

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ELEKTRİKLİ VE HİBRİT ARAÇLAR İÇİN İOT TABANLI
BATARYA SAĞLIK VE ŞARJ DURUMU KESTİRİMİ
SİSTEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSMAİL GÜRBÜZ

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2023

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ELEKTRİKLİ VE HİBRİT ARAÇLAR İÇİN İOT TABANLI
BATARYA SAĞLIK VE ŞARJ DURUMU KESTİRİMİ
SİSTEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSMAİL GÜRBÜZ

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2023

Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2022FEBE030 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İSMAİL GÜRBÜZ

ÖZET

ELEKTRİKLİ VE HİBRİT ARAÇLAR İÇİN İOT TABANLI BATARYA SAĞLIK VE ŞARJ DURUMU KESTİRİMİ SİSTEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İSMAİL GÜRBÜZ
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA AYDIN)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2023

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, günümüzde kullanımları hızla artan elektrikli ve hibrit araçların Li-iyon bataryaları için IoT tabanlı ömür tahmini üzerine çalışılmıştır. Elektrikli ve hibrit araçların pazardaki yerini sağlamlaştırılmaları için batarya ömür sürelerinin bilinmesi önemli bir gerekliliktir. Bu çalışmada kesit bir Li-iyon batarya modelinin karakteristik verileri belirlenerek bu karakteristik verilere bağlı olarak eş değer batarya modellerinin ömür kestirimi yapılmıştır. Batarya paketinin akım, gerilim ve yüzey sıcaklığı verileri karakteristik belirleme sürecinde 500 çevrim boyunca her şarj-deşarj çevrimi için toplanmıştır. Toplanan veriler incelendiğinde şarj-deşarj profillerinde beklenen düşüş gözlemlenmiştir. Batarya modelinin tutulabilir kapasitesi 450. çevrimden sonra %70'in altına düşerek kullanılabilir ömür sonuna ulaşmıştır. Batarya karakteristik çıkarım sürecinde elde edilen şarj-deşarj profili ve tutulabilir kapasite değişim verilerine bağlı olarak Arduino IoT cloud sistemi ile program oluşturulmuştur. Ömür tahmini yapılacak Li-iyon batarya paketlerinin şarj-deşarj döngüleri ve hücrelerin durumları IoT takip sistemi ile izlenmiş ve veriler toplanmıştır. Toplanan verilere bağlı olarak bataryanın sağlık ve şarj durumu kestirimleri gerçekleştirilmiştir. Ömür kestirimi yapılacak olan eş değer batarya paketi üzerinden alınan akım, gerilim, batarya yüzey sıcaklığı, ortamın sıcaklık ve nem değerleri sensörler ile alınmış, IoT tabanlı olarak arayüze aktarılmıştır. Sensörlerden alınan verilere bağlı olarak oluşturulan program ile bataryanın anlık sağlık durumu, anlık şarj durumu ve yüzey sıcaklığı verileri işlenerek son kullanıcının görebileceği şekilde arayüze aktarılmıştır. Böylelikle Li-iyon batarya paketi üzerinde kullanılabilen IoT tabanlı haberleşme gerçekleştirebilen başarılı bir modül elde edilmiştir. Geliştirilen modül ile Li-iyon batarya paketi uzakta olsa bile internete bağlı olduğu sürece kalan ömür tahmini yapılabilmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER: Batarya, Batarya Sağlık Durumu, Batarya Şarj Durumu, Elektrikli Araç, IoT (Internet of Things), MCU

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF IOT BASED BATTERY STATE OF HEALTH AND CHARGE ESTIMATION SYSTEM FOR ELECTRIC AND HYBRID VEHICLES

MSC THESIS

İSMAİL GÜRBÜZ

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

AUTOMOTIVE ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. MUSTAFA AYDIN)

DENİZLİ, AUGUST 2023

In this master's thesis, the focus was on IoT-based lifetime prediction for lithium-ion batteries used in electric and hybrid vehicles, whose usage has been rapidly increasing. Knowing the battery lifespan is crucial for solidifying the position of electric and hybrid vehicles in the market. In this study, a cross-sectional lithium-ion battery model's characteristic data was determined, and based on these characteristics, lifetime estimation of equivalent battery models was performed. During the characteristic determination process, current, voltage and surface temperature data of the battery pack were collected for each charge-discharge cycle for 500 cycles. The collected data revealed the expected decrease in charge-discharge profiles. The maintainable capacity of the battery model dropped below 70% after the 450th cycle, indicating the end of usable lifetime. A program was developed using the Arduino IoT cloud system based on the charge-discharge profile and maintainable capacity change data obtained during the battery characteristic inference process. Charge-discharge cycles of the lithium-ion battery packs to be used for lifetime prediction and the states of the cells were monitored and the data was collected through an IoT tracking system. Based on the collected data, estimations of battery health and charge status were made. Current, voltage, battery surface temperature, ambient temperature, and humidity values were obtained through sensors from the equivalent battery pack used for lifetime estimation and transferred to the interface in an IoT-based manner. By processing the instantaneous health status, charge status, and surface temperature data of the battery through the program created based on the acquired sensor data, the information was transferred to the interface in a way that the end-user could visualize. Consequently, a successful module capable of IoT communication on the lithium-ion battery pack was achieved. With the developed module, lifetime prediction can be made even if the lithium-ion battery pack is located remotely, as long as it is connected to the internet.

KEYWORDS: Battery, Battery State of Health, Battery State of Charge, Electric Vehicle, IoT (Internet of Things), MCU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİLERİ	3
2.1 Elektrikli Araçların Günümüzdeki Önemi	3
2.1.1 Elektrikli Araçların Avantajları	3
2.1.2 Elektrikli Araçların Dezavantajları.....	3
2.2 Tamamen Elektrikli Araçlar	4
2.3 Hibrit Araçlar (HEV).....	6
2.3.1 Mild Hibrit (Hafif Hibrit)	6
2.3.2 Tam Hibrit.....	7
2.3.3 Seri Hibrit	7
2.3.4 Paralel Hibrit.....	8
2.3.5 Plug-in Hibrit Araçlar (PHEV).....	8
2.3.6 Yakıt Hücreli Araçlar (FCEV).....	9
3. BATARYALARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ VE	
PARAMETRELERİ	10
3.1 Bataryalar	10
3.1.1 Batarya Parametreleri	10
3.1.1.1 C-Oranı.....	10
3.1.1.2 Anlık Şarj Durumu (SoC)	11
3.1.1.3 Anlık Sağlık Durumu (SoH)	11
3.1.2 Primer Bataryalar/Piller	12
3.1.3 Sekonder Bataryalar/Piller.....	13
3.1.3.1 Kurşun-Asit Bataryalar/Piller.....	14
3.1.3.2 Nikel-Kadmiyum (Ni-Cd) Bataryalar/Piller	15
3.1.3.3 Nikel-Metal Hidrit Bataryalar/Piller (Ni-MH).....	16
3.1.3.4 Li-İyon Bataryalar/Piller	18
3.1.3.4.1 Li-İyon Bataryaların Şarj Profili.....	21
3.1.3.4.2 Li ⁺ Bazlı Piller.....	21
4. BATARYA KAPASİTESİNİN KESTİRİM YÖNTEMLERİ	24
4.1 Deneysel Teknikler.....	24
4.1.1 Doğrudan Ölçüm Teknikleri	24
4.1.1.1 Ah Sayma Yöntemi	24
4.1.1.2 Kapasite Testi.....	25
4.1.1.3 Ohmik İç Direnç Yöntemi.....	26
4.1.1.4 Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS)	26
4.1.1.5 Yıkıcı Test Tekniği	27
4.1.1.6 Şarj-Deşarj Çevrimi Sayma Tekniği	28
4.1.2 Dolaylı Değerlendirme Teknikleri.....	29

4.1.2.1	Şarj Eğrisi Tekniği (CC-CV)	29
4.1.2.2	Ultrasonik Analiz Tekniği.....	30
4.1.2.3	Arttırımsal Kapasite Analizi (ICA) ve Diferansiyel Kapasite Analizi (DVA) Tekniği	31
4.1.2.4	Akustik Emisyon Tekniği	33
4.1.2.5	Fiber Bragg Izgara Tekniği	34
4.2	Model Tabanlı Tahmin Teknikleri	35
4.2.1	Verilere Dayalı Teknikler	35
4.2.1.1	Optimizasyon Algoritmaları Tekniği	36
4.2.1.2	Empirik ve Uyumlu Teknikler	36
4.2.1.3	Örnek Entropi Teknikleri	37
4.2.1.4	Makine Öğrenimi Teknikleri.....	37
4.2.2	Adaptif Filtreleme Teknikleri	38
4.2.2.1	Elektrokimyasal Model Tabanlı Teknik	38
4.2.2.2	Eşdeğer Devre Model Tabanlı Teknik	39
4.2.2.3	Hibrit Teknikler.....	39
5.	BATARYA SAĞLIK TAHMİNİNE İLİŞKİN YÖNTEMLER.....	40
5.1	Li-İyon Bataryaların Sağlık Tahmini	40
5.2	Genişletilmiş Kalman Filtresi (EKF)	41
5.3	XGBoost Algoritması.....	42
5.4	Benzer Yöntemler.....	42
5.4.1	Yapay Sinir Ağları (ANN).....	42
5.4.2	Destek Vektör Makineleri (SVM)	43
5.4.3	K-En Yakın Komşu (KNN)	44
5.4.4	Karar Ağaçları.....	45
5.4.5	Doğrusal Regresyon (Linear Regresyon)	46
6.	INTERNET OF THINGS (IoT) TEKNOLOJİSİ.....	47
6.1	IoT'nin Önemi.....	47
6.2	IoT'nin Kullanıldığı Alanlar.....	48
6.3	IoT'nin Elektrikli Araçlarda Kullanımı	49
6.3.1	Batarya Yönetimi	49
6.3.2	Akıllı Şarj İstasyonları	50
6.3.3	Araç Konum İzleme	50
6.3.4	Arıza Tespiti	51
6.4	Elektrikli Araç Markalarının IoT Kullanımına Örnekler	51
7.	LİTERATÜR ÖZETİ.....	53
8.	MATERYAL VE YÖNTEM	57
8.1	Materyal.....	57
8.1.1	Batarya Karakteristiği Belirleyici Devrenin Kurulumu.....	57
8.1.2	Batarya Ömür Kestirim Devresinin Kurulumu.....	62
8.2	Metot	66
8.2.1	Batarya Karakteristik Devresinin Kurulumu ve İşletilmesi.....	66
8.2.1.1	Kapasite Değişim Verilerinin Elde Edilmesi	70
8.2.1.2	Sıcaklık Değişim Verilerinin Elde Edilmesi	70
8.2.2	Batarya Ömür Kestirim Devresinin Çalışması	70
9.	BULGULAR	76
9.1	Batarya Karakteristik Verileri	76
9.1.1	Batarya Kapasitesinin Değişim Verileri	76
9.1.2	Batarya Veriminin Değişimi	78
9.1.3	Batarya Yüzey Sıcaklıklarının Değişim Verileri	79

9.1.4	Batarya Şarj Profili Değişimi.....	79
9.2	Batarya Ömür Kestirim ve Anlık Şarj Durumun Belirlenmesi	80
10.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	82
11.	KAYNAKLAR.....	84
12.	ÖZGEÇMİŞ.....	97

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Elektrikli aracın komponentleri	5
Şekil 2.2: Hibrit Aracın yapısı	6
Şekil 2.3: Plug-in hibrit aracın şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.4: Yakıt hücreli otomobilin şematik gösterimi	9
Şekil 3.1: Çevrime bağlı kapasite grafiği.....	12
Şekil 3.2: Çinko-karbon pil kesiti	13
Şekil 3.3: Kurşun-asit batarya kesiti	15
Şekil 3.4: Ni-Cd pil yapısı.....	16
Şekil 3.5: Ni-MH pil yapısı.....	17
Şekil 3.6: Ni-MH elektrikli araç batarya paketi	18
Şekil 3.7: Audi E-tron batarya ve elemanları.....	19
Şekil 3.8: Li-iyon pil hücresi elemanları.....	20
Şekil 3.9: Li-iyon pil hücresinin elektrokimyasal süreci	20
Şekil 3.10: Li-iyon batarya şarj profili.....	21
Şekil 3.11: Li ⁺ bazlı pillere ait performans karakteristikleri.....	23
Şekil 4.1: Li-iyon için Nyquist Eğrisi	27
Şekil 4.2: Eşdeğer devre modellenmiş empedans ölçüm şeması.....	27
Şekil 4.3: Bozulmamış ve döngüye girmiş Li-iyon anotlarının elektron mikroskopu görüntüleri	28
Şekil 4.4: Panasonic NCR18650B Kapasite/Çevrim grafiği.....	29
Şekil 4.5: Li-iyon batarya sağlığının izlenmesi için kurulan ultrasonik analiz şeması	31
Şekil 4.6: C/25 oranı ile şarj edilen Li-iyon hücrelerin ICA yaşlanması	32
Şekil 4.7: Batarya kapasitesine bağlı dV/dQ eğrisi.....	33
Şekil 4.8: Akustik emisyon tekniği ile batarya sağlık durum görüntüleme şeması	34
Şekil 4.9: Akustik emisyon tekniğine göre yeni ve eski hücrelere ait analizler	34
Şekil 5.1: Batarya sağlık tahmin süreci.....	40
Şekil 5.2: Çift ölçekli genişletilmiş Kalmanfiltresi.....	41
Şekil 5.3: Eğitilmiş SVM yöntemleri ile çevrimiçi SoH tahmin şeması	44
Şekil 5.4: Karar ağaçları algoritması ile gerçek sağlık durumu kıyaslandırılması	45
Şekil 6.1: Yıllara bağlı IoT kullanım ve tahmin grafiği.....	47
Şekil 6.2: BYS ve IoT modülünün çalışma şeması.....	49
Şekil 6.3: Şarj istasyonlarının IoT ile çalışması.....	50
Şekil 6.4: Elektrikli motorun takip sistemi	51
Şekil 8.1: Panasonic NCR 18650PF Li-iyon pil hücresi.....	58
Şekil 8.2: Panasonic NCR18650PF Li-iyon pil hücresinin karakteristik özellikleri.....	58
Şekil 8.3: HX-6S-12A Batarya yönetim sistemi.....	59
Şekil 8.4: Güç kaynakları, (a) 12 VDC güç kaynağı, (b) MRW-120-24-S VDC güç kaynağı	60
Şekil 8.5: Voltaj düşürücü devresi; (a) XL4015 akım ve voltaj regülatörü, (b) 4.5-30 V DC dijital voltmetre.....	60

Şekil 8.6: Akım sayma ve sıcaklık okuma devresi; (a) Max 6675 sıcaklık sensörü, (b) ACS712 akım sensörü, (c) Arduino Uno	61
Şekil 8.7: 24 V yük bankası	61
Şekil 8.8: ESP8266-12E yongasını barındıran NodeMCU v2 modülü.....	62
Şekil 8.9: ADS1115 16 bit 4 kanal ADC modülü.....	63
Şekil 8.10: 100 k Ω direnç	64
Şekil 8.11: Gerilim bölücü devre	64
Şekil 8.12: DHT22 sıcaklık ve nem algılayıcı sensörü.....	65
Şekil 8.13: XL4015 Regülatör devresi.....	65
Şekil 8.14: Oluşturulan batarya paketi	66
Şekil 8.15: Şarj akım sayma devresi	68
Şekil 8.16: MATLAB ortamında alınan şarj akımı ve yüzey sıcaklığı verilerinin txt dosyası	68
Şekil 8.17: Deşarj akım sayma devresi	69
Şekil 8.18: MATLAB ortamında alınan deşarj akımı ve yüzey sıcaklığı verilerinin txt dosyası	69
Şekil 8.19: Batarya ömür kestirim devre şeması.....	71
Şekil 8.20: Batarya ömür kestirim devresinin IoT Cloud platformu ile işleyişi.....	72
Şekil 8.21: Şarj deşarj döngü ömrü belirleme algoritması.....	73
Şekil 8.22: Ömür kestirim devresi şarj periyodu	74
Şekil 8.23: Ömür kestirim devresi deşarj periyodu.....	75
Şekil 9.1: Şarj kapasitesinin çevrime bağlı değişim grafiği.....	76
Şekil 9.2: Deşarj kapasitesinin çevrime bağlı değişim grafiği.....	77
Şekil 9.3: Çevrim sayısına bağlı batarya verimi	79
Şekil 9.4: Çevrimlere bağlı şarj profili grafikleri; a: 1. çevrim, b: 250. çevrim, c: 500. çevrim.....	80
Şekil 9.5: (a) Şarj, (b) deşarj süreçlerinde arayüz ekran görüntüsü	81

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Kurşun-asit batarya performans değerleri	15
Tablo 3.2: Nikel-kadmiyum batarya performans değerleri.....	16
Tablo 3.3: Nikel-MH batarya performans değerleri	18
Tablo 3.4: Li+ bazlı pillere ait teknik özellikler	22
Tablo 4.1: Eddahec ve diğ. (2014) tarafından LMO batarya üzerinde yapılan çevrim sonuçları	30
Tablo 5.1: 4 farklı makine öğrenmesi yönteminin R2 skoru	46
Tablo 9.1: Kapasitelerin çevrime bağlı yüzdelik değişimleri	78

SEMBOL LİSTESİ

A	:	Amper
Al	:	Alüminyum
ANN	:	Yapay Sinir Ağları
BEV	:	Tamamen Elektrikli Araçlar
BYS	:	Batarya Yönetim Sistemi
CC	:	Sabit Akım
Cd	:	Kadmiyum
cm	:	Santimetre
CNN	:	Evrişimli Sinir Ağı
Co	:	Kobalt
CV	:	Sabit Gerilim
DC	:	Doğru Akım
DoD	:	Deşarj Oranı ve Derinliği
DVA	:	Diferansiyel Kapasite Analizi
SVM	:	Destek Vektör Makinesi
EIS	:	Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
EKF	:	Genişletilmiş Kalman Filtresi
EoL	:	Kullanılabilir Ömür Sonu
FCEV	:	Yakıt Hücreli Araçlar
Fe	:	Demir
GA	:	Genetik Algoritmalar
GPR	:	Gauss Süreç Regresyonu
H	:	Hidrojen
h	:	Saat
HEV	:	Hibrit Araçlar
HPPC	:	Hibrit Darbe Güç Karakterizasyonu
Hz	:	Hertz
ICA	:	Arttırımsal Kapasite Analizi

IoT	:	Nesnelerin İnterneti
kg	:	Kilogram
KNN	:	K-En Yakın Komşu
kW	:	Kilowatt
kΩ	:	Kiloohm
L	:	Litre
LCO	:	Lityum Kobalt Oksit (LiCoO ₂)
Li	:	Lityum
LMO	:	Lityum Mangan Dioksit (LiMn ₂ O ₄)
LTO	:	Lityum Titanat (Li ₄ Ti ₅ O ₁₂)
mAh	:	Miliamper saat
MCU	:	Mikrodenetleyici
MH	:	Metal Hidrit
ML	:	Makine Öğrenimi
Mn	:	Manganez
MPSO	:	Çoklu Parçacık Sürü Optimizasyonu
mV	:	Mili volt
NCA	:	Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit (LiNiCoAlO ₂)
Ni	:	Nikel
NMC	:	Lityum Nikel Mangan Kobalt Oksit (LiNiMnCoO ₂)
O	:	Oksijen
Pb	:	Kurşun
PDR	:	Paket Teslim Oranı
PHEV	:	Plug-in Hibrit Araçlar
PSO	:	Parçacık Sürü Optimizasyonu
PVA	:	Kısmi Akım Voltajı
R	:	Direnç
s	:	Saniye
SEI	:	Katı Elektrolit Arayüz Tabakası

SoC	:	Anlık Şarj Durumu
SoH	:	Anlık Sağlık Durumu
STCP	:	Kısa Süreli Akım Darbesi Testi
SVM	:	Destek Vektör Makineleri
Ti	:	Titanyum
TPM	:	Tek Parçacık Modeli
W	:	Watt
V	:	Volt
°C	:	Santigrat Derece

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamda, kıymetli tecrübelerini sabırla bana aktaran, deneysel süreçlerin yürütülmesi ve raporlanması süreçlerinde desteğini asla eksik bırakmayan tez danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmama gerek tecrübeleriyle gerekse motivasyonları ile katkılarından asla mahrum kalmadığım, bölüm hocalarıma ve Öğr. Gör. Mustafa ALVER'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle motivasyonumu her zaman en üst seviyede tutan, hatta deneysel süreçlerde de katkılarını benden esirgemeyen biricik anneciğime ve hayat arkadaşıma en kalbi teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Geçen yıllar boyunca akaryakıtlı araçların kullanımı gezegendeki hava kirliliğinin artmasında büyük bir etkidir. Akaryakıtlı araçların salgıladığı emisyonlar sera gazları oluşumunu arttırdığı için ozon tabakasındaki deliğin genişlemesine sebep olmaktadır. Tabakadaki deliğin genişlemesi dolayısıyla gezegendeki iklim değişiklikleri günümüzde görülen bariz sonuçlardandır (Haidar ve diğ. 2014). Araçlar günlük yaşantımızda ulaşım, nakliye ve konfor anlamında hayatımızın büyük bölümünde yer alırlar ve kullanımları bir gerekliliktir. Dizel ve benzin çevrimli araçların kullanımının çevre kirliliği ve petrol rezervlerini azaltma gibi büyük bir dezavantajı olduğu için elektrikli araç fikri sektörde yeniden gün yüzüne çıkmıştır.

Elektrikli araçlar fosil yakıtlı araçlara kıyasla daha az karbon emisyonuna sahip olmaları nedeniyle çevre dostudur. Ayrıca elektrikli araçlar, enerji verimliliği ve düşük işletme maliyetleri nedeniyle sürdürülebilir bir seçenektir (Haidar ve diğ. 2014). Elektrikli araçlarda DC motor, batarya paketinden DC motorun ihtiyacı olan depolanmış elektriği kullanarak tahriki dört tekere iletir. Çalışma esnasında sıfır emisyon değerleriyle doğaya zarar vermezler, bununla birlikte sessiz ve konforlu bir sürüş imkânı sağlarlar. Fakat elektrikli araç pazarının gelişimi ve kullanımının artması için kullanıcıların menzile, şarj edilebilirlik ve batarya ömrü hakkındaki endişeleri ortadan kaldırılmalıdır (Gelmanova ve diğ. 2018, Özbay ve diğ. 2020). Elektrikli aracın ihtiyacı olan elektrik enerjisini depolama görevi için ise günümüzde en uygun batarya çeşidi Li-iyon bataryalardır. Li-iyon bataryalar en verimli bataryalar olsa da iyileştirmeye ihtiyaçları vardır. Li-iyon pillerin kullanımı için maliyeti düşmeli ve batarya ömürlerinin kestirimlerinin yapılabilmesi büyük önem taşımaktadır (Deng 2015, Wang ve diğ. 2020). Pil ömürlerinin tahmin edilebilmesi bu süreçte zordur çünkü Li-iyon pillerin ömrü araç sürücüsünün sürüşüne, şarj-deşarj döngülerine ve sürücünün şarj etme alışkanlıklarına göre değişebilmektedir (Gerssen-Gondelach ve Faaij 2012, Wang 2019). Batarya kalan ömür tahminleri için batarya paketi üzerinde veri ölçümleri yapılmaktadır. Elektrikli araç batarya sistemlerde gerçekleştirilen ölçümler ve toplanan veriler, genel olarak sistem işleyişinin kontrolü için kullanılmaktadır. Elde edilen bu bilgiler, belli bir zaman dilimi içerisinde sistem

verimliliğinin incelenmesi ve sistemin gelecekteki performansının artırılması için kullanılabilir. Gerçek zamanlı ölçüm ve analiz yapılması, elektrikli araç sistemlerinde yaşanabilecek arızalara zamanında müdahale edilebilmesi açısından önem kazanmaktadır. Ayrıca birden fazla kaynağın bulunduğu hibrit araç sistemlerinde de gerçek zamanlı ölçüm ve izleme sistemlerine ihtiyaç olduğu açıktır (Attidekou ve diğ. 2017, Asaad ve diğ. 2018, Abd Wahab ve diğ. 2018). Verilerin çevrimiçi takibi sağlık tahminleri ve yoruma açık diğer parametrelerin değerlendirilmesi açısından avantaj sağlamaktadır. Çevrimiçi veri takibi yapılabilmesi adına, nesnelerin interneti literatürdeki adı ile IoT (Internet of Things)'den yararlanılmaktadır. Nesnelerin interneti, fiziksel nesnelerin birbirleriyle veya daha büyük sistemlerle bağlantılı olduğu iletişim ağıdır. İnternet üzerinden diğer cihazlara ve sistemlere bağlanmak ve veri alışverişi yapmak amacıyla sensörler, yazılımlar ve diğer teknolojilerle gömülü olduğu bir ortamdır (Madakam ve diğ. 2015).

Literatürde elektrikli araç batarya sisteminin performansının denetlenmesi ve değerlendirilmesi (Gerssen-Gondelach ve Faaij 2012, Omariba ve diğ. 2019), akü doluluk oranlarının takibi (Sarrafan ve diğ. 2018, Sarrafan ve diğ. 2017, Li ve diğ. 2015) ve plug-in hibrit ve elektrikli araç gibi sistemlerinde elektriksel ve çevresel parametrelerin ölçülmesi (Wang ve diğ. 2019, Hua ve diğ. 2000) için oluşturulmuş veri toplama sistemleri olduğu bilinmektedir. Bu çalışmaların ortak özellikleri ölçüm verilerinin elde edilmesi için veri kaydedicilerin kullanılması ve belli periyotlarla bu verilerin bilgisayara iletilerek analiz edilmesidir. Gerçekleştirilen bu çalışmada, literatürde bulunan çalışmaların çoğunluğundan farklı olarak batarya karakteristik verileri ah sayma yöntemi ile elde edilmiş ve elde edilen verilerle ömür kestirimi için bir algoritma geliştirilmiştir. Batarya akımı, batarya gerilimi, batarya sıcaklığı ve ortam sıcaklığına ait veriler ilgili sensörler ile ölçülecektir. Ölçülen bu veriler IoT tabanlı olarak ara yüze aktarılacaktır. Böylece bataryaya ait veriler hazırlanan ara yüz programı ile anlık takip edilebilecek, çalışma koşullarına göre SoC (anlık şarj durumu), SoH (anlık sağlık durumu) ve sıcaklıktaki değişimler izlenebilecektir. Bataryaya ait verilerin anlık olarak izlenebilmesi sayesinde, olası bir arıza durumunda sisteme anında müdahale edilebilecektir. Çalışmada gerçekleştirilen ölçüm düzeneği ile elektriksel arıza tespiti, batarya verimi, sağlık ve şarj durumu, ömür tahmini hesaplamalarında kullanılabilir bir alt yapı oluşturulmuştur.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİLERİ

2.1 Elektrikli Araçların Günümüzdeki Önemi

Günümüzde iklim değişikliği, çevre kirliliği ve enerji tüketimi konuları her geçen gün daha önemli hale gelmektedir. Bu nedenle çevre dostu, enerji verimli ve sürdürülebilir çözümlere olan talep artmaktadır. Bu bağlamda elektrikli araçlar giderek daha fazla popülerlik kazanmaktadır. Elektrikli araçlar fosil yakıtlı araçlara kıyasla daha az karbon emisyonuna sahip olmaları nedeniyle çevre dostudur. Ayrıca elektrikli araçlar, enerji verimliliği ve düşük işletme maliyetleri nedeniyle sürdürülebilir bir seçenektir (Haidar ve diğ. 2014).

2.1.1 Elektrikli Araçların Avantajları

- Akaryakıtlı araçların salınladığı emisyonu salınlamayacak olması.
- Sürüş esnasında sessiz çalışması.
- Elektrik enerjisinin petrolden ucuz olması.
- Elektrikli motorun diğer motorlara göre sürtünme kaybı çok olmadığı için daha kolay tahrik vermesi.
- Elektrikli araçların akaryakıtlı araçlara oranla daha hızlı ivmelenip yavaşlama imkanına sahip olması.
- Şarj edilebilir yollar tamamlandığında sürüş esnasında da ikmal yapılabilecek olması (Gelmanova ve diğ. 2018).

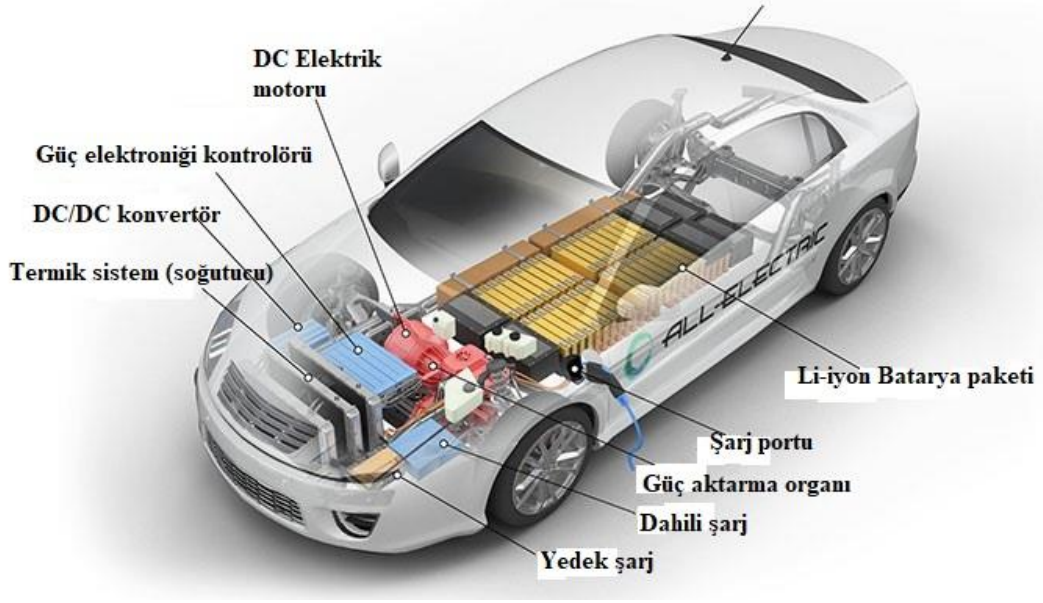
2.1.2 Elektrikli Araçların Dezavantajları

- Batarya paketlerinin maliyeti yüksek olması dolayısıyla elektrikli araçların da maliyetleri yüksektir.
- Şarj istasyonlarının henüz yaygınlaşmaması sebebiyle şarj sorunu vardır.
- Menzilleri akaryakıtlı araçlar kadar gelişmiş değildir.

- Yüksek batarya hacmine ve ağırlığına sahip olmaları da en büyük dezavantajlarındandır.
- Şarj sürelerinin ortalama 8-10 saati bulmaları ikmal süresini uzatmaktadır.
- Pazar anlamında geleneksel araçlara karşı kullanıcıları endişeye düşürmesi (Gelmanova ve diğ. 2018).

2.2 Tamamen Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçlar, geleneksel içten yanmalı motorlar yerine bir veya daha fazla fırçasız DC elektrik motoru kullanarak çalışan araçlardır. Bataryalar tarafından sağlanan elektrik enerjisini kullanarak tekerleklerle güç sağlamaktadırlar. Elektrikli araçların temel bileşeni bataryadır. Bu bataryalar, genellikle lityum-iyon veya nikel-metal hidrit gibi yüksek enerji yoğunluğuna sahip malzemelerden yapılmıştır. Bataryalar aracın altında veya arka bölümünde konumlandırılmıştır. Araç şarj istasyonlarından veya evdeki elektrik prizlerinden bataryaları şarj etmek mümkündür. Şarj edilen batarya elektrik motoruna güç sağlar. Elektrik motoru, bataryadan aldığı elektrik enerjisi ile tahrik oluşturur ve aracın ihtiyacı olan hareketi sağlar. Elektrik motoru, içten yanmalı motorlara kıyasla daha yüksek tork ve anlık hızlanma sağlamaktadır. Bu da elektrikli araçların geleneksel fosil yakıtlı araçlara oranla hızlı ve akıcı bir şekilde hareket etmesini sağlar. Bunlara ek olarak frenleme sırasında enerjinin geri kazanılması da önemli bir özelliktir. Bu sistem rejeneratif frenleme olarak adlandırılmaktadır. Frenleme anında oluşan kinetik enerji, elektrik motoruna geri beslenerek bataryalara depolanır. Bu sayede, frenleme sırasında enerji geri kazanılır ve bataryalar daha uzun sürüş menzili sağlamak için tekrar kullanılabilir (Özbay ve diğ. 2020). Şekil 2.1’de elektrikli bir aracın elemanları gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Elektrikli aracın komponentleri (Usta 2021)

Yedek şarj: Araç aksesuarları için kullanılan elektriği depolar.

Dahili Şarj: AC akımı doğrultarak sistemin DC akımını sağlar.

Şanzıman: Elektrikli motordan çıkan gücü gereken tork değerlerinde tekerlere aktarır.

Şarj Ünitesi: Bataryayı şarj etmek için kullanılan giriş.

Çekiş Gücü Batarya Takımı: Elektrikli motorun ihtiyacı olan elektriği depolar.

Termik Sistem: Araç motorunun ve ısınan diğer parçaların sıcaklık dengelemesini sağlar.

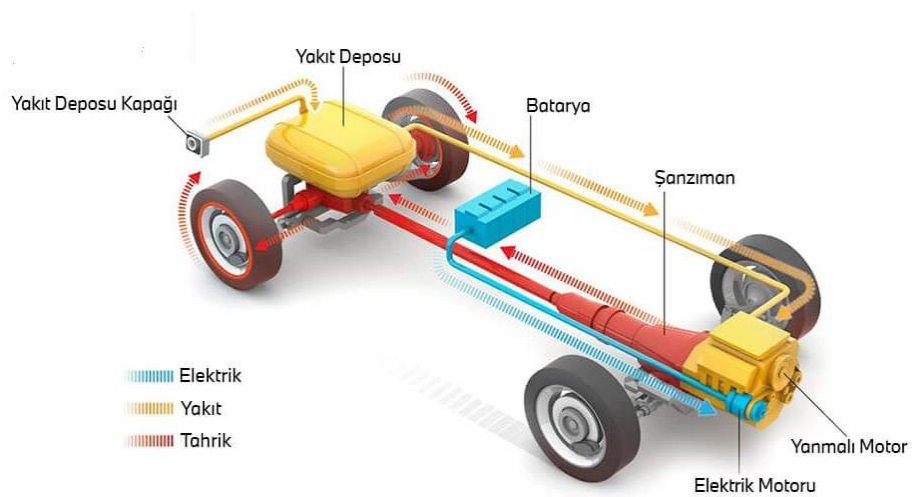
DC/DC Konvertör: Araç aksesuarlarının zarar görmemesi için ana bataryadan gelen yüksek voltajı düşük voltaja dönüştürerek yedek şarj bataryasını şarj eder.

Güç Elektroniği Kontrolörü: Sistemdeki elektrik akışı, hız ve üretilen torku belirleyerek sistemi düzenler. Bir nevi regülatördür.

Elektrikli CER Motoru: Bataryadan çektiği elektrik enerjisi ile tahrik sağlar (Usta 2021).

2.3 Hibrit Araçlar (HEV)

Hibrit otomobillerde tahrik hem içten yanmalı motor hem de elektrikli motor ile sağlanabilir. Araçta içten yanmalı motor için yakıt tankı, elektrikli motor için batarya bulunur. Elektrikli motor düşük güç gereksinimlerinde devreye girerek şehir içi kullanımlarda yakıt tasarrufunu sağlar. Şehir içi hızların üzerindeki hızlarda içten yanmalı motor devreye girer, içten yanmalı motorun devrede olduğu bu süre zarfında elektrikli motorun bataryasına da dolum yapılmaktadır (Mahmoudi ve diğ. 2014, Kerem 2014). Şekil 2.2’de hibrit bir aracın yapısı şematize edilmiştir.



Şekil 2.2: Hibrit Aracın yapısı (BMW 2023)

2.3.1 Mild Hibrit (Hafif Hibrit)

Mild hibrit araçlar, içten yanmalı motorlarla entegre edilmiş küçük elektrik motorları ile çalışmaktadır. Sistemde kullanılan elektrik motorları, yakıt tasarrufu sağlamak ve performansı artırmak için içten yanmalı motorları desteklemektedir. Mild hibritlerde, elektrik motoru genellikle aracın düşük hızlarda veya hızlanma esnasında yardımcı güç olarak kullanılır. Öte yandan, elektrik motoru aracı tek başına hareket ettiremez ve sürücünün gaz pedalına bastığı anda içten yanmalı motor devreye girer.

Mild hibritlerdeki elektrik motoru genellikle 48 V'luk bir elektrik sistemiyle çalışır. Bu sistem, enerji geri kazanımı ve start-stop teknolojilerinin kullanımına olanak sağlar (Cardoso ve diğ. 2020).

2.3.2 Tam Hibrit

Tam hibrit araçlar, içten yanmalı motorlarla entegre edilmiş daha büyük ve daha güçlü elektrik motorları ile çalışmaktadır. Bu elektrik motorları, aracı elektrik gücüyle hareket ettirebilir ve içten yanmalı motorlardan bağımsız halde çalışabilmektedir. Tam hibritler, içten yanmalı motoru ve elektrik motorunu birlikte veya bağımsız olarak kullanarak en iyi verimliliği sağlamak üzere tasarlanmıştır. Düşük hızlarda veya dur-kalk trafikte, elektrik motoru yalnızca elektrik gücüyle çalışabilir ve bu daha düşük yakıt tüketimine imkân tanır. Yüksek hızlarda veya daha fazla güç gerektiren durumlarda ise içten yanmalı motor devreye girer. Tam hibritlerde, enerji geri kazanımı ve rejeneratif frenleme gibi teknolojiler de kullanılmaktadır (Cardoso ve diğ. 2020).

2.3.3 Seri Hibrit

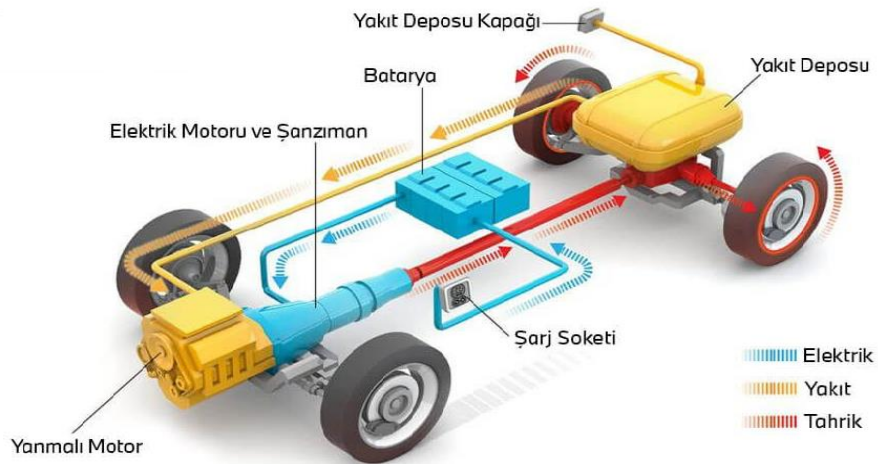
Seri hibrit araçlar, içten yanmalı motorun yalnızca elektrik motorunu şarj etmek için kullanıldığı bir yapıya sahiptir. İçten yanmalı motor doğrudan tekerleklere güç sağlamaz, sadece bataryayı şarj etmektedir. Elektrik motoru ise aracın hareketini sağlayan güç kaynağıdır. İçten yanmalı motor, yüksek verimlilikte çalışabilen bir devir aralığında çalışırken, elektrik motoru düşük hızlarda veya düşük güç gerektiren durumlarda kullanılır. Seri hibritler, elektrik motorunun sürekli olarak çalışması ve içten yanmalı motorun sürekli olarak optimizasyon için kullanılması nedeniyle yakıt verimliliğini arttırmaktadır. Bu tür hibritler genellikle şehir içi sürüşlerde ve düşük hızlarda yüksek verimlilik sağlamak için tercih edilmektedir (Prajapati ve diğ. 2014).

2.3.4 Paralel Hibrit

Paralel hibrit araçlar, içten yanmalı motor ve elektrik motorunun eşzamanlı olarak güç ürettiği hibrit araçlardır. İçten yanmalı motorlar ve elektrik motorları arasında güç paylaşımı yapılmaktadır. Sürücü taleplerine göre içten yanmalı motor ve/veya elektrik motoru devreye girer. Bu sistemde, içten yanmalı motor daha yüksek hızlarda veya yüksek güç gerektiren durumlarda çalışırken, elektrik motoru düşük hızlarda veya dur-kalk trafikte ek güç sağlamaktadır. Paralel hibritler, içten yanmalı motorun ve elektrik motorunun birlikte çalışmasıyla daha yüksek performans sağlar ve yakıt tüketimini azaltır (Prajapati ve diğ. 2014).

2.3.5 Plug-in Hibrit Araçlar (PHEV)

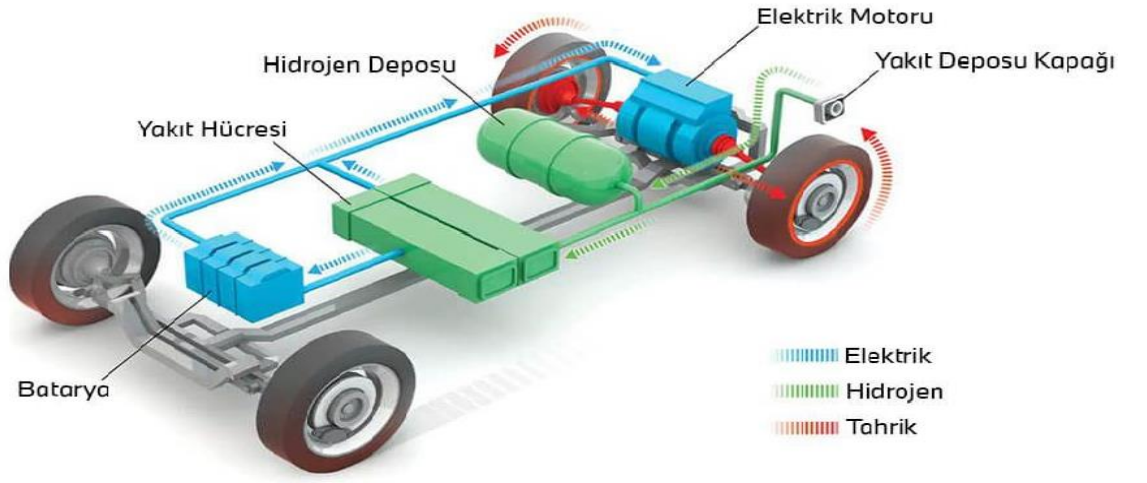
Plug-in hibrit araçlar, içten yanmalı motorlarının yanı sıra bir elektrik motoru ve bataryaya sahip araçlardır. Elektrik motoru, aracın hareket etmesini sağlamak için bataryadan güç alır. Batarya, prizden şarj edilebilir ve aynı zamanda içten yanmalı motor tarafından da sürüş esnasında şarj edilebilmektedir. Bu sayede, araç hem elektrikle hem de benzinle veya dizel yakıtla çalışabilir. (Emadi ve diğ. 2008, Kerem 2014). Şekil 2.3'te Plug-in hibrit araçların yapısı verilmiştir.



Şekil 2.3: Plug-in hibrit aracın şematik gösterimi (BMW 2023)

2.3.6 Yakıt Hücreli Araçlar (FCEV)

Yakıt hücreli araçlarda elektrik motoruna gücü sağlayan ana materyal hidrojen gazıdır. Araç sisteminde elektriği üretebilmek için hidrojen ve oksijen birleştirilir. Hidrojen ve oksijenin reaksiyonu sonucu açığa çıkan elektronlar ile elektrik temin edilir ve bataryaya dolum yapılır. Araç tamamen elektrikli çalışsa da yakıt ikmali için sisteme hidrojen ilave edilir. Sistemde elektrik girişi için herhangi bir soket bulunmaz (Mahmoudi ve diğ. 2014, Kerem 2014). Şekil 2.4'te yakıt hücreli bir aracın yapısı verilmiştir.



Şekil 2.4: Yakıt hücreli otomobilin şematik gösterimi (BMW 2023)

3. BATARYALARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ VE PARAMETRELERİ

3.1 Bataryalar

Depoladıkları kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilen pillerin gruplar halinde bir araya gelmesi ile bataryalar oluşmaktadır. Yani bataryaların yapıtaşları pillerdir. Piller depoladıkları kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çevirerek elektrik ihtiyacı olan cep telefonu, radyo, endüstriyel makineler ve arabalar gibi pek çok alanda gerekli elektrik enerjisini sağlarlar. Kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüşümünün tek yönlü olduğu piller primer yani şarj edilemez tek kullanımlık pillerdir. Primer pillerin aksine kimyasal enerji ve elektrik enerjisi dönüşümünün iki yönlü olabildiği piller şarj edilebilir pillerdir ve literatürde sekonder piller olarak adlandırılırlar (Budde-Meiwes ve diğ. 2013, Tskukamoto ve Tan 2007).

3.1.1 Batarya Parametreleri

3.1.1.1 C-Oranı

C-oranı basitçe, bataryanın şarj ve deşarj esnasındaki akımının bataryanın tam kapasitesine bölünmesidir. C-oranına göre bataryaların şarj ve deşarj süreleri değişkenlik göstermektedir. 3300 mAh'lik bir batarya paketi maksimum 1,65 A akım ile şarj edilecek ise, bataryanın şarj akımı 0,5 C olarak değerlendirilir. Bataryaların yüksek C-oranları ile şarj ve deşarj edilmesi batarya kapasitesinin hızla düşmesine sebep olmaktadır (Shi ve diğ. 2015). Eşitlik 3.1'de C-Oranı ifade edilmiştir.

$$C - Oranı (C) = \frac{Akım}{Batarya Kapasitesi} \quad (3.1)$$

3.1.1.2 Anlık Şarj Durumu (SoC)

Bataryalar kullanılırken kapasitelerinin ne kadarının dolu olduğunu bilmek bir gerekliliktir. Bataryanın anlık kapasitesinin tam şarj kapasitesine oranının yüzdeler olarak gösterimi literatürde State of Charge (SoC), yani anlık şarj durumu olarak adlandırılmaktadır. Yüzdeler şarj durumu gösteriminde %0 ile bataryanın boş olduğu anlaşılırken %100 oranında ise tam dolu olarak kabul edilmektedir. Bataryanın anlık kapasiteleri farklı C-oranındaki şarj ve deşarj akımlarına göre değişkenlik göstermektedir (Richtek 2014).

State of Charge, yani şarj durumu direkt olarak yapılabilen anlık bir kestirim değildir. Batarya paketleri kullanıldıkça tutulabilir kapasiteleri azalacağı için kıyas yapılacak olan tam şarj oranları değişkenlik gösterecektir. Bu karışıklığı önlemek adına şarj durumu kendi içerisinde mutlak şarj durumu ve göreceli şarj durumu olmak üzere ikiye ayrılır. Mutlak şarj durumu oranlaması yapılırken anlık depolanan kapasite başlangıç kapasitesine oranlanır. Göreceli şarj durumu oranlanırken ise batarya paketinin anlık depolanan kapasitesi tutulabilir kapasiteye oranlanmaktadır. Eşitlik 3.2’de mutlak şarj durumu, Eşitlik 3.3’te ise göreceli şarj durumuna ait eşitlikler verilmiştir (Saqli ve diğ. 2019).

$$SoC (\%), mutlak = \frac{Depolanmış\ Kapasite}{Başlangıç\ Kapasitesi} \times 100 \quad (3.2)$$

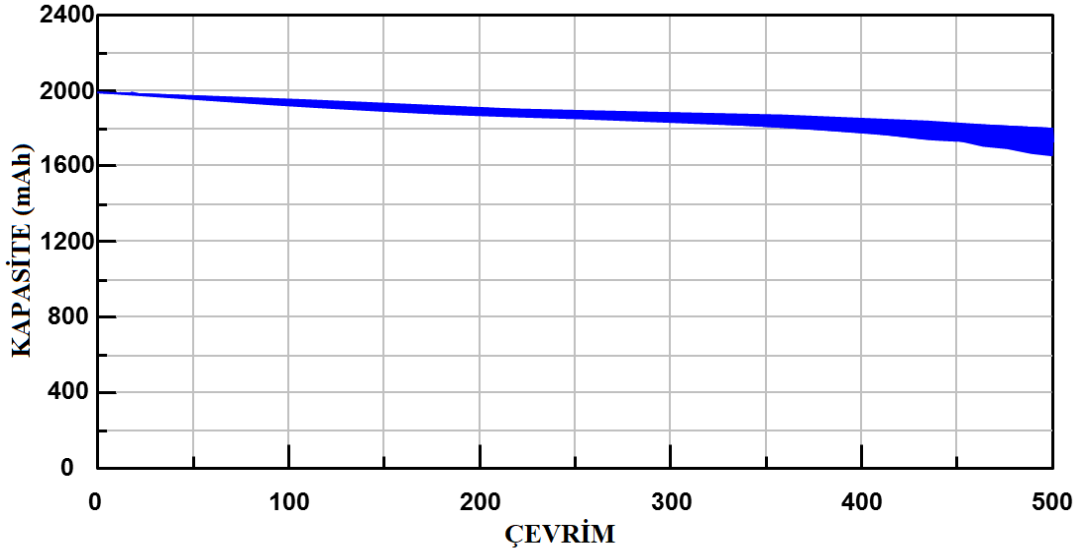
$$SoC(\%), göreceli = \frac{Depolanmış\ Kapasite}{Tutulabilir\ Kapasite} \times 100 \quad (3.3)$$

3.1.1.3 Anlık Sağlık Durumu (SoH)

Bataryaların tam şarj kapasiteleri kullanıldıkça azalmaktadır. Çevresel faktörler, termal değişkenlikler ve çevrim sayıları ile tam şarj kapasiteleri azalmaktadır. Anlık sağlık durumu hesaplamaları ile bataryaların ilk kapasiteleri ve tutulabilir kapasiteleri yüzdeler olarak oranlanmaktadır. Eşitlik 3.4’te batarya sağlık durumunun yüzdeler hesaplaması verilmiştir (Saqli ve diğ. 2019).

$$SoH(\%) = \frac{\text{Tutulabilir Kapasite}}{\text{Başlangıç Kapasitesi}} \times 100 \quad (3.4)$$

Anlık sağlık durumu hesaplamalarına göre %100 değerindeki bir batarya paketi henüz başlangıç kapasitesinde değerlendirilirken, bu oran %70'in altına düştüğünde batarya paketinin ömür sonuna (End of Life-EoL) ulaştığı kabul edilmektedir. (Lee ve diğ. 2018) Şekil 3.1'de bir bataryaya ait kapasitenin çevrime bağlı değişim grafiği verilmiştir.

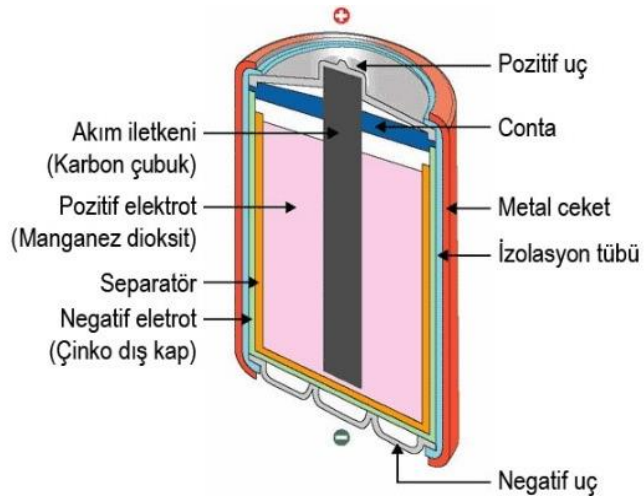


Şekil 3.1: Çevrime bağlı kapasite grafiği (Richtek 2014)

3.1.2 Primer Bataryalar/Piller

Primer bataryalar veya piller tek kullanımlık olarak tasarlanmıştır. Bu sebeple sekonder piller gibi yeniden elektrik yükü ile yüklenip şarj edilemezler. Genel anlamıyla primer pil hücrelerinde oluşan elektrokimyasal tepkime tersine çevrilemez ve bu yüzden pilin yeniden şarjı mümkün değildir. Primer pillerin kullanım süresi boyunca içerisinde bulunan kimyasallar tükenir ve kimyasallar bittiğinde ise bu bataryaların ömrü sona erer (Caramia ve Bozzini 2014). Bunun yanı sıra bu piller düşük akım ve düşük enerji talepleri kullanılan ünitelerde kullanılırlar. Sekonder pillere oranla yüksek enerji yoğunluğuna sahip iken bu durumun aksine güç yoğunlukları daha düşüktür. Günlük hayatta acil kullanım alanları, radyo, televizyon kumandaları ve saat gibi alanlarda kullanılırlar. Primer pillerin günümüzde en çok

kullanılan tipleri ise şu şekildedir; gümüş-oksit, alkali, çinko-karbon ve lityumdur. Şekil 3.2’de çinko-karbon pilin kesiti verilmiştir (Tskukamoto ve Tan 2007).



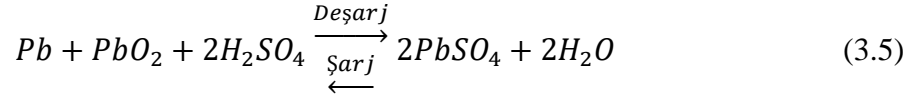
Şekil 3.2: Çinko-karbon pil kesiti (Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği 2023)

3.1.3 Sekonder Bataryalar/Piller

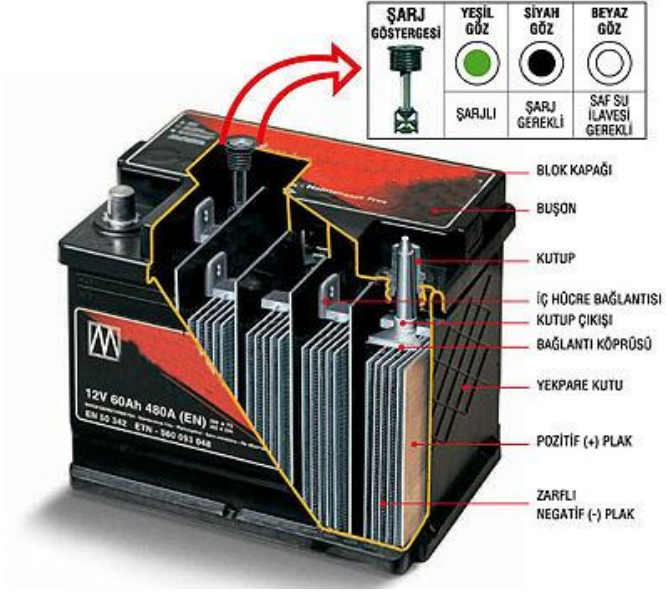
Şarj edilebilir bataryaları oluşturan pillerin elektrokimyasal döngüleri her iki yönde de gerçekleşebilmektedir. Yani depolanan kimyasal enerji elektrik enerjisine dönüşebildiği gibi yeniden elektrik enerjisi verilerek elektrik enerjisi ile yüklenebilmektedir. Bu sayede sekonder piller defalarca yeniden şarj edilerek kullanılabilir. Tek kullanımlık olan primer pillere oranla başlangıç maliyetleri daha fazladır fakat çok kez ucuza şarj edilmeleri ile toplam kullanım maliyetleri primer pillere oranla daha düşüktür (Stevens 2019). Sekonder piller genellikle yüksek güce ihtiyaç duyulan sistemlerde tercih edilirler. Günümüzde üretilen elektrikli araçlarda yüksek enerji yoğunlukları ve uzun çevrim ömürleri sebebiyle sekonder pillerden Li-iyon piller kullanılmaktadır. Şarj edilebilme sayısı (Şarj-deşarj döngüsü), güç yoğunlukları, enerji yoğunlukları ve kullanılan kimyasallara göre birçok sekonder pil/batarya tipi bulunmaktadır. Endüstride en çok kullanılan tipler şu şekildedir: Kurşun-asit, Nikel kadmiyum (Ni-Cd), Nikel metal hidrit (Ni-MH) ve Li-iyon bataryalar/pillerdir (Tskukamoto ve Tan 2007).

3.1.3.1 Kurşun-Asit Bataryalar/Piller

Kurşun-asit piller, şarj edilebilir ticari pil türleri içerisinde ilk üretilen pildir. Enerji depolama gereksinimleri sonucunda 1859 yılında Fransız fizikçi Gaston Plante tarafında icat edilmiştir. İçerisinde bulunan kurşun dioksit (PbO₂) pozitif plaka ve kurşun metalden oluşan negatif plakalar, kükürt asidi bulunan elektrolit sıvı içerisinde durur. Yani pilin anotunda kurşun (Pb), katotunda ise PbO₂ bulunmaktadır. Şarj ve deşarj süreçlerinde kükürt asidi ve kurşun plakalarda bulunan bileşenlerin kimyasal reaksiyonları sonucunda bataryada enerji depolanabilir veya enerji sarfiyatı oluşabilir (Islam ve diğ. 2021). Aşağıda kurşun-asit bir pilin şarj-deşarj durumlarındaki kimyasal reaksiyonları verilmiştir. Eşitlik 3.5'te kurşun asit akülerin şarj ve deşarj esnasında oluşan kimyasal reaksiyonlar verilmiştir.



Diğer şarj edilebilir bataryalara oranla enerji yoğunluğu ve şarj-deşarj döngü sayısı daha düşüktür. Enerji performansı yönünden her ne kadar zayıf da olsa düşük maliyetleri sebebiyle uzun yıllardan beri olduğu gibi günümüzde de kullanılmaktadır. Genellikle otomobillerde marş motoruna ve elektronik kartlara gerekli enerjiyi sağlamak adına kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra endüstride yüksek güç yoğunluğu gerektirmeyen sistemlerde kullanıldığı gibi düşük güç gerektiren golf arabası gibi çekiş araçlarında da kullanılmaktadır (May ve diğ. 2018). Şekil 3.3'te kurşun-asit bataryaya ait bir kesit sunulmuştur. Tablo 3.1'de ise kurşun-asit bataryanın performans değerleri verilmiştir.



Şekil 3.3: Kurşun-asit batarya kesiti (Memleket 2009)

Tablo 3.1: Kurşun-asit batarya performans değerleri (Geoffrey ve diğ. 2018)

Hacimsel Enerji Yoğunluğu	80-90 Wh/L
Gravimetrik Enerji Yoğunluğu	35-45 Wh/kg
Güç Yoğunluğu	250 W/kg

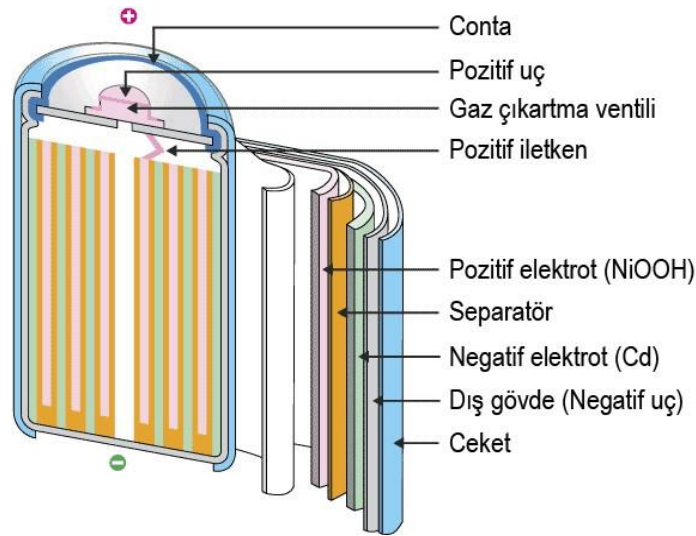
3.1.3.2 Nikel-Kadmiyum (Ni-Cd) Bataryalar/Piller

Nikel-kadmiyum piller, 1899 yılında İsveçli Waldemar Jungner tarafından icat edilmiştir. Şarj edilebilir bataryaların içerisinde kurşun-asit bataryalardan sonra enerji yoğunluğu en düşük batarya türüdür. Zamanında fotoğraf makineleri, el fenerleri, acil aydınlatmalarda kullanılmış olup, yüksek deşarj akımlarını sağlayabildiğinden dolayı günümüzde de model uçak, model arabalar ve havacılık sektöründe halen kullanılmaktadır. Kadmiyum atıklarının çevreye verdiği zararlardan ve Ni-metal hidrit bataryaların piyasaya sürülmesinden dolayı pazardaki etkinliklerini kaybetmişlerdir (Jeyaseelan ve diğ. 2020). Tablo 3.2’de nikel kadmiyum bataryanın performans değerleri verilmiştir.

Tablo 3.2: Nikel-kadmiyum batarya performans değerleri (Linden ve Reddy 2002)

Hacimsel Enerji Yoğunluğu	50-150 Wh/L
Gravimetrik Enerji Yoğunluğu	30-37 Wh/kg
Güç Yoğunluğu	400 W/kg

Nikel-kadmiyum bataryalar anot ve katot yapılarında nikel oksit hidroksit ve metalik kadmiyumları, elektrolit yapılarında ise potasyum hidroksit kullanan şarj edilebilir bir batarya türüdür. Ni-Cd pillerin katotlarında nikel oksit bulunurken anotlarında da kadmiyum bulunmaktadır. şekil 3.4'teki görselde Ni-Cd pilin yapısına ait bir görsel verilmiştir. Ni-Cd bataryaların deşarj esnasında oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucunda kadmiyum hidroksit ($Cd(OH)_2$) oluşur, şarj reaksiyonları sonucunda ise Cd ve nikel hidroksit (NiOH) materyalleri oluşmaktadır. Bu bataryalarda kadmiyumlarda hidrojen oluşma hızı düşük ve kadmiyum potasyum hidroksit çözültide çözünlüğü oldukça düşüktür. Bu sayede kadmiyumun elektrolit içerisinde çözünp katota gitmesi zorlaşır ve bataryanın yeniden şarjı daha kolay hale gelmektedir (Valøen ve Shoesmith 2007).

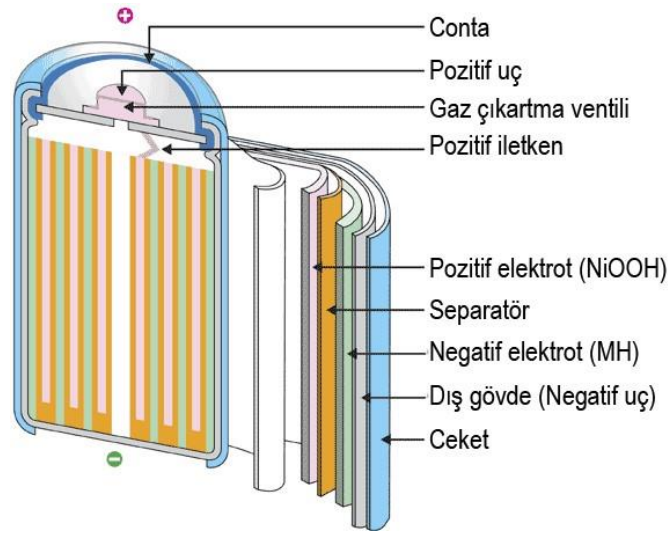


şekil 3.4: Ni-Cd pil yapısı (Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği 2023)

3.1.3.3 Nikel-Metal Hidrit Bataryalar/Piller (Ni-MH)

Nikel-metal hidrit bataryalara dair ilk çalışmalar 1967 yılında Battelle-Cenevre araştırma merkezinde başlamıştır. Yüksek enerji yoğunluğu, kadmiyum ve kurşun gibi zehirli metaller içermemesi avantajlarından dolayı nikel-kadmiyum bataryaların

pazardaki yerini almıştır. Bir Ni-MH bataryanın, anotunda nikel hidroksit ($\text{Ni}(\text{OH})_2$), katotunda metal hidrür ve elektrolit yapısında da potasyum hidroksit kullanılmaktadır. Şarj-deşarj döngülerinde oluşan kimyasal reaksiyonlarda hidrojenin absorpsiyonu ile hidrür oluşumu gerçekleşir ve şarj döngüsünde hidrojen elementindeki elektrik enerjisi açığa çıkar. Deşarj döngülerinde ise bu döngünün tam tersi oluşarak bataryada elektrik enerjisi depolanmaktadır (Küçükdeveci 2018). Şekil 3.5'te Ni-MH pilin yapısına ait bir görsel verilmiştir.



Şekil 3.5: Ni-MH pil yapısı (Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği 2023)

Ni-MH bataryalar yüksek enerji yoğunlukları ve dayanıklılıklarından dolayı Honda EV plus, Ford Ranger EV, General Motors EV1 ve Toyota Prius gibi elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılmıştır. Fakat Li-iyon pil teknolojisinin gelişimi ile birlikte elektrikli araç sektöründeki etkinliğini kaybetmiştir (Arun ve diğ. 2022). Şekil 3.6'da elektrikli bir aracın Ni-MH batarya paketi verilmiştir. Tablo 3.3'te ise Nikel-metal hidrit bataryanın performans değerleri verilmiştir.



Şekil 3.6: Ni-MH elektrikli araç batarya paketi (Romarez 2015)

Tablo 3.3: Nikel-MH batarya performans değerleri (Linden ve Reddy 2002)

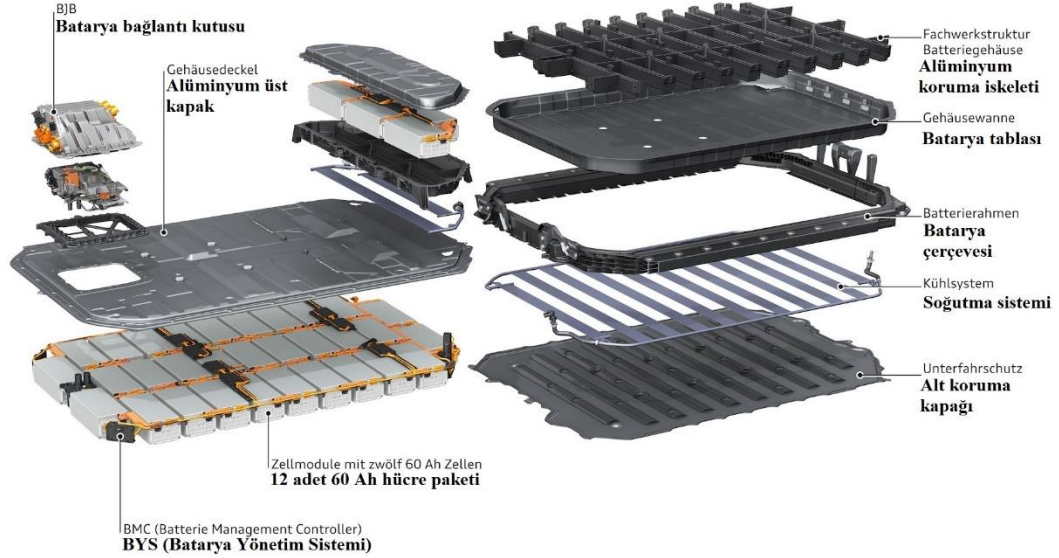
Hacimsel Enerji Yoğunluğu	240 Wh/L
Gravimetrik Enerji Yoğunluğu	75 Wh/kg
Güç Yoğunluğu	200 W/kg

3.1.3.4 Li-İyon Bataryalar/Piller

Li-iyon bataryalar, şarj edilebilir bataryalar içerisinde günümüzde en çok kullanılan batarya türüdür. Lityum pil ilk olarak 1912 yılında Gilbert N. Lewis tarafından keşfedilse de şarj edilebilir Li-iyon piller ticari olarak ilk kez Sony tarafından 1991 yılında piyasaya sürülmüştür. Bunun yanı sıra 18650 Li-iyon pil hücreleri Türkiye’de de 2022 yılı itibariyle ASPİLSAN Enerji tarafından üretilmeye başlanmıştır. Li-iyon bataryalarda hafıza etkisinin olmamasından dolayı kullanılmadığı zamanlarda da enerji kaybı diğer bataryalara oranla çok düşüktür. Hafif oluşu, yüksek enerji ve güç yoğunlukları, yüksek deşarj akımlarında çalışabilmeleri diğer şarj edilebilir bataryalara karşı Li-iyon bataryaları daha kullanılabilir hale getirmiştir. Yüksek enerji yoğunlukları ve maliyetlerinin günden güne düşüşü ile birlikte elektrikli araçlar, havacılık, medikal ürünleri gibi çoğu önemli alanda kullanılmaktadırlar (Deng 2015, Wang ve diğ. 2020). Şekil 3.7’de Audi e-tron’da kullanılmış olan Li-iyon batarya ve komponentlerinin patlak şemasına ait bir görsel verilmiştir.



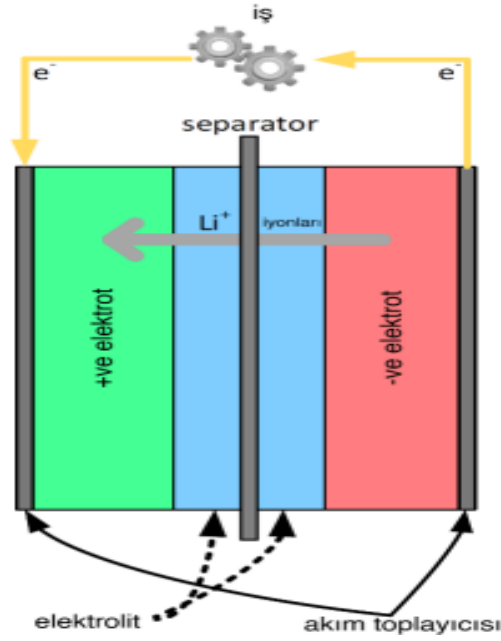
Audi e-tron Prototip
Audi e-tron Prototype
Flüssigkeitsgekühlte Lithium-Ionen-Batterie
Sıvı Soğutmalı Li-iyon Batarya
04/18



Şekil 3.7: Audi E-tron batarya ve elemanları (Padgett 2018)

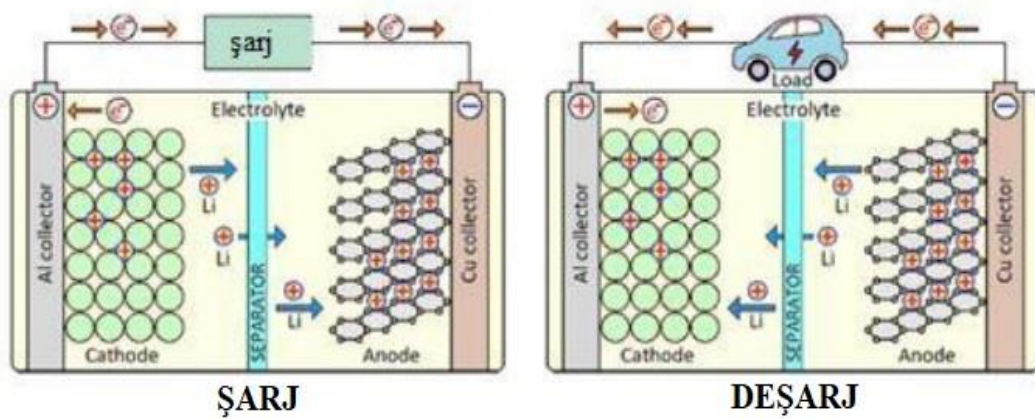
Birçok avantajları olmasına rağmen Li-iyon bataryalar korunmadıkları ve yönetilmedikleri müddetçe alev almaya müsaittir. Bu yüzden Li-iyon bataryalar batarya yönetim sistemi (BYS) ve soğutma üniteleri ile kontrol altında tutularak kullanılmaktadırlar (Barillas ve diğ. 2015). Li-iyon bataryalarda hafıza etkisi olmadığı için kapasite kaybı az olmasına rağmen, kapasite kaybını en aza indirmek için batarya paketlerinde kullanılan Li-iyon hücrelerin 3,6 V nominal gerilimlerinde tutulmaları bir gerekliliktir. 3,6 V nominal gerilime sahip bu hücreler 4,2 V'luk tepe gerilimine sahiptir. Her Li-iyon pil hücresi için kapasite kaybı ise 500 döngü sonunda ortalama %10 olarak görülmektedir (Brand ve diğ. 2013).

Her Li-iyon pil, katot (pozitif elektrot), anot (negatif elektrot), katot ve anotların kimyasal döngülerini gerçekleştireceği bir elektrolit solüsyondan oluşmaktadır. Katot ve anot yapıları doğrudan birbirine temas etmemesi adına bir separator ile ayrılmaktadır (Miao ve diğ. 2019). Şekil 3.8'de Li-iyon pil hücresinin elemanları verilmiştir.



Şekil 3.8: Li-iyon pil hücresi elemanları (Miao ve diğ. 2019)

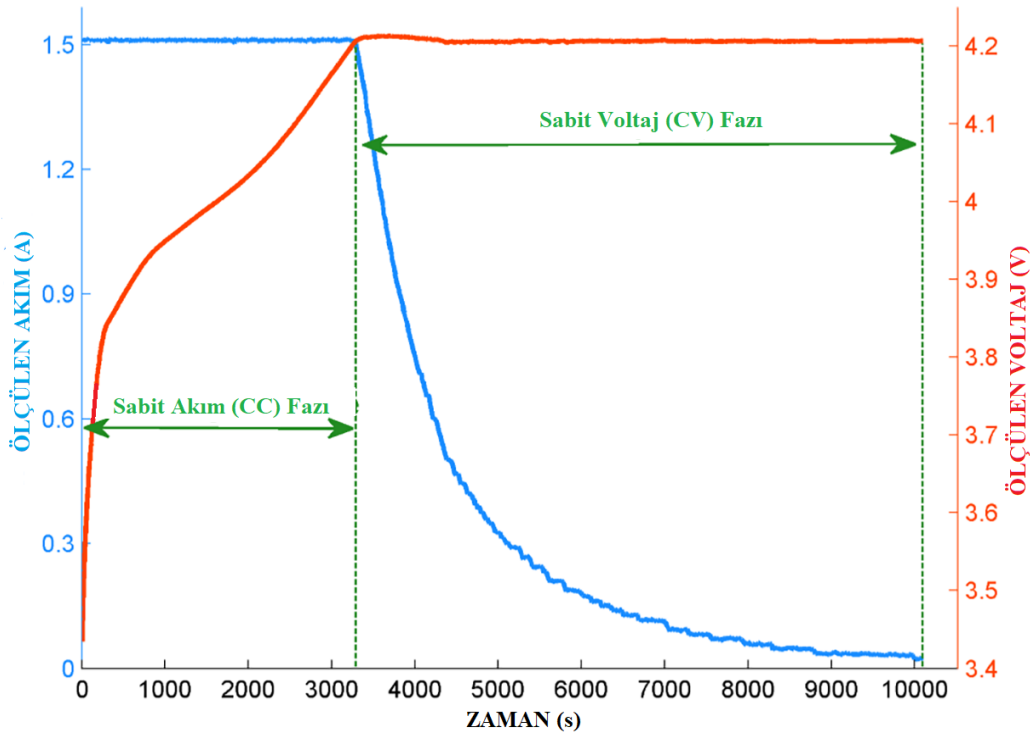
Günümüzde kullanılan Li-iyon olarak bilinen farklı elektrokimyasal döngülere sahip hücre piller mevcuttur. Her ne kadar farklı kimyasal hücre çeşitleri olsa da Li-iyon bataryaların elektrokimyasal süreçleri teorik olarak aynıdır. Temel prensip, Li^+ iyonunun taşınımıdır. Şarj esnasında Li^+ iyonları, pozitif elektrottan elektrolit solüsyon vasıtasıyla negatif elektrotu oluşturan grafit yapıya doğru hareket eder ve orada kalır. Bu taşınımın sonucunda hücrede enerji depolanması gerçekleşmektedir. Deşarj süreçlerinde ise Li^+ iyonları yine elektrolit solüsyon vasıtasıyla pozitif elektrota geri hareket edecek, böylelikle gerekli elektrik enerjisi üretilecektir (Özcan ve diğ. 2021). Şekil 3.9’da Li-iyon pil hücresinin elektrokimyasal süreci verilmiştir.



Şekil 3.9: Li-iyon pil hücresinin elektrokimyasal süreci (Özcan ve diğ. 2021)

3.1.3.4.1 Li-İyon Bataryaların Şarj Profili

Li-iyon batarya paketlerinin şarjı sabit akım (CC) ve sabit voltaj (CV) olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Tamamen boş olan Li-iyon batarya paketi şarj edilmeye başlandığında bataryanın maksimum voltajına ulaşmaya dek sabit akım ve voltajın artışı ile şarj devam eder, bataryanın maksimum voltajına ulaşıldığında voltaj sabitlenir ve akım giderek azalır. 3300 mAh'lık bir batarya paketinin şarjı esnasında maksimum 0,5 C akım ile şarj edilecektir. 0,5 C şarj akımı ile şarj edilen batarya sabit akım fazında ortalama 1,5 A ile şarj olmaktadır (Aizpuru ve diğ. 2013, Wang ve diğ. 2018). Şekil 3.10'da Li-iyon bataryaya ait şarj profili grafiği verilmiştir.



Şekil 3.10: Li-iyon batarya şarj profili (Wang ve diğ. 2018)

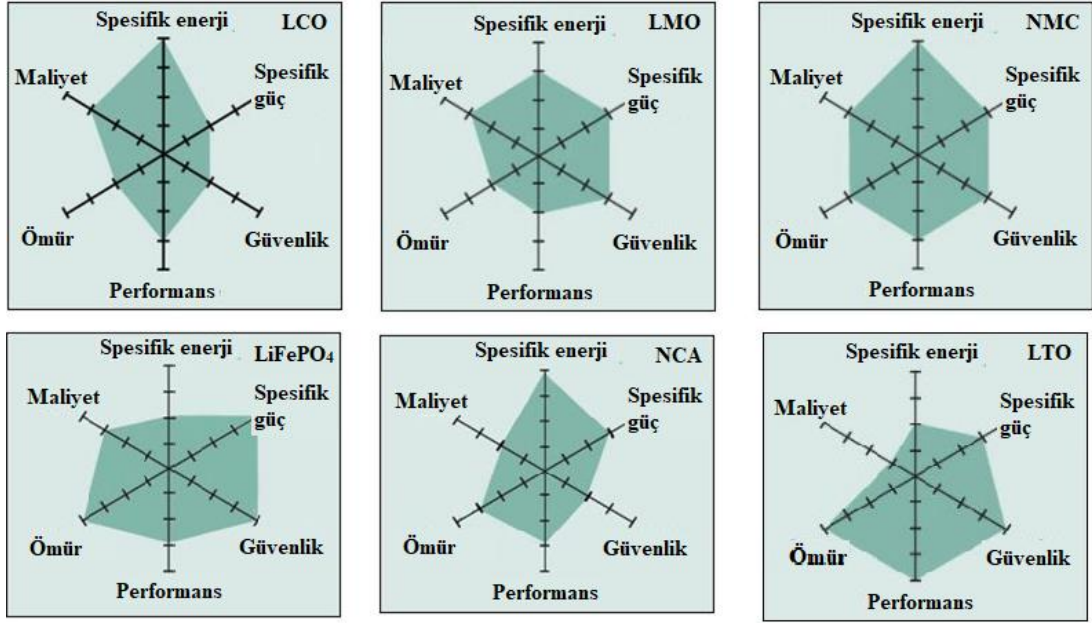
3.1.3.4.2 Li⁺ Bazlı Piller

Li-iyon pil tipleri farklı katot ve anot malzemeleri kullanarak çeşitli özelliklere sahiptir. Lityum Kobalt Oksit (LCO) piller, kobalt oksit katodu ve grafit anotuyla bilinir. Kısa kullanım ömrü ve düşük termal stabiliteye sahip olmaları dezavantajlarıdır. Ancak laptop, tablet, kamera ve cep telefonları gibi cihazlarda yaygın olarak kullanılırlar (Wang ve diğ. 2018). LMO (Lityum Mangan Oksit) piller,

lityum manganez oksit katotu ve grafit anotuyla üretilir. Spinel yapısı sayesinde yüksek iyon akış hızı, düşük iç direnç ve yüksek termal stabilite sunar. Güvenlik açısından da avantajlıdır (Tran ve diğ. 2021). NMC (Nikel Mangan Kobalt) piller, nikel, mangan ve kobalt katot malzemelerini kullanır. Yüksek performans ve maliyet etkinliği sunar, ancak anottaki silikon nedeniyle mekanik kararsızlık yaşayabilir (Tran ve diğ. 2021, Durmuş ve diğ. 2020). LiFePO₄ (Lityum Demir Fosfat) piller, fosfat katotu ve grafit anotuyla üretilir. Düşük iç dirence sahiptir ve elektrokimyasal süreçlerde yüksek verimlilik sağlar. Yüksek ısı kararlılık, uzun kullanım ömrü ve düşük mekanik stres avantajları vardır (Zhang 2011). NCA (Nikel Kobalt Alüminyum) piller, nikel kobalt alüminyum katotu kullanır. Uzun kullanım ömrü, yüksek enerji yoğunluğu ve ortalama gücü sunar, ancak güvenlik konusunda bazı sınırlamaları vardır (Purwanto ve diğ. 2018). Li-Titanat (LTO) piller, lityum ve manganez oksitli katotta ve titanat anotta üretilir. Güvenlik açısından avantajlıdır ve yüksek deşarj akımlarına dayanabilir. En yüksek çevrim ömrüne sahiptir (Zhang ve diğ. 2022, Durmuş ve diğ. 2020). Her bir lityum-iyon pil tipi farklı avantajlara sahip olup belirli uygulama gereksinimlerine yönelik tercih edilir. Tablo 3.4'te belirtilen Li⁺ bazlı pillere ait teknik özellikler verilmiştir. Şekil 3.11'de ise 6 farklı Li⁺ bazlı pil çeşidine ait performans karakteristikleri verilmiştir.

Tablo 3.4: Li⁺ bazlı pillere ait teknik özellikler (Durmuş ve diğ. 2020)

Teknik Özellikler	LCO	LMO	NMC	LiFePO₄	NCA	LTO
Güç Yoğunluğu (W/kg)	-	160	200	200	-	1000
Gravimetrik Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	160-210	200	190-210	120	150-300	70
Hacimsel Enerji Yoğunluğu (Wh/L)	340-580	220-400	580-750	120-300	680-760	100-200
Nominal Gerilim (V)	3,7	3,8	3,7	3,3	3,7	2,4
Çalışma Gerilimi Aralığı (V)	3,0-4,2	3,0-4,2	2,0-4,2	2,0-3,65	2,5-4,2	1,80-2,85
Çevrim Ömrü	-	<2000	>2000	<2500	>2000	>10000



Şekil 3.11: Li⁺ bazlı pillere ait performans karakteristikleri (DS Enerji 2019)

4. BATARYA KAPASİTESİNİN KESTİRİM YÖNTEMLERİ

4.1 Deneysel Teknikler

Deneysel teknikler batarya sağlık durumunun ölçümünde doğrudan ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Deneysel prosedürler, ekipman ihtiyaçlarından dolayı günlük hayatta kullanılamamaktadır, gerekli koşullar laboratuvar ortamında sağlanmaktadır. Uygun ekipmanlar ve prosedürlerle batarya ömür tahmini yapılır ve model bazlı teknikler için teorik sonuçlar sağlanır. (Pradhan ve Chakraborty 2022).

4.1.1 Doğrudan Ölçüm Teknikleri

Doğrudan ölçüm teknikleri laboratuvar ortamında kullanılan en yaygın yöntemlerdir. Kendi içerisinde ah sayma, kapasite testi, iç direnç ölçümü, elektrokimyasal empedans spektroskopisi, çevrim sayma ve yıkıcı yöntemler olmak üzere 6 farklı teknikten oluşur (Pradhan ve Chakraborty 2022).

4.1.1.1 Ah Sayma Yöntemi

Ah sayma yöntemi bazı kaynaklarda Coulomb sayma yöntemi olarak da görülebilir. Bir batarya veya bataryanın sağlık durumu deneysel olarak tahmin edilmek istendiğinde günümüzde en çok başvurulmuş deneysel tekniklerden biridir. Ah sayma yönteminde şarj esnasında bataryaya verilen akım, deşarj esnasında ise bataryadan çekilen akımlar kontrol edilir (Yang ve diğ. 2015). Böylece bataryanın anlık kapasitesi tahmin edilebilir. Ah sayma yönteminde bataryanın oda sıcaklığına yakın bir ortamda şarj-deşarj döngüsüne girmesi ve çok değişken olmayan akımlar ile şarj ve deşarj edilmesi yöntem tutarlılığı açısından önemlidir. Çevrimdeki akımı okuyabilmek ve saymak adına batarya devresine bir akım sensörü yerleştirilir ve bu sensör sayesinde akım değerleri okunur. Şarj ve deşarj esnasında okunan akımların sonucunda giriş ve çıkış akımlarının bileşkesi hesaplanır. Aşağıdaki 4.1 numaralı eşitlikle Ah sayma yöntemi ile toplam enerji hesaplanabilir (Ng ve diğ. 2009).

$$SoC(t) = SoC(t_0) - \frac{1}{Q_{başlangıç}} \int_{t_0}^t I_{bat} dt \quad (4.1)$$

Q başlangıç: Bataryanın ilk kapasitesi, $SoC(t)$: Bataryanın anlık şarj durumu, $SoC(t_0)$: Bataryanın başlangıçtaki şarj durumu, $SoH(t)$: Bataryanın anlık sağlık durumu, I_{bat} : Pilin akımını ifade etmektedir.

Aşağıda bulunan 4.2 numaralı eşitlikte ise bataryanın anlık tutulabilir kapasitesi ile ilk kapasitesinin oranına bakılarak bataryanın anlık sağlık durumu hakkında hesaplama yapılabilir.

$$SoH(t) = \frac{1}{Q_{başlangıç}} \int_{t_0}^t I_{bat}(t) dt \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.3'te ise formülasyon basitleştirilmiştir.

$$SoH(\%) = \frac{Q_{tutulabilir\ kapasite}}{Q_{başlangıç}} \times 100 \quad (4.3)$$

4.1.1.2 Kapasite Testi

Kapasite tam şarj edilmiş bir bataryada depolanabilecek olan enerjiyi gösterir Bataryanın kapasitesi ilk günkü kapasitesine oranla kullanıldıkça düşer. Bu yüzden kapasite genellikle bir sağlık durumu (SoH) olarak değerlendirilir. Bu yüzden doğru batarya kapasitesi doğru sağlık durumunu gösterir. Gelişmiş kapasite ekipmanlarına rağmen batarya kapasitesini günlük kullanımda denetlemek batarya kapasitesinin tam dolu ve tam boş durumlarında olmayacağı için epey zordur. Bu yüzden laboratuvar ortamında deneysel olarak kapasite ölçümü yapmak batarya sağlığı hakkında tahmin yapabilmek için verimli ve uygulanabilir olacaktır (Pradhan ve Chakraborty 2022).

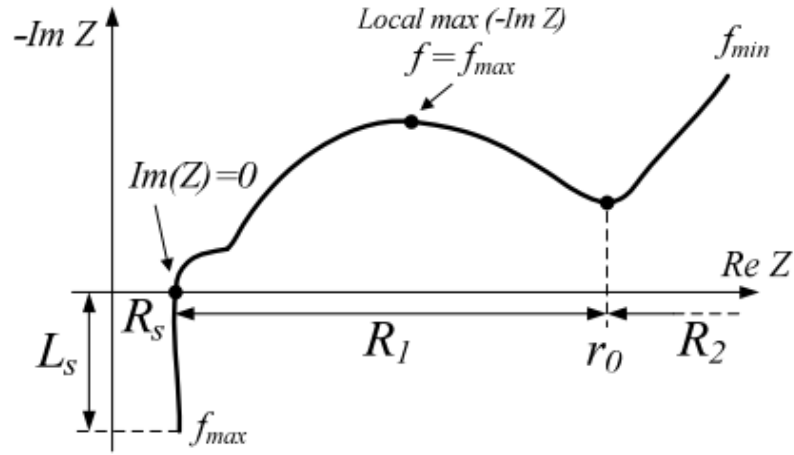
4.1.1.3 Ohmik İç Direnç Yöntemi

Batarya paketlerindeki hücreler şarj-deşarj döngüsüne girdikçe ilk güne oranla yaşlanacaktır. Hücrelerin yaşlanması sonucu hücrelerin iç direnci artacaktır. İç dirençteki artışın saptanması sonucu sağlık durum tahminine ilişkin hesaplamalar yapılabilir. Bataryanın iç direncini bulabilmek adına ohm yasasından yararlanılır. Ohm yasasına göre iç direnci tespit ederken hücrelerin gerilimleri değiştirilmelidir (Chen ve diğ. 2018). Batarya paketlerinde şarj,deşarj, şarjın kesildiği an vedeşarjın tamamlandığı anlarda hücrelerin gerilimi akıma göre değişim gösterir. Gerilimdeki ve akımdaki değişimlerin birbirine oranı ile iç direnç değişimi bulunur. İç direnç aşağıda bulunan Eşitlik 4.4 ile bulunabilir (Schweiger ve diğ. 2010).

$$R_{hücre}(ohm) = \frac{V_1 - V_0}{I_1 - I_0} \quad (4.4)$$

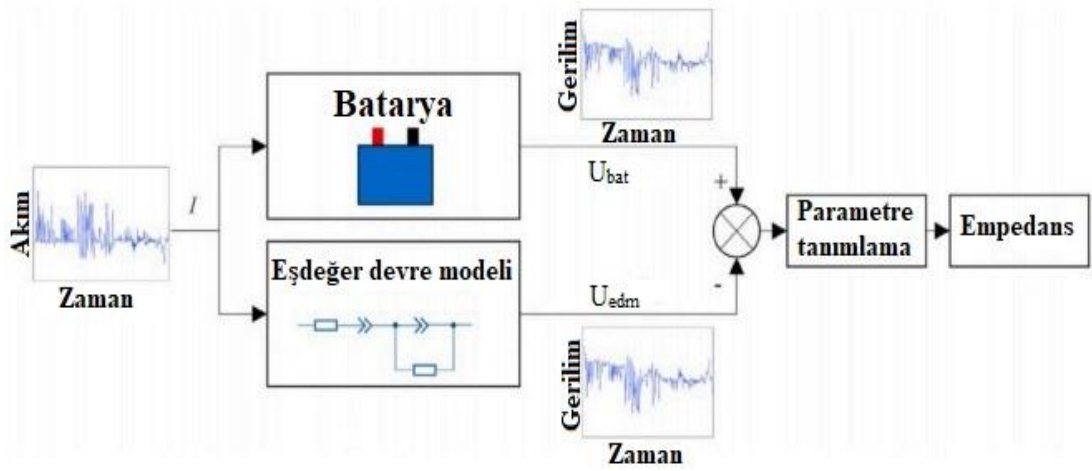
4.1.1.4 Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS)

Bataryanın empedansı, batarya kimyasal döngüye girdikçe yani şarj-deşarj sayısı artıkça artar. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi ile batarya sağlık durumu tahmin ederken bataryanın empedans karakteristiği incelenir. Teorik olarak batarya hücrelerine belirli genlik ve frekans ile sinüzoidal akım veya gerilim dalgası uygulanır ve bu işlemin sonucunda çıkış gerilimi veya çıkış akımındaki faz kayması ve genliğinin analizi yapılabilir. İşlem tutarlılığı ve doğru tahmin için farklı frekanslarda işlemler tekrarlanır ve empedans spektrumu çıkarılır. Farklı frekanslar ve gerilimler ile tahmin yapıldığı için EIS yöntemi güçlü bir laboratuvar yöntemidir. EIS sonuçları ile Nyquist eğrisi oluşur ve grafikte Nyquist eğrisi ile gösterilir. Şekil 4.1'de Li-iyon hücrelerine ait Nyquist eğrisi verilmiştir (Stroe ve diğ. 2014).



Şekil 4.1: Li-iyon için Nyquist Eğrisi (Wang ve diğ. 2021)

Nyquist eğrileri ile empedansa bağlı modelleri oluşturulurken eş değer devre kullanılır. Şekil 4.2’de ise eş değer devre modeli ile empedans ölçüm metodu verilmiştir.

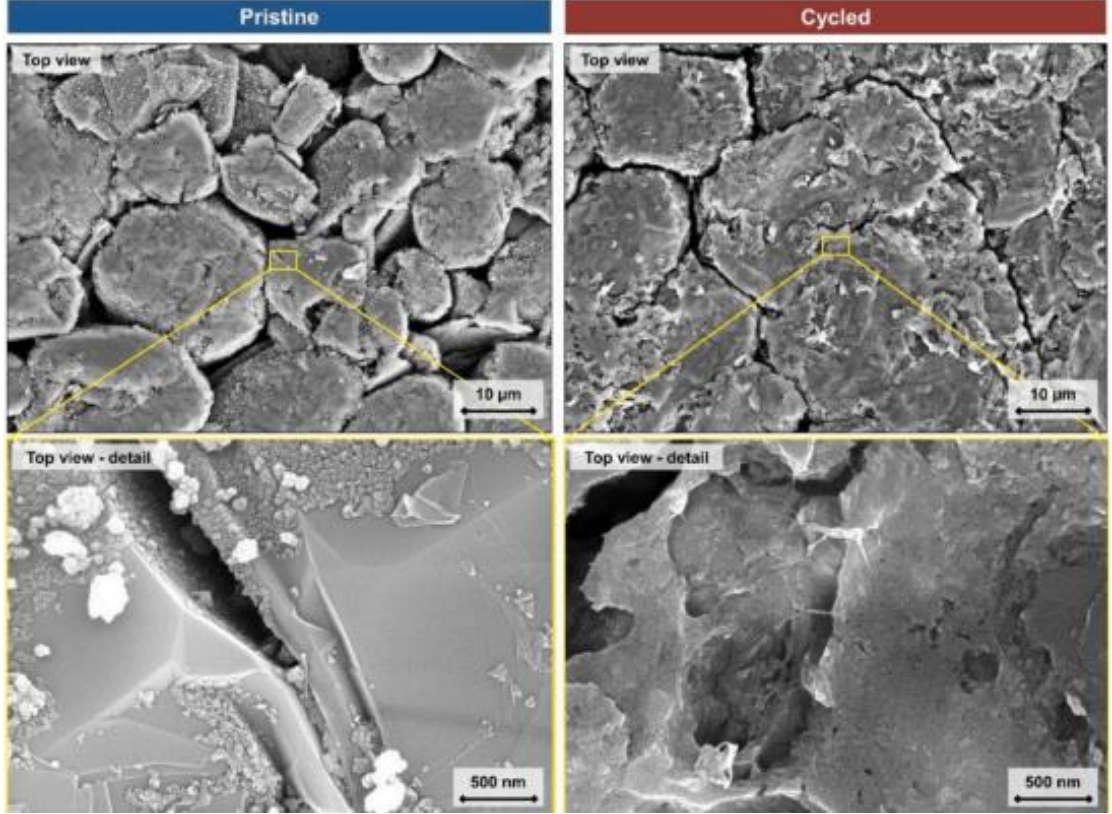


Şekil 4.2: Eşdeğer devre modelli empedans ölçüm şeması (Wang ve diğ. 2021)

4.1.1.5 Yıkıcı Test Tekniği

Yıkıcı test tekniği ile bataryanın sağlık durum hesaplanması yapılırken en çok kullanılan metotlar; X- ışın kırınımı, taramalı elektron mikroskopu (SEM), döngüsel voltametri, Raman spektroskopisi ve X-ışını fotoelektron spektroskopisidir (Zhou ve Wang 2007, Midgley ve Weyland 2003, Kissinger ve Heineman 1983). Fakat yıkıcı

test yöntemi sonrasında batarya kullanılamaz hale gelir. Batarya bir kez daha kullanılamayacağı ve test yönteminde kullanılması gereken ekipmanlardan dolayı bu yöntem sadece laboratuvar ortamında uygulanabilir. Şekil 4.3'te bozulmamış ve döngüye girmiş Li-iyon bataryanın elektron mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Şekle göre döngülerin sonucunda anot yüzeyinde katı elektrolit tabakası görülmektedir. Bu incelemeler sonucunda SoH hakkında tahmin yapılır.

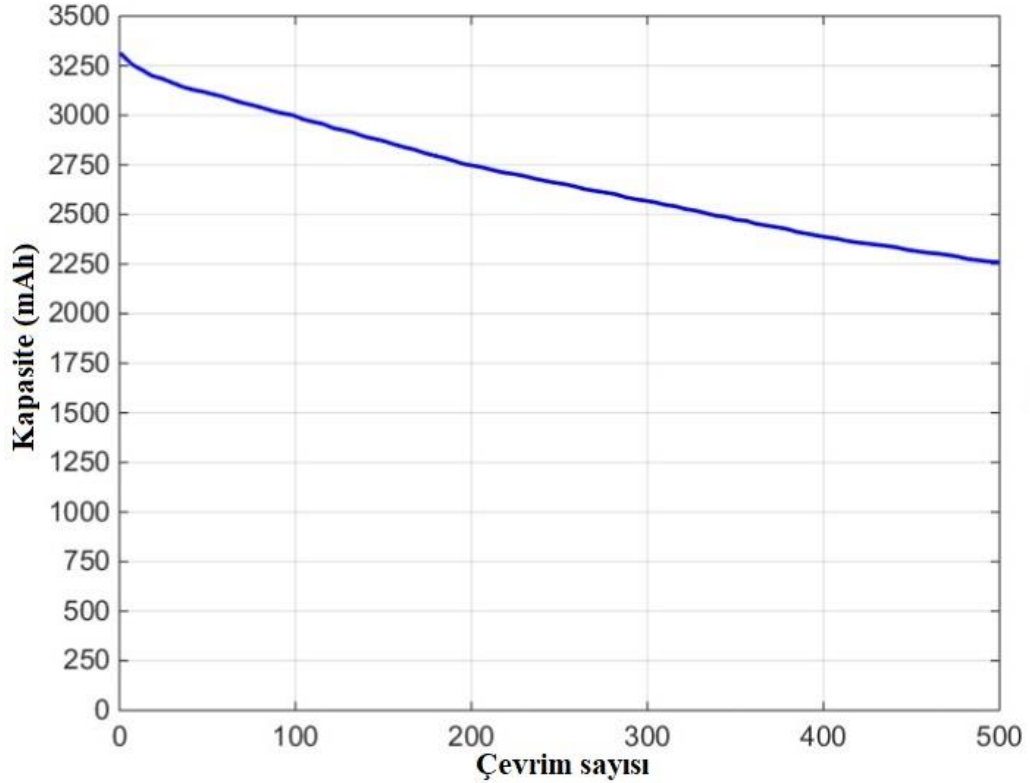


Şekil 4.3: Bozulmamış ve döngüye girmiş Li-iyon anotlarının elektron mikroskobu görüntüleri (Weisenberger ve diğ. 2021)

4.1.1.6 Şarj-Deşarj Çevrimi Sayma Tekniği

Her Li-iyon hücre için üreticisi tarafından bildirilen yaşam döngüsü çevrim bazında beyan edilir. Li-iyon bataryaların çevrim sayısı arttıkça kullanım ömrü azalmaktadır. Bu yöntemde Li-iyon bataryanın girdiği çevrimlerin sayılması ile batarya sağlık durumu tahmini yapılır. Fakat günlük kullanımda bataryaların tam şarj-deşarj olmamasından dolayı net çevrim sayıları elde edilemeyeceği için çevrim sayımı yapılarak batarya ömrü hakkında tahmin yapmak zor olacaktır. Şarj-deşarj çevrim sayma yönteminde belirli gerilim ve akım değerleri ile tam şarj vedeşarj yapılması

gerektiği için yöntemin laboratuvar şartlarında uygulanması gerekmektedir (Wognsen ve diğ. 2015). Şekil 4.4'te 500 çevrim ömrüne sahip Panasonic NCR18650B Li-iyon pil hücresine ait kapasite-çevrim grafiği verilmiştir.



Şekil 4.4: Panasonic NCR18650B Kapasite/evrim grafiği (Pérez ve diğ. 2017)

4.1.2 Dolaylı Değerlendirme Teknikleri

Dolaylı değerlendirme teknikleri, bataryaların bozulma verilerine bağlı hesaplamalar ile batarya sağlık durumu hakkında tahmin yapabilmeyi sağlar. Dolaylı analitik yaklaşımlara sahip olan bu yöntem tümdengelim yöntemi olarak değerlendirilebilir. Batarya kapasitesi ve i direnç artışlarına bağlı olarak hesaplamalar yapılabilir. Bu verilere bağlı olarak batarya sağlık tahmini yapılır (Pang ve diğ 2022).

4.1.2.1 Şarj Eğrisi Tekniği (CC-CV)

Batarya ömürleri kısaltıldığa belirli Şarj akımında bulunan sabit akım (CC) ve sabit gerilim (CV) parametrelerinin süreleri değişmeye başlayacaktır. Sabit akım ve

sabit gerilim sürelerinde bataryaya verilebilen enerji miktarları değişkenlik gösterir. Sabit akım ve sabit gerilim sürelerine bağlı olarak bataryaya depolanacak toplam kapasite miktarları da değişkenlik gösterecektir. Bu sürelerdeki değişimlere bağlı kapasite hesaplamaları sonucunda batarya sağlık durumu tahmini yapılabilmektedir (Eddahech ve diğ. 2014). Eddahech ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışma sonucunda bataryanın depolayabildiği enerji miktarlarında düşüş gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada 30°C ortam sıcaklığında bir Li-iyon hücre gün bazında yaşlandırılmış sabit-akım süresinde bataryanın depolayabildiği enerji düşüş göstermiş, sabit gerilim süresinde ise depolanabilen enerji artış göstermiştir. Çalışma sonucunda sabit akım ve sabit gerilim fazlarında depolanabilen toplam enerji de aşağıdaki Tablo 4.1’de gösterildiği üzere sabit akım fazında çevrim sayısı arttıkça düşüş görülürken sabit gerilim fazında depolanabilen enerji miktarında ise artış gözlemlenmiştir. Batarya depolanabilen enerji kapasitesindeki düşüş ile sağlık durumu hakkında tahmin yapılabilmektedir (Eddahech ve diğ. 2014).

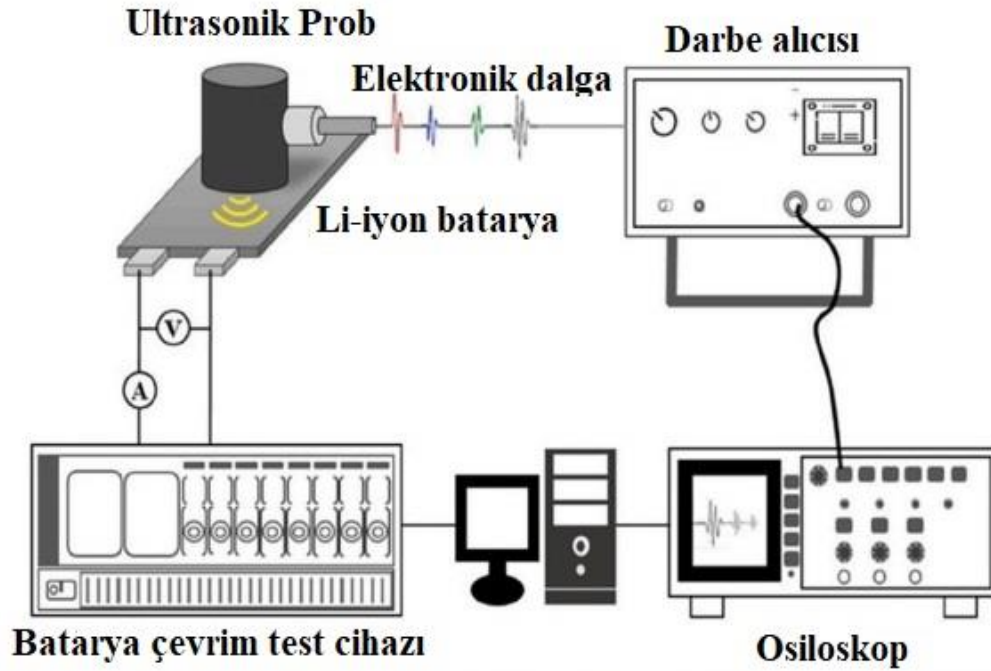
Tablo 4.1: Eddahech ve diğ. (2014) tarafından LMO batarya üzerinde yapılan çevrim sonuçları

Döngü sayısı	A	B	C	CC fazında alınan enerji (kWs)	CV fazında alınan enerji (kWs)
0	3977,23	0,0074	396,93	60,036	3,610
61	3984,10	0,0078	411,46	60,705	3,564
121	4081,27	0,0079	405,20	58,736	3,421
232	4186,99	0,0069	382,27	55,454	3,812
361	4266,21	0,0055	348,72	51,522	4,563
455	4403,60	0,0047	332,35	47,764	5,369
535	4466,50	0,0004	312,07	44,441	6,175
620	4542,83	0,0035	286,86	40,921	6,988
700	4620,13	0,0030	258,03	37,055	8,053

4.1.2.2 Ultrasonik Analiz Tekniği

Ultrasonik analiz tekniği Li-iyon bataryalardaki küçük kusurları dahi gören önemli bir analiz tekniğidir. Genellikle bir malzemenin dahili kusurları tespit farklı

endüstrilerde de kullanılan bir tekniktir (D'orazio ve diğ. 2008). Analiz yapılacak olan bataryaya temas ermeden tahribatsız bir şekilde batarya sağlık durumu tahmini yapılmasına imkân verir. Sistem bir sinyal üretici, alıcı, ultrasonik prob, osiloskop, dönüştürücü ve bir monitörden oluşur. Herhangi bir sapma durumuna karşı osiloskop tarafından izlenen sinyal üretici ile üretilen sinyaller ultrasonik proba aktarılır ve Li-iyon bataryanın yüzeyine ultrasonik dalgalar yayılır. Ultrasonik dalgalar Li-iyon bataryanın bozulmuş olan bölümlerinde kırılma, yansıma ve dalga paterni dönüşümü oluşturacaktır. Bu yüzeylerden gelen ikincil dalgalar monitör ile izlenir ve bataryanın sağlık durumu tahminini yapılır (Kim ve diğ. 2020). Kısacası ikincil dalgalardaki değişim bataryanın sağlık durumunu gösterecektir. Şekil 4.5'te ultrasonik analiz tekniği simüle edilmiştir.

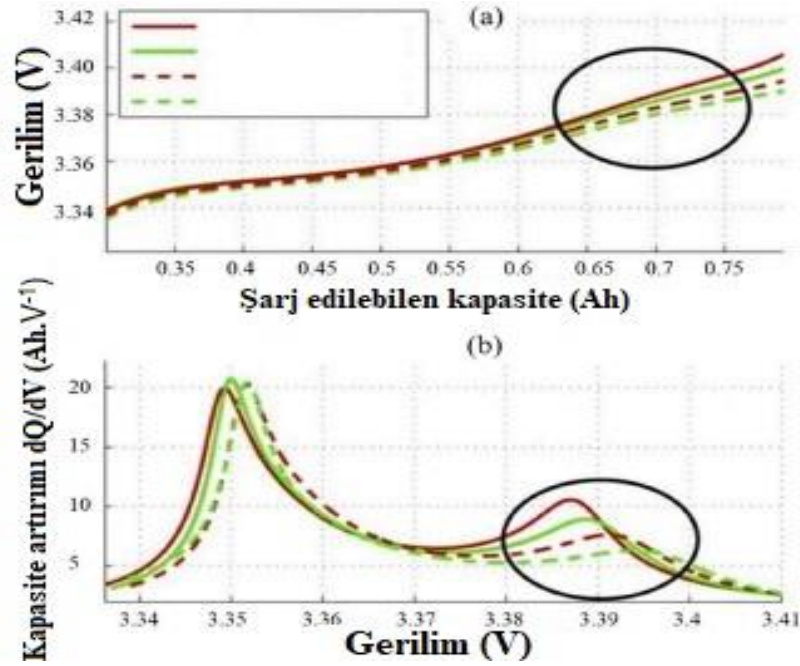


Şekil 4.5: Li-iyon batarya sağlığının izlenmesi için kurulan ultrasonik analiz şeması (Kim ve diğ. 2020)

4.1.2.3 Arttırımsal Kapasite Analizi (ICA) ve Diferansiyel Kapasite Analizi (DVA) Tekniği

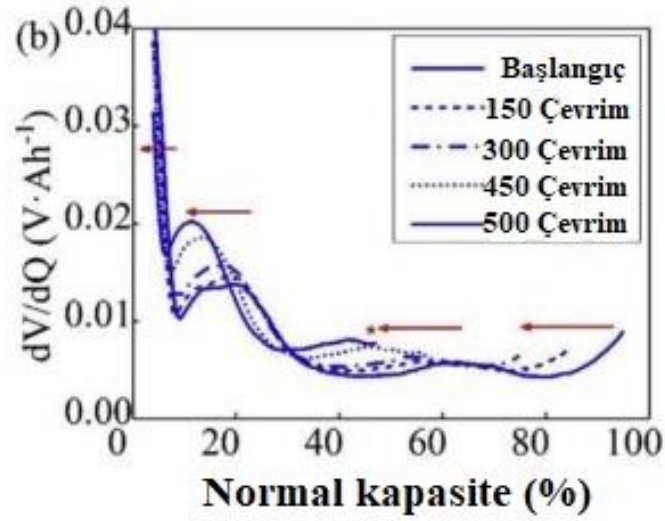
Arttırımsal kapasite analiz (ICA) yönteminde, bataryanın şarj-deşarj esnasındaki gerilim değerleri ile hassas bir eğri çıkarılır. Gerilim değerlerine bağlı oluşturulan bu eğriler bataryanın düşük akımlarla şarjı vedeşarjı esnasında değişkenlik

gösterecektir. Batarya sağlık durumu düştükçe eğrilere bağlı olarak tutulabilir enerji kapasitesinde de azalma meydana gelecektir. Batarya kapasitesinin (Q) gerilime (V) göre türevi (dQ/dV) alınarak gerilim platoları ile birlikte teşhis edilebilir tepeler oluşturulur (Xiong ve diğ.2018). Şekil 4.6'da C/25 ile şarj edilmiş Li-iyon batarya hücrelerinin ICA analizleri ve oluşan tepeler gösterilmiştir. Şekil 4.6'da da görüldüğü üzere gerilim tepelerinde azalma görülmektedir, bu azalma ile birlikte batarya sağlık durumu tahmin edilir (Torai ve diğ. 2018).



Şekil 4.6: C/25 oranı ile şarj edilen Li-iyon hücrelerin ICA yaşlanması (Torai ve diğ. 2018)

Diferansiyel kapasite analiz (DVA) yönteminde de ICA yöntemindeki gibi gerilimlerin işlenmesi ile eğriler çıkarılır ve analiz edilir. ICA yönteminde kapasitenin gerilime göre türevi alınırken bu yöntemde ise tam tersi uygulanmaktadır, yani gerilimin (V), batarya kapasitesine göre türevi (dV/dQ) alınır. Diferansiyel kapasite analizi sonucunda oluşan grafiklerde ise bataryanın çevrim sayısı arttıkça gerilim tepeleri arası mesafe azalacaktır. Gerilim tepeleri arasındaki mesafeye bakılarak ise bataryanın sağlık durumu tahmini yapılmaktadır (Torai ve diğ. 2018). Şekil 4.7'de diferansiyel kapasite analizinin batarya kapasitesine bağlı gerilim tepe grafiği verilmiştir.



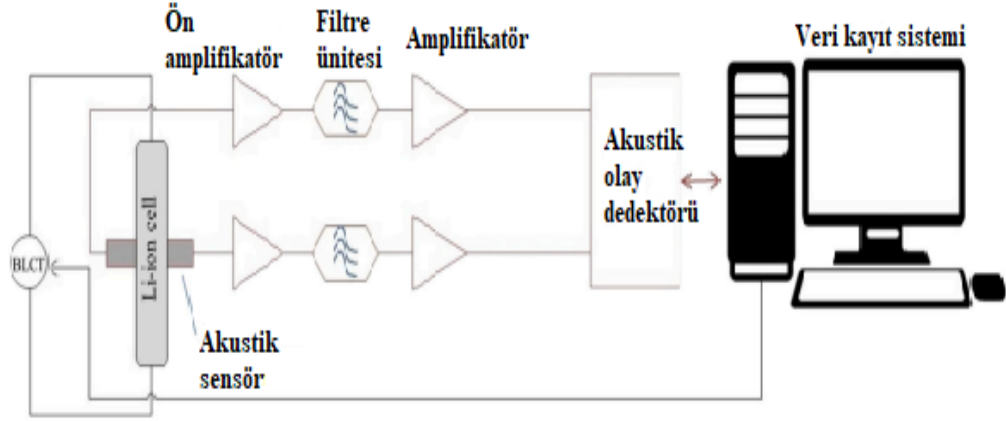
Şekil 4.7: Batarya kapasitesine bağlı dV/dQ eğrisi (Xiong ve diğ. 2018)

Arttırımsal kapasite analizi (ICA) ve Diferansiyel kapasite analizi (DVA) yöntemlerinde çıkarılan eğriler hassas olduğu ve bu hassasiyeti yakalamak adına genellikle çok düşük akımlara karşılık gelen C/25 akımı ile şarj işlemi yapılarak verilerin alındığı görülmüştür. Her iki yöntemde de çok düşük akımlarla çalışılması gerektiği için yöntemin kullanılabilirliği diğer laboratuvar yöntemlerine kıyasla daha zordur (Torai ve diğ. 2018).

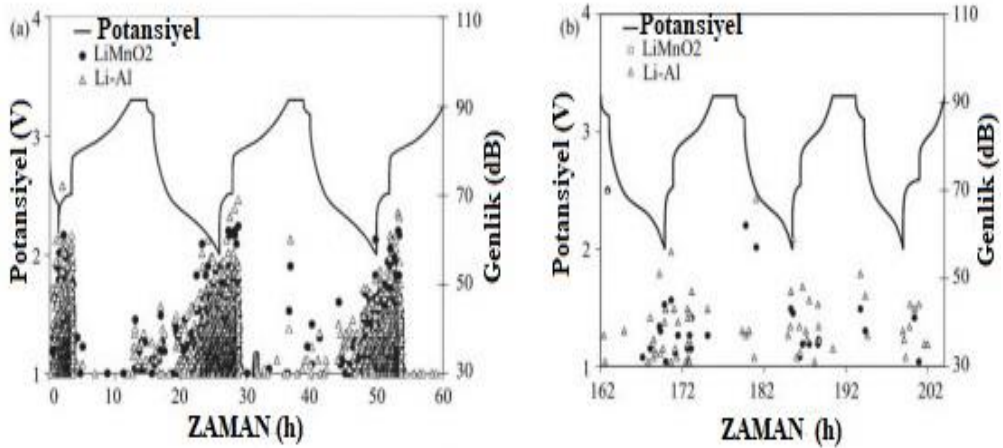
4.1.2.4 Akustik Emisyon Tekniği

Akustik emisyon tekniği Li-iyon pil hücrelerinin harici mekanik uyarılara maruz kalmadığı ses dalgalarını algılar. Li-iyon hücrenin yüzeyine takılan, akustik dalgaları ölçen hassas bir mikrofona hücrenin içerisindeki mekanik stres ölçülür. Akustik emisyon durumlarının kaynakları, elektrotlarda çatlak oluşması, metal iyonların çözülmesi, katı elektrolit interfaz oluşması, metal iyonların kaplanması, pil içerisinde pul pul dökülmeler ve hücrenin diğer yapı bozukluklarıdır (Kircheva ve diğ. 2011). Akustik emisyon tekniği ile sağlık durumu tahmin yönteminde Li-iyon pilin şarj-deşarj çevrimine girmesine gerek yoktur. Şekil 4.8’de akustik emisyon tekniği ile bir Li-iyon hücrenin ölçüm düzeneği şematize edilmiştir. Düzenekte akustik dönüştürücüler ve sensörler hücre yüzeyine yerleştirilir, sensörlerden alınan sinyaller sinyallerin tutarlılığı için filtrelenir, filtrelenmiş olan sinyaller yükseltilerek sinyal koşullandırma ünitesi ve akustik dedektör tarafından işlenir. Tüm verilerin işlenmesinden sonra bir

veri kayıt sistemi ile veriler alınır, görüntülenir ve analiz edilir. Analizlerin sonucunda ise Li-iyon hücrenin sağlık durum tahmini yapılabilir (Raj ve diğ. 2002). Şekil 4.9'da ise akustik emisyon tekniği ile yapılan ölçümlere göre eski ve yeni Li-iyon hücreler için analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.8: Akustik emisyon tekniği ile batarya sağlık durum görüntüleme şeması (Raj ve diğ. 2002)



Şekil 4.9: Akustik emisyon tekniğine göre yeni ve eski hücelere ait analizler (Raj ve diğ. 2002)

4.1.2.5 Fiber Bragg Izgara Tekniği

Fiber Bragg ızgara ölçüm tekniğinde Li-iyon devresine gerginlik sensörleri monte edilir. Sensörler optik fiberden geçen sinyallerin çıkış sinyallerini ve yansıyan sinyallerini algılar. Bu teknikte Li-iyon bataryanın şarj-deşarj döngüsüne gerek yoktur, dolayısıyla elektrik sarfiyatı olmayan bir tekniktir. Li-iyon bataryaların yüzey gerilimleri ve hücreler arası sıcaklık dağılımları da bu teknikle birlikte ölçülebilir. Sensörlerin algıladığı sıcaklık, basınç, yüzey gerilimleri, optik çıkış sinyalleri ve

yansıyan optik sinyallerin yorumlanması ile batarya sağlık durumu hakkında tahminler yapılabilmektedir (Sommer ve diğ. 2014).

4.2 Model Tabanlı Tahmin Teknikleri

Deneysel teknikler Li-iyon bataryaların sağlık tahmini yapılabilmesi adına detaylı veriler sağlasa da esas olarak güvenilir, gerçek çalışma zamanına bağlı ve daha doğru batarya tahmin tekniklerine ihtiyaç duyulur. Deneysel tekniklerin tüm kapsamlı verilerine rağmen, Li-iyon batarya paketinin gerçek sağlık tahmini yapılabilmesi için gerçek kullanım koşullarındaki verilerine ihtiyaç duyulur. Model tabanlı tahmin tekniklerinde ise batarya paketinin çalışma koşullarındaki veriler ele alınır. Bu sebeple batarya paketinin sağlık tahmini yapılırken model tabanlı tahmin teknikleri ile daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar elde edilir. Bu sebeple deneysel teknikler model tabanlı teknikler ile birlikte kullanılarak yüksek tutarlılıkta sonuçlar elde edilir (Cacciato ve diğ. 2016). Model tabanlı teknikler ise kendi içerisinde Verilere dayalı teknikler ve uyarlanabilir filtreleme teknikleri olarak ikiye ayrılır.

4.2.1 Verilere Dayalı Teknikler

Verilere dayalı teknikler yöntemi ile Li-iyon bataryanın sağlık durum tahmini yapılırken bir Li-iyon batarya paketi oluşturulmalıdır. Oluşturulacak olan batarya paketinin karşılaşılabilecek elektrokimyasal süreçler ve bataryanın hangi çalışma ortamında çalışacağı bilinmediği için oluşturulacak modeli belirlemek zordur. Fakat verilere dayalı tekniklerde batarya paketinin bir çalışma modeline göre oluşturulmasına gerek yoktur. Bu teknikte bir çalışma verileri bilinen bir batarya modeli oluşturulur, oluşturulan model ile yapılan testlerde batarya paketinin eskime verileri toplanır. Diğer tekniklere kıyasla bu tekniğin dezavantajı ise batarya modelinin ve test ekipmanlarının maliyeti, alınan verilerin hesaplama karmaşıklığı ve veri toplama süresinin uzun olmasıdır. Bahsedilen dezavantajlara rağmen bir batarya modelinin sağlık durum tahmini yapılırken kullanılacak en tutarlı tekniklerden birisidir (Li ve diğ. 2019).

4.2.1.1 Optimizasyon Algoritmaları Tekniği

Bu yöntemde, model parametreleri akıllı optimizasyon algoritmaları kullanılarak belirlenir ve bu parametrelerden bir veya daha fazlası SoH tahmin edilirken kullanılır. Genetik algoritmalar (GA) genellikle bu yöntemde non-lineer sistem parametrelerinin etkin bir şekilde ölçülmesi amacıyla kullanılır. GA, model parametrelerinin belirlenmesi sırasında genellikle tahmin edilen ve deneysel batarya gerilim verileri arasındaki tutarsızlıklarla ortaya çıkan çeşitlilikleri gösterir. Model parametrelerinin kombinasyonları farklı batarya gerilim tutarsızlıklarına neden olur. Bu nedenle, ideal model parametre setini seçerek batarya gerilim tutarsızlıklarının kök ortalama değeri azaltılabilir (Yang ve diğ. 2017). Bu algoritmaların en büyük dezavantajı, en uygun çözüm matrislerinin bulunması için uzun hesaplama süresine ihtiyaç duymalarıdır. Bu nedenle, gerçek zamanlı uygulamalar için zor olabilirler. Ancak, bulut bilişim teknolojilerindeki yenilikler, verilerin hızlı bir şekilde yüklenip indirilebilmesini mümkün kılmaktadır (Forman ve diğ. 2012).

4.2.1.2 Empirik ve Uyumlu Teknikler

Empirik ve uyumlu teknik, elektrokimyasal hücre tasarımı ve malzeme özelliklerinin ayrıntılı bir anlayışı yerine, mevcut pil sağlık verilerine dayanarak pil türlerinin gelecekteki performansı tahmin edilir. Polinom, üstel ve kuvvet yasası gibi uygun modeller yaygın olarak kullanıldığından, bu teknik çoğunlukla daha hızlı hesaplamalar yapar. Bu teknikle ilgili araştırma makaleleri çoğunlukla şarj durumu (SoC), voltaj, yaşlanma süresi, sıcaklık, deşarj oranı ve deşarj derinliği (DoD) gibi birincil sağlık parametreleri olarak ele almaktadır. Bunların yanı sıra çok sayıda araştırmada da pilin güç kapasitesi ve sağlık durumunu da tartışan deneysel direnç modelleri önerilmiştir. Deneysel verilerin kalitesi, empirik ve uyumlu modelleri ciddi şekilde etkiler ve tek bir mutlak değişkenin kesinliği zor bulunur. Pil yaşlanma sıcaklığı sabitlenebilse de SoC kendiliğinden deşarj veya diğer bilinmeyen faktörler nedeniyle değişebilir. Pil yaşlanması, yaşlanma faktörlerinin birikmesiyle etkilense de tüm parametreleri hesaba katmak ve kesin bir sonuca ulaşmak kolay değildir (Petit ve diğ. 2016).

4.2.1.3 Örnek Entropi Teknikleri

Çok sayıda araştırma alanı, biyomedikal araştırmalar da dahil olmak üzere zaman serilerinin özelliklerini veya karmaşıklıklarını analiz etmek için yaklaşık entropi ve örnek entropiyi kullanır (Chen ve diğ. 2009). Zaman serileri veri varyasyonlarının düzenliliği ve öngörülemezliği genellikle istatistikte yaklaşık entropi tekniği ile nicel olarak ölçülür. Örneğin, birden fazla tekrarlayan veri deseni olan bir zaman serisi, rastgele öngörülemeyen bir sürece göre nispeten daha küçük bir yaklaşık entropiye sahiptir. Yaklaşık entropinin daha iyi bir versiyonu ise örnek entropidir. Örnek entropi yaklaşık entropiye kıyasla, daha yüksek hesaplama hızına, tutarlılığa sahiptir (Widodo ve diğ. 2011). Örnek entropi, genellikle hibrit darbe güç karakterizasyonu (HPPC) voltaj dizisi kullanılarak SoH göstergesi olarak hesaplanır çünkü pil yaşlanmasına karşı yüksek hassasiyeti vardır. Bazı araştırmacılar, HPPC profili altında kapasite ve örnek entropiye polinom denklemini uygun hale getirdiler. Örnek entropi, destek vektör makinesi ve ilgili vektör makinesi gibi makine öğrenimi teknikleriyle başarılı bir şekilde birleştirilmiş ve daha iyi performans göstermiştir (Li ve diğ. 2014). Bazı araştırmacılar, örnek entropi tekniğinin hesaplama yükünü azaltmaya çalışmışlardır; ancak, araştırma zorluklarıyla başa çıkmak için daha kapsamlı bir çaba gerekmektedir.

4.2.1.4 Makine Öğrenimi Teknikleri

Makine öğrenimi algoritmaları, doğrudan programlanmadan doğru tahminler veya yaklaşımlar sunmak için test veya eğitim verilerine dayalı bir model tasarlamayı amaçlar. Temel bir teknoloji ve ileri bir yapay zekâ yaklaşımı olarak, ML (Machine Learning) teknikleri sağlık hizmetleri, finans ve görüntü işleme gibi birçok alanda kullanılmıştır. Bu nedenle, birçok araştırma ekibi tarafından batarya durumunu tahmin etmek için kullanılmaktadır. Batarya sağlık durumu tahmini için kullanılan temel makine öğrenimi yöntemleri Gauss süreç regresyonu, yapay sinir ağları, destek vektör makineleri, bulanık mantık, Markov zinciri ve Monte Carlo'dur. Bu yöntemler oldukça etkilidir, ancak eğitim verilerinin toplanması uzun ve yüksek maliyetli bir işlemdir. Ancak, büyük veri platformları sayesinde, ML sağlık izleme sistemleri gelecekte önemli potansiyele sahiptir. Büyük veri platformları kurulduktan sonra mikro

kontrolcülerin gereksinimleri de azalacaktır. Sonuç olarak, araştırmacılar, büyük miktarda eğitim verisinin toplanması ile birçok avantaja sahip olacaktır. Bir başka bakış açısıyla ise büyük miktarda verinin mevcut olması, etkisiz verilerin veya parametre seçiminin önemli hatalara ve algoritma yakınsama hatasına yol açabileceği için veri eleme sürecini daha da zor hale getirmektedir (Kaur ve diğ. 2021, Pradhan ve Chakraborty 2022).

4.2.2 Adaptif Filtreleme Teknikleri

Adaptif filtreleme teknikleri, batarya yönetim sistemlerinde ve SoH değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan gelişmiş bir tekniktir. Bu tekniğe dahil olan araçların ayrıntılı açıklamaları, gelecek yazılarda verilmiştir (Pradhan ve Chakraborty 2022).

4.2.2.1 Elektrokimyasal Model Tabanlı Teknik

Elektrokimyasal model tabanlı teknikler, batarya sağlık parametrelerini tanımlamak ve tahmin etmek için adaptif filtreleri kullanan eşdeğer devre tabanlı tekniklere benzemektedir. Bu teknikte, batarya direnci ve kapasitesi genellikle zaman ölçekli gözlemci, orantılı integral gözlemci, genişletilmiş Kalman filtresi, adaptif kısmi diferansiyel denklem gözlemcisi ve adaptif çıkış enjeksiyon gözlemcisi gibi yöntemlerle belirlenir ve SoH ile birlikte hesaplanır. Ancak, işlemler genellikle tek bir doğrulama veri kümesine dayanarak yeterince doğrulanmamaktadır ve batarya yaşlanmasını veya çalışma koşulları nadiren dikkate alınmaktadır (Li ve diğ. 2011). Solid-state difüzyon katsayısı ve difüzyon süresinin, batarya yaşlanmasıyla monoton değiştiği için daha kararlı SoH tahminleri olduğu görülmüştür ve birkaç araştırmacı, tek parçacık modelini (TPM) katı elektrolit arayüz tabakası (SEI) büyümesi ve döngü sayısı ile birlikte hesaplanarak iyileştirmiştir. Farklı yaşlanma mekanizmaları elektrokimyasal modellere dahil edilerek ölçülebilir olsa da tüm yaşlanma mekanizmalarını tek bir yapıya dahil etmek epey zordur (Pradhan ve Chakraborty 2022).

4.2.2.2 Eşdeğer Devre Model Tabanlı Teknik

Eşdeğer devre modeli tabanlı teknikler, Li-iyon bataryaların sağlık durumunu tahmin etmek için araştırmalarda çok kullanılan bir yöntemdir. Bu teknikler, bataryanın dahili direnç, kapasite ve diğere özelliklerini simüle eden eşdeğer devre elemanları kullanarak bataryanın davranışını modeller. Bu modeller, bataryanın gerçek zamanlı durumunu tahmin etmek için kullanılabilir. Eşdeğer devre modeli tabanlı teknikler yüksek hesaplama hızı, basitlik ve kolay anlaşılabilir oluşlarıyla araştırmalarda avantaj sağlamaktadırlar. Bu yöntemler, batarya özelliklerini tahmin etmek için sıklıkla kullanılan kısmi akım voltajı (PVA) analizi ve kutup direnç spektroskopisi (EIS) gibi deneylerle doğrulanmıştır (Stetzel ve diğ. 2015, Tang ve diğ. 2011).

4.2.2.3 Hibrit Teknikler

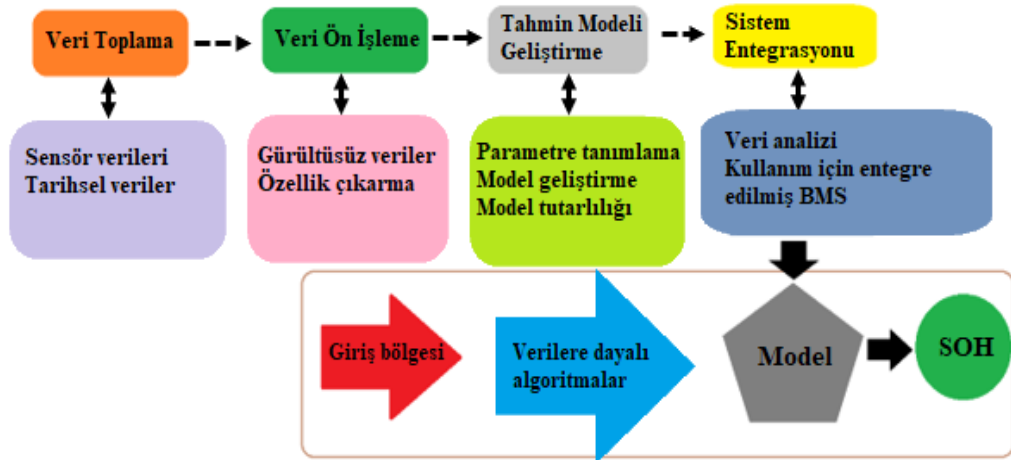
Hibrit teknikler, lityum iyon bataryaların durumunu tahmin etmek için eşdeğer devre modeli tabanlı tekniklerle birlikte elektrokimyasal model tabanlı tekniklerin de kullanıldığı bir yöntemdir. Bu teknikler, bataryanın gerçek zamanlı hareketlerini daha doğru bir şekilde tahmin edebilmek için eşdeğer devre modeli ile elektrokimyasal modeli birleştirilmesi esasına dayanır. Hibrit tekniklerin avantajları arasında daha yüksek tahmin doğruluğu, daha iyi batarya ömür tahminleri yer almaktadır. Bu avantajlara rağmen bu yöntem birden çok yöntemin bir arada kullanılmasından dolayı, işlem yükü ağır ve veri karmaşıklığı söz konusudur. Hibrit teknikler, deneyler ve doğrulama çalışmaları ile desteklenmektedir. Bu teknikler, kutup direnç spektroskopisi, kısmi akım voltajı analizi ve elektrokimyasal etki ölçer gibi yöntemlerle doğrulanmıştır (Cui ve diğ. 2022).

5. BATARYA SAĞLIK TAHMİNİNE İLİŞKİN YÖNTEMLER

Enerji depolama ve elektrikli araç sektöründe önemli bir yere sahip olan Li-iyon bataryaların önemi çok önemlidir. Birçok sektörde kullanılan Li-iyon bataryaların ömür tahmini de bu yüzden önemli bir hal almaktadır. Bataryaların ömür uzunluğu ve performansının korunması, batarya sağlık tahmininin doğru bir şekilde yapılması ile mümkündür. Bu sebeple, son yıllarda Li-iyon bataryaların sağlık tahmini üzerine yapılan araştırmalar hızla artmaktadır (Ipek ve diğ. 2019). İlerleyen yazılarda, Li-iyon bataryaların sağlık tahminine yönelik olarak XGBoost algoritması ve benzeri yöntemler incelenecektir.

5.1 Li-İyon Bataryaların Sağlık Tahmini

Li-iyon bataryaların sağlık tahmini için genellikle çevrim ömrü, iç direnç, kapasite ve açık devre gerilimi gibi parametreler kullanılır. Bu parametrelerin belirlenmesi, bataryanın sağlık durumunun tahmin edilmesinde oldukça önemlidir. Bataryanın sağlık durumunun doğru bir şekilde tahmin edilmesi, bataryanın ömrünün uzatılması ve performansının artırılması açısından büyük önem taşır (Berecibar ve diğ. 2016). Şekil 5.1’de batarya sağlık tahmini süreci şematize edilmiştir.

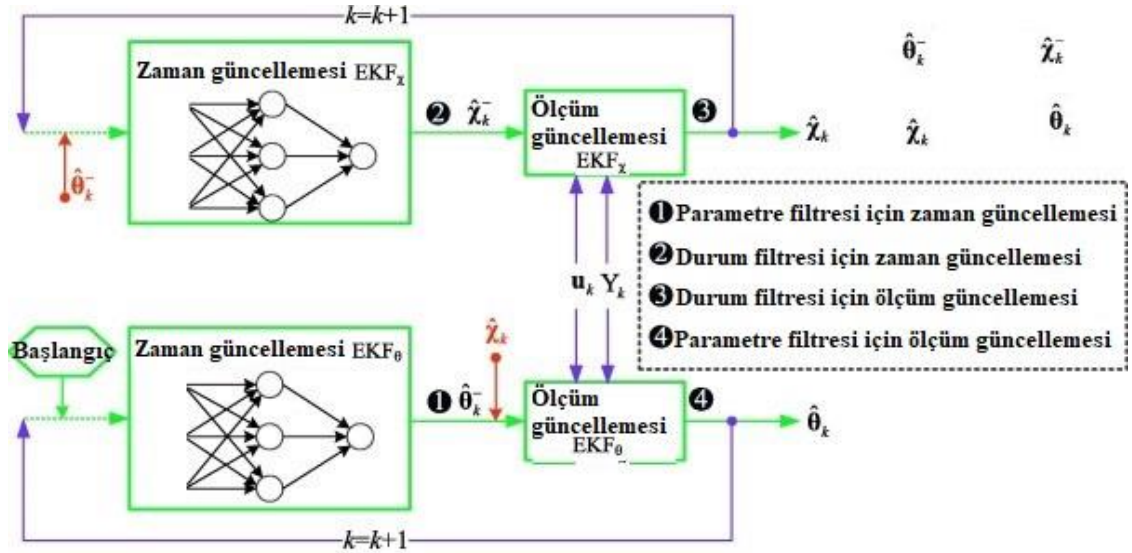


Şekil 5.1: Batarya sağlık tahmin süreci (Pradhan ve Chakraborty 2022)

5.2 Genişletilmiş Kalman Filtresi (EKF)

Genişletilmiş Kalman filtresi (EKF), özellikle dinamik sistemlerde kullanılan bir filtreleme tekniği olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır. EKF, sistem modellerindeki belirsizlikleri azaltarak, ölçülen verileri kullanarak sistem durumunu tahmin eder. Li-iyon bataryaların ömrü tahmini için, EKF sıkça kullanılan bir yöntemdir. EKF, bataryanın gerçek zamanlı değişen durumunu tahmin etmek ve gerçek ömrünü tahmin etmek için kullanılır. EKF'nin en önemli avantajı, sistem modelindeki hataların ve ölçüm hatalarının varlığı durumunda bile doğru ve tutarlı bir tahmin sunabilmesidir (Wang ve diğ. 2017).

Son yıllarda, Li-iyon bataryaların ömrü tahmini için birçok akademik çalışma EKF kullanarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar, bataryanın kapasitesinin tahmin edilmesi, geri kazanılabilir enerjinin tahmini ve bataryanın geri kalan kullanım ömrünün tahmini gibi farklı alanlarda odaklanmıştır (Xiong ve diğ. 2014). Şekil 5.2'de Xiong ve diğ. 2014 tarafından yapılan çalışmada kullanılan çift ölçekli EKF şematize edilmiştir.



Şekil 5.2: Çift ölçekli genişletilmiş Kalman filtresi (Xiong ve diğ. 2014)

Xiong ve diğ. (2014), tarafından yapılan çalışmada bataryanın verileri ile birden fazla ölçekli veri analizi yapılarak model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelle birlikte bataryanın kapasitesi, iç direnci ve açık devre gerilimini hesaplamak için sıcaklık, akım ve şarj-deşarj verileri birleştirilmiştir. Çalışma sonucunda savunulan

çok ölçekli EKF yaklaşımının, batarya parametreleri ve anlık durumu hakkında doğru tahminler gerçekleştirdiği görülmüştür. Bu yaklaşımın Li-iyon bataryalar ile aktif bir şekilde kullanılabileceği savunulmuştur.

5.3 XGBoost Algoritması

XGBoost, açık kaynak kodlu bir makine öğrenmesi kütüphanesidir. Gradient boosting yöntemini kullanır ve doğrusal olmayan modeller üzerinde yüksek doğruluk oranlarında tahminler yapabilir. Li-iyon bataryaların sağlık tahmini için XGBoost algoritması kullanılarak, çevrim ömrü, iç direnç, kapasite ve açık devre gerilimi gibi parametrelerin tahmini yapılabilmektedir. Bu parametreler, bataryanın sağlık durumunun tahmin edilirken doğru sonuçlar elde edebilmek adına yüksek önem arz etmektedir (Boujelbene ve diğ. 2023).

5.4 Benzer Yöntemler

XGBoost algoritması gibi birçok benzer yöntem Li-iyon bataryaların sağlık tahmini için kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin arasında; Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri, Doğrusal Regresyon, Karar Ağaçları, Rastgele Ormanlar ve K-En Yakın Komşu algoritmaları en sık kullanılan yöntemlerdir (Shandiz ve diğ. 2016, Tran ve diğ. 2022).

5.4.1 Yapay Sinir Ağları (ANN)

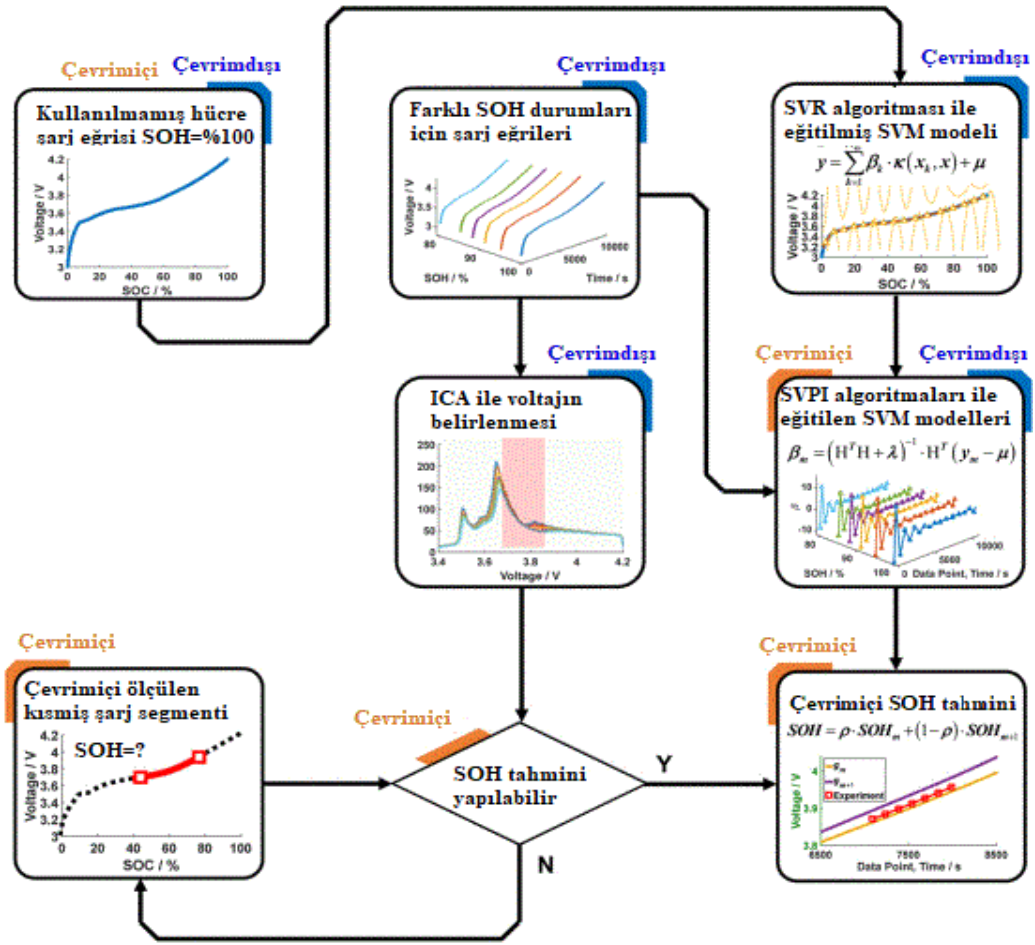
Bu yöntem, Li-iyon bataryaların sağlık tahmini için sıkça kullanılan bir makine öğrenmesi tekniklerinden birisidir. Yapay sinir ağları (ANN), çeşitli parametrelerin karmaşık olmasına rağmen etkileşimlerini yakalayabilen ve tahmin yapabilen çok katmanlı bir yapı ile çalışır. ANN'ler, çoğunlukla bataryanın gerilim, sıcaklık, şarj-deşarj oranı, dolum süresi ve dolum-deşarj döngü sayısı gibi parametreleri veri olarak kullanır ve batarya ömrü veya SoH tahmini yapmak için geliştirilirler (Hussein 2014).

Chemali ve diğ. (2022), Li-iyon bataryaların sağlık durumunun tahmininde bir evrişimli sinir ağı (CNN) yaklaşımı kullanmışlardır. Çalışmada, bataryaların şarj profilleri kullanılarak SoH tahmini için bir CNN modeli eğitilmiştir. Modelin doğruluğu, SoH değerlerinin gerçek ölçümleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, bu yöntemin, diğer geleneksel yaklaşımlara göre daha doğru SoH tahmini sağladığını göstermektedir. Bu nedenle, bu yöntemin Li-iyon pillerin SoH tahmininde gelecekte yaygın olarak kullanılabilceği savunulmuştur (Chemali ve diğ. 2022).

5.4.2 Destek Vektör Makineleri (SVM)

Bu yöntem, Li-iyon bataryaların sağlık tahmini için bir diğer popöler makine öğrenmesi yöntemlerinden birisidir. SVM, giriş verilerinin sınıflandırmak için bir hiper-düzlem kullanır ve öğrenme esnasında örnek verileri sınıflandırırken kullanılır. SVM, verilerin boyutunu küçültür ve daha az örnek ile bataryanın sağlık durumunu tahmin edebilmektedir. Batarya sağlık tahmini için eğitilme süreçlerinde daha az örnek ile eğitilebilmeleri en büyük avantajlarındandır (Feng ve diğ. 2019). şekil 5.3'te farklı SVM eğitilmeleri ile evrimii SoH tahmin şeması verilmiştir.

Meng ve diğ. (2018), kısa süreli akım darbesi testi (STCP) ve destek vektör makinesi (SVM) kullanarak Li-iyon bataryaların sağlık durumunu tahmin etmek için bir yöntem savunmuşlardır. STCP testi, bataryanın dahili direncini ve kapasitesini belirlemek için kullanılmıştır. SVM, STCP testi sırasında toplanan verileri kullanarak batarya sağlık durumunu tahmin etmek için eğitilmiştir. Araştırmacılar, nerilen yöntemin diğer geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında daha yüksek doğruluk ve daha az hesaplama maliyeti sağladığını bildirmişlerdi. Çalışma, STCP ve SVM'nin Li-iyon bataryaların sağlık durumunun hızlı ve doğru bir şekilde tahmin edilmesinde potansiyel olarak etkili bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir (Meng ve diğ. 2018).



Şekil 5.3: Eğitilmiş SVM yöntemleri ile çevrimiçi SoH tahmin şeması (Feng ve diğ. 2019)

5.4.3 K-En Yakın Komşu (KNN)

Bu yöntem, bir örnek veri noktasının, belirli bir sayıda en yakın örnek veri noktasının etrafındaki sınıflarına göre sınıflandırılması prensibi üzerine geliştirilir. Bataryaların sağlık durumunu tahmin etmek için, KNN yöntemi gerilim, sıcaklık, şarj-deşarj oranı, dolun süresi, şarj-deşarj döngü sayısı gibi özelliklerin kombinasyonu ile kullanılır ve benzer batarya özelliklerine sahip örnek veri noktaları bulur. Bulduğu örnek veri noktaları ile bataryanın anlık sağlık tahmini yapılır (Hu ve diğ. 2014).

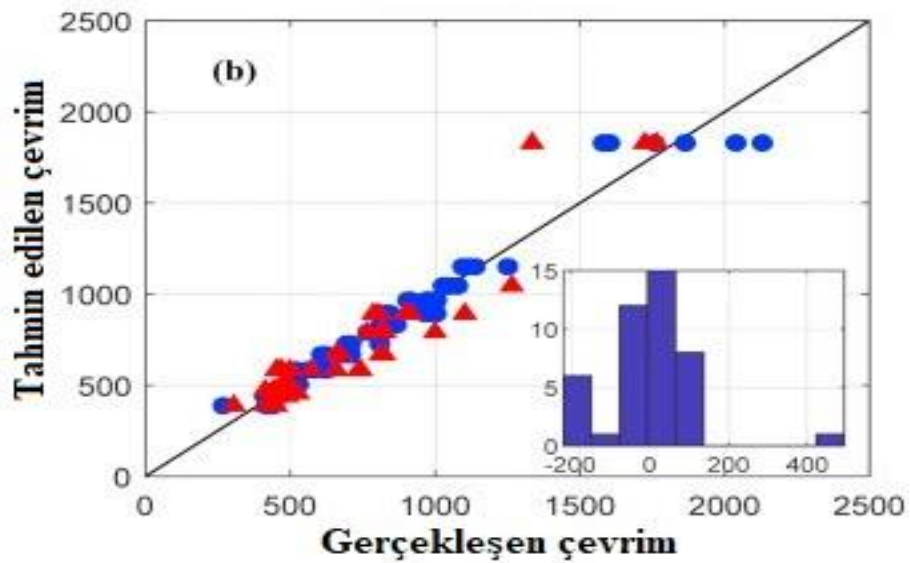
Hu ve diğ. (2014), Li-iyon bataryaların kapasitesini tahmin etmek için veri tabanlı bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem, parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve KNN regresyonunu birleştirerek gerçek zamanlı bir kapasite tahmini yapabilmektedir. PSO, KNN regresyonunda kullanılan ağırlıklandırma faktörlerini optimize etmektedir. Bu çalışmada, Li-iyon pillerin gerçek zamanlı kapasite tahmini

için PSO-KNN yönteminin diğer veri tabanlı tekniklere göre daha doğru olduğu savunulmuştur.

5.4.4 Karar Ağaçları

Bu yöntem, batarya özellikleri üzerinden bir dizi karar ağacı oluşturur ve bataryanın sağlık durumunu tahmin etmeye çalışır. Bu yöntem, batarya parametrelerinin bağımlılıkları gösteren bir yapı oluşturur ve bu yapı üzerinden batarya ömrü veya SoH tahmini yapar (Tran ve diğ. 2022).

Yang ve diğ. (2020) çalışmasında, Li-iyon bataryaların ömrünün tahmin edilmesi için farklı verilerin elde edilmesi ve gradient boosting regresyon ağacı modelinin kullanılması üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla, önce gerçek zamanlı batarya testi verileri kullanılarak bataryaların kapasitesi, iç direnci ve sıcaklığı gibi çeşitli verileri çıkarılmıştır. Ardından, bu özellikler, önceden eğitilmiş bir gradient boosting regresyon ağacı modeline verilmiş ve bataryaların ömür tahmini yapılması sağlanmıştır. Çalışmanın sonuçları, verilerin seçimi ve modelin öğrenme sürecindeki optimizasyonu sayesinde yüksek doğruluk oranları elde edildiğini bildirilmiştir. Şekil 5.4'te karar ağaçları tahmin algoritması ile deney sonuçlarının yakınlığını belirten sağlık durum grafiği verilmiştir (Yang ve diğ. 2020).



Şekil 5.4: Karar ağaçları algoritması ile gerçek sağlık durumu kıyaslandırılması

5.4.5 Doğrusal Regresyon (Linear Regresyon)

Bu yöntem, veriler arasındaki doğrusal ilişkileri modeller ve bataryanın SoH tahminini gerçekleştirir. Batarya parametreleri ve SoH arasındaki ilişkiyi açıklayan bir doğrusal denklem oluşturulur ve bu denklem kullanılarak batarya sağlık durumu tahmin edilir (Tran ve diğ. 2022). Tran ve diğ. (2022) tarafından yapılan çalışmada doğrusal regresyon, k-en yakın komşu algoritması, rastgele ormanlar ve karar ağaçları algoritmaları ile dört farklı makine öğrenmesi yöntemi kullanılmış ve R^2 skoru ile sonuçların tutarlılıkları incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda 0,99 R^2 skoru ile karar ağaçları algoritması en yüksek puana sahip olmuştur. Tablo 5.1’de yöntemlerin R^2 skorları verilmiştir.

Tablo 5.1: 4 farklı makine öğrenmesi yönteminin R^2 skoru (Tran ve diğ. 2022)

Yöntem	R^2 Skoru
Doğrusal Regresyon	0,50
K-En Yakın Komşu	0,75
Rastgele Orman	0,94
Karar Ağaçları	0,99

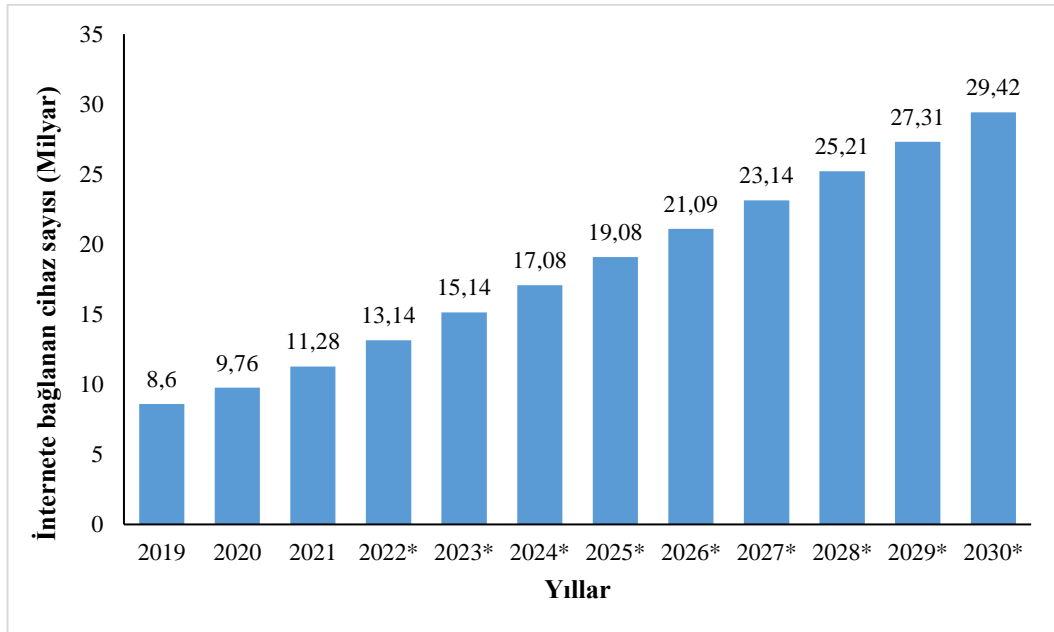
*Not: R^2 , verilerin yerleştirilmiş regresyon hattına ne kadar yakın olduğunun istatistiksel bir ölçüsüdür.

6. İNTERNET OF THINGS (IoT) TEKNOLOJİSİ

Nesnelerin İnterneti (IoT) son yılların en popüler teknolojik konularından biri haline gelmiştir. IoT modülü, fiziksel cihazların internete bağlanarak veri toplamasına, iletişim kurmasına ve kontrol edilmesine imkân veren bir teknolojidir. IoT modülleri, elektrikli araçlar, evler, ofisler, fabrikalar, tarlalar ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. IoT sayesinde, daha akıllı, verimli ve güvenli çözüm ve takip imkânı sunulmaktadır (Madakam ve diğ. 2015).

6.1 IoT'nin Önemi

IoT'nin en önemli özelliklerinden biri, cihazların birbirleriyle ve insanlarla etkileşim kurabilmesidir. IoT cihazları sayesinde, cihazlar arasındaki iletişim artar ve daha akıllı ve verimli çözümler ortaya çıkar. Bu sayede, işletmeler, devletler, markalar ve insanlar, daha verimli ve hızlı kararlar alabilirler (Ray 2018). Şekil 6.1'de IoT kullanımının yıllara oranla kullanımı ve gelecek yıllara göre kullanım tahmin grafiği verilmiştir.



Şekil 6.1: Yıllara bağlı IoT kullanım ve tahmin grafiği (<https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>)

IoT modülü, büyük veri analizi ve yapay zekâ ile birlikte çalıştırıldığında, daha da verimli bir hale gelir. Bu sayede, IoT modülleri ile toplanan veriler daha verimli bir şekilde işlenebilir ve daha anlamlı sonuçlar elde edilir (Chang ve diğ. 2021).

6.2 IoT'nin Kullanıldığı Alanlar

Endüstriyel Otomasyon: IoT, endüstriyel otomasyon alanında kullanılan sensörler, veri toplama ve analiz cihazları ve bulut bilişim teknolojileri sayesinde endüstriyel üretim sistemlerini daha verimli ve sistemi daha hızlı hale getirir. Örneğin, IoT kullanarak, üretim verimliliğini artırmak, üretim maliyetleri düşürmek ve üretim hatalarını önlemek mümkündür (Molaei ve diğ. 2020).

Tarım: IoT, tarım sektöründe kullanılan çiftlik yönetim sistemleri için de uygulanmaktadır. Tarla ve seralardaki sensörler, toprak nemini, sıcaklığı, hava koşullarını, meyve gelişimi gibi unsurları takip ederek, çiftçilerin daha verimli ve sürdürülebilir tarım yapmalarını sağlar (Haseeb ve diğ. 2020).

Sağlık: IoT, sağlık sektöründe kullanılan tıbbi cihazlar ve hasta takip sistemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin, IoT modülü ile hastaların sağlık durumlarını uzaktan takip etmek, hastalıkların erken teşhisini yapmak, tedavi sonuçlarını izlemek ve sağlık hizmetlerinin daha verimli ve erken müdahaleye uygun hale getirilmesi mümkündür (Baker ve diğ. 2017).

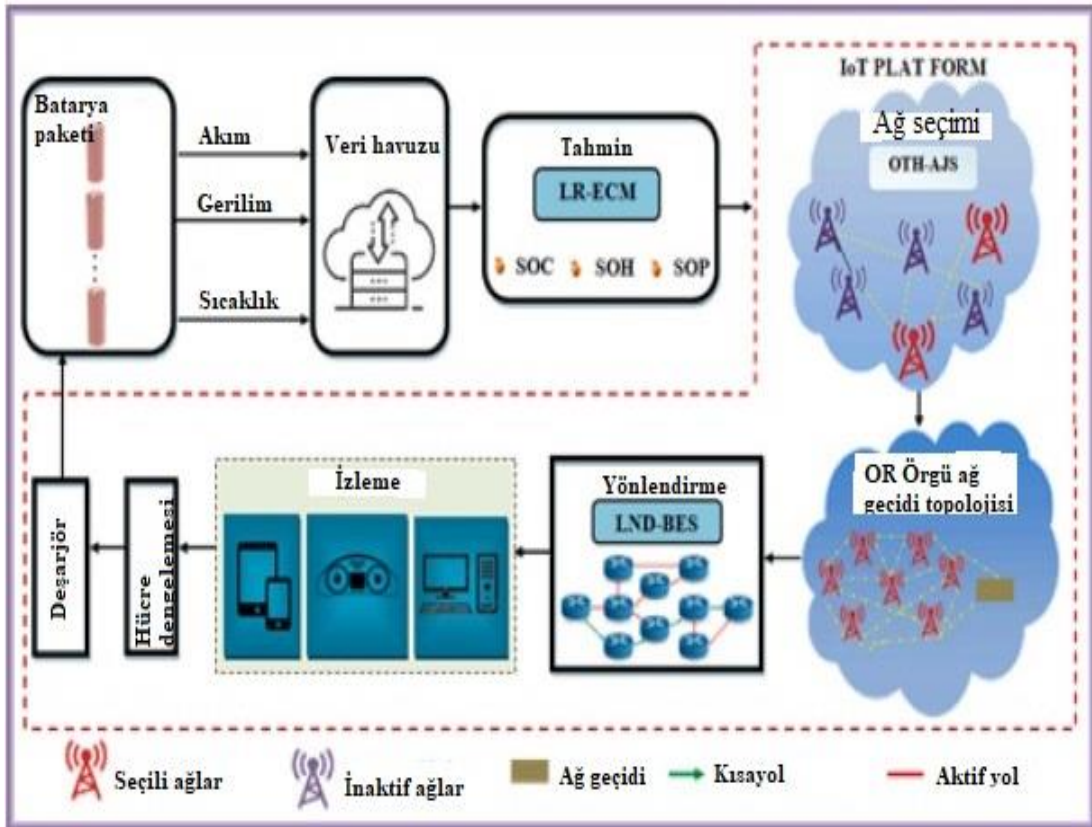
Enerji Yönetimi: IoT modülü ile enerji yönetimi alanında kullanılan akıllı ölçüm cihazları, enerji kullanımı analiz ve veri toplama sistemleri, dağıtım ağlarının kontrolü ile enerji verimliliğini artırarak enerji maliyetlerinin düşürülmesi sağlanır (Bhandari ve diğ. 2016).

Ulaşım: IoT, ulaşım sektöründe kullanılan akıllı trafik yönetimi, akıllı şehirler, akıllı park yönetimi gibi teknolojiler ile trafik akışını optimize ederek daha verimli ve risk yüzdesi düşük bir ulaşım sistemine imkân tanır (Atzori ve diğ. 2010).

6.3 IoT'nin Elektrikli Araçlarda Kullanımı

6.3.1 Batarya Yönetimi

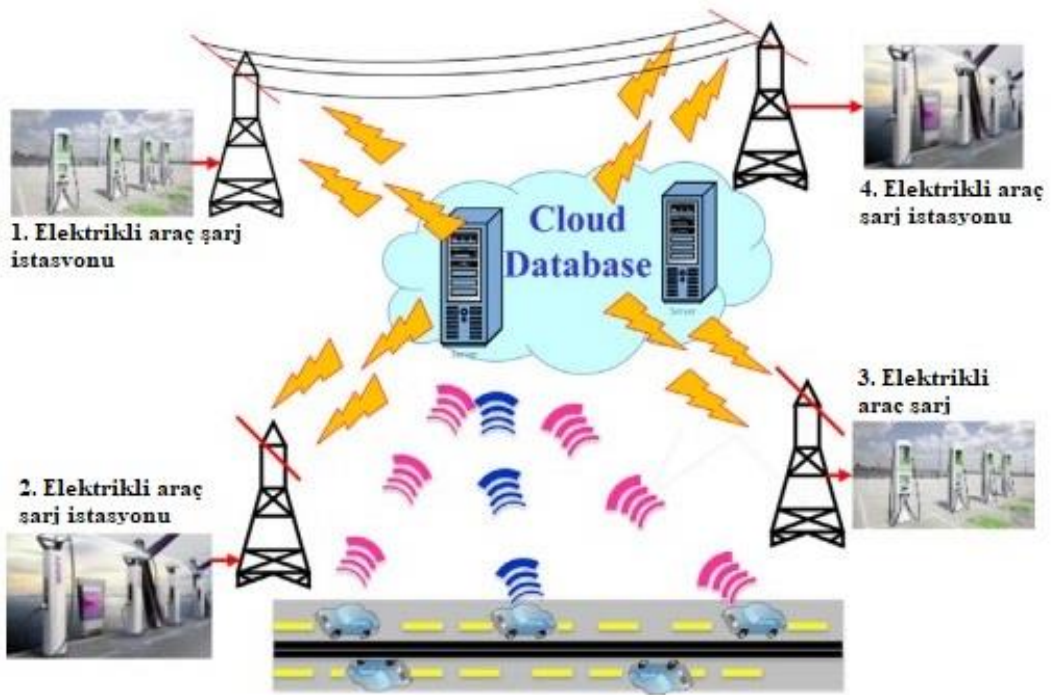
IoT teknolojisi, elektrikli araçlarda bulunan Li-iyon bataryaların yönetiminde kullanılmaktadır. Batarya yönetim sistemi (BYS) olarak da bilinen IoT modülleri ile bataryanın sıcaklık, gerilim, akım, şarj durumu, son şarjdan beri kat edilen mesafe, kalan şarj ile kat edilebilecek mesafe gibi parametrelerini izleyerek, bataryanın performansını ve ömrüne dair bilgileri son kullanıcıya sunar. Ayrıca, IoT ile çalışan BYS ile araçtaki batarya sorunları önceden tespit edilebilir ve bataryaya erken müdahale ile batarya ömrü daha uzun tutulabilir (Kumar ve diğ. 2022). Şekil 6.2'de BYS'nin IoT modülü ile çalışma sistemi şematize edilmiştir.



Şekil 6.2: BYS ve IoT modülünün çalışma şeması (Kumar ve diğ. 2022)

6.3.2 Akıllı Şarj İstasyonları

IoT teknolojisi, elektrikli araçların şarj süreçlerinde ve şarj ünitelerinin yönetiminde de kullanılmaktadır. Akıllı şarj istasyonları, IoT modülleriyle birlikte çalıştırılarak, araçların şarj işlemlerine uzaktan müdahale şansına imkân verir. Bu sayede araçların şarj işlemleri optimize edilerek, enerji tüketimi daha verimli hale gelir ve şebekeden çekilen enerji dengelemesi sağlanır. IoT modülü ile donatılan elektrikli araç şarj istasyonları internete bağlı çalışır, öte yandan internete bağlı kullanılan mobil uygulamalar ile son kullanıcılar enerji ikmali yapabilecekleri şarj istasyonlarının müsaitliği, kapasitesi ve ücretlendirilmesi gibi bilgileri görüntüleyebilmekte ve araç şarjı için uygun istasyonu seçebilmektedir (Savari ve diğ. 2020). Şekil 6.3'te şarj istasyonlarının IoT modülü ile çalışma mantığı şematize edilmiştir.



Şekil 6.3: Şarj istasyonlarının IoT ile çalışması (Savari ve diğ. 2020)

6.3.3 Araç Konum İzleme

IoT teknolojisi ile birlikte elektrikli araçların konumu takip edilebilmektedir. Konum izleme sistemi, IoT modülleri ile araçların konum bilgilerini merkezi bir sistemde toplar ve araç hareketlerini takip eder. Bu sayede, araçların izinsiz kullanımı

engellenir ve araçların konumu acil durumlarda tespit edilebilir. Bu sistemi daha çok araçlarının bölge kontrollerini yapmak adına elektrikli araç filoları kullanmaktadır (Uddin ve diğ. 2017).

6.3.4 Arıza Tespiti

IoT teknolojisi, elektrikli araçların arıza tespit sistemlerinde kullanılmaktadır. Arıza tespit sistemi, IoT modülleri ile araçta bulunan sensörlerin verilerini izleyerek, araçtaki oluşabilecek arızaları önceden tespit eder ve kaydedilen arızaları aracın kullanıcılarına ve yetkili servisine bildirir. Bu sayede, araçların servis süreçleri kontrol edilir ve arıza çözümleri daha hızlı hale getirilir (Sidik ve diğ. 2020). Şekil 6.4'te ESP8266 yongası ile elektrikli motorun vibrasyon ve sıcaklık takibi için kullanılan bir sistem verilmiştir.



Şekil 6.4: Elektrikli motorun takip sistemi (Sidik ve diğ. 2020)

6.4 Elektrikli Araç Markalarının IoT Kullanımına Örnekler

Tesla: Tesla, elektrikli araçlarında IoT teknolojisini yaygın bir şekilde kullanmaktadır. Tesla araçlarında bulunan sensörler ile batarya sıcaklığı, şarj seviyesi ve motor performansı gibi parametreler ile sürekli olarak aracın performansını takip eder ve verileri bulut tabanlı bir sistemde toplar. Bu veriler, araçların uzaktan güncellenmesine, araç kullanıcılarına geribildirim yapılmasında ve sorunların hızlı bir şekilde tespit edilmesine olanak tanır (Tesla 2023).

Ford: Ford, elektrikli araçlarında bulunan IoT sensörleri ile sürücülere araçlarının şarj seviyesi ve kalan menzil hakkında bilgileri ve en yakın şarj istasyonlarına dair bilgileri mobil uygulama ile aktararak yardımcı olur. Ayrıca, Ford'un "FordPass" uygulaması ile sürücüler araçlarını uzaktan kontrol edebilir ve şarj işlemlerini kontrol edebilirler (Fordpass 2023).

General Motors: "OnStar" adlı bir IoT platformu kullanarak, araçların performansını izler ve sürücülerin kararlarını kolay hale getirmek için öneriler sunar. Mesela, OnStar sürücülere yol durumuna göre en iyi sürüş stilini önerir ve enerji tüketimini en verimli hale getirmek için kullanıcıya yardımcı olur (Gm Onstar 2023).

7. LİTERATÜR ÖZETİ

Sanguesa ve diğ. (2021), tarafından yapılan araştırmalarda elektrikli araç türleri, elektrikli araçlarda kullanılan teknolojiler ve elektrikli araçların avantajları analiz edilmiştir. Yapılan bu çalışmada avantajların yanı sıra aşılması gereken zorluklar ve olası çözümler ele alınmıştır. Günümüz elektrikli araçlarında en büyük sorunun pillerin aracın performansına olan etkilere, pillere bağılı menzile ve şarj dolum sürelerine dikkat çekilmiştir. Daha yüksek enerji depolamaları için farklı pil tiplerinin gerekliliğı düşünölmüş, daha kısa şarj süreleri için ise kablosuz şarjın geliştirilerek kullanılması gerektiğı belirtilmiştir. Depolama, şarj süresi ve performans gibi etkenlerde kullanılabilir yeni piller ve teknolojilerin doğrutusunda elektrikli araçların günümüz dünyası için en doğru tercih olacağı bildirilmiştir.

Erciyes (2019), tarafından Li-iyon batarya sağık kestirim yöntemine yönelik yapılan çalışmalarda iç direnç ölçüm metodu kullanılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda bataryanın anlık olarak iç direnci alınmış ve interpolasyon yöntemi ile yapılan hesaplamalar doğrutusunda bataryanın anlık sağık durum kestirimi yapılmıştır. Yapılan deneylerde 3 çeşit 8 hücre ile şarj-deşarj döngüleri gerçekleştirilmiştir. Nikel Manganez Kobalt (NMC), Nikel Kobalt Alüminyum (NCA) ve Lityum Demir Fosfat (LFP) katot tiplerinden oluşan bu 3 farklı çeşit üzerinde sağık yapılan 280 çevrimin sonucunda tutulabilir kapasiteye oranla ters korelasyon incelenmiştir. Genel itibariyle iç direnç ile tutulabilir kapasitenin ters korelasyonda olduğı saptanmış fakat bazı hücrelerde ilk 50 çevrime kadar herhangi bir yaşlanma bulgusuna rastlanmamıştır.

Taşan (2019), tarafından yapılan batarya sağığına dayalı ömür kestirimi çalışmasında artırımsal kapasite analizi ve Kalmanfiltresi teknikleri kullanılmıştır. Çalışma esnasında veri olarak NASA'nın genel kullanıma sağıladığı verileri kullanarak modelleme yapılmış ve ömür kestirimleri yapılmıştır. 7 farklı sağık durumuna ait veriler gerilimlerdeki artış noktaları baz alınarak 0,001 hassasiyet ile ön filtreden geçirilmiş ortaya çıkan veriler de Kalman ve sonlu darbe cevaplı (FIR) filtrelerinden geçirilmiş ve grafiğe aktarılmıştır. Filtrelemelerin sonucunda 7 farklı sağık durumu için %1'lik hata oranı ile sağık durum kestirimi yapılmıştır. Yapılan araştırmanın

sonucunda hata oranlarının artmaması için batarya sağlık durumunun %80 değerine kadar bölgesel kapasitenin 10 mV alınmasında sakınca oluşturmadığını bildirmiştir.

Maçın (2019), tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise batarya ömür kestirimleri yapılmak üzere 11 adet Li-iyon batarya için regresyon ağaç modeli geliştirilmiştir. Her bir model için Matlab ortamında 4 veri giriş ve 1 veri çıkış olmak üzere batarya model verileri geliştirilmiştir. Yapılan testlerde bataryaların ilk çevrimlerinde hata oranlarının fazla olmasına rağmen ilerleyen çevrimlerde hata oranının ciddi anlamda düştüğü görülmüştür. Batarya arıza noktalarında erken teşhisin önemi vurgulanmış ve kurulan modelde arızanın meydana geldiği noktada çok düşük hata oranıyla doğru verilerin alındığı bildirilmiştir. Oluşturulan regresyon ağaç modelinin gömülü bir yazılım haline getirilip kendi devresinde kullandığı batarya kontrol cihazına yüklenmesi halinde dinamik olarak Li-iyon bataryanın sağlık durum takibi yapılabileceğini bildirmiştir.

Xiao ve diğ. (2020), tarafından yapılan çalışmalarda SoH tahmin sürecinde arttırımsal kapasite analizi (ICA) metodu ile çevrimiçi kalan sağlık kestirimleri yapılmıştır. ICA metodu Gauss süreç regresyonuna (GPR) bağlı SoH ve çoklu parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) yöntemleri ile kullanılmıştır. Alınan gerçek zamanlı veriler ve NASA'nın veri setleri kıyaslanmış, kıyaslamaların sonucunda SoH tahmin hatasının %2 düzeyinde olduğu görülmüştür. %2'lik tahmin hatasının kabul edilebilir ve bu süreçte gerçekleştirilen çalışmaların doğruluğu beyan edilmiştir.

Liu ve diğ. (2018), yaptıkları çalışmada Li-iyon pillerin anot lityum kaybından dolayı ömürlerinin sona erdiği vurgusu yapılmıştır. Bu sebeple pillerin önlenemez kapasite kaybını tahmin etmek adına basit bir anot katı elektrolit fazlar arası büyütme modeli kurulmuştur. Zaman parametresi, aktivasyon enerjisi ve üstel faktörlerin de dahil olduğu model parametreleri yavaş yaşlandırma tekniği ile Li-iyon pilin yaşlanma sürecinde izlenmiştir. Yaşlandırma sürecinde alınan veriler ile sağlık durum tahmini yapabilmek için en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Deney modelinde bulunan Li-iyon pilin yavaş yaşlandırma sürecinde 25°C oda sıcaklığında 3,5 yıl ömre sahip olduğu görülmüştür.

Umathe ve Hiware (2022), çalışmada elektrikli araçlar için yapay zekâ ve IoT tabanlı BYS tasarımı ve geliştirilmesi ele alınmaktadır. Bu amaçla pil voltajı, akımı,

sıcaklığı ve diğer parametreleri ölçmek için sensörler kullanılmaktadır. Veriler, bulut tabanlı bir sunucuda depolanmakta ve analiz edilmektedir. Yapay zekâ algoritmaları kullanılarak, pil ömrü tahminleri yapılmaktadır. Ayrıca, sürüş tarzı ve trafik durumu gibi faktörler de dikkate alınarak, bir sürüş planı önerisi sunulmaktadır. Metod olarak, prototip BMS donanımı geliştirilmiş ve Arduino Mega 2560 ve ESP8266 mikrokontrolörleri kullanılmıştır. Yazılım olarak, bulut tabanlı bir sunucuda veri depolama ve analizi için Microsoft Azure IoT Hub kullanılmıştır. Veri analizi için Python programlama dili ve yapay zekâ kütüphaneleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, tasarlanan akıllı BYS sistemi, elektrikli araçların pil performansını izlemek ve ömrünü artırmak için etkili bir yol olarak görülmektedir. Ayrıca, sürücülere daha iyi bir sürüş deneyimi sunmak için sürüş planı önerileri sunmaktadır.

Rukkumani ve diğ. (2023), elektrikli araçlarda pil sağlığının izlenmesi için bir IoT tabanlı pil sağlık izleme sistemi tasarımını sunmaktadır. Materyal olarak, makalede kullanılan cihazlar arasında STM32F407VG mikrodenetleyici, SIM800C GSM modülü, MAX17843 pil yönetim sistemi, ADS1115 analog-dijital dönüştürücü ve MQ-2 gaz sensörü yer almaktadır. Metot olarak tasarlanan sistem pil voltajı, akımı, sıcaklığı, gaz sensörü değerleri gibi çeşitli parametreleri toplar ve bunları bir SIM800C modülü aracılığıyla internete aktarır. Veriler daha sonra bir bulut tabanlı sunucuya yüklenir ve pil sağlık durumunu analiz etmek için bir web uygulaması tarafından kullanılır. Sonuç olarak, tasarlanan sistem, elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların sağlık durumunu takip etmek için etkili bir yöntem sunar ve erken uyarı sistemleri için bir temel oluşturmaktadır.

Rehman ve diğ. (2023), tarafından yapılan çalışmada elektrikli araçlar için maliyeti düşük ve etkin bir IoT tabanlı batarya BYS tasarımı yapılmıştır. Materyal olarak, Raspberry Pi, ESP32, ADS1115 analog-dijital dönüştürücü, INA226 akım ve gerilim sensörleri gibi parçalar kullanılmıştır. Yazılım kısmında ise, Python programlama dili kullanılarak BYS algoritması ve web uygulaması geliştirilmiştir. Ayrıca, Blynk IoT platformu da kullanılarak, kullanıcılara gerçek zamanlı olarak batarya durumu hakkında bilgi verilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmanın sonunda maliyeti düşük ve etkin bir BYS tasarımının mümkün olduğunu, gerçek zamanlı veri izleme ve kullanıcı arayüzü özelliklerine sahip bir BYS sisteminin elektrikli araçların yaygınlaşması için önemli olduğunu beyan etmişlerdir.

Kumar ve diğ. (2022), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, LR (Lasso regularization) parametre tahmini ve ORMeshNet gateway topolojisi temel alınarak bir IoT batarya yönetim sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, bataryanın durumunu sürekli olarak ölçmek ve izlemek için bir dizi sensör, bir denetleyici, bir ESP8266, bir monitör ve bir batarya test sistemi içermektedir. Batarya test sistemi olarak Neware BTS 4000 kullanılmıştır. Veriler 1 Hz hızda toplanmış ve akım ve voltaj sensörleri sırasıyla +%0,1 ve +%0,05 doğruluk payı ile kullanılmıştır. LR algoritması, bataryanın durumunu tahmin etmek için kullanılmıştır ve ORMeshNet gateway topolojisi, bataryadan alınan verilerin bulut tabanlı bir IoT platformu üzerinden iletimini sağlamıştır. Yapılan deneylerde, önerilen yaklaşımın, batarya durumu tahmini için daha yüksek bir yakınsama oranı ve daha yüksek bir hata toleransı sağladığı görülmüştür. Önerilen IoT batarya yönetim sistemi, %88,97 oranında verimlilik, %87,98 oranında paket teslim oranı (PDR) ve %83,98 oranında iyi verimlilik ile veri iletimi yapabilmıştır. Bu sonuçlar, önerilen yöntemin, mevcut yöntemlere kıyasla daha iyi bir performans sağladığını göstermektedir.

8. MATERYAL VE YÖNTEM

8.1 Materyal

Bu çalışmada IoT tabanlı batarya şarj ve sağlık durumu kestirimi yapılabilmesi adına karakteristik belirleyici ve çevrimiçi ömür kestirim devresi olmak üzere iki farklı devre kurulmuştur. Bu iki devrenin yapı elemanları ve bağlantı şekillerine ait detaylar ilerleyen yazılarda bulunmaktadır.

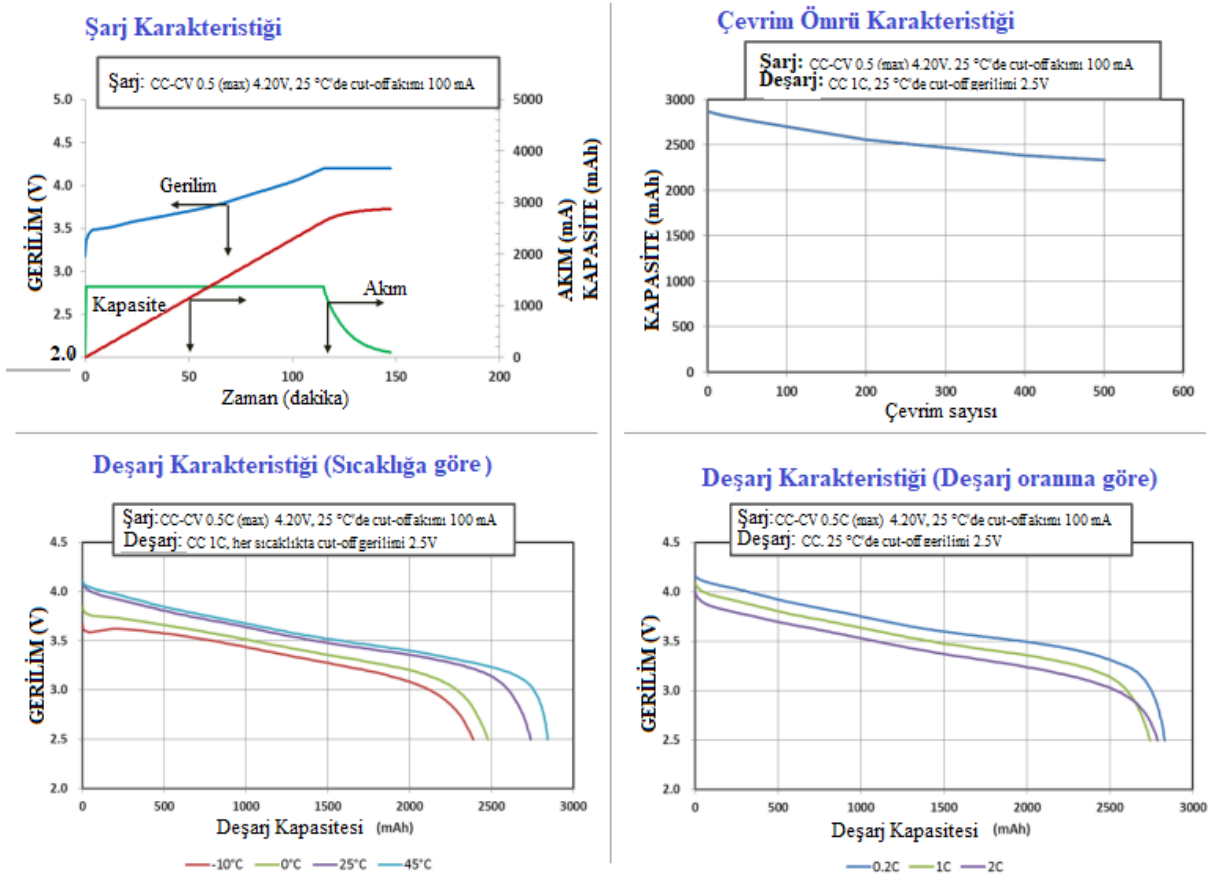
8.1.1 Batarya Karakteristiği Belirleyici Devrenin Kurulumu

Batarya karakteristiğinin analizi için batarya paketinin oluşturulması aşamasında Panasonic markasının 18650 NCR 3300 mAh 3,7 V Li-iyon pil hücreleri ve Li-iyon pil hücrelerinden 6 serilik bir batarya paketi oluşturulabilmesi adına 2 adet 3 yuvalı plastik Li-iyon pil yatağı kullanılmıştır. Oluşturulan batarya modelinin kapasitesi 3300 mAh, çalışma gerilimi ise 19,2-25,2 V'tur. Batarya paketinin korunması ve hücreler arası dengelemenin sağlanması için HX-6S-12A marka batarya yönetim sistemi (BYS) kullanılmıştır. Bu komponentlerin bir araya getirilip batarya paketi oluşturulması için 50 cm bakır kablo ve lehim teli kullanılmıştır. Kullanılan Panasonic 18650PF Li-iyon pil hücresine ait fotoğraf Şekil 8.1'de ve pil hücresinin karakteristik özellikleri ise Şekil 8.2'de gösterilmektedir. Devre korumada kullanılan batarya yönetim sistemi HX-6S-12A Şekil 8.3'te verilmiştir.

Panasonic tarafından üretilen NCR18650PF tipindeki bu pil tipik olarak 500 şarj-deşarj döngüsü boyunca verim sağlayabilmektedir. Panasonic NCR18650PF, Li-iyon pil teknolojisine dayanan bir silindirik pildir. Bu Li-iyon piller, nominal gerilim olarak genellikle 3,7 V gerilimde bulunmaktadır. Pilin maksimum gerilimi 4,2 V ikendeşarj sürecindeki cut-off voltajı ise 2,5 V'tur. Bunların yanı sıra pilindeşarj akımı 10 A seviyesindedir (Actec 2016).



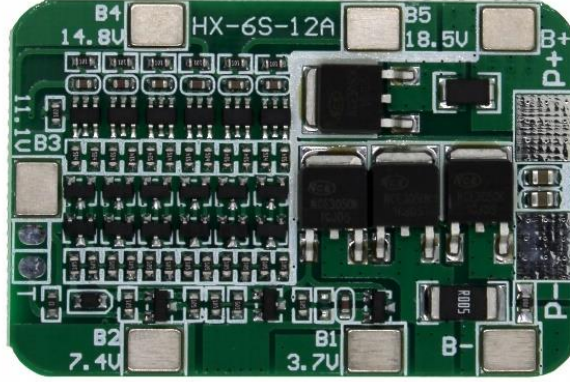
Şekil 8.1: Panasonic NCR 18650PF Li-iyon pil hücresi (Panasonic Industrial 2023)



Şekil 8.2: Panasonic NCR18650PF Li-iyon pil hücresinin karakteristik özellikleri (Panasonic Industrial 2023)

HX-6S-12A Batarya yönetim sistemi, 6 hücreli özel pil paketleri için tasarlanmış bir yönetim sistemidir. 6 adet 3,7 V'luk Li-iyon pilin seri bağlanması sonucunda sistem 22,2 V gerilimde çalışmaktadır. Maksimum gerilim kontrolü, cut-off gerilim kontrolü, aşırı akım koruması ve kısa devre koruması fonksiyonları ile Li-

iyon batarya paketini daima korumaktadır. Koruma fonksiyonlarının yanı sıra batarya paketinde bulunan 6 adet seri bağlantı noktasının gerilimlerini dengeleyerek batarya üzerinde bulunan pillerin dengeli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır (Sharvielectronics 2021).



Şekil 8.3: HX-6S-12A Batarya yönetim sistemi

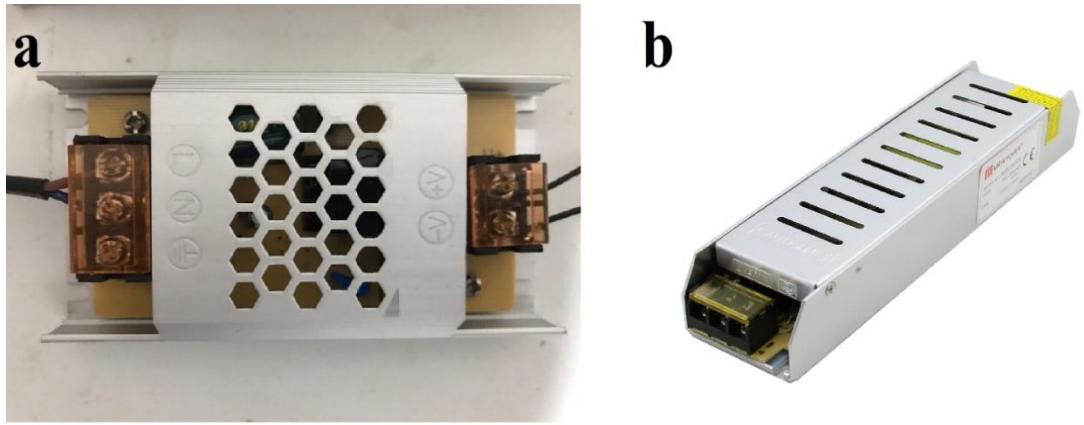
Şarj-deşarj akım sayma ve sıcaklık ölçümü veri okuma devrelerinden şarj devresinin kurulumunda bir adet MRW -120-24-S 24 V DC 5 A'lik güç kaynağı (Şekil 8.4a), bir adet A4805 model 12 V DC 5 A'lik güç kaynağı (Şekil 8.4b), bir adet XL4015 akım ayarlı voltaj düşürücü (Şekil 8.5a), bir adet 30 V DC dijital voltmetre (Şekil 8.5b), bir adet ACS712 akım sensörü (Şekil 8.6a), bir adet MAX6675 sıcaklık sensörü (Şekil 8.6b), bir adet Arduino Uno (Şekil 8.6c) ve bilgisayar kullanılmıştır.

ACS712 akım sensörü, akım ölçümü için kullanılan bir sensördür. Sensörün çalışma gerilimi 4,5 V ile 5,5 V arasındadır. Sensör üzerinde VCC (besleme gerilimi), GND (toprak) ve OUT (çıkış) olmak üzere 3 bağlantı pini vardır. Sensör çıkışı analog gerilim üretmektedir. Doğru ve alternatif akım devrelerinde kullanılabilir, yüksek doğruluk ve kolay kullanım sunar ve birçok farklı uygulama için idealdir (Alldatasheet 2006).

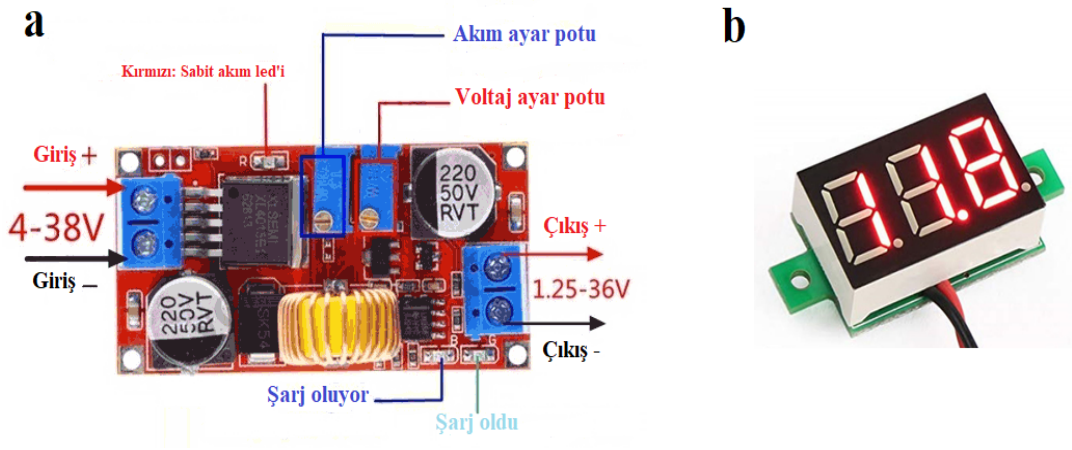
XL4015, 8 V ila 36 V arasındaki giriş gerilimini destekler. Bu, farklı kaynaklardan gelen geniş bir DC gerilimi girişini kabul etmesini sağlar. Bu voltaj düşürücü, çıkış gerilimini 1,25 V ila 32 V arasında ayarlanabilmektedir. XL4015 devre kartı maksimum 5 A çıkış akımını desteklemektedir, uygun soğutma sistemleri ile bu değerlerin bir miktar üzerine çıkılabilmektedir. Bu özelliklerin yanı sıra kısa devre

koruması, aşırı ısınma koruması ve aşırı akım koruması özellikleri ile devreyi de koruyabilmektedir. Devrenin giriş ve çıkışındaki vidalı terminaller sayesinde giriş-çıkış bağlantıları kolayca yapılabilmektedir (Alldatasheet^a 2020).

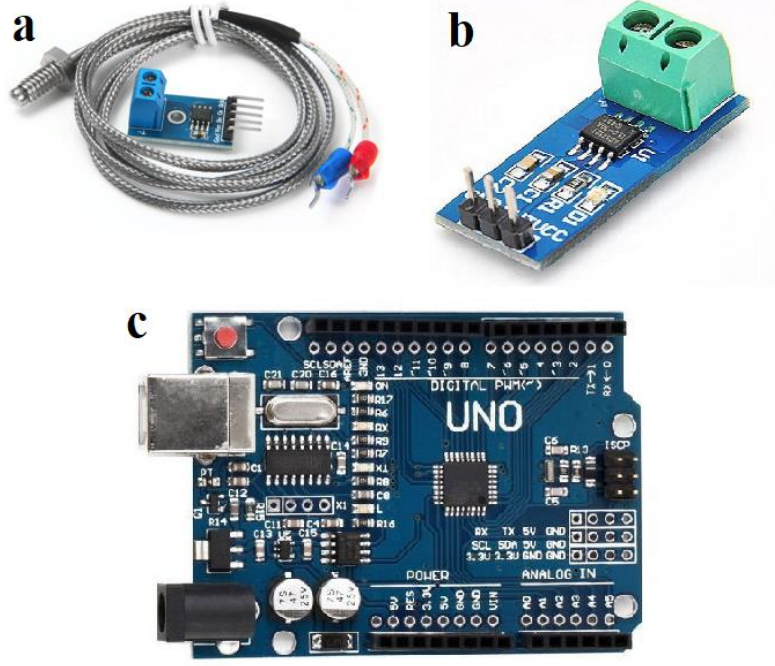
Batarya sıcaklığını ölçmek için kullanılacak olan Max6675 sıcaklık sensörünün çalışma gerilimi: 3-5,5 V ve 3 kablolu seri iletişim (SPI) yapmaktadır. Sensör 12-bit ADC çözünürlüğüne sahiptir. Sensörde kullanılan K-tipi termokupl 0-1023,75°C arası ölçüm yapabilmektedir (Alldatasheet 2002).



Şekil 8.4: Güç kaynakları, (a) 12 VDC güç kaynağı, (b) MRW-120-24-S VDC güç kaynağı

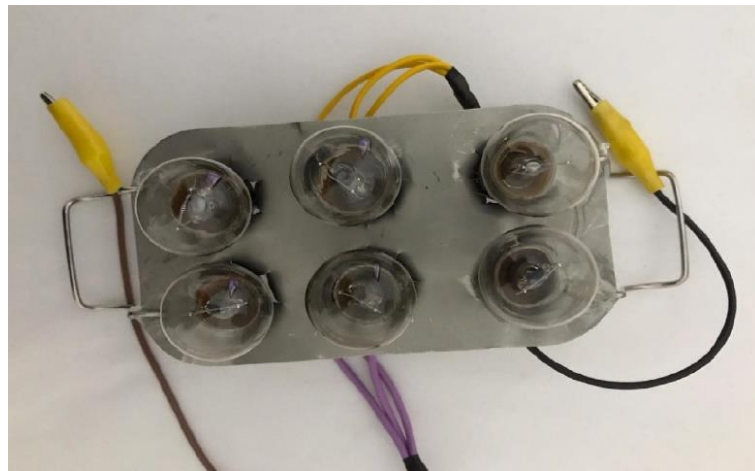


Şekil 8.5: Voltaj düşürücü devresi; (a) XL4015 akım ve voltaj regülatörü, (b) 4.5-30 V DC dijital voltmetre



Şekil 8.6: Akım sayma ve sıcaklık okuma devresi; (a) Max 6675 sıcaklık sensörü, (b) ACS712 akım sensörü, (c) Arduino Uno

Deşarj devresinde ise şarj devresinde kullanılan ACS 712, Max 6675 sıcaklık sensörü, Arduino Uno ve 6 adet 12 V 21 W ampullerden oluşturulmuş bir yük bankası kullanılmıştır. Batarya paketinin 4 A ile deşarj olabilmesi adına 6 adet 12 V 21 W'lık ampul ile bir yük bankası oluşturulmuştur. Yük bankası oluşturulurken 24 V gerilimi elde edebilmek adına 2 seri ampul bağlantıları ile 3 paralel devre kurulmuştur. Oluşturulan yük bankası Şekil 8.7'de verilmiştir.



Şekil 8.7: 24 V yük bankası

8.1.2 Batarya Ömür Kestirim Devresinin Kurulumu

Batarya ömür kestirim devresinde kullanılacak olan batarya paketi için yine Panasonic markasının 18650 NCR 3300 mAh 3,7 V Li-iyon pil hücreleri ve HX-6S-12 A ile kurulan batarya paketi kullanılmıştır. Kurulan bataryaya 25,5 V DC gerilim sağlayabilmesi adına karakteristik elde edilen devrede kullanılan güç kaynağı kullanılmıştır.

Batarya ömür kestirim devresinde, batarya verilerinin okunmasında üzerinde ESP8266-12E yongasını barındıran NodeMCU v2 modülü kullanılmıştır. Bu mikrodenetleyici dünyanın herhangi bir yerinden kontrol edilebilir ve izlenebilir. Bu özelliği sebebiyle neredeyse bütün nesnelerin interneti projeleri için mükemmel bir kontrolcü olmuştur. NodeMCU v2 modülü üzerinde 1 adet 10 bit ADC, 1 adet 3,3 V regülatör, 1 adet micro USB konnektör, 1 adet USB-TTL dönüştürücü, 1 adet led, reset ve programlama butonları ve 17 adet GPIO pinlerini üzerinde bulunduran bir karttır. Bu modül, düşük maliyetli kolay programlanabilir ve üzerindeki Wi-Fi modülü sayesinde bir kablosuz ağa bağlanabilme özelliğinden dolayı tercih edilmiştir. Şekil 8.8'de ESP8266-12E yongasını barındıran NodeMCU v2 modülü verilmiştir (Neylampmechatronics 2021).



Şekil 8.8: ESP8266-12E yongasını barındıran NodeMCU v2 modülü (Neylampmechatronics 2021)

NodeMCU v2 modülü bir analog giriş pinine sahiptir. Çalışmada NodeMCU v2 modülün analog giriş pin sayısı yeterli gelmediği için 2 adet ADS1115 16 bit 4 kanal ADC kullanılmıştır. ADS1115 modülü 5 V gerilime kadar olan değerleri okuyabilmektedir ve 16 bit 4 kanal ADC'ye sahiptir. Kanallardan elde edilen analog veriler I2C protokolü aracılığıyla okunabilmektedir. Modül üzerinde I2C adres seçim girişleri bulunur. Bu sayede I2C hattında bulunan diğer ADS1115 modülleri ile adres

çakışma sorunu ortadan kalkar. I2C adres seçim pinleri sayesinde 4 farklı I2C adresi alabilen modül, ADC'si olmayan mikrodenetleyiciler veya mikrodenetleyicilerle daha hassas analog ölçüm yapabilmek için kullanılmaktadır. Şekil 8.9'da ADS1115 modülü verilmiştir

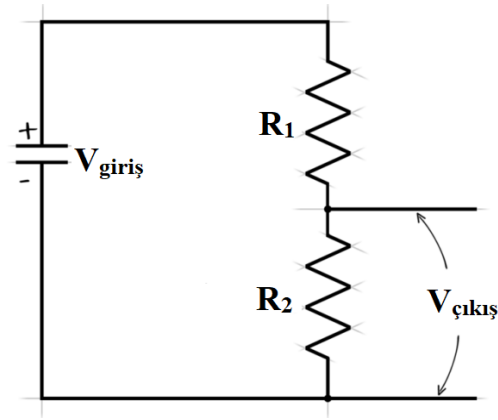


Şekil 8.9: ADS1115 16 bit 4 kanal ADC modülü (Alldatasheet 2009)

Bataryadan alınacak olan gerilim değerleri 19 V ile 25,5 V arasında değişecektir. Bu değerler ADS1115 modülünün sınır okuma değerlerini aştığı için devre içerisinde 1/7,66 oranı sağlayacak gerilim bölücü devre kullanılmıştır. Gerilim bölücü devrede istenilen oranları elde edebilmek adına 1 adet 100 k Ω ve 1 adet de 15 k Ω direnç kullanılmıştır. Şekil 8.10'da direnç görüntüsü verilmiştir. Gerilim bölücü devresi, bir gerilim kaynağı ($V_{giriş}$) ile bir yük ($V_{çıkış}$) arasında gerilim bölme işlemi gerçekleştiren basit bir devredir. Devre, iki dirençten oluşur: R_1 ve R_2 . $V_{giriş}$, devrenin girişine bağlanan gerilim kaynağını temsil etmektedir. Bu gerilim, R_1 üzerindeki gerilimi belirlemektedir. R_1 direnci, gerilimin bir kısmını düşürmek için kullanılır. Bu direncin değeri, gerilim bölme oranını belirlemektedir. R_2 direnci ise, $V_{çıkış}$ üzerindeki gerilimi belirler. Devreden geçen akımın bir kısmı R_2 direncinden geçerek $V_{çıkış}$ 'a ulaşır. Şekil 8.11'de gerilim bölücü devre verilmiştir. Gerilim bölme oranı, R_1 ve R_2 direnç değerlerine bağlı olarak belirlenir ve Eşitlik 8.1 ile hesaplanır.



Şekil 8.10: 100 kΩ direnç



Şekil 8.11: Gerilim bölücü devre

$$V_{\text{çıkış}} = V_{\text{giriş}} \times \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \quad (8.1)$$

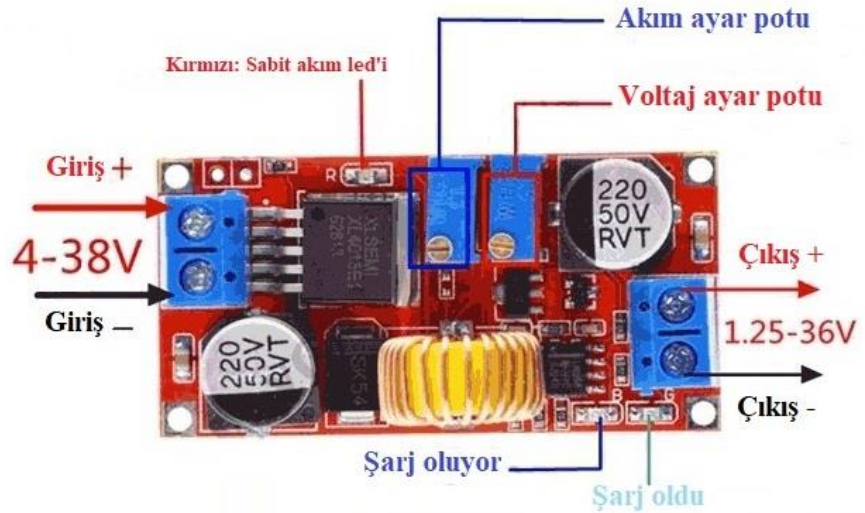
Havanın sıcaklık ve nem bilgilerinin okunması için çeşitli sensörler kullanmak gerekmektedir. DHT22 sıcaklık ve nem algılayıcı kalibre edilmiş dijital sinyal çıkışı veren gelişmiş bir sensör birimidir. Yüksek güvenilirlikte ve uzun dönem çalışmalarda dengelidir. 8 bit mikroişlemci içerir, hızlı ve kaliteli tepki verir. -40 ile 80°C arasında +/-1°C hata payı ile sıcaklık ölçen birim, 0-100% RH arasında +/-%5 RH hata payı ile nem ölçümü yapabilmektedir. Sensör ölçümü olarak sensörün data toplama periyodundan kaynaklı olarak 2 saniyelik periyotlarla ölçüm sonuçları alınabilmektedir. Şekil 8.12’de DHT22 sıcaklık ve nem algılayıcı sensör verilmiştir (Alldatasheet 2023).



Şekil 8.12: DHT22 sıcaklık ve nem algılayıcı sensörü (Alldatasheet 2023)

Batarya sıcaklığını ölçmek için karakteristik belirleyici devrede kullanılan Max6675 sıcaklık sensörü, akım verilerinin alınması için ise yine ACS712 akım sensörü kullanılmıştır.

Bu çalışmada tasarlanan devre kartının besleme gerilimi, batarya gerilim pinlerinden sağlanması planlanmıştır. Devrenin çalışma gerilimi 5 V DC olduğu ve batarya gerilimi çalışma geriliminden yüksek olduğu için XL4015 Regülatör devresi kullanılacaktır. Şekil 8.13'te XL4015 regülatör devresi verilmiştir (Alldatasheet^b 2020). ESP8266 üzerinden alınan verilerin işlenmesi için Arduino IDE kullanılmıştır.



Şekil 8.13: XL4015 Regülatör devresi (Alldatasheetb 2020)

8.2 Metot

Bu çalışmada IoT tabanlı batarya şarj ve sağlık durumu kestirimi yapılabilmesi adına karakteristik belirleyici ve çevrimiçi ömür kestirim devresi kurulmuş ve çalıştırılmıştır. Karakteristik belirleyici devre ve ömür kestirim devresinin çalışma prensipleri hakkında ilerleyen yazılarda bilgilendirme yapılmaktadır.

8.2.1 Batarya Karakteristik Devresinin Kurulumu ve İşletilmesi

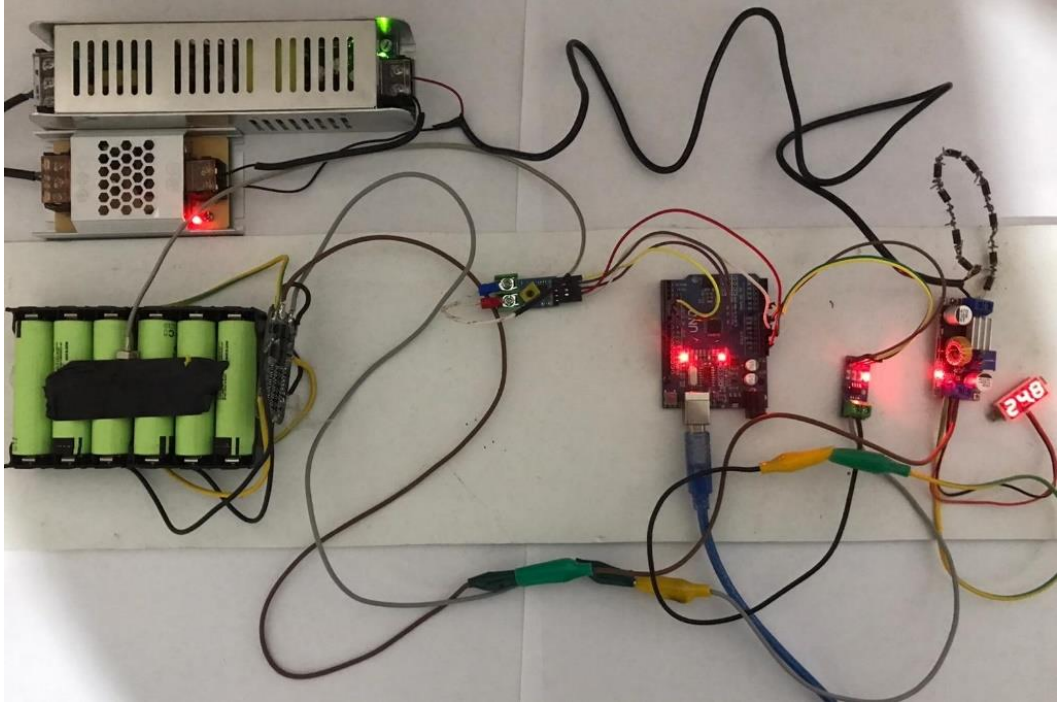
Batarya paketinin kurulumunda 6 adet 3,7 V'luk Panasonic NCR 18650 Pf Li-iyon pil hücrelerinin pil yuvalarına konumlandırılması ve lehimlenmesi ile 22,2 V 3300 mAh'lik bir batarya paketi oluşturulmuştur. Oluşturulan batarya grubunun korunması, hücreler arası dengenin sağlanması ve bir Li-iyon batarya paketi olabilmesi için HX-6S-12A batarya yönetim sistemi hücrelerden alınan bağlantılar ile lehimlenmiş ve batarya paketi oluşturulmuştur. Batarya yönetim sisteminin + ve - çıkışlarına şarj ve deşarj devresi ile bağlantı kolaylığı sağlanması adına krokodil kısıkaçlar bakır kablolar vasıtası ile lehimlenmiştir. Oluşturulan batarya paketi Şekil 8.14'te verilmiştir.



Şekil 8.14: Oluşturulan batarya paketi

Şarj akım sayma devresinin kurulumunda ise XL4015 voltaj düşürücü devresinin çıkışından 25,2 batarya şarj voltajını elde edebilmek için MRW-120-24-S 24 V DC güç kaynağı ile Atlantis aydınlatmaya ait 12 V DC güç kaynağı seri

bağlanarak güç kaynakları çıkışından 36 V DC gerilim elde edilmiştir. Elde edilen 36 V DC gerilim XL4015 akım ayarlı voltaj devresi girişine güç kaynakları çıkışından alınan kablo bağlantıları ile aktarılmıştır. Oluşturulan batarya paketinin 0,5 C oranı ile şarj edilebilmesi için XL4015 üzerinde maksimum akım 1,65 A olarak ayarlanmıştır. Batarya paketinin şarj gerilimi olan 25,2 V'a yükseltilebilmesi için XL4015 modülünün çıkış gerilimi de 25,2 V'a sabitlenmiştir. Sistemde Arduino Uno ile akım ve sıcaklık verilerinin okunabilmesi için Max 6675 sıcaklık sensörü ve ACS712 akım sensörü kullanılmıştır. Sıcaklık sensörünün probu batarya paketinin yüzeyine sabitlenmiş ve sıcaklık sensörü Arduino kartına bağlanmıştır. Akım verilerinin okunabilmesi için akım sensörü Arduino kartına bağlanmıştır. Şarj esnasında ACS712 akım sensörünün akım sayma işlemi yapabilmesi için güç kaynağının artı (+) çıkışı doğrudan bataryanın artı (+) kutbuna, bataryanın eksi (-) kutbu doğrudan akım sensörünün bir portuna, akım sensörünün diğer portundan alınan çıkış ise güç kaynağı devresinin eksi (-) çıkışına krokodil kısıkaçlar ile bağlantısı yapılarak ACS712 akım sayma sensörü şarj devresine bağlanmıştır. Batarya şarj süresince oda sıcaklığında tutulmuş ve en fazla 0,5 C şarj akımına karşılık gelen 1,65 A şarj akımı ile sınırlandırılmıştır. Sıcaklık sensöründen alınan batarya yüzey sıcaklık verileri ve ACS712 akım sensöründen saniyede bir kez alınan veriler Arduino sanal ortamına aktarılmış ve bu veriler MATLAB ortamında txt dosyası haline getirilmiştir. Şarj akım sayma devresi Şekil 8.15'te verilmiştir. MATLAB ortamında şarj akımı ve yüzey sıcaklık verilerinin txt dosyası Şekil 8.16'da verilmiştir. Şarj süresi boyunca sayılan toplam akımlar ile batarya paketinin tutabildiği toplam kapasite miktarı hesaplanabilmektedir.



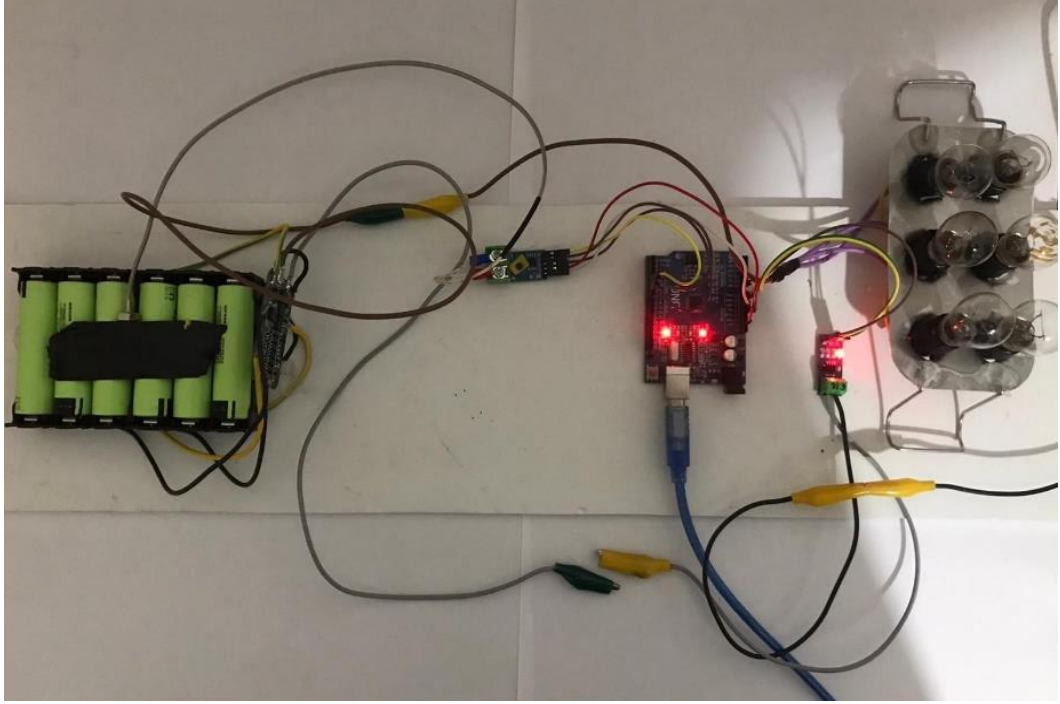
Şekil 8.15: Şarj akım sayma devresi

Şarj 5.txt - Not Defteri				
Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
20.00	,	1.53	,	
20.00	,	1.50	,	
19.75	,	1.48	,	
19.25	,	1.45	,	
19.50	,	1.50	,	
20.00	,	1.45	,	
20.00	,	1.43	,	
19.50	,	1.45	,	
20.00	,	1.53	,	
19.75	,	1.43	,	
20.00	,	1.45	,	
20.00	,	1.50	,	
20.00	,	1.50	,	
20.00	,	1.45	,	
20.00	,	1.43	,	

Şekil 8.16: MATLAB ortamında alınan şarj akımı ve yüzey sıcaklığı verilerinin txt dosyası

Deşarj akım sayma devresi kurulurken akım ve sıcaklık verilerini okumak ve kaydetmek adına şarj devresinde bulunan Max 6675 sıcaklık sensörü, ACS712 akım sensörü ve Arduino Uno komponentleri kullanılmıştır. Batarya paketinin 4 A ile deşarj olabilmesi adına 6 adet 12 V 21 W'lık ampul ile bir yük bankası oluşturulmuştur. Yük bankası oluşturulurken 24 V gerilimi elde edebilmek adına 2 seri ampul bağlantıları

ile 3 paralel devre kurulmuş ve oluşturulan yük bankası bataryadan 6/5 C deşarj oranına karşılık gelen 4 A akım çektiği görülmüştür. Oluşturulan deşarj devresi Şekil 8.17'de gösterildiği gibidir. Deşarj esnasında da bataryanın yüzey sıcaklığı ve çekilen akım saniyede bir alınmış ve MATLAB ortamına aktarılmıştır. MATLAB ortamında sıcaklık ve deşarj akımı txt dosyasına ait bir bölüm Şekil 8.18'de verilmiştir.



Şekil 8.17: Deşarj akım sayma devresi

Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
21.00	,	-4.17	,	
20.25	,	-4.09	,	
20.50	,	-4.01	,	
20.75	,	-4.17	,	
20.75	,	-4.20	,	
20.75	,	-4.09	,	
20.75	,	-4.12	,	
20.75	,	-4.12	,	
20.25	,	-4.17	,	
20.75	,	-4.14	,	
20.50	,	-4.12	,	
20.75	,	-4.17	,	
20.75	,	-4.12	,	
20.75	,	-3.93	,	
21.00	,	-4.06	,	

Şekil 8.18: MATLAB ortamında alınan deşarj akımı ve yüzey sıcaklığı verilerinin txt dosyası

8.2.1.1 Kapasite Değişim Verilerinin Elde Edilmesi

500 şarj-deşarj çevrimi sonucunda her çevrim için elde edilen veriler Excel'e aktarılarak çevrim başına kapasite hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplanan kapasite verileri ile şarj vedeşarj için iki ayrı kapasite değişim grafiği elde edilmiş olup elde edilen grafikler MATLAB ortamında filtrelenmiştir. Filtrelenmiş veri grafiklerinden alınan kapasite verileri Eşitlik 8.2 ile birlikte hesaplanmış ve kapasite değişimi yüzdelik cinsinden elde edilmiştir.

$$SoH(\%) = \frac{Tutulabilir\ Kapasite}{Başlangıç\ Kapasitesi} \times 100 \quad (8.2)$$

8.2.1.2 Sıcaklık Değişim Verilerinin Elde Edilmesi

500 çevrim boyunca akım verilerinin yanı sıra batarya yüzey sıcaklıklarındaki değişimlerin elde edilebilmesi için MAX 6675 sıcaklık sensörü ile sürekli olarak sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Ölçülen sıcaklık verileri, akım verilerinin aktarıldığı gibi Excel ortamına aktarılarak her çevrim için sıcaklık değişim verileri elde edilmiştir.

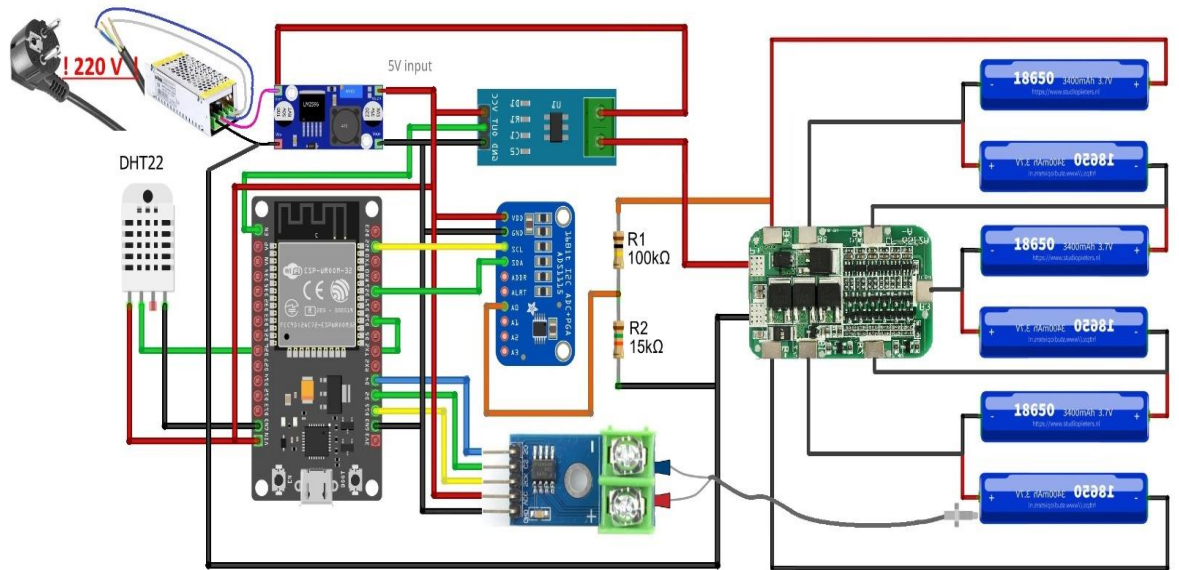
8.2.2 Batarya Ömür Kestirim Devresinin Çalışması

Bu devre için karakteristik çıkarımında kullanılan batarya paketi gibi 6 adet Panasonic NCR18650PF tip Li-iyon pil hücreleri ile yeni bir batarya paketi oluşturulmuştur. Batarya paketinin kurulumu esnasında yine HX-6S-12A BYS kullanılmıştır. Batarya paketinin şehir şebekesinden şarj edilebilmesi için karakteristik çıkarım devresinde olduğu gibi bir adet 12 V DC bir adet de 24 V DC güç kaynağı seri bağlanarak 36 V DC gerilim elde edilecek şekilde güç kaynağı oluşturulmuştur. Güç kaynağının çıkış bağlantıları gerilimi düzenlemek adına bir adet XL4015 voltaj regülatörüne bağlanmıştır. XL4015 voltaj regülatörünün eksi (-) çıkışı doğrudan BYS'nin eksi (-) girişine bağlanmış, artı (+) çıkış ucu ise akım sayımı yapılabilmesi adına 2 portlu ACS712 sensörünün portlarından birine bağlanmıştır. Diğer porttan alınan bağlantı ise BYS'nin artı (+) girişine bağlanarak akım okuyucuya sahip şarj devre bağlantısı sağlanmıştır. ACS712 akım sensörü analog bir sensör olduğu için

okunan verileri dijital sinyallere çevirebilmesi için ADS1115 dijital dönüştürücüye bağlanmış, dijital sinyallere dönüştürülen sinyalleri işlenmesi için ise ESP8266'ya aktarılmıştır. Batarya paketinin yüzey gerilimleri ADS1115 üzerinden ESP8266 modülünde işlenmek üzere bağlantıları yapılmıştır.

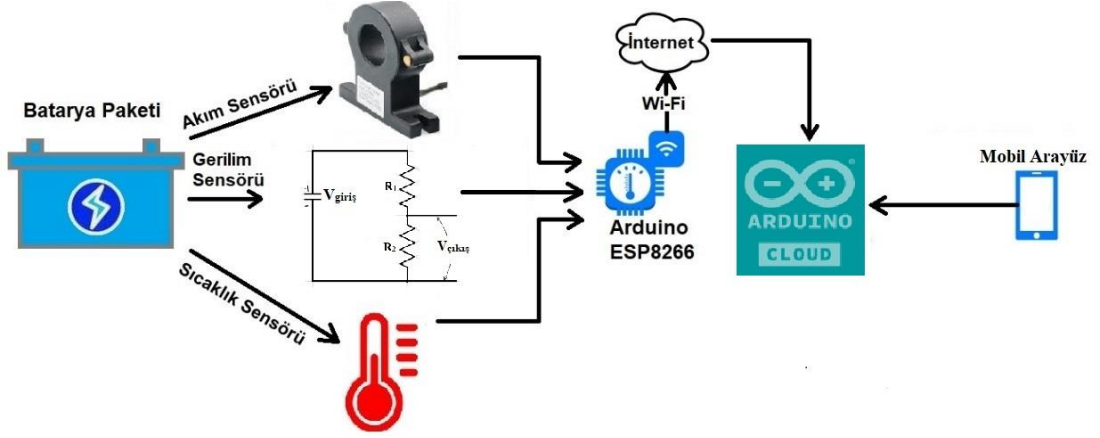
ESP8266 modülü sadece 0-3,3 V DC arasındaki gerilimleri okuyabilmektedir. Oluşturulan batarya paketinin çalışma gerilimi ise 19-25,5 V arasında olduğu için ESP8266 modülü ile batarya paketi üzerinden doğrudan gerilim okunamamaktadır. Gerilimin okunabilmesi için BYS çıkışları ile ADS1115 bağlantısı arasında R_1 : 100 k Ω ve R_2 : 15k Ω dirençler ile 15/115 oranında gerilim bölücü devresi kullanılmıştır. Oluşturulan gerilim bölücü devresine göre batarya paketi tam dolu yani 25,5 V gerilimde iken ADS1115 ve ESP8266 üzerinde 3,32 V gerilim okunmaktadır.

Batarya paketinin yüzey sıcaklık verilerini okumak için MAX 6675 sıcaklık sensörünün termokuplörü batarya paketinin yüzeyine sabitlenmiştir. Bu sensör dijital sinyalleri sağlayabildiği için ESP8266 modülünün pinlerine okuduğu verileri aktarmak üzere doğrudan bağlanmıştır. Ortam sıcaklık ve nem ölçümü için ise DHT22 sıcaklık ve nem sensörü şarj-deşarj ortamında konumlandırılmış, okuduğu verilerin işlenebilmesi için doğrudan ESP8266 modülüne bağlanmıştır. Şekil 8.19'da batarya ömür kestirim devre şeması verilmiştir.



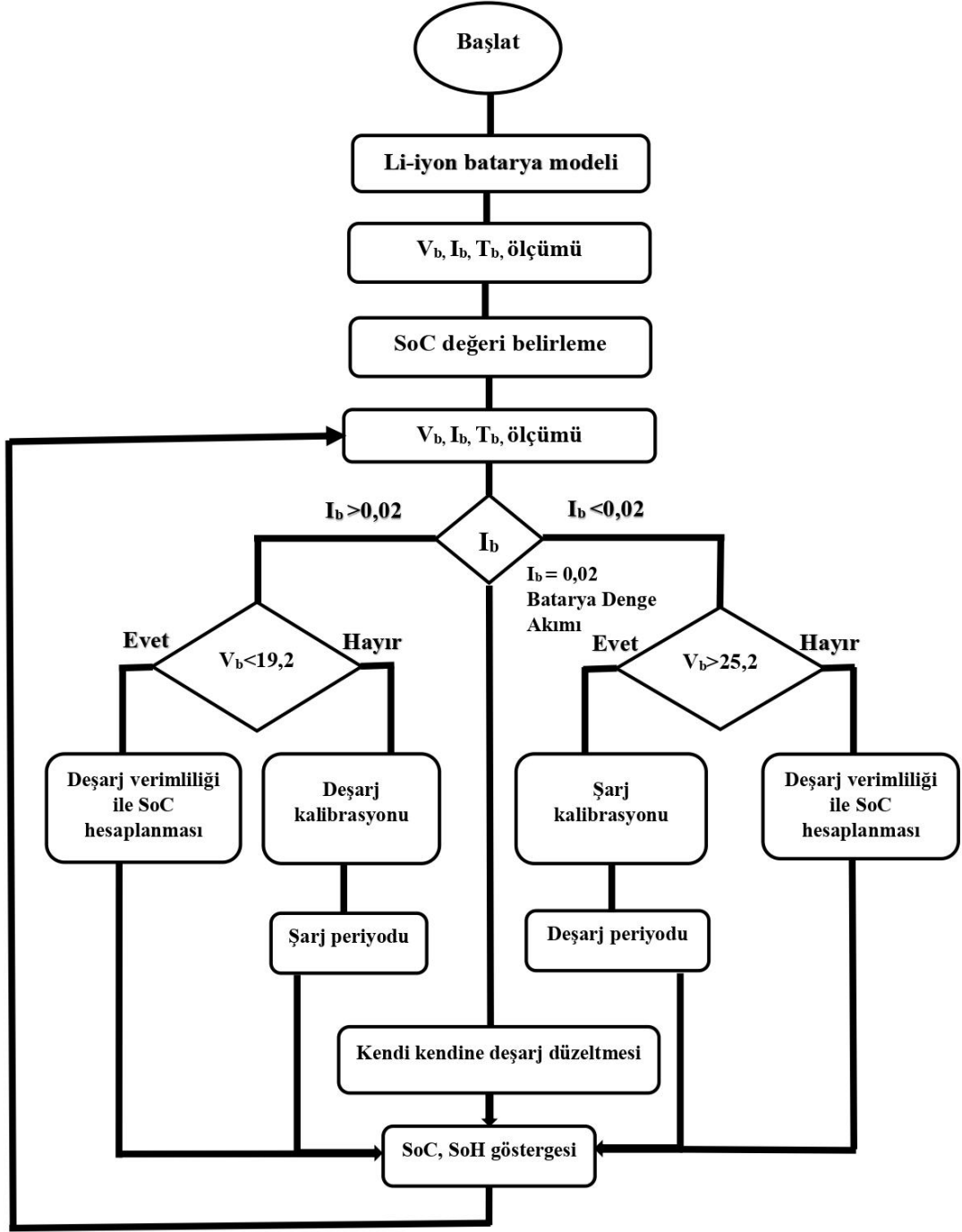
Şekil 8.19: Batarya ömür kestirim devre şeması

Li-iyon batarya paketinin sıcaklık, nem, şarj-deşarj akımı, sağlık durumu ve şarj durumu gibi verileri sensörler tarafından alınır. Bu veriler, Arduino IoT Cloud'a gönderilerek kullanıcı arayüzü üzerinden izlenebilir ve kontrol edilebilir hale getirilmiştir. IoT Cloud, kullanıcıya güvenli bir bulut platformu sağlayarak, batarya paketinin performansını ve güvenliğini izlemek ve bataryayı etkin bir şekilde yönetmek için gerekli verileri sunmaktadır. Proje aynı zamanda bataryanın şarj veyadeşarj durumuna bağlı olarak LED'lerle de görsel geri bildirim sağlar, bu sayede kullanıcıların batarya durumunu kolayca anlayabilmesi ve gerektiğinde müdahale edebilmeleri amaçlanmış ve arayüz buna uygun tasarlanmıştır. Şekil 8.20'de batarya paketinin IoT Cloud platformu ile işleyişi şematize edilmiştir.



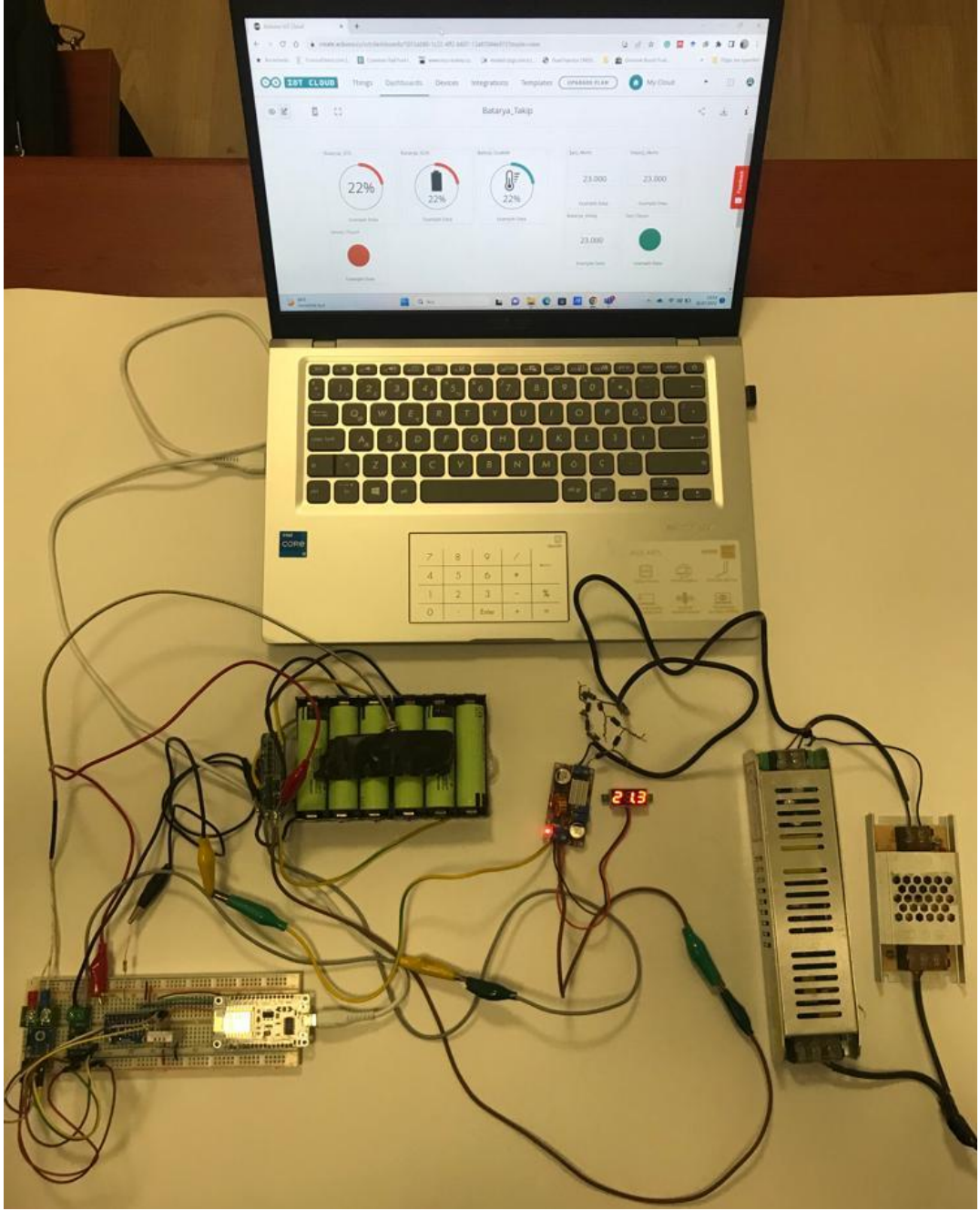
Şekil 8.20: Batarya ömür kestirim devresinin IoT Cloud platformu ile işleyişi

Başlangıç SoC değeri tespit edildikten sonra batarya birbirini takip eden şarj vedeşarj döngülerine tabi tutulacaktır ve bu döngülerdeki ölçülen akım gerilim ve sıcaklık değerlerine göre anlık SoC durumu takibi yapılarak bataryanın her bir şarjdeşarj döngü sonundaki kapasite değeri hesaplanmaktadır. Şekil 8.21'de şarjdeşarj döngü ömrü belirleme algoritması verilmiştir.

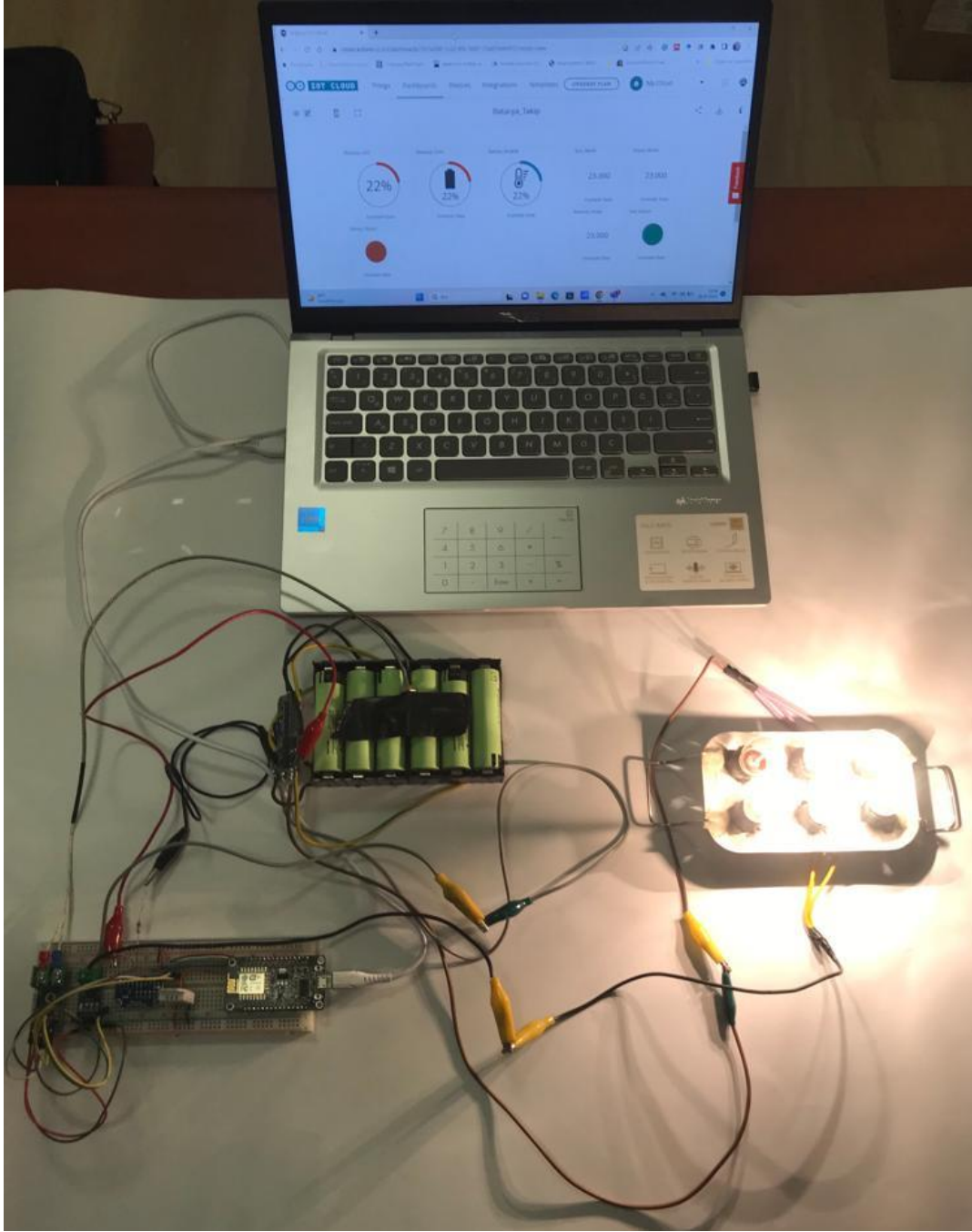


Şekil 8.21: Şarj deşarj döngü ömrü belirleme algoritması

Batarya kapasitesinin çevrimlere bağlı olarak elde edilmesi ve ömür tahmin edilmesi sürecinde, batarya paketi hem şarj edilirken hem de deşarj edilirken SoH ve SoC hesaplaması yapılarak ömür tahmini gerçekleştirilmektedir. Hesaplamalar ile birlikte tahmin edilen veriler IoT cloud tabanlı arayüzde görüntülenebilmektedir. Şekil 8.22’de ömür kestirim devresi şarj periyodu, Şekil 8.23’te ise ömür kestirim devresi deşarj periyodu verilmiştir.



Şekil 8.22: Ömür kestirim devresi şarj periyodu



Şekil 8.23: Ömür kestirim devresi deşarj periyodu

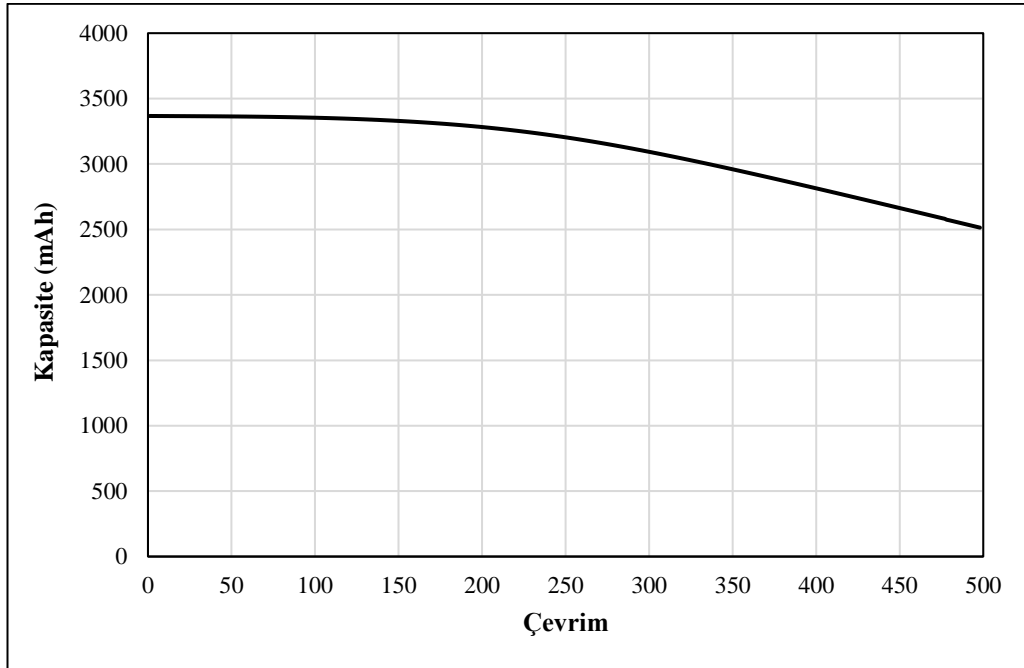
9. BULGULAR

9.1 Batarya Karakteristik Verileri

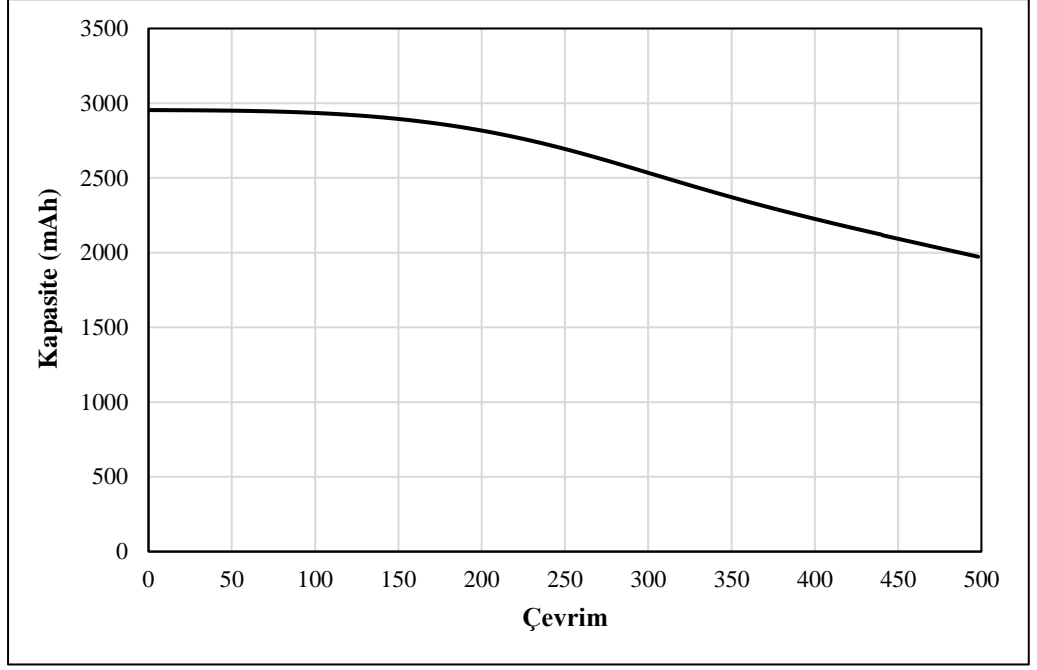
Gerçekleştirilen 500 çevrim sonunda batarya paketinin performansında beklenildiği gibi düşüş görülmüştür. Karakteristik performans verilerinin değişimleri ilerleyen yazılarda detaylandırılmıştır.

9.1.1 Batarya Kapasitesinin Değişim Verileri

Gerçekleştirilen 500 çevrim sonunda bataryanın şarj ve deşarj kapasitesinde tahmin edilen düşüş gerçekleşmiştir. 3367,21 mAh olan başlangıç şarj kapasitesi 500. çevrime ulaşıldığında 2513,94 mAh seviyesine gerilediği gözlemlenmiştir. Öte yandan 2954,05 mAh'lik başlangıç deşarj seviyesine sahip bu batarya modelinin son çevrime ulaşıldığında 1972,93 mAh seviyesine düştüğü görülmüştür. Şarj ve deşarj kapasitelerinin 150. çevrimden sonra düşüş eğilimine geçtiği görülmüştür. Şekil 9.1'de şarj kapasitesinin değişim grafiği, Şekil 9.2'de ise deşarj kapasitesinin değişim grafikleri filtrelenmiş olarak verilmiştir.



Şekil 9.1: Şarj kapasitesinin çevrime bağlı değişim grafiği



Şekil 9.2: Deşarj kapasitesinin çevrime bağlı değişim grafiği

Tüm çevrimlerin sonucunda şarj edilebilir kapasite %74,66 seviyesine inerken deşarj kapasitesinin %66,70 seviyesine düştüğü yapılan hesaplamalar sonucunda görülmüştür. Literatürde verilen bilgilere göre batarya paketi %70 sağlanabilir kapasite yani deşarj kapasitesinin altına düştüğünde EoL'a (ömür sonuna) ulaşmış olarak değerlendirilmiştir (Lee ve diğ. 2018) ve çalışmada kullanılan batarya modelinin 500 çevrim sonucunda %66,70 seviyesiyle bu sınırın altına düştüğü gözlemlenmiştir. Tablo 9.1'de belirli çevrimlere göre şarj ve deşarj kapasitelerinin yüzdelik değişimleri verilmiştir.

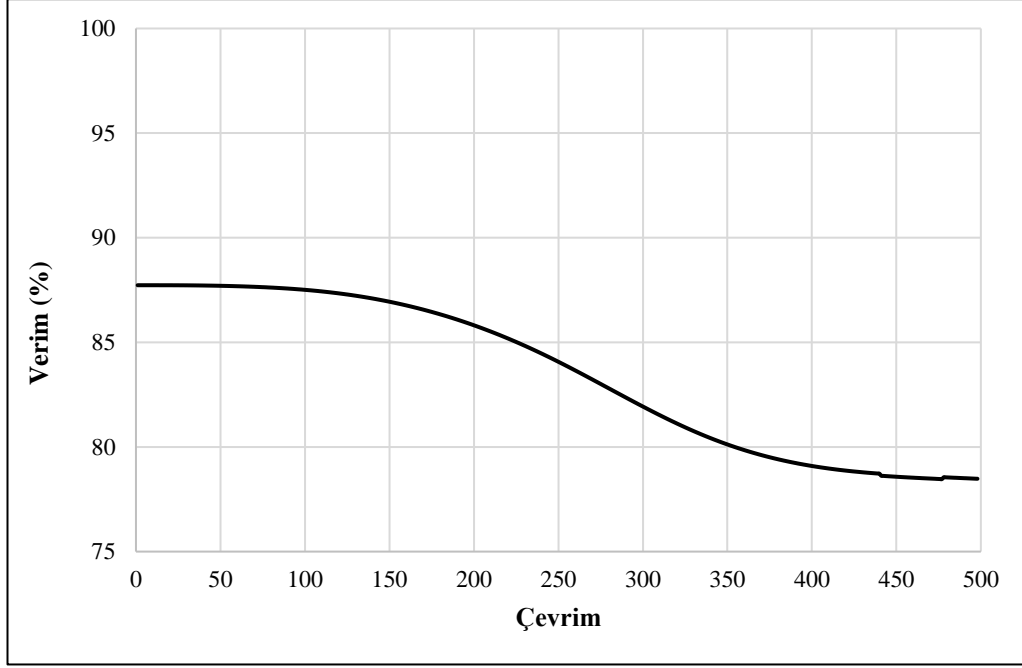
Tablo 9.1: Kapasitelerin çevrime bağlı yüzdelik değişimleri

Çevrim	Şarj (%)	Deşarj (%)
0	100,00	100,00
50	99,90	99,87
100	99,61	99,37
150	98,90	98,03
200	97,52	95,43
250	95,21	91,29
300	91,94	85,90
350	87,98	80,38
400	83,67	75,44
450	79,19	70,93
500	74,66	66,70

9.1.2 Batarya Veriminin Değişimi

Batarya verimi, Eşitlik 9.1’de görüldüğü gibi ilgili şarj-deşarj döngüsündedeşarj kapasitesinin şarj kapasitesine bölümü ile elde edilmiştir. 1. çevrimde %87,73 verimliliğe sahip olan batarya paketi, son çevrim olan 500. çevrime ulaştığında ise %78,48 verim ile ömür sonuna ulaşmıştır. Şekil 9.3’te çevrim sayısına bağlı batarya veriminin değişim grafiği verilmiştir.

$$Batarya\ Verimi = \frac{Deşarj\ Kapasitesi}{Şarj\ Kapasitesi} \times 100 \quad (9.1)$$



Şekil 9.3: Çevrim sayısına bağlı batarya verimi

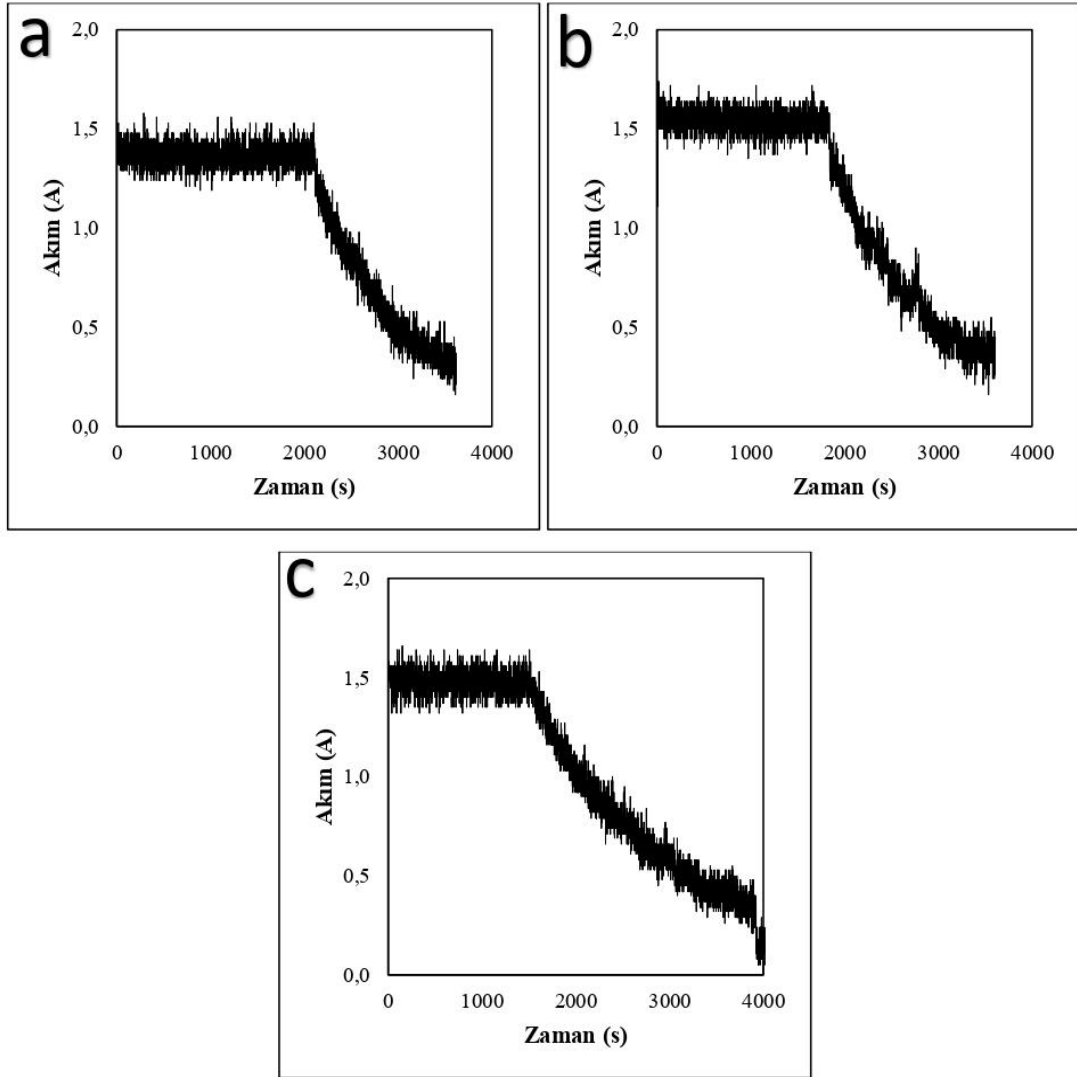
9.1.3 Batarya Yüzey Sıcaklıklarının Değişim Verileri

Batarya paketi deşarj aşamasına 25°C oda sıcaklığında başlarken deşarj sonuna ulaştığında 45°C sıcaklıklara kadar yükseldiği gözlemlenmiştir. Deşarj süreci sonunda 45°C sıcaklığa ulaşan batarya paketleri yeniden şarj edilirken aynı sıcaklıkta şarj edilmeye başlanmış şarj sonuna ulaşıldığında ise yüzey sıcaklığının oda sıcaklığına düştüğü gözlemlenmiştir. Şarj ve deşarj sürelerinin kısalmasına rağmen deşarj süreçlerinde sıcaklık artışı yine 45°C'ye çıkmıştır. Şarj aşamasında ise 300. çevrimden sonra oda sıcaklığına ulaşılmadan şarj işleminin tamamlandığı görülmüştür.

9.1.4 Batarya Şarj Profili Değişimi

Excel ortamına aktarılan her çevrime ait akım verileri ile kapasite değerlerinin elde edilmesinin yanında ilgili çevrime ait şarj eğrisi profili de elde edilmiştir. Bataryanın ilk şarj aşamasında CC (sabit akım) periyodu 2100 s boyunca devam etmiş, sonrasında ise 1600 s boyunca CV (sabit voltaj) periyodu ile şarj tamamlanmıştır. İlk şarjda 2100 s olan CC periyodu son çevrime ulaşıldığında 1500 s seviyesine gerilerken, CV periyodunda ise 2500 s'ye çıktığı gözlemlenmiştir. Deşarj aşamasında

beklenildiği gibi deşarj süresi azalmış fakat deşarj akımlarında değişim görülmemiştir. Şekil 9.4'te 3 farklı çevrime ait şarj profil eğrileri verilmiştir.



Şekil 9.4: Çevrimlere bağlı şarj profili grafikleri; a: 1. çevrim, b: 250. çevrim, c: 500. çevrim

9.2 Batarya Ömür Kestirim ve Anlık Şarj Durumun Belirlenmesi

Batarya ömür kestirim devresinin Arduino IoT Cloud ile veri haberleşmesi sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Batarya paketi terminal gerilimi, şarj ve deşarj akımları, batarya sıcaklığı ve bu veriler üzerinden anlık olarak hesaplanan batarya SoH ve SoC değerleri ayrıca bataryanın şarj ya da deşarj modunda çalıştığını gösteren durum ledleri Şekil 9.5'te verilen mobil arayüzde görülmektedir.



Şekil 9.5: (a) Şarj, (b) deşarj süreçlerinde arayüz ekran görüntüsü

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen çalışmada elektrikli ve hibrit araç kullanıcılarının en büyük sorularından biri olan Li-iyon bataryanın ömür kestirimi üzerine çalışılmıştır. Çalışma batarya karakteristik verilerinin elde edilmesi ve elde edilen verilerin IoT tabanlı arayüze aktarılarak ömür kestiriminin gerçekleştirilmesi temeline dayanarak 2 ana periyot ile tamamlanmıştır.

Karakteristik çıkarım devresinde ve ömür kestirim devresinde kullanılan batarya paketleri teknik parametreler bakımından birebir olarak eş değerdir. İlk periyot olan batarya karakteristik verilerinin çıkarım süreci 500 şarj-deşarj çevrimi boyunca sürmüş, süreç içerisinde 150. çevrimden sonra batarya kapasitesi düşüş eğilimine geçmiştir. 450 çevrim ve sonrasında batarya sağlanabilir kapasitesinin başlangıça göre %70'in altına düşerek ömür sonuna ulaştığı görülmüştür. Elde edilen şarj-deşarj profilleri ve çevrime bağlı kapasite kaybı ile bir algoritma oluşturulmuş, oluşturulan algoritma ile yeni bir Li-iyon batarya paketi üzerinden alınan akım, gerilim ve sıcaklık verileri ile oluşturulan algoritma çalıştırılmıştır. Ömür kestirim devresinde batarya paketinin çalışma sürecinde alınan veriler ile algoritmanın hesaplama yaptığı ve yapılan hesaplama sonuçlarını IoT tabanlı olarak arayüze aktardığı görülmüştür. Arayüzde görülen anlık sağlık durumu, anlık şarj durumu, batarya yüzey sıcaklığı değişim verileri ve ortam sıcaklık/nem verilerinin batarya karakteristik çıkarım sürecindeki verilerle uyumlu olduğu ve çalışmanın amacına ulaştığı görülmüştür.

Sağlık ve şarj durumu kavramları artan batarya kullanımları ile birlikte hayatımızın merkezine yerleşmektedir. Anlık olarak SoH ve SoC değerlerine erişmek, bataryaların ne kadar verimli ve sağlıklı olduğunu görmemizi sağlamaktadır. Bu veriler, bataryaların ömrünü ve performansını optimize etmek için değerli bir bilgi kaynağı sunmaktadır. Sadece güç durumuyla yetinmek yerine, sıcaklık sensörleri ile bataryaların termodinamik dünyasına da adım atıyoruz.

Sıcaklık, bataryaların performansını ve güvenliğini etkileyen kritik bir faktördür. Bataryaların sıcaklık değişimlerini izlemek, aşırı ısınma veya soğuma durumlarını önceden tespit ederek ciddi sorunları önlemeye yardımcı olmaktadır. Bu bilgilere göre gelecek çalışmalarda, bataryaların sıcaklık değişimlerine bağlı olarak son kullanıcıya bildirim gönderilebilir. Bunun yanısıra devreye entegre edilebilecek

duman sensörleri vasıtasıyla yangın algılanması durumunda itfaiye, ambulans ve polis gibi acil yardım ekiplerine de bildirim gönderilebilir. Yerel acil yardım ekiplerine gönderilen bildirimler ile gerçekleşebilecek can ve mal kayıplarının önüne geçilebilir.

11. KAYNAKLAR

Abd Wahab, M. H., Anuar, N. I. M., Ambar, R., Baharum, A., Shanta, S., Sulaiman, M. S., and Hanafi, H. F., "IoT-Based Battery Monitoring System for Electric Vehicle", *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.31), 505-510, (2018).

Actec, "Panasonic NCR 18650PF Datasheet [online]", (Haziran 2023), <https://actec.dk/media/documents/70FC46554038.pdf>, (2016).

Aizpuru, I., Iraola, U., Canales, J. M., Echeverria, M., and Gil, I., "Passive balancing design for Li-ion battery packs based on single cell experimental tests for a CCCV charging mode", In 2013 International Conference on Clean Electrical Power, 93-98, (2013).

Alldatasheet, "Max6675 datasheet [online]", (Haziran 2023), <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/73692/MAXIM/MAX6675.html>, (2002).

Alldatasheet, "ACS 712 datasheet [online]", (Haziran 2023), <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/174116/ALLEGRO/ACS712.html>, (2006).

Alldatasheet, "ADS1115 datasheet [online]", (Haziran 2023), <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/292735/TI/ADS1115.html>, (2009).

Alldatasheet^a, "XL4015 datasheet [online]", (Haziran 2023), <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/1134361/XLSEMI/XL4015.html>, (2020).

Alldatasheet^b, "LM2596 datasheet [online]", (Haziran 2023), <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/8744/NSC/LM2596.html>, (2020).

Alldatasheet, "DHT22 datasheet [online]", (Haziran 2023), <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132459/ETC2/DHT22.html>, (2023).

Arun, V., Kannan, R., Ramesh, S., Vijayakumar, M., Raghavendran, P. S., Siva Ramkumar, M., and Sundramurthy, V. P., "Review on Li-Ion Battery vs Nickel Metal Hydride Battery in EV", *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, 7910072, (2022).

Asaad, M., Ahmad, F., Alam, M. S., and Rafat, Y., “IoT enabled monitoring of an optimized electric vehicle’s battery system”, *Mobile Networks and Applications*, 23(4), 994-1005, (2018).

Attidekou, P. S., Wang, C., Armstrong, M., Lambert, S. M., and Christensen, P. A., “A new time constant approach to online capacity monitoring and lifetime prediction of lithium ion batteries for electric vehicles (EV)”, *Journal of the Electrochemical Society*, 164(9), A1792, (2017).

Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G., “The internet of things: A survey”, *Computer networks*, 54(15), 2787-2805, (2010).

Baker, S. B., Xiang, W., and Atkinson, I., “Internet of things for smart healthcare: Technologies”, *Challenges, and opportunities*, *Ieee Access*, 5, 26521-26544, (2017).

Barillas, J. K., Li, J., Günther, C., and Danzer, M. A. A., “Comparative study and validation of state estimation algorithms for Li-ion batteries in battery management systems”, *Applied Energy*, 155, 455-462, (2015).

Berecibar, M., Gandiaga, I., Villarreal, I., Omar, N., Van Mierlo, J., and Van den Bossche, P., “Critical review of state of health estimation methods of Li-ion batteries for real applications”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 572-587, (2016).

Bhandari, K., Dugar, P., and Vishvakarma, S., “Internet of things (IoT) enabled energy management system for smart cities”, (2016).

BMW, “Elektrikli Otomobil Türleri [online]”, (Mart 2023) www.bmw.com.tr/tr/topics/fascination-bmw/bmw-i-ve-e-mobilite/elektrikli-otomobil-turleri.html, (2023).

Boujelbene, M., Goodarzi, M., Ali, M. A., Shigidi, I. M., Pashameah, R. A., Homod, R. Z., and Safaei, M. R., “Machine-learning optimization of an innovative design of a Li-ion battery arrangement cooling system”, *Journal of Energy Storage*, 58, 106331, (2023).

Brand, M., Gläser, S., Geder, J., Menacher, S., Obpacher, S., Jossen, A., and Quinger, D., “Electrical safety of commercial Li-ion cells based on NMC and NCA technology compared to LFP technology”, *World Electric Vehicle Journal*, 6(3), 572-580, (2013).

Budde-Meiwes, H., Drillkens, J., Lunz, B., Muennix, J., Rothgang, S., Kowal, J., and Sauer, D. U., “A review of current automotive battery technology and

future prospects”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 227(5), 761-776, (2013).

Cacciato, M., Nobile, G., Scarcella, G., and Scelba, G., “Real-time model-based estimation of SOC and SOH for energy storage systems”, IEEE Transactions on Power Electronics, 32(1), 794-803, (2016).

Caramia, V., and Bozzini, B., “Materials science aspects of zinc–air batteries: a review”, Materials for Renewable and Sustainable Energy, 3, 1-12, (2014).

Cardoso, D. S., Fael, P. O., and Espírito-Santo, A., “A review of micro and mild hybrid systems”, Energy Reports, 6, 385-390, (2020).

Chang, Z., Liu, S., Xiong, X., Cai, Z., and Tu, G. A., “Survey of recent advances in edge-computing-powered artificial intelligence of things”, IEEE Internet of Things Journal, 8(18), 13849-13875, (2021).

Chemali, E., Kollmeyer, P. J., Preindl, M., Fahmy, Y., and Emadi, A., “A convolutional neural network approach for estimation of li-ion battery state of health from charge profiles”, Energies, 15(3), 1185, (2022).

Chen, L., Lü, Z., Lin, W., Li, J., and Pan, H., “A new state-of-health estimation method for lithium-ion batteries through the intrinsic relationship between ohmic internal resistance and capacity”, Measurement, 116, 586-595, (2018).

Chen, W., Zhuang, J., Yu, W., and Wang, Z., “Measuring complexity using fuzzyen, apen, and sampen”, Medical Engineering & Physics, 31(1), 61-68, (2009).

Cui, Z., Dai, J., Sun, J., Li, D., Wang, L., and Wang, K., “Hybrid methods using neural network and Kalmanfilter for the state of charge estimation of lithium-ion battery”, Mathematical Problems in Engineering, 2022, 1-11, (2022).

Deng, D., “Li-ion batteries: basics, progress, and challenges”, Energy Science & Engineering, 3(5), 385-418, (2015).

Durmus, Y. E., Zhang, H., Baakes, F., Desmaizieres, G., Hayun, H., Yang, L., and Ein-Eli, Y., “Side by side battery technologies with lithium-ion based batteries”, Advanced Energy Materials, 10(24), 2000089, (2020).

DS Enerji, “Lityum İyon Çeşitleri [online]”, (Şubat 2023), <https://tr.dsisolar.com/info/types-of-lithium-ion-32624534.html>, (2019).

D’orazio, T., Leo, M., Distanto, A., Guaragnella, C., Pianese, V., and Cavaccini, G., “Automatic ultrasonic inspection for internal defect detection in composite materials”, *NDT & E International*, 41(2), 145-154, (2008).

Eddahech, A., Briat, O., and Vinassa, J. M., “Determination of lithium-ion battery state-of-health based on constant-voltage charge phase”, *Journal of Power Sources*, 258, 218-227, (2014).

Emadi, A., Lee, Y. J., and Rajashekara, K., “Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(6), 2237-2245, (2008).

Erciyes M., “Elektrikli Araç Bataryalarının Sağlık Durumlarını Tespit Edecek İç Direnç Ölçüm Tabanlı Sistem Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, (2020).

Feng, X., Weng, C., He, X., Han, X., Lu, L., Ren, D., and Ouyang, M., “Online state-of-health estimation for Li-ion battery using partial charging segment based on support vector machine”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(9), 8583-8592, (2019).

Forpass, “Fordpass [online]”, (Mart 2023), <https://www.ford.com/support/category/fordpass/>, (2023).

Forman, J. C., Moura, S. J., Stein, J. L., and Fathy, H. K., “Genetic identification and fisher identifiability analysis of the Doyle–Fuller–Newman model from experimental cycling of a LiFePO₄ cell”, *Journal of Power Sources*, 210, 263-275, (2012).

Gelmanova, Z. S., Zhabalova, G. G., Sivyakova, G. A., Lelikova, O. N., Onishchenko, O. N., Smailova, A. A., and Kamarova, S. N., “Electric cars. Advantages and disadvantages”, In *Journal of Physics: Conference Series*, 1015(5), 052029, (2018).

Geoffrey, J., Maya, A., Davidson, B. M., “Lead batteries for utility energy storage: A review,” *Journal of Energy Storage*, 15, 156, (2018).

Gerssen-Gondelach, S. J., and Faaij, A. P., “Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term”, *Journal of power sources*, 212, 111-129, (2012).

Gm Onstar, “Gm Onstar [online]”, (Mart 2023), <https://www.gm.com/onstar>, (2023).

Haidar, A. M., Muttaqi, K. M., and Sutanto, D., “Technical challenges for electric power industries due to grid-integrated electric vehicles in low voltage distributions: A review”, *Energy Conversion and Management*, 86, 689-700, (2014).

Haseeb, K., Ud Din, I., Almogren, A., and Islam, N., “An energy efficient and secure IoT-based WSN framework: An application to smart agriculture”, *Sensors*, 20(7), 2081, (2020).

Hu, C., Jain, G., Zhang, P., Schmidt, C., Gomadam, P., and Gorka, T., “Data-driven method based on particle swarm optimization and k-nearest neighbor regression for estimating capacity of lithium-ion battery”, *Applied Energy*, 129, 49-55, (2014).

Hua, C. C., and Lin, M. Y., “A study of charging control of lead-acid battery for electric vehicles”, In *ISIE'2000. Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 1, 135-140, (2000).

Hussein, A. A., “Capacity fade estimation in electric vehicle li-ion batteries using artificial neural networks”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(3), 2321-2330, (2014).

Ipek, E., Eren, M. K., and Yilmaz, M., “State-of-charge estimation of li-ion battery cell using support vector regression and gradient boosting techniques”, In *2019 International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics & 2019 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment*, 604-609, (2019).

Islam, M., Khalekuzzaman, M., Kabir, S., and Rana, M. A “Study on Recycling Used Lead-Acid Batteries (ULABs) in Bangladesh. Researchgate”, *Proceedings of the WasteSafe 2021 – 7th International Conference on Integrated Solid Waste & Faecal Sludge Management in South-Asian Countries. Khulna, Bangladesh*, (2021).

Jeyaseelan, C., Jain, A., Khurana, P., Kumar, D., and Thatai, S., “Ni-Cd Batteries. Rechargeable Batteries: History”, *Progress, and Applications*, 177-194, (2020).

Kaur, K., Garg, A., Cui, X., Singh, S., and Panigrahi, B. K., “Deep learning networks for capacity estimation for monitoring SOH of Li-ion batteries for electric vehicles”, *International Journal of Energy Research*, 45(2), 3113-3128, (2021).

Kerem, A., “Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri”, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 1-13, (2014).

Kim, J. Y., Jo, J. H., and Byeon, J. W., “Ultrasonic monitoring performance degradation of lithium ion battery”, Microelectronics Reliability, 114, 113859, (2020).

Kircheva, N., Genies, S., Brun-Buisson, D., and Thivel, P. X., “Study of solid electrolyte interface formation and lithium intercalation in Li-ion batteries by acoustic emission”, Journal of The Electrochemical Society, 159(1), A18, (2011).

Kissinger, P. T., and Heineman, W. R., “Cyclic voltammetry”, Journal of chemical education, 60(9), 702, (1983).

Kumar, P. S., Kamath, R. N., Boyapati, P., Josephson, P. J., Natrayan, L., and Shadrach, F. D., “IoT battery management system in electric vehicle based on LR parameter estimation and ORMeshNet gateway topology”, Sustainable Energy Technologies and Assessments, 53, 102696, (2022).

Küçükdeveci, N., “Şarj Edilebilir Nikel-Metal Hidrür (Ni-Mh) Pillerinde Kullanılan Hidrojen Depolama Alaşımındaki Son Gelişmeler”, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7(2), 454-472, (2018).

Lee, J., Kwon, D., and Pecht, M. G., “Reduction of li-ion battery qualification time based on prognostics and health management”, IEEE Transactions on industrial electronics, 66(9), 7310-7315, (2018).

Li, D., Ouyang, J., Li, H., and Wan, J., “State of charge estimation for LiMn₂O₄ power battery based on strong tracking sigma point Kalmanfilter”, Journal of Power Sources, 279, 439-449, (2015).

Li, J., Lyu, C., Wang, L., Zhang, L., and Li, C., “Remaining capacity estimation of Li-ion batteries based on temperature sample entropy and particle filter”, Journal of Power Sources, 268, 895-903, (2014).

Li, Y., Liu, K., Foley, A. M., Zülke, A., Berecibar, M., Nanini-Maury, E., and Hoster, H. E., “Data-driven health estimation and lifetime prediction of lithium-ion batteries: A review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 113, 109254, (2019).

Li, Z., Lu, L., Ouyang, M., and Xiao, Y., “Modeling the capacity degradation of LiFePO₄/graphite batteries based on stress coupling analysis”, Journal of Power Sources, 196(22), 9757-9766, (2011).

Linden, D., and Reddy, T. B., Handbook of Batteries, cilt Third Edition, McGraw-Hill Handbooks, 1450, (2002).

Liu, Y., Xie, K., Pan, Y., Wang, H., Li, Y., and Zheng, C., “Simplified modeling and parameter estimation to predict calendar life of Li-ion batteries”, Solid State Ionics, 320, 126-131, (2018).

Maçin F., “Lityum İyon Bataryalarda Parça Ömür Kestirimi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, (2019).

Madakam, S., Lake, V., Lake, V., and Lake, V., “Internet of Things (IoT): A literature review”, Journal of Computer and Communications, 3(05), 164, (2015).

Mahmoudi, C., Flah, A., and Sbita, L., “An overview of electric Vehicle concept and power management strategies”, In 2014 international conference on electrical sciences and technologies in Maghreb, 1-8, (2014).

May, G. J., Davidson, A., and Monahov, B., “Lead batteries for utility energy storage: A review”, Journal of Energy Storage, 15, 145-157, (2018).

Memleket, “Mutlu Akü Yeni Bir Dönem Başlattı [online]”, (Mart 2023), <https://www.memleket.com.tr/mutlu-aku-yeni-bir-donem-baslatti44311h.htm>, (2009).

Meng, J., Cai, L., Luo, G., Stroe, D. I., and Teodorescu, R., “Lithium-ion battery state of health estimation with short-term current pulse test and support vector machine”, Microelectronics Reliability, 88, 1216-1220, (2018).

Miao, Y., Hynan, P., Von Jouanne, A., and Yokochi, A., “Current Li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements”, Energies, 12(6), 1074, (2019).

Molaei, F., Rahimi, E., Siavoshi, H., Afrouz, S. G., and Tenorio, V., “A comprehensive review on internet of things (IoT) and its implications in the mining industry”, American Journal of Engineering and Applied Sciences, 13(3), 499-515, (2020).

Midgley, P. A., and Weyland, M., “3D electron microscopy in the physical sciences: the development of Z-contrast and EFTEM tomography”, Ultramicroscopy, 96(3-4), 413-431, (2003).

Neylampmechatronics, "ESP8266 datasheet [online]", (Haziran 2023) <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html> (2021).

Ng, K. S., Moo, C. S., Chen, Y. P., and Hsieh, Y. C., “Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries”, *Applied energy*, 86(9), 1506-1511, (2009).

Omariba, Z. B., Zhang, L., and Sun, D., “Review of battery cell balancing methodologies for optimizing battery pack performance in electric vehicles”, *IEEE Access*, 7, 129335-129352, (2019).

Özbay, H., Közkurt, C., Dalcalı, A., and Tektaş, M., “Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar”, *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(1), 34-50, (2020).

Özcan, Ö. F., Karadağ, T., Altuğ, M., ve Özgüven, Ö., “Elektrikli Araçlarda Kullanılan Pil Kimyasallarının Özellikleri ve Üstün Yönlerinin Kıyaslanması Üzerine Bir Derleme Çalışması”, *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 8(2), 276-298, (2021).

Padgett, M., “Audi Details Battery for 2019 E-Tron Electric Suv [online]”, (Nisan 2023), https://www.greencarreports.com/news/1116347_audi-details-battery-for-2019-e-tron-electric-suv, (2018).

Pang, B., Chen, L., and Dong, Z., “Data-driven degradation modeling and SOH prediction of Li-ion batteries”, *Energies*, 15(15), 5580, (2022).

Panasonic Industrial, “Panasonic NCR 18650PF [online]”, (Haziran 2023), <https://na.industrial.panasonic.com/>, (2023).

Petit, M., Prada, E., and Sauvart-Moynot, V., “Development of an empirical aging model for Li-ion batteries and application to assess the impact of Vehicle-to-Grid strategies on battery lifetime”, *Applied energy*, 172, 398-407, (2016).

Pérez, A., Quintero, V., Rozas, H., Jaramillo, F., Moreno, R., and Orchard, M., “Modelling the degradation process of lithium-ion batteries when operating at erratic state-of-charge swing ranges”, In *2017 4th international conference on control, decision and information technologies*, 0860-0865, (2017).

Pradhan, S. K., and Chakraborty, B., “Battery management strategies: An essential review for battery state of health monitoring techniques”, *Journal of Energy Storage*, 51, 104427, (2022).

Prajapati, K. C., Patel, R., and Sagar, R., “Hybrid vehicle: a study on technology”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3(12), 1076-1082, (2014).

Purwanto, A., Yudha, C. S., Ubaidillah, U., Widiyandari, H., Ogi, T., and Haerudin, H., “NCA cathode material: Synthesis methods and performance enhancement efforts”, *Materials Research Express*, 5(12), 122001, (2018).

Raj, B., Jayakumar, T., and Thavasimuthu, M., “Practical non-destructive testing”, Woodhead Publishing, (2002).

Ray, P. P., “A survey on Internet of Things architectures”, *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 30(3), 291-319, (2018).

Rehman, M. H., Alam, A., and Ansari, A. Q., “Design of a cost-effective IoT based Battery Management System for Electric Vehicles”, In 2023 International Conference on Power, Instrumentation, Energy and Control, 1-5, (2023).

Richtek, “Li-ion Battery and Gauge Introduction [online]”, (Şubat 2023), <https://www.richtek.com/Design%20Support/Technical%20Document/AN024>, (2014).

Romarez, T., “Nickel-Metal-Hydride Batteries for Plug-in Hybrid Vehicles Improve Energy Density [online]”, (Mart 2023), <https://www.electriccarsguide.com.au/latest-news/hydride-battery-for-hybrid-vehicles-improve-energy-density/>, (2015).

Rukkumani, V., Anitha, T., Evangilin, P. A., Aniruti, P. B., and Deepthiga, P., “IoT-based Battery Health Monitoring System for Electric Vehicle”, In 2023 Second International Conference on Electronics and Renewable Systems, 634-638, (2023).

Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., and Marquez-Barja, J. M., “A review on electric vehicles: Technologies and challenges”, *Smart Cities*, 4(1), 372-404, (2021).

Sarrafan, K., Muttaqi, K. M., and Sutanto, D., “Real-time state-of-charge tracking system using mixed estimation algorithm for electric vehicle battery system”, In 2018 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 1-8, (2018).

Sarrafan, K., Sutanto, D., and Muttaqi, K. M., “An electric circuit based EV battery model for runtime prediction and state of charge tracking,” In 2017 IEEE Transportation Electrification Conference, 1-6, (2017).

Savari, G. F., Krishnasamy, V., Sathik, J., Ali, Z. M., and Aleem, S. H. A., "Internet of Things based real-time electric vehicle load forecasting and charging station recommendation", *ISA transactions*, 97, 431-447, (2020).

Saqli, K., Bouchareb, H., Oudghiri, M., and M'Sirdi, N., "An overview of State of Charge (SOC) and State of Health (SOH) estimation methods of Li-ion batteries", *International Conference on Integrated Modeling and Analysis in Applied Control and Automation*, (2019).

Schweiger, H. G., Obeidi, O., Komesker, O., Raschke, A., Schiemann, M., Zehner, C., and Birke, P., "Comparison of several methods for determining the internal resistance of lithium ion cells", *Sensors*, 10(6), 5604-5625, (2010).

Shandiz, M. A., and Gauvin, R., "Application of machine learning methods for the prediction of crystal system of cathode materials in lithium-ion batteries", *Computational Materials Science*, 117, 270-278, (2016).

Sharvielectronics, "6S 12A Lithium Battery 18650 Charger PCB BMS Protection Board [online]", (Haziran 2023), <https://sharvielectronics.com/product/6s-12a-lithium-battery-18650-charger-pcb-bms-protection-board/>, (2021).

Shi, J., Xia, Y., Yuan, Z., Hu, H., Li, X., Zhang, H., and Liu, Z., "Porous membrane with high curvature, three-dimensional heat-resistance skeleton: a new and practical separator candidate for high safety lithium ion battery", *Scientific reports*, 5(1), 8255, (2015).

Sidik, A. D. W. M., Kusumah, I. H., Suryana, A., Artiyasa, M., and Junfithrana, A. P., "Design and Implementation of an IoT-Based Electric Motor Vibration and Temperature Disruption Handling System", *FIDELITY: Jurnal Teknik Elektro*, 2(2), 30-33, (2020).

Sommer, B., Bender, C., Hoppe, T., Gamroth, C., and Jelonek, L., "Stereoscopic cell visualization: from mesoscopic to molecular scale", *Journal of Electronic Imaging*, 23(1), 011007, (2014).

Stetzel, K. D., Aldrich, L. L., Trimboli, M. S., and Plett, G. L., "Electrochemical state and internal variables estimation using a reduced-order physics-based model of a lithium-ion cell and an extended Kalmanfilter", *Journal of Power Sources*, 278, 490-505, (2015).

Stevens, P., "The battery decade: How energy storage could revolutionize industries in the next 10 years, CNBC [online]", (Nisan 2023), <https://www.cnbc.com/2019/12/30/battery-developments-in-the-last-decade-created-a-seismic-shift-that-will-play-out-in-the-next-10-years.html>, (2019).

Stroe, D. I., Swierczynski, M., Stan, A. I., Knap, V., Teodorescu, R., and Andreasen, S. J., “Diagnosis of lithium-ion batteries state-of-health based on electrochemical impedance spectroscopy technique”, In 2014 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition ECCE, 4576-4582, (2014).

Tang, X., Mao, X., Lin, J., and Koch, B., “Capacity estimation for Li-ion batteries”, In Proceedings of the 2011 American Control Conference, 947-952, (2011).

Taşan Y., “Lityum-İyon Bataryalarda Sağlık Durumu Kestirimi İçin Model Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, (2019).

Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği, “Pil Nedir [online]”, (Mart 2023), <https://tap.org.tr/pil-atik-pil/sss/pil-nedir/>, (2023).

Tesla, “How Tesla Uses IoT: Applications & Top Use Cases [online]”, (Mart 2023), <https://analyticssteps.com/blogs/iot-tesla-applications-benefits-and-potential-risks>, (2023).

Torai, S., Nakagomi, M., Yoshitake, S., Yamaguchi, S., and Oyama, N., “State-of-health estimation of LiFePO₄/graphite batteries based on a model using differential capacity”, Journal of Power Sources, 306, 62-69, (2016).

Tran, M. K., Panchal, S., Chauhan, V., Brahmhatt, N., Mevawalla, A., Fraser, R., and Fowler, M., “Python-based scikit-learn machine learning models for thermal and electrical performance prediction of high-capacity lithium-ion battery”, International Journal of Energy Research, 46(2), 786-794, (2022).

Tran, M. K., DaCosta, A., Mevawalla, A., Panchal, S., and Fowler, M., “Comparative study of equivalent circuit models performance in four common lithium-ion batteries: LFP, NMC, LMO, NCA”, Batteries, 7(3), 51, (2021).

Tskukamoto, H., and Tan, P. U.S. Patent No. 7,274,168. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, (2007).

Uddin, M. S., Ahmed, M. M., Alam, J. B., and Islam, M., “Smart anti-theft vehicle tracking system for Bangladesh based on Internet of Things”, In 2017 4th International Conference on Advances in Electrical Engineering, 624-628, (2017).

Umathe, S., and Hiware, R., “Artificial Intelligence and IoT based Smart Battery Management System for Electric Vehicle”, In 2022 International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking, 1-7, (2022).

Usta, C., “Elektrikli Araba Parçaları ve Görevleri [online]”, (Şubat 2023), <https://www.otomakinist.com/elektrikli-araba-parcalari-ve-gorevleri>, (2021).

Wang, B., Fernandez, J. H., and Massoud, A., “A Wireless Battery Temperature Monitoring System for Electric Vehicle Charging”, In 2019 IEEE SENSORS, 1-4, (2019).

Wang, Y. N., “Power battery performance detection system for electric vehicles”, *Procedia computer science*, 154, 759-763, (2019).

Wang, Z., Zeng, S., Guo J., and Qin, T., “Remaining capacity estimation of lithiumion batteries based on the constant voltage charging profile,” *PLOS ONE*, 1-22, (2018).

Wang, Y., Fang, H., Zhou, L., and Wada, T., “Revisiting the state-of-charge estimation for lithium-ion batteries: A methodical investigation of the extended Kalmanfilter approach”, *IEEE Control Systems Magazine*, 37(4), 73-96, (2017).

Wang, K., Wan, J., Xiang, Y., Zhu, J., Leng, Q., Wang, M., and Yang, Y., “Recent advances and historical developments of high voltage lithium cobalt oxide materials for rechargeable Li-ion batteries”, *Journal of Power Sources*, 460, 228062, (2020).

Wang, L., Chen, B., Ma, J., Cui, G., and Chen, L., “Reviving lithium cobalt oxide-based lithium secondary batteries-toward a higher energy density”, *Chemical Society Reviews*, 47(17), 6505-6602, (2018).

Wang, X., Wei, X., Zhu, J., Dai, H., Zheng, Y., Xu, X., and Chen, Q., “A review of modeling, acquisition, and application of lithium-ion battery impedance for onboard battery management”, *ETransportation*, 7, 100093, (2021).

Weisenberger, C., Meir, B., Röhrler, S., Harrison, D. K., and Knoblauch, V., “A post-mortem study of commercial 18650 lithium-ion cells with LiNi_{0.5}Co_{0.2}Mn_{0.3}O₂/Graphite chemistry after prolonged cycling (> 7000 cycles) with low C-rates”, *Electrochimica Acta*, 379, 138145, (2021).

Widodo, A., Shim, M. C., Caesarendra, W., and Yang, B. S., “Intelligent prognostics for battery health monitoring based on sample entropy”, *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11763-11769, (2011).

Wognsen, E. R., Haverkort, B. R., Jongerden, M., Hansen, R. R., and Larsen, K. G., “A score function for optimizing the cycle-life of battery-powered embedded systems”, In *Formal Modeling and Analysis of Timed Systems: 13th*

International Conference, FORMATS 2015, Madrid, Spain, September 2-4, 2015, Proceedings 13, 305-320, (2015).

Xiao, W., Xu, H., Jia, J., Feng, F., and Wang, W. "State of Health Estimation Framework of Li-on Battery Based on Improved Gaussian Process Regression for Real Car Data", In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 793(1), 012063, (2020).

Xiong, R., Li, L., and Tian, J., "Towards a smarter battery management system: A critical review on battery state of health monitoring methods", Journal of Power Sources, 405, 18-29, (2018).

Xiong, R., Sun, F., Chen, Z., and He, H., "A data-driven multi-scale extended Kalmanfiltering based parameter and state estimation approach of lithium-ion polymer battery in electric vehicles", Applied energy, 113, 463-476, (2014).

Valøen, L. O., and Shoesmith, M. I., "The effect of PHEV and HEV duty cycles on battery and battery pack performance", In PHEV 2007 Conference, 4-5, (2007).

Yang, F., Wang, D., Xu, F., Huang, Z., and Tsui, K. L., "Lifespan prediction of lithium-ion batteries based on various extracted features and gradient boosting regression tree model", Journal of Power Sources, 476, 228654, (2020).

Yang, N., Zhang, X., and Li, G., "State of charge estimation for pulse discharge of a LiFePO₄ battery by a revised Ah counting", Electrochimica Acta, 151, 63-71, (2015).

Yang, R., Xiong, R., He, H., Mu, H., and Wang, C., "A novel method on estimating the degradation and state of charge of lithium-ion batteries used for electrical vehicles", Applied Energy, 207, 336-345, (2017).

Zhang, W. J., "Structure and performance of LiFePO₄ cathode materials: A review", Journal of Power Sources, 196(6), 2962-2970, (2011).

Zhang, H., Yang, Y., Xu, H., Wang, L., Lu, X., and He, X., "Li₄Ti₅O₁₂ spinel anode: Fundamentals and advances in rechargeable batteries", InfoMat, 4(4), e12228, (2022).

Zhou, W., and Wang, Z. L., "Scanning Microscopy for Nanotechnology: Techniques and Applications", Springer Science & Business Media, (2007).

Web Sitesi: <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>, (Erişim tarihi: Mart 2023).