bulunduğu yere göre hesaplanmaktadır. Üçgen üyelik fonksiyonunda üyelik derecesi Eşitlik 4.4 ile hesaplanabilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < x_1 \\ \frac{x - x_1}{x_T - x_1}, & x_1 \leq x \leq x_T \\ \frac{x_2 - x}{x_2 - x_T}, & x_T \leq x \leq x_2 \\ 0, & x > x_2 \end{cases} \quad (4.4)$$

4.2.2.2. Bulanık Küme İşlemleri

Kesin değerler uzayında tanımlanmış bulanık kümeler ve bu kümelere ait elemanların üyelik dereceleri BMD'nin temellerindedir. Bulanık kümeler arasında kesin kümelerde de tanımlanmış işlemler yapılabilmektedir. Uygulamalarda en çok kullanılan bulanık küme işlemleri kesişim, birleşim ve değilleme işlemleridir. Ancak bulanık küme işlemlerinin bağıntıları kesin kümelerdekinden farklıdır [65].

Kesişim işlemi için klasik kümelerdeki gibi $A \cap B$ gösterimi kullanılır. Zadeh'e göre herhangi bir x kesin sayısının A ve B bulanık kümelerindeki üyelik derecelerinden ($\mu_A(x)$, $\mu_B(x)$) küçük olanı, bu kesin sayının $A \cap B$ bulanık kümesindeki üyelik derecesine eşittir ve Eşitlik 4.5 bağıntısı ile verilir. A ve B bulanık kümelerinin kesişim kümesi Şekil 4.49'da verilmektedir.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (4.5)$$

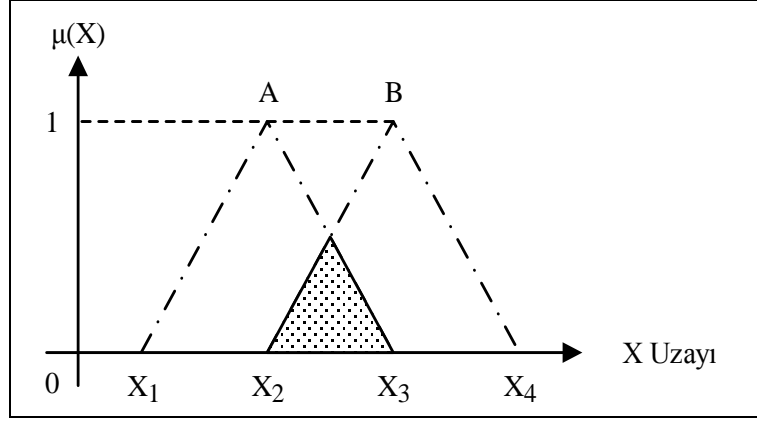
Herhangi bir x kesin sayısının A ve B bulanık kümelerindeki üyelik derecelerinden ($\mu_A(x)$, $\mu_B(x)$) büyük olanı, bu kesin sayının $A \cup B$ bulanık kümesindeki üyelik derecesine eşittir ve Eşitlik 4.6 bağıntısı ile verilir. A ve B bulanık kümelerinin birleşim kümesi Şekil 4.50'de verilmektedir.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (4.6)$$

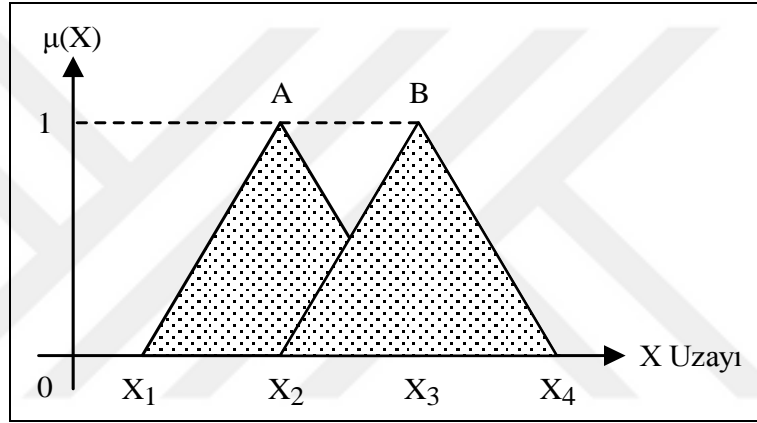
X uzayındaki bulanık A kümesinin değili Eşitlik 4.7 ile tanımlanabilir.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (4.7)$$

Bulanık kümeler, birleşme, değişme, dağılma ve De-Morgan kuralları gibi özellikleri ile klasik kümelere benzemektedir. Bulanık kümeler ile klasik kümeler arasındaki en büyük fark bir kümenin tümleyenini alma işleminde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.49. A ve B bulanık kümelerinin kesişimi.



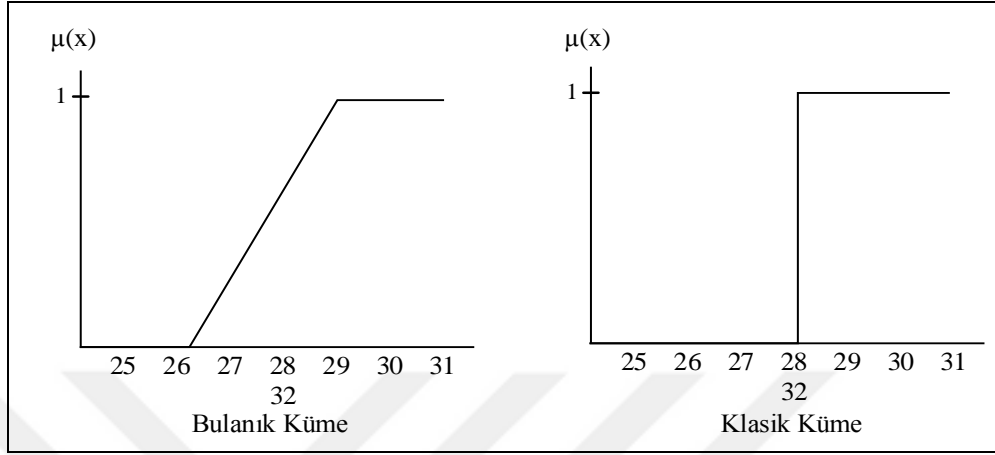
Şekil 4.50. A ve B bulanık kümelerinin birleşimi.

4.2.2.3. Bulanık Mantık Denetleyici Bileşenleri

Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Bulanık küme teorisi genel bir matematiksel yaklaşımdır. Çözülmesi güç olan problemler genel bir yapıya kavuşturularak, daha kolay bir sonuca gidilir. Bulanık küme teorisi kısmi üyeliğe izin veren bir mantık sistemidir. Yani bir kümenin tam üyeliği ile o kümenin üyesi olmama durumları arasında derece derece geçişe izin verir. Verilen bir elemanın bir kümede kısmi üyeliğinin bulunması demek, aynı zamanda bu elemanın bu kümenin üyesi olmama durumunun da kısmen başlaması demektir. Çünkü bulanık küme teorisi, hem tam üyeliğe ve hem de hiç üye olmamaya izin verir.

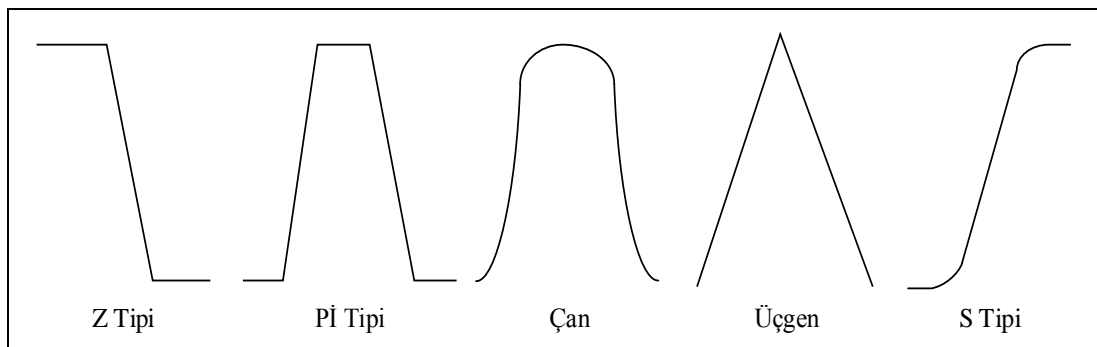
Bulanık mantık ile yapılan bir çözümün ilk aşamasında sistemin giriş ve çıkışlarına, üyelik fonksiyonları tayin edilir. Tipik olarak, bir üyelik fonksiyonu x-y düzleminde bir eğri olarak gösterilir. Bu düzlemde, x-ekseni, giriş ve çıkış değişkenlerinin değer

aralığını ve y-ekseni ise 0-1 arasında olmak üzere değişkenin üyelik derecesini gösterir. Bulanık küme ile klasik kümenin karşılaştırılması Şekil 4.51’de verilmektedir.



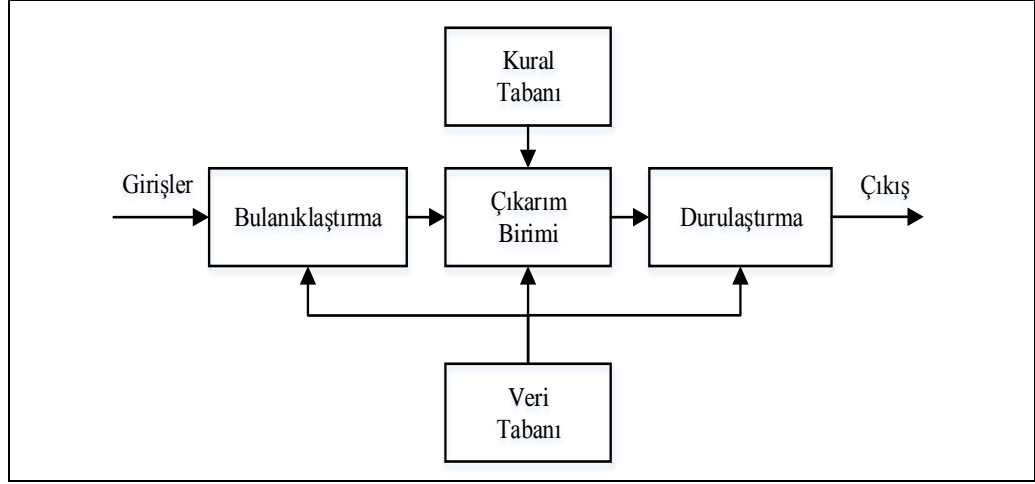
Şekil 4.51. Bulanık küme ile klasik kümenin karşılaştırılması.

Üyelik fonksiyonları, denetlenen sürecin özelliklerine göre çok değişik biçimlerde şekillenebilirler. Üyelik fonksiyonları, sistem parametrelerini tanımlar. Üyelik fonksiyonlarının sayısında ve şeklinde hiçbir kısıtlama yoktur. Tamamıyla tasarımcının istek ve tecrübesine bağlıdır. Şekil 4.52’de örnek üyelik fonksiyonları verilmektedir. Hesaplama kolaylığından dolayı en çok üçgen üyelik fonksiyonu tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasında da üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır.



Şekil 4.52. Üyelik fonksiyonlarının çeşitleri.

Bulanık mantık kontrolün dört temel bileşeni vardır. Bunlar; bulanıklaştırma, kural tabanı, bilgi tabanı ve durulaştırma. Bulanık mantık denetleyicinin blok diyagramı Şekil 4.53’te verilmektedir.



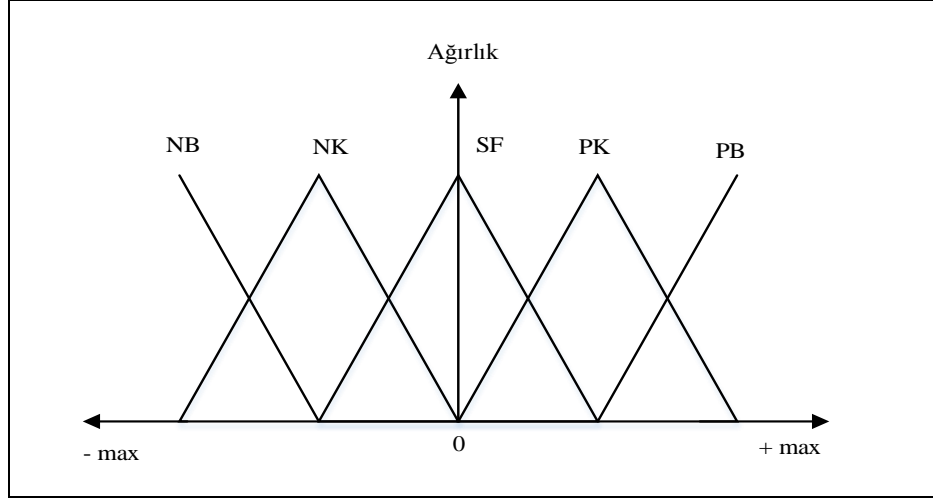
Şekil 4.53. Bulanık mantık denetleyicisi temel yapısı.

Şekil 4.53'te bilgi tabanı, uygulanacak olan sistemin değişkenlerini ve bu değişkenler hakkındaki bilgileri içerir. Bulanıklaştırma arabirimi, gelen bilgilerin dilsel niteleyicilere dönüştürüldüğü bölümdür. Sonuç çıkarım mekanizması, giriş ve çıkış bulanık değerlerinin incelenerek bulanık kontrol kurallarının değerlendirildiği bölümdür. Durulaştırma arabirimi ise bulanık değerlerin kesin sayısal değerlere dönüştüğü bölümdür. Bölümler ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda verilmektedir.

Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma işlemi, sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir. Bulanık mantık dilsel terimleri genellikle eğer-öyleyse kuralı gibi mantıksal anlamlandırma formu şeklinde tanımlanır. Bu kurallar bulanık üyelik işlevi olarak bilinen değerlerin bir sınırıyla tanımlanır. Sistemin verimli çalışması için üçgen, yamuk, çan eğrisi gibi değişik şekillerde üyelik işlevleri seçilebilir. Sistemde hata, hatanın değişimi ve çıkış için kullanılan beş bulanık değişkenli üçgen üyelik fonksiyonları Şekil 4.54'te verilmektedir.

Üyelik fonksiyonlarında kullanılacak etiket sayısı 3, 5, 7, 9 olabilir ve uygulamanın amacına göre kullanıcı tarafından en uygun olanı seçilir. Şekil 4.52'deki üyelik fonksiyonlarındaki etiketler; NB: Negatif Büyük, NO: Negatif Orta, NK: Negatif Küçük, PB: Pozitif Büyük, PO: Pozitif Orta, PK: Pozitif Küçük ve SF: Sıfır olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 4.54. Beş değişkenli üyelik fonksiyonu.

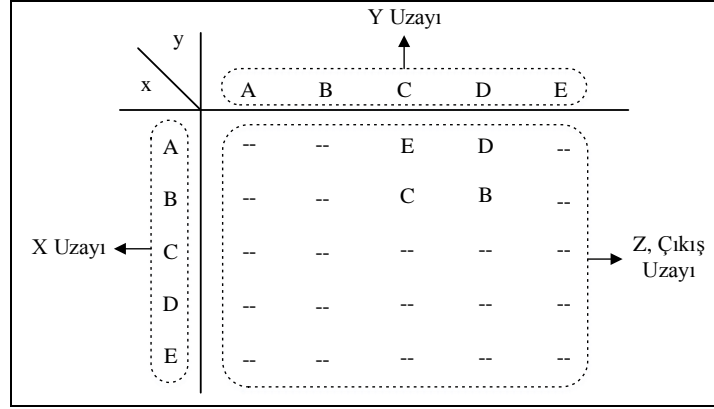
Kural Tabanı

Kural tabanında denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kuralları bulunur. Bulanık mantık, makinelere operatörünün şahsi düşüncelerini işleyebilme ve deneyimlerinden faydalanarak çalışabilme imkânı sağlar. Bu, bir sistemin bulanık mantık ile yapılan tasarımında sistemin çalışma mekanizmasını belirleyecek olan “Kural Kümesi” ile gerçekleşir. Bu kurallar sayesinde, insana ait çıkarım şeklinin veya karar verme tarzının sistemlere uygulanması mümkün olur.

Kuralların belirlenmesinde kullanılacak belli bir yöntem yoktur. Ama bir uzmanın bilgi ve deneyimlerine dayanarak, sistemin bir bulanık modelinin kurulmasına göre ya da çeşitli öğrenen algoritmaları kullanarak kuralları oluşturabiliriz. Bir kural yazımı Eşitlik 4.8’deki gibi yazılır [64].

$$\text{Eğer } \langle \text{ön şart} \rangle \text{ ise } \langle \text{sonuç} \rangle \quad (4.8)$$

Kural tabanı oluşturulurken bütün ihtimaller göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 4.55'teki iki girişli bulanık mantık denetleyicisinde, her girişin kendi uzayında beş bulanık küme tanımlanmıştır. Bu durumda oluşabilecek bütün ihtimallerinin sayısı yirmi beş olacaktır. Burada kullanılan z, çıkış bulanık kümesini temsil eder ve uzman kişilerce oluşturulur. Oluşan bütün kuralların bir arada gösterilmesi mümkündür. Bu gösterim için kural tabloları kullanılır. Bu tablolardan girişlerin var olduğu bulanık kümelerle göre çıkışın bulunması gereken bulanık küme doğrudan görülebilir.



Şekil 4.55. Bulanık kural tablosu.

Bulanıklaştırıcı çıkışlarına göre aktif olacak çıkış bulanık kümeleri Şekil 4.53'te verilmektedir. Böylece aktif olacak kurallar aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

Kural 1: Eğer $x=A$ ve $y=C$ ise $z=E$ olacaktır.

Kural 2: Eğer $x=A$ ve $y=D$ ise $z=D$ olacaktır.

Kural 3: Eğer $x=B$ ve $y=C$ ise $z=C$ olacaktır.

Kural 4: Eğer $x=B$ ve $y=D$ ise $z=B$ olacaktır.

Burada kullanılan "ve" bağlacı, klasik ve bulanık kümelerde kesişim işlemi temsil eder. Zadeh modeline göre kesişim işlemi, ilgili kümelerdeki (örneğin Kural 1 için A ve C bulanık kümeleri) üyelik derecelerinin en küçüğünün çıkışa aktarılması anlamına gelmektedir. Buna göre aktif kuralların sonucu Eşitlik 4.9 ile gösterilir.

$$\begin{aligned}
 \mu_E(z) &= \min[\mu_A(x), \mu_C(y)] \\
 \mu_D(z) &= \min[\mu_A(x), \mu_D(y)] \\
 \mu_C(z) &= \min[\mu_B(x), \mu_C(y)] \\
 \mu_B(z) &= \min[\mu_B(x), \mu_D(y)]
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

Durulaştırma

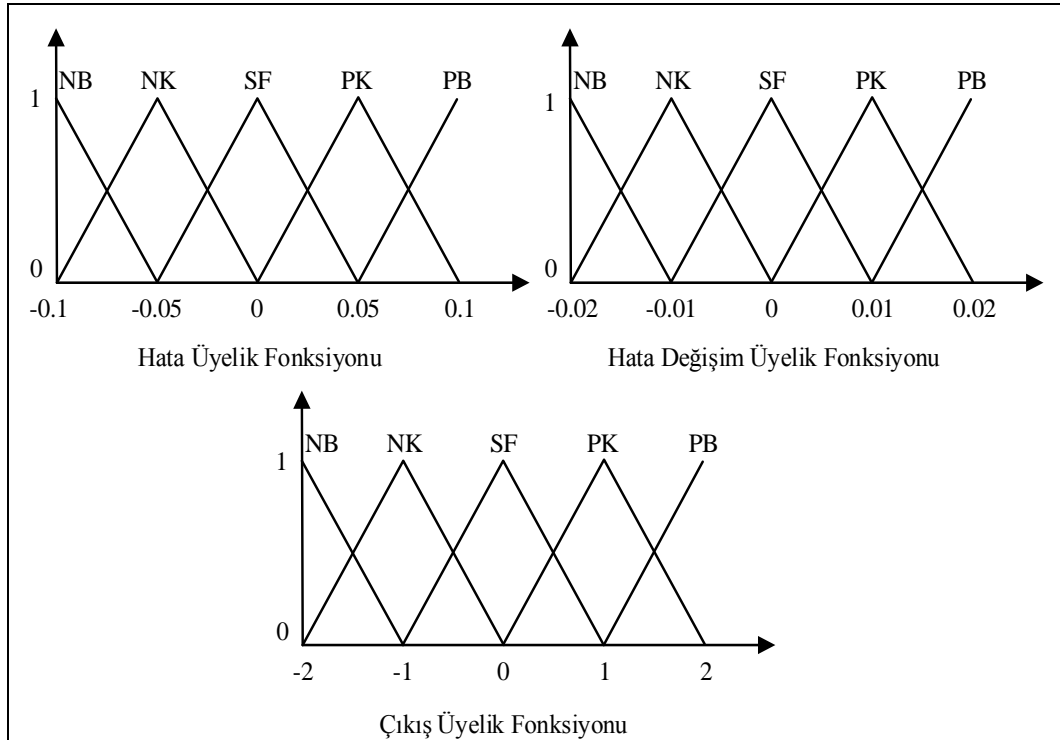
Her bir aktif kuraldan elde edilen bulanık çıkışlar durulaştırıcı da bir dizi işlemin ardından tek bir kesin değere dönüştürülür. Bu işlem için alanların merkezi, maksimumların ortalaması, Sugeno, Tsukamoto, iki bölge, maksimumların en küçüğü ve maksimumların en büyüğü gibi farklı yöntemler bulunmaktadır. Alanların merkezi yöntemi ile durulaştırma işlemi için Eşitlik 4.10 kullanılır.

$$z = \frac{\sum_{k=A}^E \mu_k(z_k) z_k}{\sum_{k=A}^E \mu_k(z_k)} \quad (4.10)$$

Burada bulanık mantık denetleyicinin çıkışı z ve çıkıştaki aktif bulanık küme k ile gösterilmektedir. Ayrıca $\mu_k(z_k)$, aktif kuraldan bulanık çıkışa ait elde edilen üyelik derecesi ve z_k da aynı kuraldaki aktif çıkış bulanık kümesinde en büyük üyeliğe sahip kesin çıkış değeridir.

4.2.2.4 Bulanık Mantık Denetleyicisi Tasarımı

Yardımcı modüller tarafından gerçekleştirilen hücre dengelemede bulanık mantık denetleyici kullanılmaktadır. Bulanık mantık tasarımı CCS C Compiler programında C dilinde yazılmıştır. Batarya şarj edilirken hücre gerilimi üst sınırına ulaşınca kadar referans bilgisi ana modülden gönderilen minimum hücre gerilimi referans olarak alınmaktadır. Bu referans bilgisinden hücrenin mevcut geriliminin farkı alınarak hata değişkeni bulunur. Hata değişkeninden bir önceki hata çıkarılarak hata değişimi elde edilir. Bu iki değişken bulanık mantık denetleyicinin girişlerini oluşturmaktadır. Oluşturulan hata, hata değişimi, çıkış üyelik fonksiyonları Şekil 4.56'da verilmektedir.



Şekil 4.56. Tasarlanan üyelik fonksiyonları.

Bulanık mantık denetleyici tasarımında öncelikle hata, hata değişimi, çıkış üyelik fonksiyonları ve kural tabanı gibi tanımlamalar matris şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tanımlamaları Şekil 4.57’de verilmektedir.

```
float hata_uye [5] = { -0.1, -0.05, 0, 0.05, 0.1 };
float hatadegisim_uye [5] = { -0.02, -0.01, 0, 0.01, 0.01 };
float cikis_uye [5] = { -2, 1, 0, 1, 2 };
float kural_tabani[5][5]={0,0,1,1,2},
                        {0,1,1,2,3},
                        {1,1,2,3,3},
                        {1,2,3,3,4},
                        {2,3,3,4,4}};

float hmaxmin [2][2]={{5,5},{5,5}};
float hdmaxmin [2][2]={{5,5},{5,5}};
float sonucmaxmin [4][2]={{5,5},{5,5},{5,5},{5,5}};
float sonuc [5][2]={{0,0},{1,0},{2,0},{3,0},{4,0}};
float hata=0;
float eskihata=0;
float hatadegisim=0;
float pay=0;
float payda=0;
float agirlik=0;
float pwm_cikis=0;
```

Şekil 4.57. Bulanık mantık tanımlamalar.

Hata ve hata değişimi hesaplandıktan sonra hangi üyelik fonksiyonuna ne kadar üyelik derecesine sahip olduğu hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değerler 2x2’lik matris içerisine kaydedilmektedir. Matrisin birinci sütununa hangi üyelik fonksiyonunu kestiği ve ikinci sütununda hesaplanan üyelik derecesi bulunmaktadır. Her değişken en fazla iki üyelik fonksiyonunu kesmektedir. Bu üyelik derecelerinin hesaplanmasında yazılan kodlamadan bir kesit Şekil 4.58’de verilmektedir.

```
if(hata<=hata_uye[0])
{
hmaxmin[0][0]=0;
hmaxmin[0][1]=1;
hmaxmin[1][0]=0;
hmaxmin[1][1]=0;
}
else if(hata>=hata_uye[0]&&hata<=hata_uye[1])
{
hmaxmin[1][0]=0;
hmaxmin[1][1]=(hata_uye[1]-hata)/(hata_uye[1]-hata_uye[0]);
hmaxmin[0][0]=1;
hmaxmin[0][1]=(hata-hata_uye[0])/(hata_uye[1]-hata_uye[0]);
}
```

Şekil 4.58. Üyelik derecesi hesaplama kodlaması.

Bu işlem gerçekleştirildikten sonra sayısal değişkenler dilsel değişkenlere dönüştürülerek üyelik dereceleri hesaplanmaktadır. Bu şekilde bulanıklaştırma işlemi gerçekleştirilir. Sonrasında min-mak yöntemi kullanılarak bulanık çıkarım yapılmaktadır. Bulanık çıkarım işleminde matris içerisine atılan hata ve hata değişimi değerlerinin çapraz çarpımlarından en fazla 4 tane bulanık çıkarım elde edilmektedir. Yapılan kodlamada iç içe oluşturulan döngü yardımı hata ve hata değişiminin birinci sütündeki değeri kontrol edilir. Eğer her ikisinde 5'e eşit değil ise oluşturulmuş kural tabanı matrisinden çıkış üyelik fonksiyonu sonuç değişkeninin birinci sütünuna, üyelik dereceleri karşılaştırılarak küçük olan üyelik derecesi ikinci sütuna atılmaktadır. Bu işlemden sonra bir alt satıra geçilmektedir. Böylece bulanık çıkarımlar elde edilmektedir. Şekil 4.59'da bulanık çıkarım kodlaması verilmektedir.

```
for(r=0;r<2;r++)
{
  n=hmaxmin[r][0];
  if(n!=5)
  {
    for(t=0;t<2;t++)
    {
      o=hmaxmin[t][0];
      if(o!=5)
      {
        if(hmaxmin[t][1]<=hmaxmin[r][1])
        {
          sonucmaxmin[p][0]=kural_tabani[o][n];
          sonucmaxmin[p][1]=hmaxmin[t][1];
        }
        else
        {
          sonucmaxmin[p][0]=kural_tabani[o][n];
          sonucmaxmin[p][1]=hmaxmin[r][1];
        }
        p++;
      }
    }
  }
}
```

Şekil 4.59. Bulanık çıkarım işlemi.

Tasarlanan kural tabanı Şekil 4.60'ta verilmektedir. Bulanık mantık kodlamasında NB(0), NK(1), SF(2), PK(3) ve PB(4) olarak belirtilmektedir. Bu sayede bulanık çıkarım yapılırken kural tabanı matrisinde çıkış üyelik fonksiyonları daha az kodlama yaparak elde edilebilmektedir.

e de	NB	NK	SF	PK	PB
NB	NB	NB	NK	NK	SF
NK	NB	NK	NK	SF	PK
SF	NK	NK	SF	PK	PK
PK	NK	SF	PK	PK	PB
PB	SF	PK	PK	PB	PB

Şekil 4.60. Kural tabanı.

Bulanık çıkarım yapıldıktan sonra aynı çıkış değişkenlerinin maksimum üyelik derecesine sahip olanların bulunması gerekmektedir. Şekil 4.61’de bu kodlama verilmektedir. Birinci döngüde üyelik fonksiyonu ikinci döngüde ise bulanık çıkarım sonucu elde edilen çıkış üyelik fonksiyonları döndürülmektedir. Bu sayede her üyelik fonksiyonunun üyelik derecesi sonuç matrisinin ikinci sutundaki üyelik derecesi ile karşılaştırılarak aynı üyelik fonksiyonuna sahip çıkışların maksimum üyelik derecesi hesaplanabilmektedir.

```

for(a=0;a<5;a++)
{
  for(e=0;e<4;e++)
  {
    if(sonucmaxmin[e][0]==a)
    {
      if(sonuc[a][1]<sonucmaxmin[e][1])
      {
        sonuc[a][1]=sonucmaxmin[e][1];
      }
    }
  }
}

```

Şekil 4.61. Maksimum üyelik derecesi hesaplama.

Bulanık çıkarım işleminden sonra dilsel ifadelerin sayısal değerlere dönüştürmek için durulama işlemine gerçekleştirilir. Durulama işleminde ağırlık merkezi yöntemi kullanılmaktadır. Sonuç matrisindeki çıkış üyelik fonksiyonlarının üyelik dereceleri başlangıçta tanımlanan çıkış matrisindeki tepe değerleri ile çarpılarak ağırlık merkezinin payı bulunur.

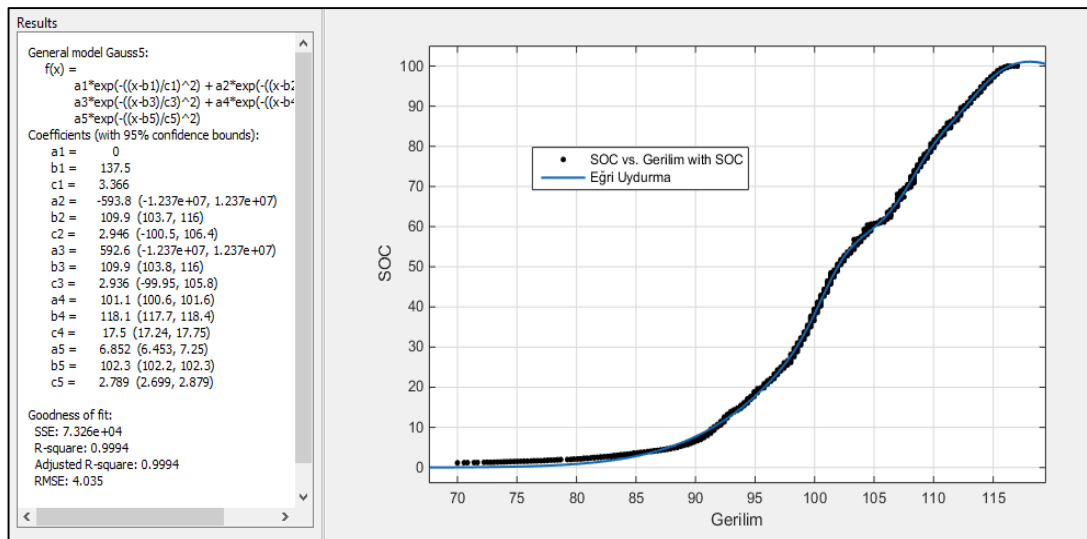
Sonuç matrisindeki üyelik dereceleri toplanarak payda elde edilmektedir. Bulduğumuz pay değerini paydaya böldüğümüzde hücre dengeleme işleminde kullanılan mosfetin anahtarlamasındaki PWM modülünün doluluk oranı değişimini vermektedir. Ağırlık merkezi yönteminin kodlaması Şekil 4.62’de verilmektedir.

```
for(c=0;c<5;c++)
{
    pay+=(cikis_uye[0]*sonuc[0][1]);
    payda+=sonuc[0][1];
}
agirlik=pay/payda;
pwm_cikis+=agirlik;
```

Şekil 4.62. Ağırlık merkezi yöntemi.

4.2.3. SOC Tahmini Algoritması

Batarya yönetim sistemi bataryanın SOC durumu hakkında bilgi vermelidir. Li-Ion bataryalar deşarj akımına ve sıcaklığa bağlı olarak kullanılabilir kapasiteleri değişmektedir. Ayrıca bataryalar şarj-deşarj döngüsü yapıldıkça kullanılabilir maksimum kapasiteleride azalmaktadır. Bataryanın gerilim, akım ve sıcaklık verilerine göre SOC tahmini yapılmaktadır. Bataryanın anlık mevcut kapasitesinin toplam batarya kapasitesine oranı yüzde olarak hesaplanmaktadır. Bataryanın başlangıç anındaki SOC bilgisinin belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 4.63’te Matlab Curve Fitting araç kutusu ile SOC hesaplama denklemi elde edilmiştir.



Şekil 4.63. Matlab curve fitting ile eğri uydurma.

Tam dolu haldeki bataryadan sabit 1A akım çekilerek batarya tamamen boşalincaya kadar bu işleme devam edilmektedir. Bu süre boyunca batarya gerilimi anlık olarak kaydedilmiştir. Bu batarya geriliminin başlangıçta %100 SOC durumunda iken deşarj işlemi sonunda %0 SOC olarak kabul edilip kayıt edilen verilere göre ölçeklendirilmiştir. Bu veriler Matlab programı ile eğrinin denklemi oluşturulmuştur. Eğri denkleminde batarya gerilimine göre SOC verisi elde edilmektedir. Bataryanın şarj durumunda SOC bilgisi bu deklemler ile hesaplanmaktadır. Bataryanın deşarj durumunda ise akım sayma yöntemi kullanılmaktadır. Akım sayma yönteminin başlangıç anındaki SOC bilgisinin doğru bir şekilde bulunması oldukça önemlidir. Elektrikli aracın çalıştırılmasıyla birlikte eğri denklemi ile elde edilen bataryadan akım çekmediği andaki SOC bilgisi alınmaktadır. Bataryadan akım çekilmeye başlamasıyla birlikte akım sayma yöntemi ile SOC tahminine devam edilmektedir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

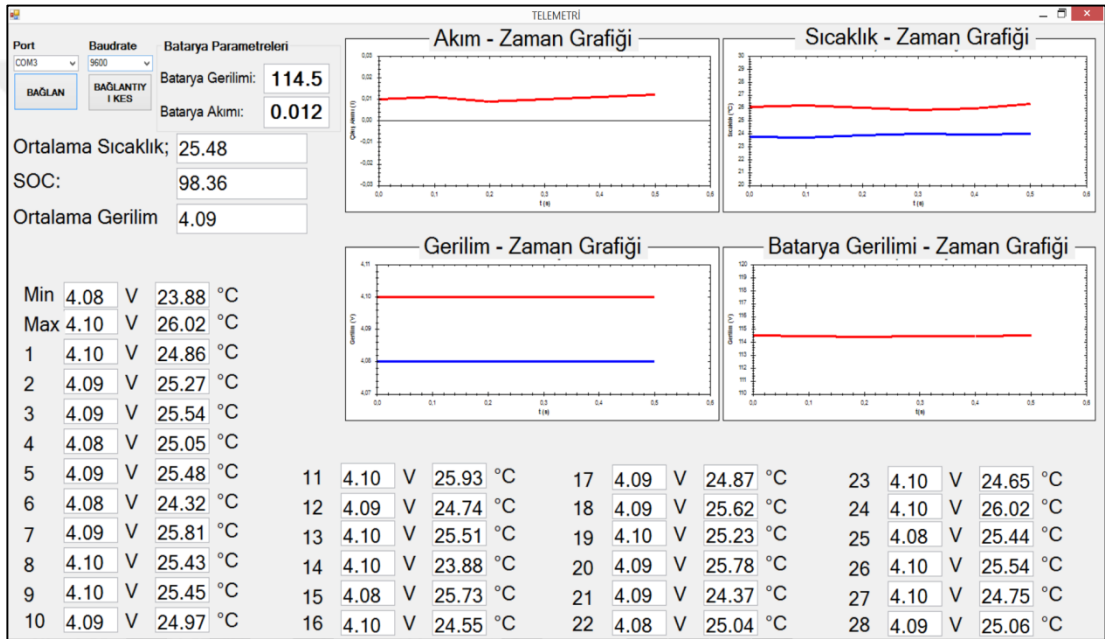
Bu çalışmada gerçekleştirilen test ve deneysel çalışmalar ile ilgili elde edilen sonuçların tamamı SD karta kayıt edilmektedir. Ayrıca sistemde ölçülen ve hesaplanan bütün veriler kablosuz haberleşme modülü ile bilgisayar ortamında hazırlanan C# arayüzünde izlenmektedir. Batarya yönetim sisteminde kullanılan yardımcı modüllerin güç harcamaları verilmektedir. Deneysel çalışmalar yapılmadan önce yardımcı modüllerin ölçüm performansı testleri yapılmıştır. Yardımcı modüllerin ölçtüğü hücre gerilimi ve sıcaklıkları gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Sistemin hücre dengelemesinde kullanılan yük direncinin ve BMD tasarımının testleri yapılmıştır. Batarya yönetim sisteminin ön testleri yapıldıktan sonra sistemin şarj ve deşarj durumunda deneysel çalışmalar yapılmıştır.

5.1.1. Modüllerin Güç Testleri

Batarya yönetim sisteminde kullanılan malzemelerin güç harcamalarının düşük olması oldukça önemlidir. Yardımcı modüller bağlı olduğu hücrelerden beslenmektedir. Yardımcı modüller, ana modülden gelen bilgiler doğrultusunda uyku moduna geçirilerek güç harcaması azaltılmaktadır. Yardımcı modüllerin uyku modundan çıkarılmasında CAN kesmesi kullanılmaktadır. Bataryanın kullanılmadıkları zamanlarda güç harçamalarını engellemek için yardımcı modüller üzerinde bulunan anahtar ile enerjileri kesilmektedir. Her hücreye bağlı olan yardımcı modüllerden her biri bağlı olduğu hücreden 8mA akım çekmektedir. Uyku modunda ise 2mA akım çekmektedir. Güç hesaplaması $5V \times 6mA$ 'de 30mW güç harçamaktadır. Yardımcı modüllerden 28 adet olduğundan 840 mW harcamaktadır. Uyku modunda her yardımcı modül ise 5×2 'den 10mW güç harcamaktadır. Toplamda ise 280mW güç harcamaktadır. Yardımcı modüller uyku modu kullanılarak 560mW güç harcanması engellenmektedir.

5.1.2. Gerçek Zamanlı Ölçüm Testleri

Yardımcı modüllerde ölçülen bilgilerin doğruluğu oldukça önemlidir. Yardımcı modüllerin ölçüm testleri ortam sıcaklığı 25°C'de yapılmıştır. Yardımcı modüllerde ölçülen hücre bilgileri ana modüle gönderilmektedir. Bu bilgiler kablosuz haberleşme modülü ile bilgisayara seri port ile bağlanan diğer modüle gönderilmektedir. Bu bilgilerin bilgisayar arayüzüne aktarılmasında Microsoft Visual Studio programında C# programlama dili ile oluşturulan arayüzünden yararlanılmıştır. Şekil 5.1'de hesaplanan ve ölçülen batarya bilgilerini gösteren arayüz verilmektedir.



Şekil 5.1. Kullanılan görsel arayüzü.

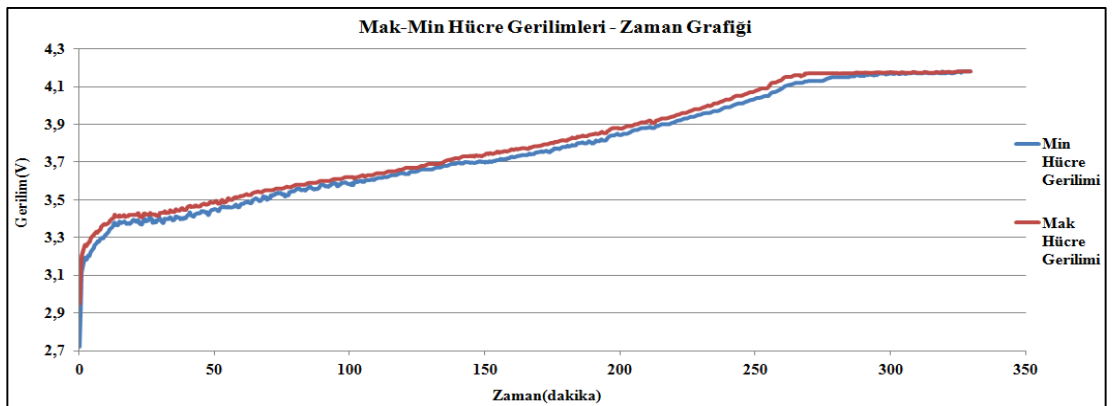
Arayüz üzerinde gösterilen batarya verilerinin doğru bir şekilde ölçüldüğünü kontrol etmek için bütün hücre gerilimleri tek tek multimetre ile ölçülmüştür. Bu ölçülen bilgiler ile C# arayüzündeki bilgilerin karşılaştırılması Çizelge 5.1'de verilmiştir. Yardımcı modüller üzerinde ölçülen hücre gerilimleri ile gerçek hücre gerilimleri arasında ± 0.01 V hata payı vardır. Yardımcı modüllerde ölçülen hücre sıcaklıkları ölçümünde ise $\pm 2^\circ\text{C}$ hata payı olduğu görülmektedir. Ana modül tarafından ölçülen ana kol akımı ölçümünde ise $\pm 0.012\text{A}$ hata payı vardır. Bu ölçüm hataları kabul edilebilir bir seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Bu sayede ölçülen bilgilerin doğruluğu test edilmiştir.

Çizelge 5.1. Yardımcı modüllerin ölçüm testleri.

Yardımcı Modüllerin Her Bir Hücreden Sıcaklık ve Gerilim Ölçüm Testleri							
Hücre	Gerçek Gerilim	Okunan Gerilim	Okunan Sıcaklık	Hücre	Gerçek Gerilim	Okunan Gerilim	Okunan Sıcaklık
1	4.103 V	4.10 V	24.86 °C	15	4.085 V	4.08 V	25.73 °C
2	4.087 V	4.09 V	25.27 °C	16	4.094 V	4.10 V	24.55 °C
3	4.089 V	4.09 V	25.54 °C	17	4.091 V	4.09 V	24.87 °C
4	4.085 V	4.08 V	25.05 °C	18	4.087 V	4.09 V	25.62 °C
5	4.086 V	4.09 V	25.48 °C	19	4.102 V	4.10 V	25.23 °C
6	4.084 V	4.08 V	24.32 °C	20	4.099 V	4.09 V	25.78 °C
7	4.089 V	4.09 V	25.81 °C	21	4.088 V	4.09 V	24.37 °C
8	4.101 V	4.10 V	25.43 °C	22	4.084 V	4.08 V	25.04 °C
9	4.094 V	4.10 V	24.45 °C	23	4.105 V	4.10 V	24.65 °C
10	4.097 V	4.09 V	24.97 °C	24	4.096 V	4.10 V	26.02 °C
11	4.104 V	4.10 V	25.93 °C	25	4.086 V	4.08 V	25.44 °C
12	4.091 V	4.09 V	24.74 °C	26	4.101 V	4.10 V	25.54 °C
13	4.095 V	4.10 V	25.51 °C	27	4.098 V	4.10 V	24.75 °C
14	4.102 V	4.10 V	23.88 °C	28	4.095 V	4.09 V	25.06 °C

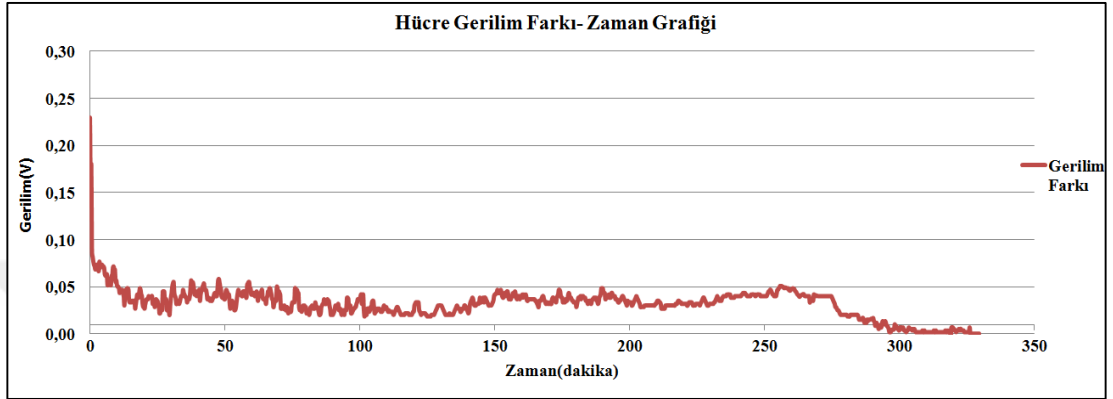
5.1.3. Batarya Şarj Deneyi

Sistemin ölçüm testleri yapıldıktan sonra sistemin şarj deneyi gerçekleştirilmiştir. Bataryaların şarj olmaları 335 dakika sürmüştür. Şarj süresince batarya hücrelerinin maksimum ve minimum hücre gerilimleri ve sıcaklıkları, toplam batarya gerilimi, ana kol akımı, SOC durumu bilgileri zamana bağlı olarak grafiklendirilerek sonuçlar yorumlanmaktadır. Bataryanın mak-min hücre gerilimleri zaman bağlı değişim grafiği Şekil 5.2’de verilmektedir.



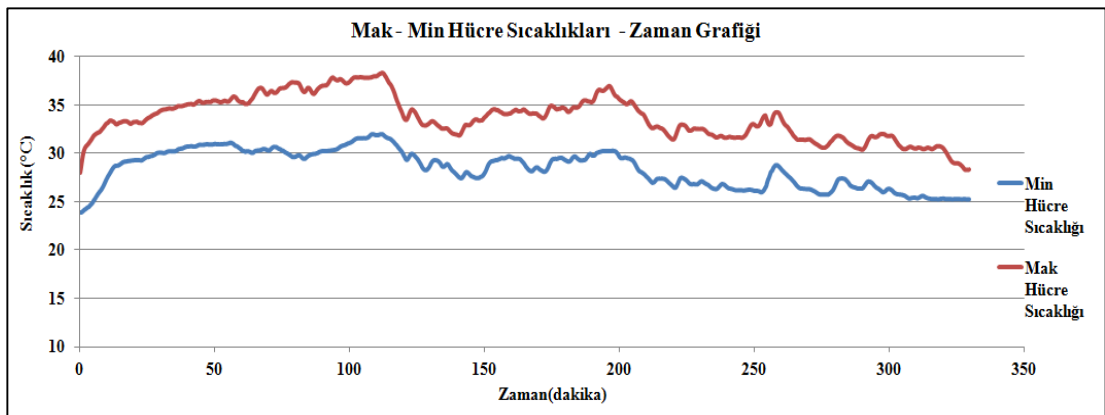
Şekil 5.2. Maksimum ve minimum hücre gerilimi zaman grafiği.

Bataryanın şarja bağlamadan maksimum hücre gerilimi 2.94V, minimum hücre gerilimi 2.72V olduğu görülmektedir. Sistem şarj üst limit gerilimine ulaşan hücrelerin daha fazla şarj olmadığı gözlenmektedir. 330. dakikadan itibaren bütün hücreler dolmuştur. Sistemin şarj durumunda mak-min hücre gerilimleri farkının zamana bağlı grafiği Şekil 5.3'te verilmektedir.



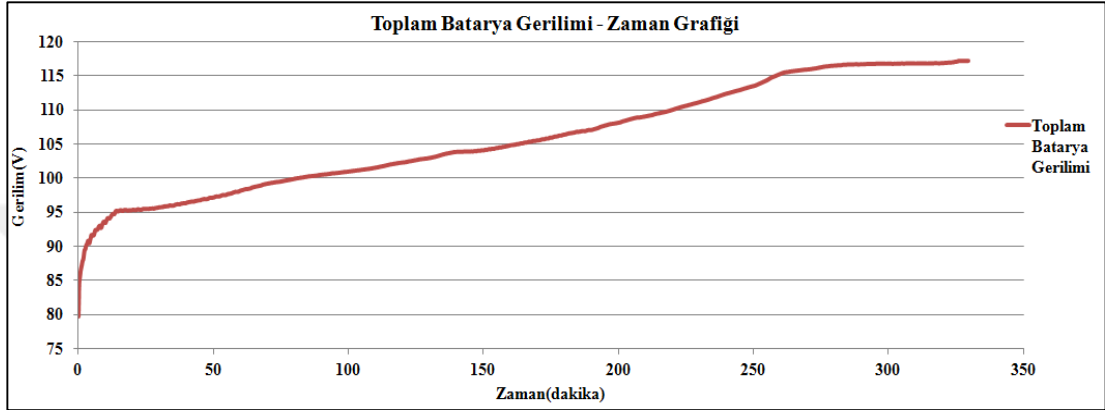
Şekil 5.3. Maksimum ve minimum hücre gerilimleri farkı zaman grafiği.

Maksimum ve minimum hücre gerilimleri farkı grafiği incelendiğinde başlangıç anındaki 0.24V gerilim farkı 10 dakikada 0.05V seviyesine kadar hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Şarj işlemi şarj üst limitine ulaşmaya kadar hücre dengeleme işlemi 0.04V'dan fazla ise gerçekleştirilmektedir. 275. Dakikada batarya hücrelerinden bazılarının şarj üst limitine ulaştığı grafikten anlaşılmaktadır. 330. dakikada bütün hücreler şarj üst limitine ulaştığı için şarj işlemi sonlandırılmaktadır. Sistemin şarj durumunda mak-min hücre sıcaklığının zamana bağlı grafiği Şekil 5.4'te verilmektedir.



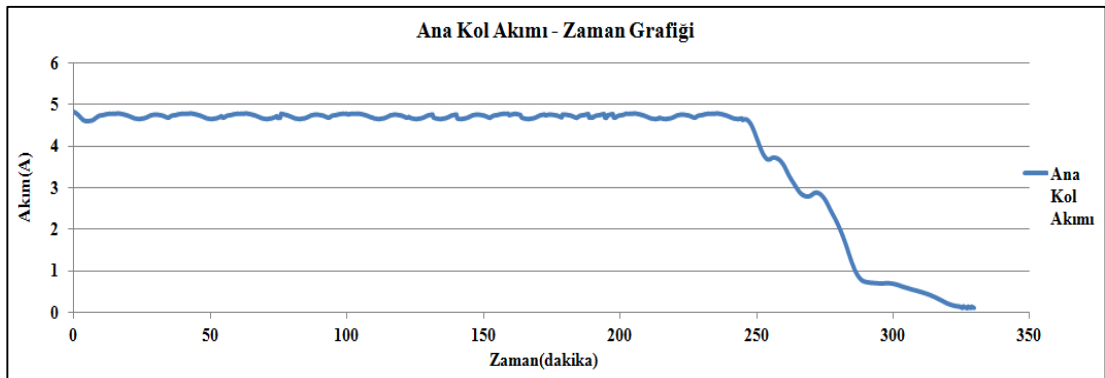
Şekil 5.4. Maksimum ve minimum hücre sıcaklığı zaman grafiği.

Batarya hücrelerinin sıcaklıkları hücre dengelemesinin aktif olduğu zaman aralıklarında arttığı gözlenmektedir. Dengeleme anında hücre sıcaklıklarının 40°C'yi geçmediği için fan sistemi çalışmamıştır. Şarj işleminin başlangıcında hücreler arası kapasite farklılıkları yüksek olduğu için hücre sıcaklıkları daha yüksektir. Hücre sıcaklıkları şarj sonunda başlangıç değerlerine dönmüştür. Sistemin şarj durumunda toplam batarya geriliminin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.5'te verilmektedir.



Şekil 5.5. Toplam batarya gerilimi zaman grafiği.

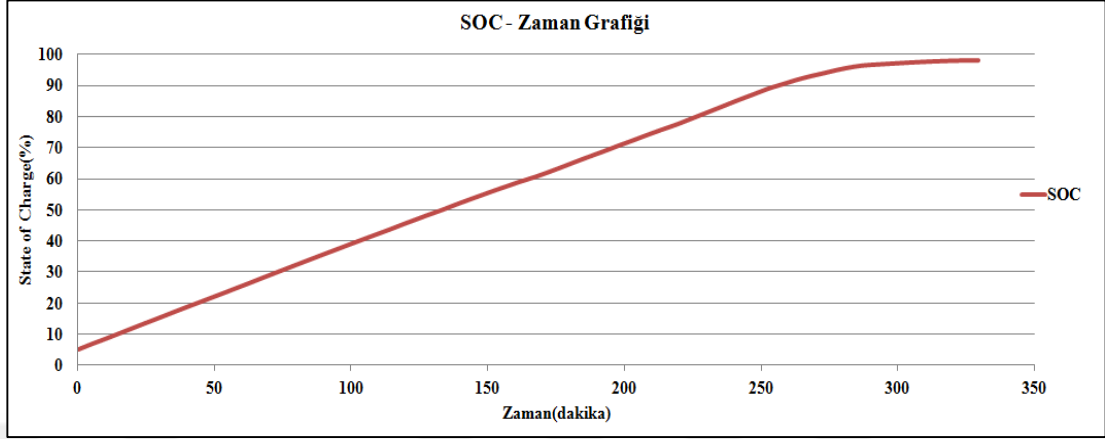
Li-Ion bataryaların gerilimleri, karakteristikleri gereği nominal gerilimlerine kadar hızlı bir yükselme göstermektedir. Nominal gerilimden sonra doğrusal olarak hücre gerilimleri artmaktadır. Bataryanın şarj durumunda ana kol akımı zaman bağlı değişim grafiği Şekil 5.6'da verilmektedir.



Şekil 5.6. Ana kol akımı zaman grafiği

Batarya başlangıçta sabit akımda şarj edilmektedir. Batarya gerilimi şarj üst limitine ulaşınca sabit gerilimde şarj işlemine devam edilmektedir. Bu sayede bataryanın hassas bir şekilde şarj edilmesi sağlanmaktadır.

Ana kol akımı 100mA kadar azalınca şarj işlemi sonlandırılmaktadır. Bataryanın SOC durumunun zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.7’de verilmektedir.

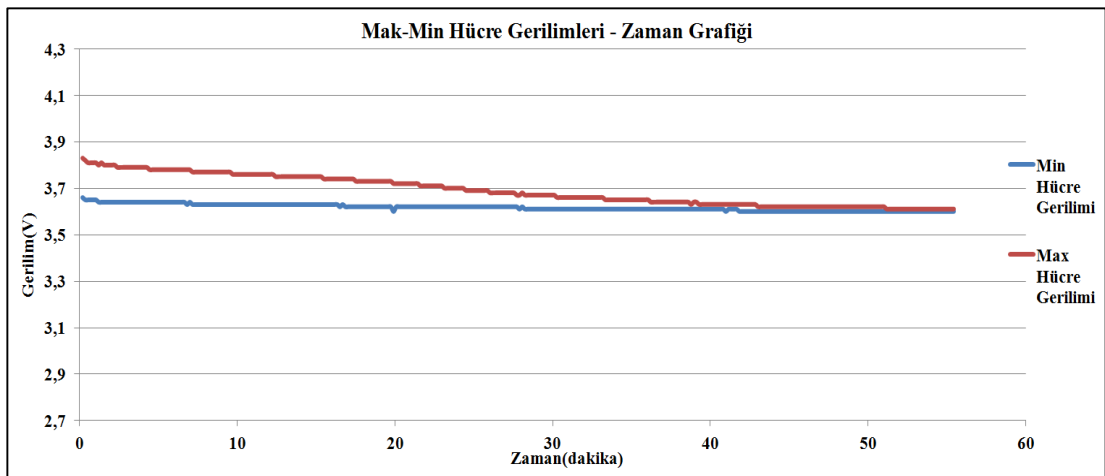


Şekil 5.7. SOC zaman grafiği.

Bataryanın başlangıç anında %6 SOC durumuna sahip olduğu tahmin edilmiştir. Şarj işlemi sonunda ise %98 SOC değerine sahiptir. Bu sayede SOC tahmininin doğru bir şekilde yapıldığı anlaşılmaktadır.

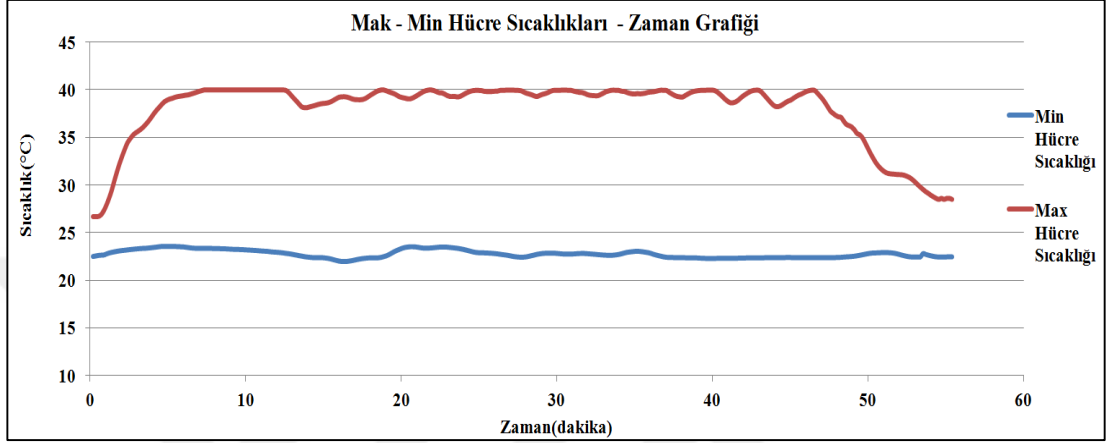
5.1.4. Batarya Deşarj Deneyi

Sistemin sabit 1A deşarj akımı altında hücre dengeleme deneyinde Array 3711A DA yük cihazı kullanılmıştır.. Bu deney 55 dakikada tamamlanmıştır. Batarya hücrelerinin maksimum ve minimum gerilimlerinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.8’de verilmektedir.



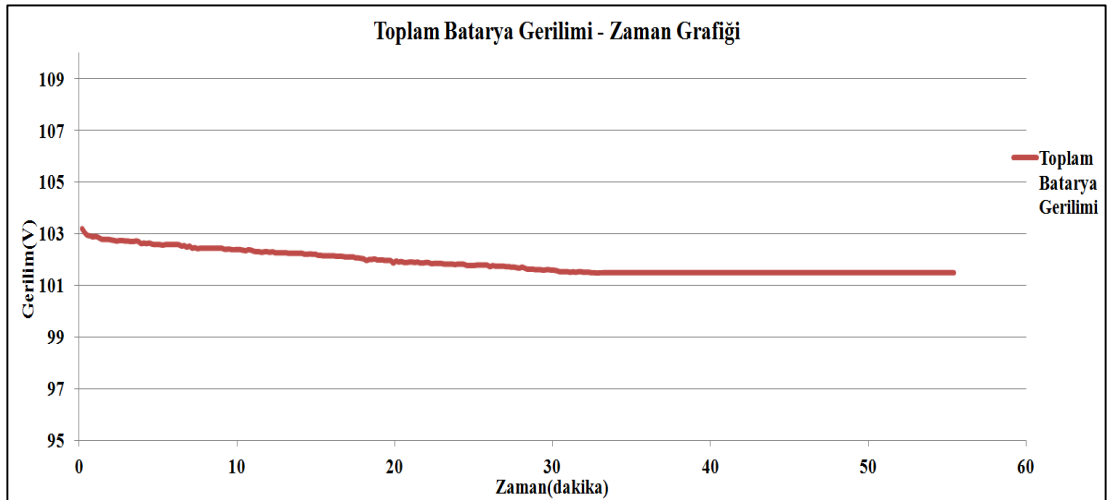
Şekil 5.8. Maksimum ve minimum hücre gerilimi zaman grafiği.

Başlangıç anındaki hücreler arası 0.2V gerilim farkı ortadan kaldırılmıştır. Deşarj süresince batarya hücrelerinin maksimum ve minimum hücre gerilimleri ve sıcaklıkları, toplam batarya gerilimi, ana kol akımı, SOC durumu bilgileri zamana bağlı olarak grafiklendirilerek sonuçlar yorumlanmaktadır. Sistemin maksimum ve minimum hücre sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.9’da verilmektedir.



Şekil 5.9. Maksimum ve minimum hücre sıcaklığı zaman grafiği

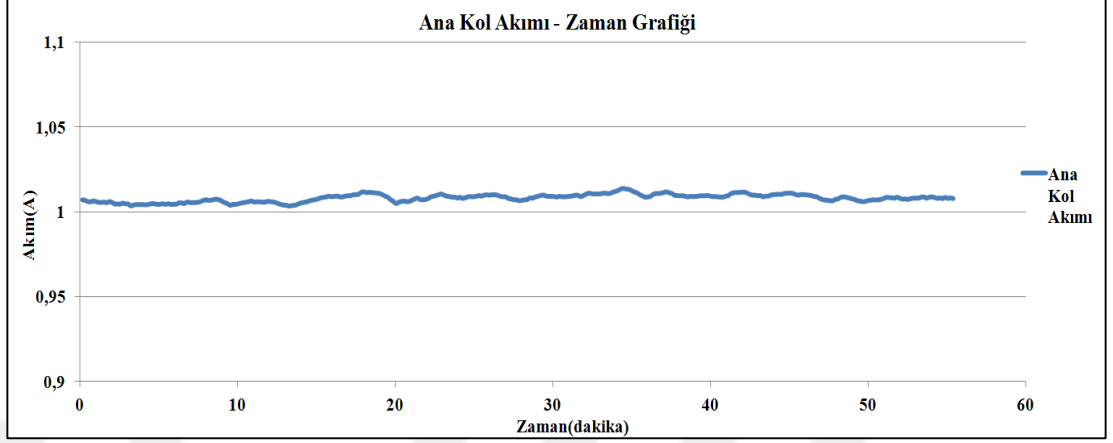
Hücre sıcaklığının dengeleme işlemi sırasında arttığı gözlenmektedir. Hücreler arası kapasite farkının azaldığı durumda hücre sıcaklığı azalmaya başlamaktadır. Toplam batarya geriliminin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.10’da verilmektedir.



Şekil 5.10. Toplam batarya gerilimi zaman grafiği

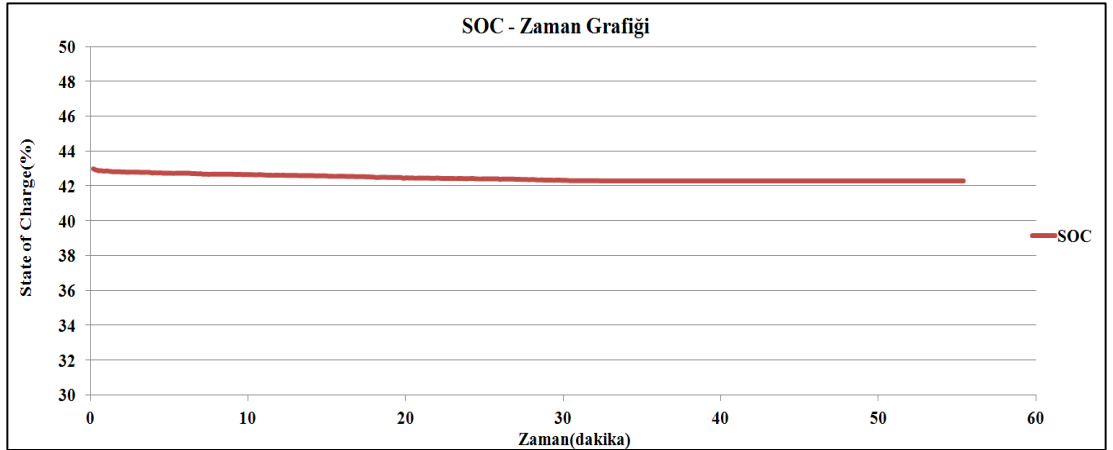
Toplam batarya gerilimi grafiği incelendiğinde ilk 30 dakikalık bölümde hızlı bir gerilim azalması söz konusudur. Bu gerilim azalması hücre dengelemesinin birden

fazla hücre tarafından gerçekleştirildiği anlaşılmaktadır. Deşarj anında bataryadan çekilen akımın zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.11’de verilmektedir.



Şekil 5.11. Ana kol akımı zaman grafiği

Bataryadan ayarlı yük kaynağı ile sabit 1A’de deşarj edilmiştir. Sistem ile ölçülen akımın 10mA hata olduğu anlaşılmaktadır. Akım ölçümü mümkün olduğunca hassas ölçülmeye çalışılmıştır. Sistemin deşarj anında SOC değerinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.12’de verilmektedir.

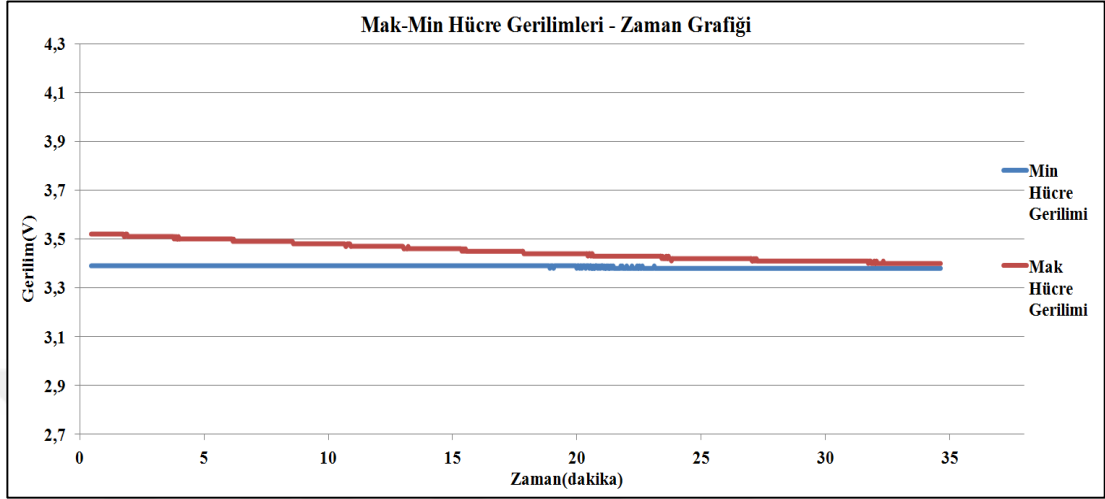


Şekil 5.12. SOC zaman grafiği

5.1.5. Batarya Boşta Deneyi

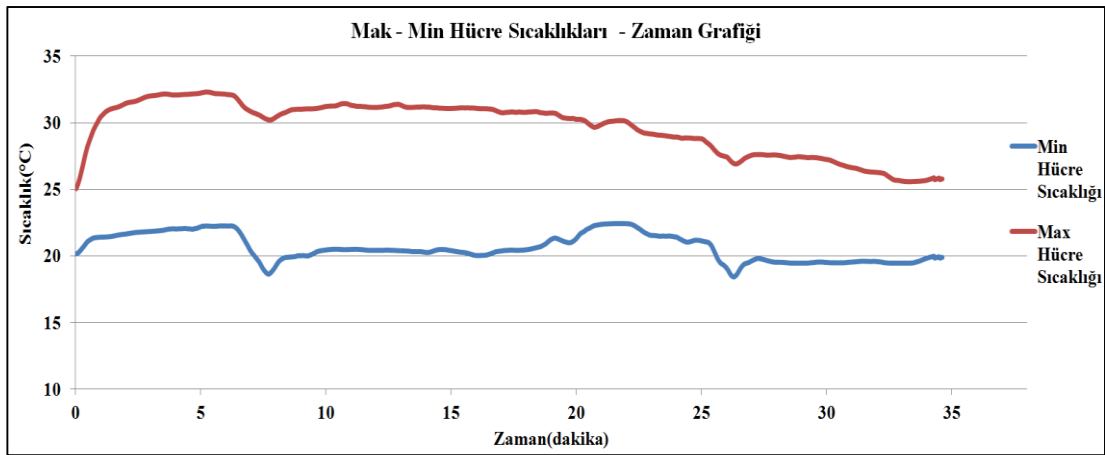
Pasif hücre dengeleme yöntemi şarj anında kullanılmaktadır. Sistemin boşta olduğu durumda istenilmesi halinde hücreler arası gerilim farklılıkları giderilebilmektedir. Başlangıç anında maksimum hücre gerilimi 3.53V, minimum hücre gerilimi

3.39V'dur. Başlangıç anında maksimum ve minimum hücre gerilimleri farkı 0.14V'tur. Bataryanın mak-min hücre gerilimlerinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.13'te verilmektedir.



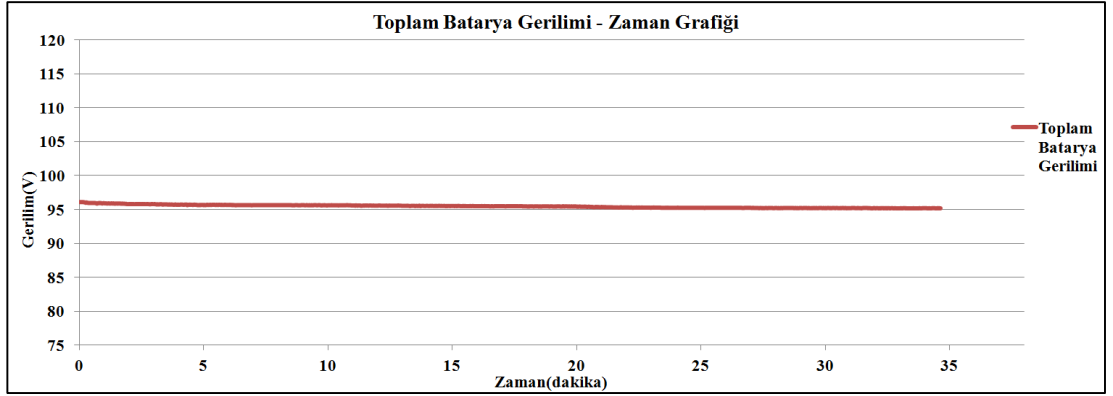
Şekil 5.13. Maksimum ve minimum hücre gerilimi zaman grafiği.

Dengeleme işlemi 35 dakika sürmüştür. Dengeleme işlemi sonunda maksimum ve minimum hücre gerilimleri arası 0.02V fark vardır. Maksimum, minimum ve ortalama hücre sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.14'te verilmektedir.



Şekil 5.14. Maksimum ve minimum hücre sıcaklığı zaman grafiği.

Hücre sıcaklıkları grafiği incelendiğinde hücre sıcaklığının 32°C geçmediği görülmektedir. Hücreler arası gerilim farkı azaldıkça hücrelerin sıcaklığıda azalmaktadır. Toplam batarya geriliminin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.15'te verilmektedir.



Şekil 5.15. Toplam batarya gerilimi zaman grafiği.

5.1.6. Bataryanın Batarya Elektrikli Araç Testi

Batarya elektrikli araç üzerindeki testleri Karabük Üniversitesi Elektrikli Araç Takımı tarafından yapılan NAR V2 Plus aracı üzerinde 2017 yılında TÜBİTAK elektrikli araç yarışlarında İzmir Körfez Pistinde gerçekleştirilmiştir. Batarya elektrikli aracımızın teknik özellikleri Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.2. BEA teknik özellikleri.

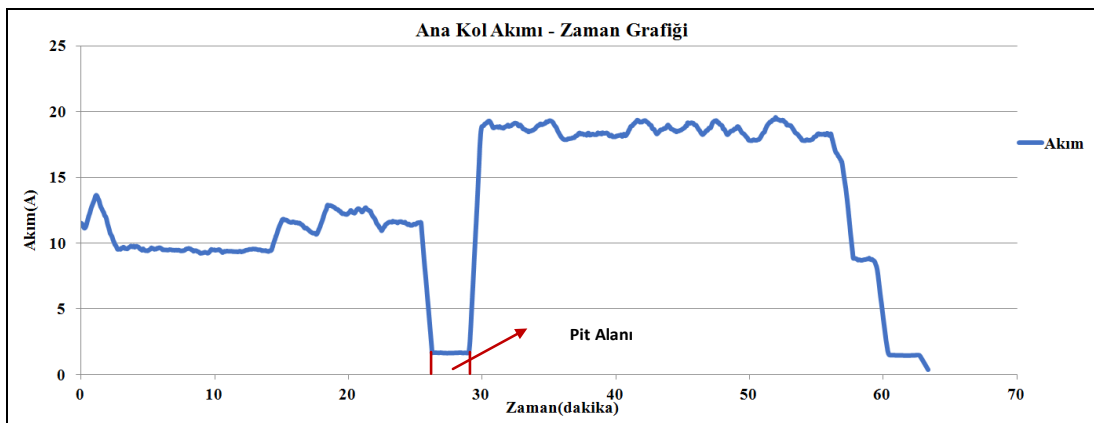
No	Özellik	Özellikler
1	Motor	İki Adet BLDC Motor
2	Motor Gücü	1.5 kW X 2
3	Motor Sürücü	Siemens S71200
4	Motor Verimliliği	%86
5	Ağırlık	237 kg
6	Uzunluk	3 m
7	Genişlik	1.75 m
8	Yükseklik	1.2 m
9	Araç Menzili	100 km
10	Azami Hız	97 km/s
11	Şarj Ünitesi	220V AA Giriş
12	Kabuk	Karbon-Fiber
13	Teker Sayısı	4
14	Şasi	Alüminyum
15	Diğer	Elektronik Diferansiyel, Telemetri Sistemi, Dinamik Far Sistemi

Yarışma süresi boyunca gerilim, akım, sıcaklık, SOC ve araç hızı bilgileri kayıt edilmiştir. Bu bilgiler grafiksel olarak aşağıda gösterilmektedir. Yarışma sırasında elektrikli aracın ön sağ tekerinde meydana gelen teknik bir arızadan dolayı pit alanına gelmiştir. Pit alanına geldiği zaman aralıkları grafikler üzerinde gösterilmektedir. Şekil 5.16'da yarışmada çekilmiş görsel verilmektedir.



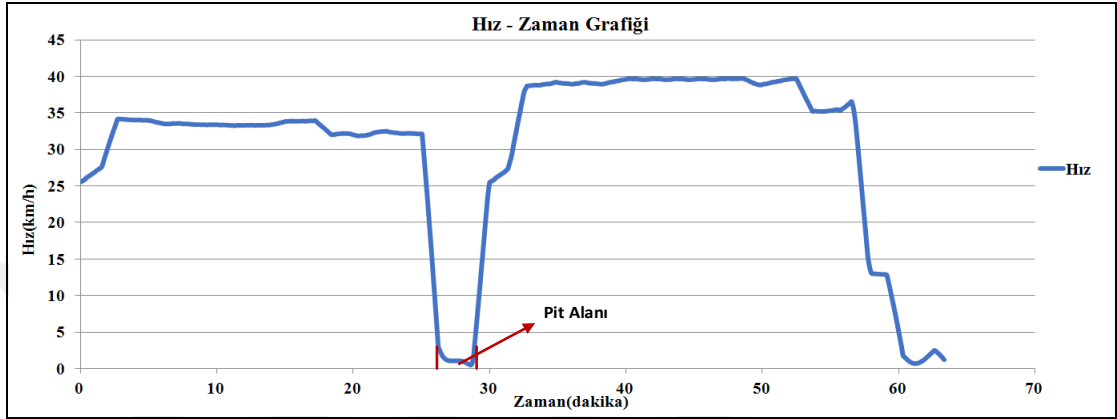
Şekil 5.16. TÜBİTAK elektrikli araç yarışları.

Yarışma süresi boyunca pist etrafında 26 tur atmış ve 60 dakikada tamamlanmıştır. Bataryadan çekilen anakol akımının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.17'de verilmektedir.



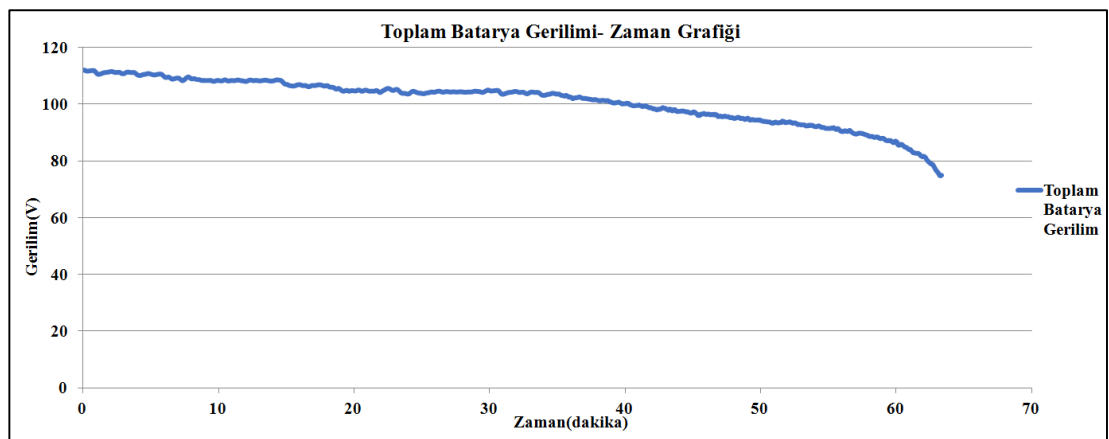
Şekil 5.17. Anakol akımı zaman grafiği.

Araç ilk 25 dakikalık sürede ortalama bataryadan 12A çekmiştir. Elektrikli aracın sağ tekerinde meydana gelen arızanın 13. dakikadan itibaren kendini göstermektedir. Araç hızı değişmemesine rağmen bataryadan çekilen akımın arttığı görülmektedir. 30. dakikadan sonra araç ortalama 18A çekerek yarışmayı tamamlamıştır. Aracın hızının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.18’de verilmektedir.



Şekil 5.18. Araç hızı zaman grafiği.

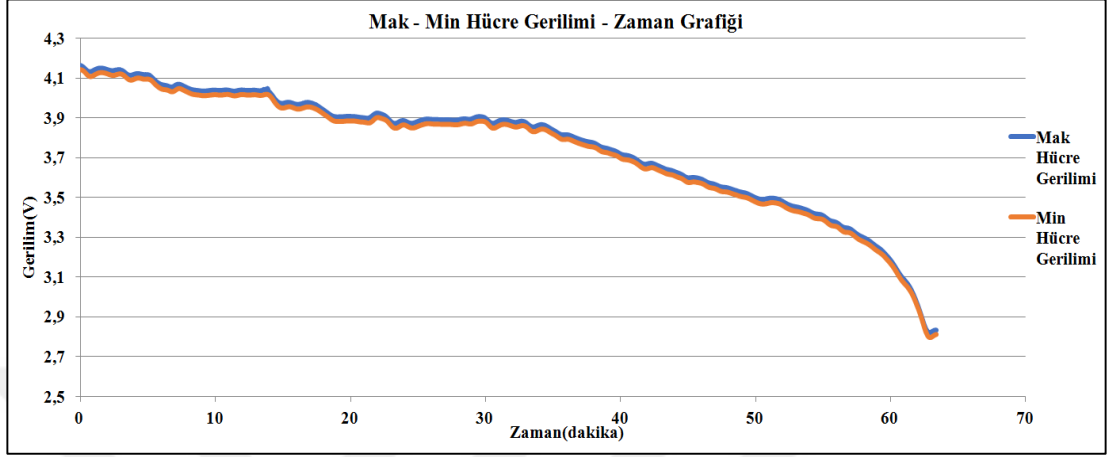
Araç ilk 27 dakikalık sürede ortalama 32 km/h hızla hareket etmiştir. Pit alanında harcadığımız zamanı telafi etmek için kalan sürede ortalama 39 km/h hızla yarışı tamamlamıştır. Toplam batarya gerilimlerinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.19’da verilmektedir.



Şekil 5.19. Toplam batarya gerilimi zaman grafiği.

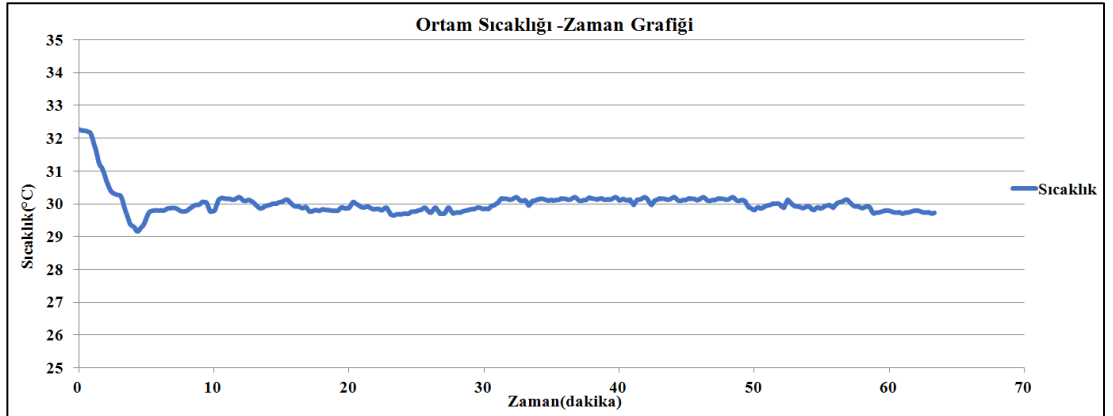
Batarya gerilimi grafiğindeki gerilim ölçümündeki dalgalanmalar pistin virajlı olduğunu göstermektedir. Li-Ion bataryalar karakteristiği gereği nominal

gerilimlerinin altına düştüğünde gerilimleri daha hızlı azaldığı grafik üzerinden görülmektedir. Maksimum ve minimum hücre gerilimlerinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.20’de verilmektedir.



Şekil 5.20. Maksimum ve minimum hücre gerilimi zaman grafiği.

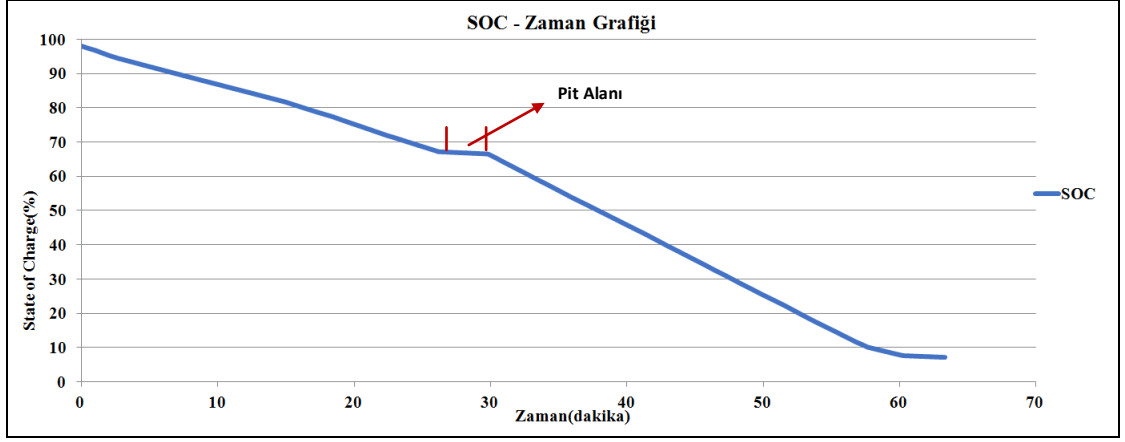
Gerilim grafikleri incelendiğinde batarya geriliminde hızlı düşme olduğu zamanlarda ani hızlanma söz konusudur. Batarya gerilimi hücreler nominal gerilimlerinin altına düştüğünde hızlı bir şekilde gerilimleri azalmaktadır. Yarışma sonunda hücre gerilimleri ortalama 2.8V seviyelerindedir. Ortam sıcaklığının zaman bağlı değişim grafiği Şekil 5.21’de verilmektedir.



Şekil 5.21. Ortam sıcaklığı zaman grafiği.

Ortam sıcaklığı yarışma başlayana kadar araç güneş altında beklediği için 32°C civarındadır. Yarışmanın başlamasıyla araç içerisine hava akışı olduğu için 30°C

seviyelerine düşmüştür. SOC durumunun zamana bağlı değişim grafiği Şekil 5.22’de verilmektedir.



Şekil 5.22. SOC zaman grafiği.

Bataryanın SOC durumu tahmin grafiği incelendiğinde bataryanın başlangıç SOC durumu tahmini % 98 seviyesindedir. Yarışma sonunda % 8 seviyelerinde olduğunu göstermektedir. Yarışmadan önce elektrikli araca bağlanan joulmetre yardımıyla enerji harcaması ölçülmüştür. Elektrikli araç yarışmada 26 turda 2139Wh enerji harcamıştır.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında Li-Ion pillerden oluşan batarya paketinde 28 tane seri bağlı batarya hücresi ve her batarya hücresinde ise 8 tane paralel bağlı Li-Ion pil bulunmaktadır. Her batarya hücresine bir yardımcı modül bağlanarak hücrenin gerilim ve sıcaklıkları gerçek zamanlı ölçmekte ve hücre dengeleme işlemini gerçekleştirilmektedir. Ölçülen bilgiler CAN ağı ile ana modüle gönderilmektedir. Batarya hücre dengelemesinde fazla olan kapasite 35W'lık yük direnci kullanılarak balans yapılmaktadır. Dengeleme işleminde balans akımı ayarlanabilmektedir. Sıcaklığın artması durumunda PWM doluluk oranı azaltılmakta ve balans akımı düşmektedir. Doluluk oranı bulanık mantık denetimi ile hassas bir şekilde belirlenmektedir.

Yardımcı modüllerin ölçüm hassasiyeti $\pm 1\%$ 'lik hata ile ölçüm yaptığı deneysel çalışmalarda tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda farklı seviyelerdeki batarya hücrelerinin gerilim farklılıkları ortadan kaldırılmıştır. Hücreler arası 0.2V gerilim farkı 30 dakikada eşitlenmektedir. Bataryanın SOC tahmini ile bataryanın kullanılabilir kapasitesi belirlenebilmektedir. SOC tahmininde akım sayma yöntemi kullanılmaktadır. İstenilmesi durumunda bataryaya ait bilgiler kablosuz haberleşme modülleri ile uzaktan bilgisayarda tasarlanan görsel arayüz üzerinde izlenebilmekte ve SD karta kayıt edilmektedir.

Tasarlanan batarya kutusu ile hem batarya hem de batarya yönetim sistemi devrelerinin korunması sağlanmaktadır. Batarya kutusu üzerine montaj edilen fanlar sayesinde şarj-deşarj işlemleri sırasında soğutma işlemi yapılabilmektedir. Bu çalışma ile batarya hücrelerinin gerilim ve sıcaklıkları izlenerek, bataryanın aşırı şarj, aşırıdeşarj ve aşırı sıcaklıktan korunması sağlanmıştır. Böylece batarya ömrünün arttırılması sağlanmış ve elektrikli araçlar için bulanık mantık denetimli modüler tip düşük maliyetli batarya yönetim sistemi geliştirilmiştir.

Gelecekte batarya verilerinin sürekli kaydı ile kondisyon izleme yapılabilir. Yapay zeka teknikleri kullanılarak batarya ömrü ve güvenliği konusunda tahminler ve optimizasyonlar yapılabilir. Elektrikli araçlarda anlık çalışma koşullarına göre gidebileceği mesafe hakkında tahmin yapılabilir.



KAYNAKLAR

1. Li, S. and Zhang, C., “Study on battery management system and lithium-ion battery”, *International Conference on Computer and Automation Engineering*, 218-222 (2009).
2. Kovats, R. S. and Haines, A., “Global climate change and health: recent findings and future steps”, *Canadian Medical Association Journal*, 172(4): 501-502 (2005).
3. Mökükcü M. S., “Electric Vehicle Powertrain Design and Implementation”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2014).
4. Purwadi, A., Dozeno, J. and Heryana, N., “Testing Performance of 10 kW BLDC Motor and LiFePO₄ Battery on ITB-1 Electric Car Prototype”, *Procedia Technology*, 11: 1074-1082 (2013).
5. Zheng, M., Qi, B. and Wu, H., “A Li-Ion battery management system based on CAN-bus for electric vehicle”, *Industrial Electronics and Applications, 2008. ICIEA 2008. 3rd IEEE Conference on*, 1180-1184 (2008).
6. Li, W., Fu, Y., Liu, T., Chu, P., Wang, J. and Chen, H., “Battery equalization based on state of charge”, *Systems and Informatics (ICSAI), 2014 2nd International Conference on*, 159-163 (2014).
7. Haq, I. N., Saputra, R. H., Edison, F., Kurniadi, D., Leksono, E. and Yulianto, B., “State of charge (SoC) estimation of LiFePO₄ battery module using support vector regression”, *Electric Vehicular Technology and Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering (ICEVT & IMECE), 2015 Joint International Conference*, 16-21 (2015).
8. Baronti, F., Fantechi, G., Roncella, R. and Saletti, R., “High-efficiency digitally controlled charge equalizer for series-connected cells based on switching converter and super-capacitor”, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 9(2): 1139-1147 (2013).
9. Conte, M., Vellucci, F. and Pasquali, M., “Design procedures of lithium-ion battery systems: The application to a cable railway”, *Clean Electrical Power (ICCEP), 2011 International Conference on*, 257-264 (2011).
10. Shi-Qi, A., An-ning, Q. and Yu-wei, Z., “Design and realization of SPI interface in lithiumion battery voltage measuring system”, *Computer Science & Education (ICCSE), 2011 6th International Conference on*, 83-87 (2011).

11. S Qaisar, S. M., Dallet, D., Desprez, P. and Benjamin, S., “An evaluation methodology for the Li-Ion battery multiplexed voltage measurement systems”, *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2010 IEEE* 785-788 (2010).
12. Miyamoto, H., Morimoto, M. and Morita, K., “On-line SOC estimation of battery for wireless tram car”, *Power Electronics and Drive Systems, 2007. PEDS'07. 7th International Conference on*,. 1624-1627 (2007).
13. Altun Ş., “Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Algoritması Tasarımı Ve Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze (2012).
14. Baykal T., “Lityum-Polimer Bataryalar İçin Batarya Yönetim Sistemi Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2013).
15. Kaiser, R., “Optimized battery-management system to improve storage lifetime in renewable energy systems”, *Journal of Power Sources*, 168(1): 58-65 (2007).
16. Gotaas, E. and Nettum, A., “Single cell battery management systems (BMS)”, *Telecommunications Energy Conference, 2000. INTELEC. Twenty-second International*, 695-702 (2000).
17. Lee, B. H. and Kim, S. W., “Development of battery management system for nickel–metal hydride batteries in electric vehicle applications”, *Journal of Power Sources*, 109(1): 1-10 (2002).
18. Vo, T. T., Chen, X., Shen, W. and Kapoor, A., “New charging strategy for lithium-ion batteries based on the integration of Taguchi method and state of charge estimation”, *Journal of Power Sources*, 273: 413-422 (2015).
19. Soylu, E., “Bataryaların Kondisyonlarını İzleyerek Yapay Sinir Ağları İle Batarya Türü ve Şarj Durumu Tahmini”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2016).
20. Soylu, E., Soylu, T. and Bayir, R., “Design and Implementation of SOC Prediction for a Li-Ion Battery Pack in an Electric Car with an Embedded System”, *Entropy*, 19(4): 146 (2017).
21. Morstyn, T., Momayyezani, M., Hredzak, B. and Agelidis, V. G., “Distributed control for state-of-charge balancing between the modules of a reconfigurable battery energy storage system”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31(11): 7986-7995 (2016).
22. Fang, L., Li, J. Q. and Shi, W., “Design and Implementation of the State Monitoring and Balancing Management of Vehicle Power Battery”, *Energy Procedia*, 105: 2725-2732 (2017).

23. Bayır, R. and Turgut, M., “Fuzzy logic controlled battery management system design for electrical vehicle batteries”, *Entech*, 5-16 (2017).
24. Turgut, M., Bayır, R. and Duran, F., “CAN communication based modular type battery management system for electric vehicles”, *Elektronika ir Elektrotechnika*, (2018). (Kabul edildi)
25. Malkhandi, S., Sinha, S. K. and Muthukumar, K., “Estimation of state of charge of lead acid battery using radial basis function”, *Industrial Electronics Society, 2001. IECON'01. The 27th Annual Conference of the IEEE*, 1: 131-136 (2001).
26. Avgın, M. S., Yılmaz, A. S. ve Ünsal, M., “Lityum İon Bataryaların Deşarj Durumu Davranışlarının Genetik İfade Programlama İle Kestirimi”, *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 17 (1): (2014).
27. Nair, N. K. C. and Garimella, N., “Battery energy storage systems: Assessment for small-scale renewable energy integration”, *Energy and Buildings*, 42(11): 2124-2130 (2010).
28. S Baker, J., “New technology and possible advances in energy storage”, *Energy Policy*, 36 (12): 4368-4373 (2008).
29. Kurzweil, P. “Gaston Planté and his invention of the lead–acid battery—The genesis of the first practical rechargeable battery”, *Journal of Power Sources*, 195(14); 4424-4434 (2010).
30. Tuğru, M. S., “Atık çinko-karbon ve alkali pillerden çinko ve mangan geri kazanımı”, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (2009).
31. Sayılğan, E., “Kullanılmış pillerden çinko ve mangan metallерinin geri kazanımı ekonomik analiz ve matematik modelleme”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (2009).
32. Yu, H. and Xie, T., Paszcyński, S., and Wilamowski, B. M., “Advantages of radial basis function networks for dynamic system design”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58 (12): 5438-5450 (2011).
33. Larminie, J. and Lowry, J., “Electric vehicle technology explained”, *John Wiley&Sons, Ltd.*, (2003).
34. Linden D., Reddy T. B., “Handbook of Batteries, 3rd ed”, McGraw-Hill Press, New York, (2001).
35. Atabay, M., “Lityum-iyon Bataryaların Fotovoltaik Sistemlerde Uygulanabilirliğinin Diğer Batarya Tipleri ile Karşılaştırılmalı Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2006).

36. Moshirvaziri A., “Lithium-Ion Battery Modeling for Electric Vehicles and Regenerative Cell Testing Platform”, Master Thesis, *University of Toronto, Graduate Department of Electrical and Computer Engineering*, Canada (2013).
37. İnternet: Battery Type Specific Power Comparison, http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion (2017).
38. Van den Bossche, P., Vergels, F., Van Mierlo, J., Matheys, J. and Van Autenboer, W., “An assessment of sustainable battery technology”, *Journal of power sources*,162(2): 913-919 (2006).
39. Yu, H., Xie, T., Paszczynski, S. and Wilamowski, B. M., “Advantages of radial basis function networks for dynamic system design”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58 (12): 5438-5450 (2011).
40. İnternet: Battery Type Specific Power Comparison <http://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html> (2017).
41. Andrea, D., “Battery management systems for large lithium-ion battery packs”, *Artech house*, (2010).
42. Affanni, A., Bellini, A., Franceschini, G., Guglielmi, P. and Tassoni, C., “Battery choice and management for new-generation electric vehicles”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 52 (5): 1343-1349 (2005).
43. Daowd, M., Omar, N., Van Den Bossche, P. and Van Mierlo, J., “Passive and active battery balancing comparison based on MATLAB simulation”, *Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 1-7 (2011).
44. Zhang, X., Liu, P. and Wang, D., “The design and implementation of smart battery management system balance technology”, *Journal of Convergence Information Technology*, 6(5): 108-116 (2011).
45. Cadar, D. V., Petreus, D. M. and Patarau, T. M., “An energy converter method for battery cell balancing”, *Electronics Technology (ISSE), 2010 33rd International Spring Seminar on*. 290-293 (2010).
46. Speltino, C., Stefanopoulou, A. and Fiengo, G. “Cell equalization in battery stacks through state of charge estimation polling”, *American Control Conference (ACC)*, 5050-5055 (2010).
47. İnternet: Panasonic, “NCR18650PF bataryanın teknik özellikleri”, <http://www.omnitron.cz/download/datasheet/NCR-18650PF.pdf>
48. İnternet: Lem Solutions for Electrical Measurements, “Voltage Transducer LV 25-P Datasheet”, http://www.lem.com/docs/products/lv_25-p.pdf (2017).
49. D. Information, “LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors,” *Texas Instruments*, (2017).

50. S Önen, Ü., “İnsan yürüyüşünü destekleyici dış iskelet tasarımı ve kontrolü”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2011).
51. Albert, A., “Comparison of event-triggered and time-triggered concepts with regard to distributed control systems”, *Embedded world*, 2004, 235-252 (2004).
52. Tindell, K., Burns, A. and Wellings, A. J., “Calculating controller area network (CAN) message response times” *Control Engineering Practice*, 3(8), 1163-1169 (1995).
53. Johansson, K. H., Törngren, M. and Nielsen, L., “Vehicle applications of controller area network”, *Handbook of networked and embedded control systems*, 741-765 (2005).
54. Pazul, K., “Controller area network”, *Microchip Technology Inc*, 1, (1999).
55. Lawrenz, W., “CAN system engineering”, *From theory to practical applications*, New York, (1997).
56. Davis, R. I., Burns, A., Bril, R. J. and Lukkien, J. J. “Controller Area Network (CAN) schedulability analysis: Refuted, revisited and revised”, *Real-Time Systems*, 35(3), 239-272 (2007).
57. Tindell, K., Hanssmon, H. and Wellings, A. J., “Analysing Real-Time Communications: Controller Area Network (CAN)”, *In RTSS*, 259-263 (1994).
58. Kutlu, A., “MicroLab: a Web-based multi-user remote microcontroller laboratory for engineering education”, *International Journal of Engineering Education*, 20(5), 879-885 (2004).
59. Farsi, M., Ratcliff, K. and Barbosa, M., “An overview of controller area network”, *Computing & Control Engineering Journal*, 10(3), 113-120 (1999).
60. Ekiz, H., Kutlu, A., Baba, M. D. and Powner, E. T., “Performance analysis of a CAN/CAN bridge”, *In Network Protocols, 1996. Proceedings., 1996 International Conference on*, 181-188 (1996).
61. Zuberi, K. M. and Shin, K. G., “Non-preemptive scheduling of messages on controller area network for real-time control applications”, *In Real-Time Technology and Applications Symposium, 1995. Proceedings*, 240-249 (1995).
62. Zadeh, L., “Communication Fuzzy Algorithms,” *Inf. Control*, vol. 12, pp. 94–102, (1968).
63. Tiryaki, A. E. ve Kazan, R., “Bulaşık makinesinin bulanık mantık ile modellenmesi.”, *Mühendis ve Makine*, 48(565), 3-8 (2007).
64. Güvenç, U., Sönmez, Y. ve Biroğul, S., “Bulanık Mantık Denetimli DA-DA Çeviricileri için Geliştirilen Bir Eğitim Seti”, *Politeknik Dergisi*, 10(4), (2007).

65. Altaş, İ. H., “Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı”, *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 62, 80-85 (1999).



ÖZGEÇMİŞ

Mustafa TURĞUT, 1 Ocak 1993'te Bolu Merkezde doğdu. İlköğretimini Koroğlu İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Ortaöğretimini Bolu Merkez Anadolu Teknik Lisesinde okul ikincisi olarak tamamladı. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümüne yerleşti. 2015 yılı Haziran ayında lisans programından başarı ile mezun oldu. Eğitimine Karabük Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrencisi olarak devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Demirciler Köyü Hacıbeyler Mahallesi No: 134 MERKEZ / BOLU

Tel : +90 (538) 652 26 52

E-posta : turgut.mustafa@hotmail.com