

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

IoT TABANLI ENSTRÜMANTASYON SİSTEMİ KULLANILARAK
FARKLI FREKANSLARIN KURŞUN ASİT AKÜLERİN DESÜLFASYONU
ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZGÜR FIRAT AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MALATYA

Aralık 2019

Tezin Başlığı: İot Tabanlı Enstrümantasyon Sistemi Kullanılarak Farklı Frekansların

Kurşun Asit Akülerin Desülfasyonu Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

Tezi Hazırlayan: Özgür Fırat AYDIN

Sınav Tarihi: 13.12.2019

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Elektrik Elektronik Mühendisliği
Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Murat KÖSEOĞLU

İnönü Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Cemal KELEŞ

İnönü Üniversitesi

Doç.Dr. Fevzi HANSU

Siirt Üniversitesi

Prof. Dr. Kazım TÜRK

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “IoT tabanlı enstrümantasyon sistemi kullanılarak farklı frekansların Kurşun asit akülerin desülfasyonu üzerine etkilerinin incelenmesi” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, onurumla doğrularım.

Özgür Fırat AYDIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İoT TABANLI ENSTRÜMANTASYON SİSTEMİ KULLANILARAK FARKLI FREKANSLARIN KURŞUN ASİT AKÜLERİN DESÜLFASYONU ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Özgür Fırat AYDIN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana bilim Dalı

90+xi sayfa

2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat KÖSEOĞLU

Kurşun asit aküler, bakım gerektirmediklerinden, ekonomik olduklarından ve yüksek akım kapasitelerine çıkabildiklerinden, pek çok alanda sıklıkla tercih edilmektedir. Kurşun asit akülerin geri dönüşüm süreçlerinin özel yöntemler gerektirmesi ve maliyetli olması, çevresel ve ekonomik sorunları beraberinde getirmektedir. Kurşun asit akülerde sıklıkla rastlanan arızalardan biri sülfatlanmadır. Bu sorunun çözümü, akülerin ömrünü uzatacağı gibi, çevreye ve ekonomiye de katkı sunacaktır. Bu sorun, akü plakalarındaki sülfatlanmaya bağlı olarak, akünün iç direncinin artması, uzun sürede şarj olması, akım kapasitesinin düşmesi ve performans düşüklüğü şeklinde aküye yansıyabilir.

Bu çalışmada, Sülfatlanma sorunun çözümüne odaklanılmış, nesnelerin interneti (IoT) tabanlı enstrümantasyon devreleri kullanılarak, farklı frekanslardaki gerilim darbelerinin Kurşun asit akülerin desülfasyonu üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için suni olarak eşit koşullarda sülfatlandırılmış dört adet akü, farklı frekanslarda gerilim darbeleri ve DA gerilim uygulanarak şarj edilmiş, akülerin gerilim, akım, iç direnç ve kapasitelerindeki değişim grafiksel olarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda akülerin yüke akım aktarabilme sürelerinin, sülfatlanmadan önceki durumla kıyaslandığında, doğal olarak azaldığı görülmüştür. Kapasitedeki bu azalma, DA gerilim ile şarj edilen aküde çok yüksek oranda, farklı frekanstaki gerilim darbeleriyle şarj edilen akülerde ise nispeten daha düşük orandadır. Buna göre yüksek frekanslı gerilim darbeleriyle desülfasyon işleminin, sülfatlanmış bir aküyü olumlu şekilde etkilediği sonucuna varılmıştır. Ancak uygulanması gereken frekans değeri, akü parametrelerine göre değişkenlik gösterebilmektedir.

Alınan ölçümlerin, özgün olarak geliştirilmiş ara yüzler ve IoT tabanlı enstrümantasyon devreleri kullanılarak gerçekleştirilmesi, yapılan tüm işlemlerin uzaktan izlenebilmesine ve kontrolüne imkân vermiştir. Bu da akülere uzaktan müdahale olanağı tanıyarak, aşırı şarjın ve deşarjın engellenmesini ve sürecin mikro denetleyici kontrolünde önceden planlandığı gibi gerçekleşmesini sağlamıştır.

ANAHTAR KELİMELE: Kurşun asit akü, nesnelerin interneti, enstrümantasyon, desülfasyon, yüksek frekanslı gerilim darbeleri

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT FREQUENCIES ON DESULFATION OF LEAD ACID BATTERIES USING IOT BASED INSTRUMENTATION SYSTEM

Özgür Fırat AYDIN

İnönü University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronic Engineering

90+xi pages

2019

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Murat KÖSEOĞLU

Lead acid batteries are often preferable in many areas since they are maintenance-free, cost-effective and can reach high current capacities. The necessity of using special and costly methods in recycling of Lead acid batteries brings about environmental and economic problems. One of the common faults in lead acid batteries is sulfation. The solution of this problem will not only extend the life of the batteries, but also contribute to the environment and economy. This problem reflects to the battery as the increase of internal resistance, protracted charging, reduced current capacity and poor performance due to the sulfation of the battery plates.

In this study, the solution of sulfation is focused; the effects of voltage pulses at different frequencies on the desulfation of Lead acid batteries are investigated experimentally by using internet of things (IoT) based instrumentation circuits. For this purpose, four batteries, which were sulfated under identical conditions artificially, have been charged by applying voltage pulses at different frequencies and DC voltage, and the changes in the voltage, current, internal resistance and capacity of the batteries have been analyzed graphically. The time for the battery to deliver current to the load decreases naturally when compared to the pre-sulfated situation. This reduction in capacity is very high in the DC-charged battery and relatively low in batteries charged with voltage pulses at different frequencies. Thus, it has been concluded that desulfation with high frequency voltage pulses positively affects a sulfated battery. However, the frequency value to be applied may vary according to the battery parameters.

Performing the measurements using uniquely developed interfaces and IoT based instrumentation circuits has enabled remote monitoring and control of all operations. This allows remote intervention to the batteries, preventing overcharging and over-discharging and provides the implementation of the processes under the control of microcontroller as planned before.

KEYWORDS: Lead acid battery, internet of things, instrumentation, desulfation, high frequency voltage pulses

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında yardım, öneri ve desteğini esirgemedi beni yönlendiren danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Sayın Murat KÖSEOĞLU 'na;

Yüksek Lisans eğitimim süresince bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak bana destek olan Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında görev yapan hocalarıma;

Ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisans tez çalışmalarım süresince de beni destekleyen AİLEM'e ve özellikle eşime

Teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. Akü ve Batarya Türleri.....	5
2.3. Kurşun Asit Akü Türleri	8
2.4. Kurşun Asit Akülerin Çevresel ve İnsani Zararları.....	10
2.5. Kurşun Asit Akülerin Fiziksel Yapıları	11
2.6. Kurşun Asit Akülerin Kimyasal Yapısı	13
2.7. Kurşun Asit Akülerin Matematiksel Modelleri.....	14
2.7.1. Basit model	16
2.7.2. Geliştirilmiş basit model	16
2.7.3. Thevenin batarya modeli.....	17
2.7.4. Doğrusal olmayan batarya modeli	18
2.8. Peukerd Yasası	19
2.9. Kurşun Asit Akü Parametreleri	21
2.10. Kurşun Asit Akülerin Şarj Yöntemleri	24
2.11. Kurşun Asit Akü Arızaları	28
2.11.1. Elektrolit azalması.....	30
2.11.2. Elektrolit tabakalaşması	30
2.11.3. Hidrasyon	30

2.11.4.	Pozitif ızgara korozyonu	31
2.11.5.	Dahili kısa devreler	31
2.11.6.	Pasifleştirici Kurşun oksit film oluşumu.....	31
2.11.7.	Negatif elektrotta ince Kurşun topaklaşması	32
2.11.8.	Elektrolit kirlenmesi.....	32
2.11.9.	Kasa kapak veya terminalde fiziksel hasar oluşması	32
2.11.10.	Sülfatlanma	32
2.11.11.	Hücreler arası sorunlu bağlantılar	33
2.11.12.	Pozitif elektrottaki aktif maddenin yumuşaması ve dökülmesi	33
2.11.13.	Aşırı ısınma	33
2.11.14.	Hidrojen birikimi.....	34
2.11.15.	Negatif plakada Kurşun Sülfat birikimi	34
2.12.	Kurşun Asit Akülerde Sülfatlanma	35
2.13.	Sülfatlanmanın Nedenleri.....	37
2.14.	Kurşun Asit Akülerde Sülfatlanmanın Neden Olduğu Diğer Arızalar	37
2.15.	Darbe Yöntemi ile Desülfasyon	39
2.16.	Darbe Parametreleri	40
3.	MATERYAL ve YÖNTEM.....	44
3.1.	Deneyde Kullanılan Araçlar.....	44
3.1.1.	Enstrümantasyon devre kartı.....	44
3.1.2.	Güç birimi	45
3.1.3.	Mikro denetleyici birimi	47
3.1.4.	Gerçek zaman takvim birimi.....	50
3.1.5.	Eeprom birimi	50
3.1.6.	INA219 akım gerilim ve güç ölçüm birimi.....	51
3.1.7.	Röleler ve konektörler.....	52
3.1.8.	Darbe devresi	53

3.1.9.	EAGLE baskı devre çizim programı.....	55
3.1.10.	Arduino IDE programı	55
3.1.11.	Arduino nano mikro denetleyicisine ait program kodları	55
3.1.12.	Raspberry Pi 3B+ IoT kartı	56
3.1.13.	Raspberry Pi programı	58
3.1.14.	PYTHON dilinde yazılmış olan bilgisayar ara yüz programı	59
3.1.15.	Kişisel bilgisayar	61
3.1.16.	Laboratuvar güç kaynağı.....	61
3.1.17.	Kurşun asit aküler	61
3.1.18.	Tüm deney sisteminin iletişim prensibi	61
3.2.	Deney Sürecinde Uygulanan Yöntem.....	62
3.2.1.	Akülerin şarj edilmesi	63
3.2.2.	Akülerin deşarj edilmesi	63
3.2.3.	Sülfasyon süreci	63
3.2.4.	Akülerin desülfasyon süreci	64
4.	BULGULAR.....	68
5.	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	79
6.	KAYNAKLAR	82
7.	EKLER.....	85
7.1	Arduino Nano Ana Programı.....	86
7.2	Raspberry Pi Programı.....	89
	ÖZGEÇMİŞ.....	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Kurşun asit akülerin sınıflandırılması.....	8
Şekil 2.2.	Izgara formundaki akü plakaları.....	11
Şekil 2.3.	Akü Kurşun asit akü bileşenlerini gösteren akü kesiti.....	13
Şekil 2.4.	Batarya basit eşdeğer devresi prensip şeması.....	16
Şekil 2.5.	Thevenin batarya modeli devre şeması.....	17
Şekil 2.6.	Dinamik batarya modelinin devre şeması.....	18
Şekil 2.7.	Doğrusal olmayan batarya modelinin grafiği.....	19
Şekil 2.8.	Akü kapasitesinin akıma göre değişim grafiği.....	20
Şekil 2.9.	Akü iç direnç ölçüm işleminin birinci aşaması.....	22
Şekil 2.10.	Akü iç direnç ölçümü işleminin ikinci aşaması.....	22
Şekil 2.11.	Sabit akım ile şarj yönteminde akü geriliminin ve akımının zamana göre değişim grafikleri.....	25
Şekil 2.12.	İki aşamalı akım şarj yönteminde akü akımının ve geriliminin zamana göre değişim grafiği.....	25
Şekil 2.13.	Sabit gerilim ile şarj sürecinde akü akımının ve geriliminin zamana göre değişim grafiği.....	26
Şekil 2.14.	İki aşamalı şarj yönteminde akü akımının ve geriliminin zamana göre değişimi.....	26
Şekil 2.15.	Darbe yöntemi ile şarj yönteminde akü akımının zamana göre değişimi.....	27
Şekil 2.16.	Reflex yöntemine ait akü akımının zamana göre değişim grafiği....	27
Şekil 2.17.	Negatif darbe deşarj akımı grafiği.....	41
Şekil 2.18.	Karşılaştırmalı akü iç direnç grafiği.....	42
Şekil 3.1.	Desülfasyon sürecinde akülere darbe uygulayan devre kartının üstten görüntüsü.....	45
Şekil 3.2.	Desülfasyon sürecinde akülere darbe uygulayan devre kartının alttan görüntüsü	45
Şekil 3.3.	Ölçüm devrelerinde kullanılan güç biriminin devre şeması.....	46
Şekil 3.4.	LM2596 anahtarlamalı gerilim düşürücü modülü.....	46
Şekil 3.5.	Ölçüm devresinde RF filtre kapasitörlerinin yerleşimleri.....	47
Şekil 3.6.	Arduino nano mikro denetleyici modülü.....	48

Şekil 3.7.	Arduino nano bağlantı şeması.....	49
Şekil 3.8.	RTC biriminin devre şeması.....	50
Şekil 3.9.	EEPROM biriminin devre şeması.....	51
Şekil 3.10.	INA219 modülü.....	51
Şekil 3.11.	INA219 modülü prensip şeması.....	52
Şekil 3.12.	Referans ölçüm kartının devre şeması.....	53
Şekil 3.13.	Darbe üretici devresinin prensip şeması.....	54
Şekil 3.14.	Darbe devresinin elektriksel şema gösterimi.....	55
Şekil 3.15.	Arduino nano programının akış diyagramı.....	56
Şekil 3.16.	Raspberry Pi 3B+ IoT kartı.....	58
Şekil 3.17.	Raspberry pi programına ait akış diyagramı.....	59
Şekil 3.18.	Kullanıcı ara yüz programının ekran görüntüsü.....	60
Şekil 3.19.	Kullanıcı ara yüz programının akış diyagramı.....	60
Şekil 3.20.	Deney sisteminin prensip şeması.....	62
Şekil 3.21.	Deney sürecinin akış şeması.....	63
Şekil 3.22.	Sülfatlandırma süreci akış diyagramı.....	64
Şekil 3.23.	Sülfatlandırma sürecinde akü akımının zamana göre değişimi.....	64
Şekil 3.24.	100KHz'lik darbe uygulanan akünün gerilimi.....	65
Şekil 3.25.	1MHz'lik darbe uygulanan akünün gerilimi.....	65
Şekil 3.26.	2MHz'lik darbe uygulanan akünün gerilimi.....	65
Şekil 3.27.	İkinci aküye uygulanan 100KHz'lik darbe sinyali.....	66
Şekil 3.28.	Üçüncü aküye uygulanan 1MHz'lik darbe sinyali.....	66
Şekil 3.29.	Dördüncü aküye uygulanan 2MHz'lik darbe sinyali.....	66
Şekil 4.1.	13.8 volt DA gerilim ile şarj edilen akülerin gerilim-zaman grafiği.....	68
Şekil 4.2.	İlk şarj sırasında akü sıcaklıklarının zamana bağlı değişim grafiği.....	68
Şekil 4.3.	İlk şarj sırasında akü iç direnç değerlerinin zamana göre değişim grafiği.....	68
Şekil 4.4.	İlk deşarj sırasında akülerin gerilim-zaman grafiği.....	69
Şekil 4.5.	İlk deşarj sırasında akülerin deşarj akımı-zaman grafiği.....	69
Şekil 4.6.	Deşarj sürecinde akülerin sıcaklık-zaman grafikleri.....	70
Şekil 4.7.	Birinci aküye ait sülfatlandırma süreci grafiği.....	70
Şekil 4.8.	İkinci aküye ait sülfatlandırma süreci grafiği.....	71

Şekil 4.9.	Üçüncü aküye ait sülfatlandırma süreci grafiği	71
Şekil 4.10.	Dördüncü aküye ait sülfatlandırma süreci grafiği	71
Şekil 4.11.	Birinci akünün 13.8 voltluk DA gerilim ile şarj grafiği	72
Şekil 4.12.	İkinci akünün 100 KHz'lik gerilim darbeleriyle desülfasyon grafiği.....	72
Şekil 4.13.	Üçüncü akünün 1 MHz'lik gerilim darbeleriyle desülfasyon grafiği.....	73
Şekil 4.14.	Dördüncü akünün 2 MHz'lik gerilim darbeleriyle desülfasyon grafiği.....	73
Şekil 4.15.	Akülere desülfasyon sürecindeki şarj gerilimi-zaman grafiği.....	74
Şekil 4.16.	Tüm akülerin desülfasyon sürecindeki iç direnç değişimleri.....	74
Şekil 4.17.	Sabit DA gerilim ile şarj edilen 1. aküye aitdeşarj grafiği.....	75
Şekil 4.18.	100 KHz'lik gerilim darbeleri ile şarj edilen 2. aküye aitdeşarj grafiği.....	75
Şekil 4.19.	1 MHz'lik gerilim darbeleri ile şarj edilen 3. aküye aitdeşarj grafiği.....	75
Şekil 4.20.	2 MHz'lik gerilim darbeleri ile şarj edilen 4. aküye aitdeşarj grafiği.....	76
Şekil 4.21.	Desülfasyon sonrasıdeşarj gerilimleri (akü 1: DA, akü 2:100 KHz, akü 3: 1 MHz, akü 4: 2 MHz).....	77
Şekil 4.22.	Desülfasyon sonrasıdeşarj sürecinde iç direnç değerleri (akü 1: DA, akü 2: 100 KHz, akü 3: 1 MHz, akü 4: 2 MHz).....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Akü ve batarya türlerinin karşılaştırılması.....	6
Çizelge 2.2.	Kurşun asit akülerin avantaj ve dezavantajları.....	7



SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Amper
ABS	Anti-lock brake system
ADA	Analog dijital converter (analog dijital dönüştürücü)
Ah	Ampere hour
B	Byte
C°	Celcius
CoAP	Constrained Application Protocol
DA	Doğru akım
DC	Direct current
EAGLE	Easy applicable graphic layout editör
EEPROM	Electrically erasable programmable read only memory
GND	Ground
HDMI	High definition media inteface
I/O	Input output (giriş-çıkış)
I2C	Inter-integrated circuit
IDE	Integrated development enviroment
IoT	Internet of things
IP	Internet protocol
Kb	Kilo bit
Kg	Kilo gram
KHz	Kilo hertz
KW	Kilo Watt
LCD	liquid crystall display
m Ω	Mili ohm
mA	Mili Amper
Mbps	Megabit per second (bir saniyede iletilen megabit miktarı)
MOSFET	Metal oxide semiconductor field effect transistor
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
mV	Mili Volt
nF	Nano farad
NTC	Negative temperature coefficient
PCB	Printed circuit board
RAM	Random access memory
RF	Radio frequency
ROM	Read only memory
RTC	Real time calendar
SD	Secure digital
SMD	Surface montage device
SPI	Serial peripheral interface
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UPS	Uninterruptible power supply
USB	Universal serial bus
V	Volt
W	Watt
Wi-Fi	wireless fidelity
μ F	Mikro farad
Ω	Ohm

1. GİRİŞ

Elektriğin insanlar için kullanılabilir hale getirilmesi, insanlık tarihinin en önemli kazanımlarından bir tanesidir ve insanlığın gelişimine büyük katkılar sağlamıştır. Elektriğin insan hayatına girişinin hemen ardından, bu yeni enerji türünü depolamayı sağlayan çeşitli batarya türleri geliştirilmiştir. Bunlar arasında en önemlisi Kurşun asit akülerdir. Kurşun asit aküler, endüstride büyük ilerlemeler sağlamasında önemli rol oynamış ve insanların günlük hayatına önemli katkılarda bulunmuştur (Ka Lok Man vd., 2014).

Kurşun asit akü, Gaston Planté tarafından 1859 yılında bulunmuş ve modern batarya teknolojisinin temelleri bu yıllarda atılmıştır. Yaklaşık yüz elli yıl boyunca teknolojinin ilerlemesine paralel olarak akü ve batarya teknolojileri de gelişme göstermiştir. Kurşun asit akü teknolojisi en güvenilir ve uygun maliyetli güç kaynağı haline gelmiştir. Bu güne kadar üretilen batarya teknolojilerinden hiç biri Kurşun asit akülerin satış başarısına ulaşamamıştır (Karami ve Asadi, 2009). 1970'lerin ortalarında Kurşun asit akülerin tasarımı bakım gerektirmeyecek ve her türlü pozisyonda kullanılabilmesini sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. Sonraki yıllarda ise, Kurşun asit akü içinde kullanılan sıvı elektrolit yerine, ayrıçaları elektrolit ile namlendirilmiş sisteme geçilmiştir ve akü tamamen yalıtılmıştır. Şarj ve deşarj işlemleri sırasında oluşan gazların çıkışını sağlamak için güvenlik valfleri eklenmiştir. Farklı alanlardaki ihtiyaçları karşılamak üzere jel hücreli olarak da bilinen, yalıtılmış Kurşun asit akü ve valf ayarlı Kurşun asit akü çeşitleri üretilmiştir (Durr vd., 2006).

Uluslararası Batarya Konseyinin tanımına göre aküler, kimyasal enerjiyi depolayan ve gerektiğinde bu enerjiyi açığa çıkaran elektrokimyasal araçlardır (Schilling, 1999a). Elektrikli sistemlerden pek çoğu sürekli güç kaynağına bağlı olmadığı için veya sistemin hareketli olması gerektiğinden akülere ihtiyaç duyar. Kurşun asit aküler, elektrokimyasal üreteçler arasında en sık kullanılan akü çeşididir (Cao-Paz vd., 2010). Son yıllarda bataryalarda enerji depolanması konusunda giderek artan ve yeniliklere öncülük eden çalışmaların ortaya çıkması ile akülerin mobil cihazlarda, otonom araçlarda, güneş enerjisi sistemlerinde, uzay ekipmanlarında, dizüstü bilgisayarlarda ve endüstriyel alanda kullanımı yaygınlaşmaktadır (Mehdi vd., 2017). Yapılan çalışmalarda günümüzde devrim niteliğinde olan güvenlik valfli akülerin taşımacılıkta, haberleşme sistemlerinde ve enerji depolama sistemlerinde stabil çıkış verebilmeleri ve düşük kirlilik oranları nedeni ile sıklıkla kullanıldığı

vurgulanmıştır (Ka Lok Man vd., 2014). Ayrıca, Kurşun asit aküler güneş enerjisi sistemlerinde, elektrikli araçlarda, kesintisiz güç kaynaklarında, enerji depolamada ve yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılırlar (Serhan ve Ahmed, 2018). Enerji depolayan sistemlerde bataryaların kullanımı pek çok avantajı da beraberinde getirir. Bataryaların kısa tepki süresine sahip olmaları onların dinamik sistemlerde kullanılmalarını sağlar. Şebekeye bağlı batarya sistemleri güç kalitesini ve sistemin güvenilirliğini artırır. Ayrıca yük dengelemesi ve tepe değer aşımı koruması sağlayarak olumsuz çevresel etkilerin de en aza indirilmesine yardımcı olur. Elektrikli ve hibrit araç teknolojisinde Kurşun asit akülerin ve çeşitli batarya teknolojilerinin kullanımı, çevre kirliliğini azaltarak küresel ısınmayı yavaşlatmakta, bununla birlikte ekonomik olarak da insanların refah seviyesinin artmasına katkı sağlar. Kurşun asit akü türlerinden valf düzenlemeli aküler, sabit sistemlerde ve hibrit araçlarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kullanım alanlarına göre Kurşun asit aküler farklı türlerde üretilmektedirler. Aküler, kullanım alanlarına göre şu şekilde sınıflandırılmıştır (Mehdi vd., 2017):

- Otomobillerde marş, ateşleme ve ışıklandırma sistemlerine güç sağlamak amacıyla
- Telekomünikasyon sistemlerinde, elektrik şebeke sistemlerinde, bilgisayar sistemlerinde, gerektiğinde enerji sağlamak veya enerji depolamak amacıyla
- Forkliftlerde, elektrikli araçlarda, madencilik sektöründe ve taşımacılıkta kullanmak amacıyla
- Deniz altı araçlarında, askeri araçlarda ve uçaklarda kullanmak amacıyla

Kurşun asit akülerin icadından sonra, farklı fiziksel yapılara sahip, farklı kimyasal reaksiyonlara göre çalışan ve farklı uygulama alanlarına yönelik Nikel metal hidrit, Nikel Kadmiyum, Lityum, Lityum İyon Polimer gibi çeşitli batarya teknolojileri geliştirilmiştir. Bu teknolojilerin her birinin kendi aralarında avantajları ve dezavantajları mevcuttur.

Kurşun asit aküler fiziksel ve kimyasal yapısına göre kendi aralarında temel olarak sulu ve kuru tip aküler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kurşun asit tip aküler, daha sonra da açıklanacağı üzere pek çok önemli avantaja sahiptir. Kurşun asit aküler uygun şekilde kullanılmadığı takdirde, beklenenden daha kısa sürede kullanım dışı kalırlar. Kullanım dışı kalarak hurdaya ayrılan akülerin maksimum verimle geri dönüşümü çok önemlidir, zira atık Kurşun asit aküler uygun şekilde bertaraf edilmezse, içerdiği

fiziksel ve kimyasal materyaller nedeniyle doğada çok önemli tahribatlara neden olabilirler.

Bu tür akülerin, katalog bilgilerine ve standartlara uygun şekilde depolanması ve kullanımı, akülerin ömrünü uzatmasının yanı sıra hem ekonomik hem de çevresel katkılar sunar. Bu tür akülerin kullanım ömrünü arttırmak için çeşitli şarj yöntemleri önerilmiştir. Bu konuda yapılmış pek çok çalışma mevcuttur.

Aküler kullanım koşullarına uygun kullanılmadığında, akülerde kapasitenin düşerek akü ömrünün kısalmasına neden olacak bazı geri döndürülemez arızalar meydana gelir. Burada kötü kullanımdan kaynaklanan arızalar doğrudan akünün kullanım ömrünü etkiler. Akülerin uzun süre bekletilmesi, derin deşarj, aşırı şarj, ani sıcaklık değişimleri akülerde en sık arızaya neden olan kullanım koşullarıdır. Akünün bu şekilde kullanımı, akülerde en sık karşılaşılan arıza türü olan Sülfatlanmanın ortaya çıkmasına neden olur. Sülfatlanma, elektrolit olarak kullanılan sülfürik asit çözeltisinde bulunan Sülfat moleküllerinin, deşarj sırasında Kurşundan yapılmış (-) elektrot plakalarına ve Kurşun dioksitten yapılmış (+) elektrot plakalarına bağlanıp orada uzun süre kalarak kristalik yapıda sert ve iletkenliği çok düşük bir Kurşun Sülfat tabaka oluşturması şeklinde açıklanabilir. Eğer akü uygun koşullar altında kullanılırsa ve standartlara uygun şekilde şarj edilirse, plakalarla bağ oluşturan Sülfat molekülleri, kristalize olmadan büyük oranda tekrar elektrolit içerisine geri dönebilmektedir. Ancak kötü kullanım koşulları altında, oluşan Kurşun Sülfat tabakaya bağlı olarak, akünün şarj ve deşarj kapasitesinde önemli derecede düşüş gözlemlenir. Bununla birlikte akünün iç direnci artar ve elektrolit içerisindeki Sülfat molekülleri büyük oranda azaldığından, elektrolit yoğunluğunda düşüş gözlemlenir. Sülfatlanma arızası büyük oranda geri döndürülemez ve çok sık rastlanan temel arızalardan biridir. Belirli akü parametrelerinin ölçümü, arızanın derecesi ile ilgili önemli bilgiler sunmaktadır.

Sülfatlanma arızasını tespit ederek, bu arızanın Kurşun asit aküde neden olduğu tahribatı minimuma indirmek ve aküyü büyük oranda geri kazanmak adına çeşitli kimyasal ve elektriksel yöntemler geliştirilmiştir. Elektriksel yöntemler arasında en sık kullanılan yöntem, klasik şarj yöntemleri dışına çıkılarak, Kurşun asit akünün yüksek frekanslı gerilim veya akım darbeleri ile şarj edilmesidir. Literatürde, bu yöntem kullanılarak, bir çevrimde olmasa bile birkaç şarj deşarj çevriminde, akünün durumunu pozitif yönde etkileyen sonuçlar elde edildiğini belirten çalışmalar mevcuttur.

Bu alışmada, 12 V 7 Ah'lik 4 adet kuru tip jel akü, önce suni olarak belirli yöntemlerle hemen hemen özdeş olarak Sülfatlandırılmış, daha sonra bu akülerden üç tanesine 100 kHz, 1 MHz ve 2 MHz frekans değęlerinde, 13.8 V'luk ve %50 darbe genişlik oranına sahip gerilim darbeleri uygulanmıştır. Diğer akü ise klasik DA şarj yöntemi ile 13.8 V'luk bir gerilimle şarj edilmiştir. Bu çevrimler birkaç kez tekrarlanmış olup, her aşamada akülere ait gerilim, akım, iç direnç ve sıcaklık parametreleri, yazılan özgün yazılım ve tasarlanan kart yardımıyla otomatik olarak ölçölerek kayıt altına alınmıştır. Ayrıca bu yazılım ve kart yardımıyla, akülerin çalışma durumu da kontrol edilmektedir. Yapılan tüm ölçümler, nesnelerin interneti (IoT) tabanlı sistem kullanılarak MQTT iletişim protokolü çerçevesinde Server üzerinden kablosuz olarak bilgisayara aktarılmakta ve sistemin uzaktan takibi mümkün olabilmektedir. Çalışma sonucunda, şarj, deşarj, sülfasyon ve desülfasyon süreçlerinde elde edilen akım, gerilim, sıcaklık ve iç direnç grafikleri 4 akü için hem ayrı ayrı hem de karşılaştırmalı olarak sunulmuş ve yorumlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

Elektriğin depolanması ile ilgili pek çok bilim insanı çeşitli çalışmalar yapmış, bu çalışmalar sonucunda Kurşun asit aküler en verimli enerji depolama seçeneği olarak karşımıza çıkmıştır. Bununla birlikte bu akülerin kapasite, performans, verimlilik ölçümleri, bu akülerde karşılaşılan problemlerin tespiti ve bu problemlere karşı çözüm yöntemleri geliştirilmesi oldukça önem kazanmıştır. Bu bölümde, akülerle ilgili genel bilgilere ve tez çalışmasına yönelik önemli konulara yer verilmiştir.

2.1. Akü ve Batarya Türleri

Teknolojinin ilerlemesine paralel olarak, farklı ihtiyaçlara yönelik farklı akü ve batarya türleri üretilmiştir. Bunlar arasında Nikel metal hidrit bataryalar, Nikel Kadmiyum piller, Kurşun asit aküler, Lityum İyon piller, Lityum İyon Polimer bataryalar yer alır. Bu batarya türlerini açıklayacak olursak;

- Nikel Kadmiyum, kabul edilmiş ve iyi anlaşılmış bir batarya teknolojisidir. Ancak enerji yoğunluğu nispeten düşüktür. NiCd, uzun ömür, yüksek deşarj oranı ve ekonomik fiyatın önemli olduğu yerlerde kullanılır. Ana uygulamalar iki yönlü telsiz, biyomedikal cihaz, profesyonel video kamera ve elektrikli el aletleridir. NiCd zehirli metaller içerir ve çevreye zararlıdır.
- Nikel Metal Hidrit bataryalar, Nikel Kadmiyum ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahip olmasına rağmen kullanım ömürleri kısıtlıdır. Bu tür bataryalar zehirli metal içermez. Cep telefonları ve dizüstü bilgisayarlarda kullanılır.
- Kurşun Asit aküler, ağırlığın önemsiz olduğu daha büyük güç uygulamaları için en ekonomik batarya türüdür. Kurşun asit aküler, hastane ekipmanları, tekerlekli sandalyeler, acil durum aydınlatması, UPS ve yenilenebilir enerji sistemleri için tercih edilir.
- Lityum İyon, en hızlı büyüyen batarya teknolojisidir. Lityum - İyon, yüksek enerji yoğunluğu ve hafifliğin en önemli olduğu durumlarda kullanılır. Hassas bir batarya teknolojisi olduğundan, güvenliği sağlamak için bir koruma devresi gereklidir. Dizüstü bilgisayarlarda ve cep telefonlarında kullanılırlar.
- Lityum iyon bataryalar çok ince şekilde üretilebilirler ve basitleştirilmiş paketlenme özellikleri sunarlar. Bu nedenle cep telefonları, tabletler,

taşınabilir/giyilebilir kişisel cihazlarda kullanılırlar. Akü ve batarya türlerinin karşılaştırılma tablosuna Çizelge 2.1’de yer verilmiştir.

Çizelge 2.1. Akü ve batarya türlerinin karşılaştırılması

	Nikel Kadmiyum	Nikel Metal Hidrit	Kurşun Asit	Lityum İyon	Lityum Polimer
Enerji yoğunluğu (Wh/Kg)	45 - 80	60 - 120	30 - 50	110 - 160	100 - 130
İç direnç (mΩ)	100 - 200	200 - 300	< 100	150 - 250	200 - 300
Kullanım ömrü (çevrim)	1500	300 - 500	200 - 300	500 - 1000	300 - 500
Hızlı şarj süresi (saat)	1	2 - 4	8 - 16	2 - 4	2 - 4
Aşırı şarj toleransı	Orta	Düşük	Yüksek	Çok düşük	Düşük
Kendiliğinden deşarj miktarı	%20	%30	%5	%10	%10
Hücre voltajı	1,25 V	1,25 V	2 V	3,6 V	3,6 V
Kullanım sıcaklığı	-40 / 60 C°	-20 / 60 C°	-20 / 60 C°	-20 / 60 C°	0 / 60 C°
Bakım periyodu (ay)	1-2	2-3	3-6	-	-
Maximum Yük akımı	20C	5C	5C	>2C	>2C
İdeal yük akımı	1C	≤ 0,5C	0,2C	≤1C	≤1C

2.2. Akü ve Batarya Türlerinin Karşılaştırılması

Kurşun asit aküler, 5 V ile 24 V aralığında gerilime sahip, elektrik enerjisini depolayabilen ve gerektiğinde bu enerjiyi verebilen yaygın kullanılan cihazlardır. Düşük maliyetli oluşu, kolay bulunabilir olması, kolay üretilmesi, farklı gerilim değerlerinde ve boyutlarda üretilmesi Kurşun asit akülerin yaygın şekilde kullanım nedenlerindendir. Pek çok uygulama için Kurşun asit aküler, gerekli gücü sağlayabilmelerinin yanı sıra maliyeti en düşük akü türüdür (Durr vd., 2006). Kurşun asit akülerin temel avantajları, ekonomik olmaları, değişken sıcaklıklarda çalışabilmeleri, bakımlarının kolay olması ve kolay bulunabilmeleri şeklinde

açıklanabilir. Dezavantajları ise, düşük enerji yoğunluğuna sahip olmaları, kullanım ömürlerinin kısa olması, şarj edilmeleri sürelerinin uzun olması ve açık devre gerilimlerinin ortam sıcaklığı ile değişkenlik göstermesi şeklinde sıralanabilir (Serhan ve Ahmed, 2018).

Kurşun asit aküler ile Lityum İyon pillerin elektrikli araçlarda kullanımı ile ilgili bir yayında; enerji yoğunlukları nedeni ile hibrit araçlarda Lityum İyon piller kullanılsa da, içten yanmalı motorlarda ve mobil baz istasyonlarında bulunan güç destek sistemlerinde halen yüksek akımlı Kurşun asit akülerin tercih edildiği belirtilmiştir (Mizumoto vd., 2018). Aynı konu ile ilgili bir başka çalışmada ise elektrikli araçlarda kullanım için Lityum iyon pillerin uygun özelliklerin bazılarına sahip olduğu ancak, maliyetlerinin halen yüksek olduğu belirtilmiştir (Singh ve Karandikar, 2015).

Çizelge 2.2. Kurşun asit akülerin avantaj ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Üretimleri kolaydır ve düşük maliyetlidir	Güç ağırlık oranları düşüktür (40 Wh/Kg)
Yüksek deşarj akımı verebilirler	Hızlı şarj edilemezler
Şarj kaybetme miktarı düşüktür	Derin deşarj süreci ömürlerini kısaltır.
Hafıza etkileri yoktur	Enerjisi boşaltılmış şekilde depolanamazlar
Uzun yıllardır kullanılan, kanıtlanmış ve güvenilir bir teknolojidir	İnsan sağlığına ve çevreye zararlı bileşenler içerirler (Kurşun, sülfürik asit)
Bakım gerektirmezler	Aşırı şarj veya deşarj hidrojen gazı oluşmasına neden olur
% 97 oranında geri dönüştürülebilirler	Zamanla kutup plakalarında Sülfat kristalleri oluşur ve performansları düşer
Farklı sıcaklıklarda iyi performans verebilirler.	Geri dönüştürülmedikleri takdirde çevresel zararlara eden olabilirler.

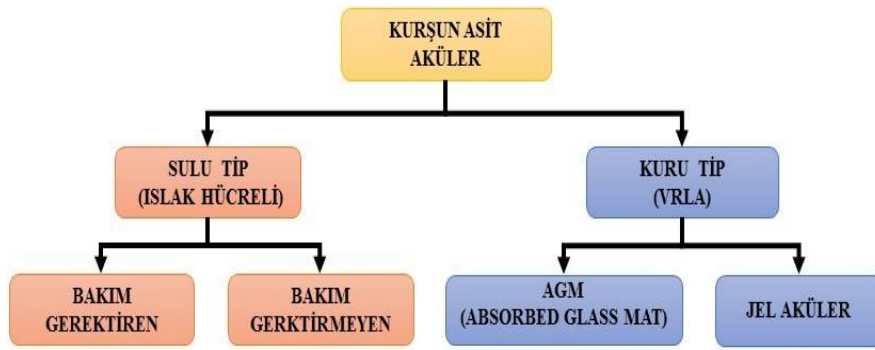
Kurşun asit akülerin en önemli kullanım alanlarından biri olan derin deşarj gerektiren sistemlerde kullanımına yönelik olarak Mizumoto ve arkadaşlarının 2018 yılında yayınlamış olduğu bir çalışmada; Kurşun asit akülerin derin deşarj kapasitelerinden dolayı, bu tür akülere olan talebin küresel ısınmanın önlenmesi ve yenilenebilir enerjinin teşviki kapsamında artmakta olduğu belirtilmiştir. (Mizumoto vd., 2018).

Kurşun asit akülerin diğer batarya türlerine göre en büyük avantajları düşük maliyetleridir. Ayrıca uygun şekilde geri dönüşüm işlemi yapıldığında büyük oranda

geri dönüştürülebilirler. Böylece çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri azaltılmış olur. Kurşun asit akülerin bir diğer avantajları ise kendiliğinden deşarj oranlarının düşük olmasıdır. Bu neden ile sadece ihtiyaç halinde kullanıldıkları, diğer zamanlarda uzun süreler boyunca boşa bekledikleri, acil durum sistemleri, kesintisiz güç kaynakları, yedek güç sistemleri gibi alanlarda kullanıma uygundur. Çizelge 2.2’de Kurşun asit akülerin avantaj ve dezavantajlarına yer verilmiştir.

2.3. Kurşun Asit Akü Türleri

Kurşun asit aküler çeşitli alanlarda kullanılmak üzere farklı türlerde üretilirler. Kurşun asit akü türleri iki ana başlık altında toplanabilir. Bunlar sulu ve kuru tip Kurşun asit akülerdir. Kuru tip aküleri de kendi arasında AGM ve jel olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Yukarıda anlatılan Kurşun asit akülerin sınıflandırılmasına ait görsel Şekil 2.1’de yer almaktadır.



Şekil 2.1. Kurşun asit akülerin sınıflandırılması

Yukarıda belirtilen Kurşun asit akü türlerinin kimyasal yapısı aynı olmasına rağmen, fiziksel yapılarındaki farklılıklar nedeni ile her akü türü, kendine has avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Kurşun asit akü türlerinin ayrıntılı açıklamaları ve karşılaştırmaları maddeler halinde aşağıda yer almaktadır.

- Sulu tip (ıslak hücreli) Kurşun asit aküler, en sık kullanılan Kurşun Asit akü türüdür. Bu akü türü genelde otomobillerde kullanılır. Sulu tip Kurşun asit aküler, amper saat başına en düşük maliyet ile imal edilebilen akü türüdür. Bu tür ıslak hücreli aküler bakım gerektiren ve bakım gerektirmeyen olarak ikiye ayrılır. Tipik sulu aküler, şarjlarını dengelemek ve terminalleri temiz tutmak için düzenli bakıma ihtiyaç duyarlar. Bu tür aküler dik konumda tutulmadıkları zamanlarda yapılarında sıvı halde bulunan elektrolit dökülebileceğinden doğru şekilde konumlandırılmaları gerekir. Bir diğer deyiş ile sulu akülerin taşıma ve

dökülmeye karşı koruması yoktur. Bu durum, sulu akülerin taşınması ile ilgili bazı sorunları da beraberinde getirir. Örneğin, 'Tehlikeli madde' olarak adlandırılan sulu Kurşun Asit aküler, özel taşıma stratejileri gerektirir ve bu konuda sertifikaya sahip nakliye şirketleri tarafından taşınmalıdır (Mohammadi, 2019). Bu tür akülerin bir diğer dezavantajı ise, yapısında bulunan elektrolitin zamanla azalmasıdır. Kaybolan elektrolit yerine hücrelerin deliklerden rutin olarak su eklenerek elektrolit yenilenir. Ayrıca Kurşun levhaların hava ile temas etmesi korozyona neden olacağından bu tür akülerin hava yalıtımlarının belirli aralıklarla denetlenmesi gerekir.

- Kuru tip aküler, diğer adıyla valf düzenlemeli Kurşun asit (VRLA) aküler, sulu tip akülerden farklı olarak elektrolit dökülmesine ve sızmalara karşı yalıtımlı olacak şekilde üretilirler. Plakalara hava teması olmadığından kolay korozyona uğramazlar (Mohammadi, 2019). Kuru tip aküler tamamen kuru olmamakla birlikte çok iyi yalıtıldıkları ve elektrolitleri genelde jel formda olduğu için bu adla anılırlar. Kuru aküleri de kendi araların iki gruba ayırmak mümkündür. Bunlar AGM (Absorbed Glass Matt) ve jel akülerdir.
- AGM Kurşun asit akülerin yapılarında çok ince gözenekli cam elyaflar kullanılır. Elektrolit mikro fiber yapıdaki cam elyafa emdirilmiştir. Böylece akünün iç direnci azalır ve kapasitesi artar. Bu da sıvı akülere göre çok daha iyi ve hızlı enerji verebilmelerini sağlar (Mohammadi, 2019).
- Bir VRLA tür akü olan jel aküler yapılarında jel formunda elektrolit içerirler. Elektrolit silisyum tozu ile karıştırılır. Böylece elektrolit kesinlikle dökülmez veya sızıntı yapmaz. Bu nedenle bu tür aküler her türlü konumda kullanılabilir. Bunun yanı sıra elektrolitin jel yapıda olması korozyonu ve buharlaşmayı da önler. Bu tür aküler stabil akım gerektiren uygulamalarda tercih edilirler (Mohammadi, 2019).

Kurşun asit akü türleri ile ilgili bir çalışmada; derin deşarj gerektiren sistemlerde kullanılan Kurşun-asit akülerin plaka tasarımının, araçlarda kullanılan içten yanmalı bir motoru çalıştıran akünün plaka yapısından farklı olduğu ifade edilmiştir. Örnek olarak; derin deşarj için kullanılan bir Kurşun-asit akünün elektrotunun, tekrarlanan şarj ve derin deşarj streslerini kaldırabilecek kadar kalın ve güçlü olması gerektiği vurgulanmıştır. Bunun yanı sıra aynı çalışmada, CCA akımının (cold cranking amperage) derin deşarj kapasitesine sahip akü tipleri için bir bozulma indeksi olarak kullanımının uygun olmadığı belirtilmiştir. Derin deşarj sağlayabilen

bir akünün, 400'den fazla sayıda şarj ve deşarj döngüsünden sonra bile, derin deşarj süresinin %95'ini karşılayabilecek kapasiteye sahip olduğu görülmüştür. Bu tür bir akü, yeni bir akü ile karşılaştırıldığında, deşarj sürelerinin bir bozulma indeksi olarak kullanılamayacağı belirtilmiştir. Bunun gerekçesi olarak da gerekli ölçüm süresinin çok uzun sürmesi gösterilmiştir (Mizumoto vd., 2018).

2.4. Kurşun Asit Akülerin Çevresel ve İnsani Zararları

Kurşun asit aküler yapılarında Kurşun başta olmak üzere insan ve doğa için zararlı bileşenler barındırırlar. Bu nedenle Kurşun asit aküler için geri dönüşüm işlemlerinin yasal düzenlemelere uygun bir şekilde yapılması gerekir. Kurşun, biyolojik birikim özelliği nedeni ile insanlar, hayvanlar ve mikroorganizmalar için düşük maruz kalındığı durumlarda bile son derece zehirli bir ağır metaldir. 150 mg/kg değerinden daha yüksek Kurşun derişimine sahip topraklar, evlerde, bahçelerde ve ormanlık alanlarda kullanılamazlar. Kurşun asit aküler, dünya üzerindeki Kurşun kirliliğinin en büyük kaynaklarından biridir. Her yıl 500.000 ila 1 milyon adet kullanılmış Kurşun asit akü, kullanım süresini doldurarak veya çeşitli yapısal nedenlerle atıl hale gelmektedir. Bu bataryaların sağlıklı şekilde toplanarak çevreye minimum zarar verecek şekilde bertaraf edilmesi veya geri dönüşüm yoluyla Kurşun, plastik ve diğer parçalarının ekonomiye kazandırılması gerekmektedir. Kullanım ömrünü tamamlayan Kurşun asit akülerin %80'i, Kurşun ve plastik parçaların geri kazanılması amacıyla kullanılmaktadır (Karami vd., 2009).

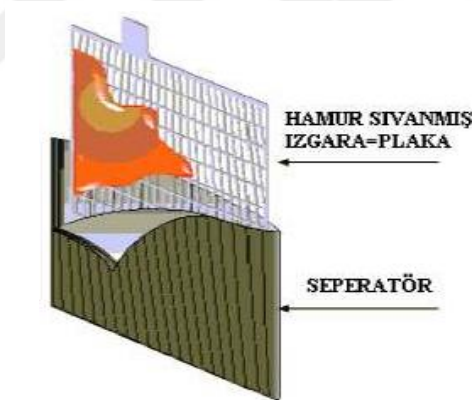
Kurşun asit akülerin geri dönüşüm süreçlerini iki temel aşamada inceleyebiliriz. Birinci aşamada, kullanılmış Kurşun asit aküler bileşenlerine ayrılır ve kullanılabilecek değerli kısımlar elde edilir. İkinci aşamada ise Kurşun gibi değerli metallerin eritilerek büyük oranda geri kazanılması gerçekleştirilir (Jolly ve Rhin, 1994).

Kurşun asit aküler geri dönüştürülmediklerinde yalnızca doğaya zarar vermek ile kalmaz, insan hayatına mal olabilecek bazı kötü sonuçlara da neden olurlar. Buna 2007 Kasım ayı ile 2008 Mart ayları arasında Dakar'da yaşanan ve aralarında çocukların da bulunduğu 18 kişinin ölümüne yol açan Kurşun zehirlenme vakaları örnek verilebilir. Olaydan sonra, ölümlerin gerçekleştiği bölgede yapılan araştırmalar sonucunda 950 kişinin de Kurşun zehirlenmesine maruz kaldığı tespit edilmiştir (Haeffliger vd., 2009).

2.5. Kurşun Asit Akülerin Fiziksel Yapıları

Kurşun asit akülerin fiziksel yapılarında plakalar, elektrolit, kutup başları, ayıraçlar, gaz kapakları, muhafaza kutusu ve kapakları yer alır. Kurşun asit akülerin fiziksel yapılarını oluşturan bu bileşenlerinin ayrıntılı açıklamalarına başlıklar halinde yer verilmiştir.

- Akü plakaları: Akümülatörlerin enerji vermesini sağlayan en önemli parçalar akü plakalardır. Artı (+) ve eksi (-) olmak üzere iki tip plaka mevcuttur. Plakanın iskeleti ızgara şeklindedir. Plaka iskeleti, düşük miktarlarda Antimuan veya Kalsiyum içeren Kurşundan alaşımından veya geliştirilmiş metal teknolojisi ile kalsiyum içeren şeridin ezilerek genişletilmesi sonucunda üretilirler. Artı (+) plakalar negatif yükleri çekerek akım verdiklerinden ve oksitlenme reaksiyonu bu plakada gerçekleştiğinden, eksi (-) plakalara göre her zaman daha kalın ve ağır üretilirler. Plakaların kesitini Şekil 2.2’de gösterilmiştir <http://akuder.org.tr/img/EIbrTKaK.pdf>. (on-line access on 20 Nov, 2019)

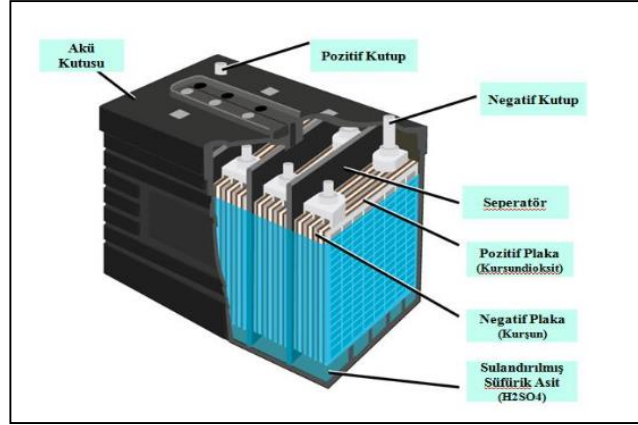


Şekil 2.2. Izgara formundaki akü plakaları

- Elektrolit: Plakaların içerisine batırıldığı iyonların artı kutuptan eksi kutba taşınmasını sağlayan sulandırılmış sülfürik asittir (H_2SO_4). Yüksek yoğunluklarda yoğunluklu çözelti kullanıldığında akü yüksek voltaj verebilmesine rağmen bu durum kısa sürede yıpranmaya da yol açar. Düşük yoğunluklu elektrolitler ise akü performansının düşmesine neden olur. Ayrıca elektrolitin yoğunluğu Kurşun asit akülerin performansları ile ilgili bilgi sağlar. Bu neden ile Kurşun asit akülerin kontrolleri sırasında hidrometre denilen ölçü aleti ile elektrolit yoğunluğu ölçümü yapılır.

- Kutup Başları: Her Kurşun-asit hücresinin gerilim değeri yaklaşık 1,8 – 2,1 Volttur. Farklı sayıda hücreler seri bağlanarak 6, 12, 24, 36 veya 48 voltluk aküler üretilir. İşaretler kutupların üzerinde veya yanlarında yer alır ve artı kutup daha büyüktür. Kullanım sırasında kısa devre olayının gerçekleşmemesi için bu kutupların birbirine temas etmemesine özen gösterilmelidir. Ayrıca kullanıma bağlı olarak, kutup başları zaman içerisinde korozyona uğrayabileceğinden, belirli aralıklar ile kutup başlarının temizlenerek elektriksel iletkenliğin devam etmesi sağlanmalıdır.
- Ayıraçlar: Eksi ve artı plakaların birbirine değerek kısa devre olmasını engelleyen ve aynı zamanda da elektriği taşıyan iyonların geçişine engel olmayan levha veya torba şeklinde plastik ayırıcılardır. AGM tipi Kurşun asit akülerde bu ayıraçlar çok ince cam fiberleri şeklinde üretilirler. Böylece iç direnç azaltılırken akünün de daha iyi performans verebilmesi sağlanır.
- Gaz kapakları: Kurşun asit akülerin üretiminde kullanılan alaşımın özelliğine bağlı olarak her zaman Hidrojen ve Oksijen gazı oluşumu gerçekleşir. Akü içerisindeki basıncın belirli değerlerin altında kalması gerekir. Bu amaçla gazın dışarıya çıkmasını sağlayan delikli kapaklara buşon denir. Sulu tip akülerde oluşan gazlar sürekli olarak dışarı atıldığından elektrolit seviyesinde azalma olur. Bu neden ile sulu tip akülere belirli aralıklar ile saf su takviyesi yapmak gerekir.
- Kutu ve kapaklar: Akü ve bataryaların yapısında bulunan elektrolit sıvısını ve diğer bileşenleri korumak ve sızdırmazlığı sağlamak için plastikten (Polipropilen kopolimerlerinden) yapılmış kutu ve kapaklar kullanılır. Bunların görevi, mekanik ve kimyasal özellikleri korunması için gerekli yalıtımı, sızdırmazlığı ve korozyona karşı dayanıklılığı sağlamaktır.

Yukarıda maddeler halinde açıklanan Kurşun asit akülerin fiziksel yapısına ait bileşenlerin yer aldığı akü kesiti Şekil 2.3'te yer almaktadır.



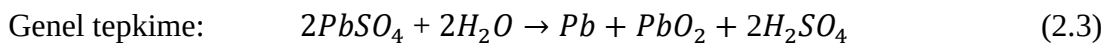
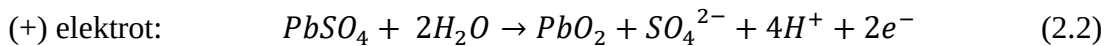
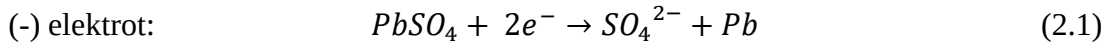
Şekil 2.3. Akü Kurşun asit akü bileşenlerini gösteren akü kesiti

2.6. Kurşun Asit Akülerin Kimyasal Yapısı

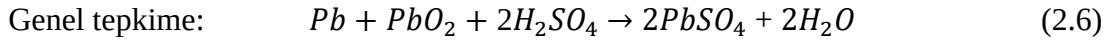
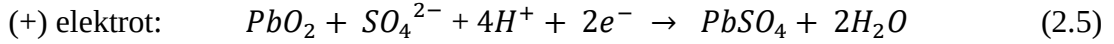
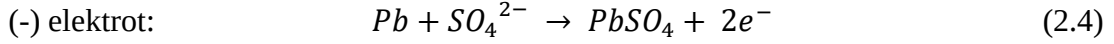
Kurşun asit akülerde pozitif elektrot Kurşun dioksitten (PbO_2), negatif elektrot ise Kurşundan (Pb) yapılmıştır. Bu elektrotlar arasında ise ayrıçlar vardır. Elektrolit olarak sülfürik asit çözeltisi (H_2SO_4) kullanılır (Mehdi vd., 2017).

Akü deşarj durumundayken, pozitif elektrottaki aktif materyal olan Kurşun dioksit (PbO_2), kimyasal tepkimeler sonucunda Kurşun Sülfata ($PbSO_4$) dönüşür. Benzer durum negatif elektrot için de söz konusudur, yani Kurşundan yapılmış olan negatif elektrot üzerinde kimyasal tepkimeler sonucunda Kurşun Sülfat kristalleri oluşur. Elektrolit içindeki asıl aktif madde olan sülfürik asit, elektrotları oluşturan malzemelerle tepkimeye girer ve bu da elektrolit yoğunluğunda azalmaya neden olur.

Akü şarj konumunda iken, elektrotlarda biriken Kurşun Sülfat tekrar aktif materyallere katılır. Kuramsal olarak eğer tüm bu tepkimeler ideal şekilde gerçekleşseydi, Kurşun asit akülerin kullanım ömrü çok daha uzun olabilirdi. Ancak pratikte, Kurşun asit akülerin kullanımı sırasında, plakalarında zamanla Kurşun Sülfat molekülleri birikir ve kristaller oluşturmaya başlar. Bu da Kurşun asit akülerin ömrünü kısaltır (Man vd., 2015). Kurşun asit akülerde şarj sırasında meydana gelen tepkime denklemleri şu şekildedir:



Kurşun asit akülerde deşarj sırasında meydana gelen tepkime denklemleri şu şekildedir:



Deşarj süresince her iki elektrottaki aktif bileşenler Kurşun Sülfata dönüşür ve bu süreçte elektrolit olarak kullanılan sülfürik asit çözeltisi içerisindeki su miktarı oransal olarak artar. Böylece elektrolit yoğunluğunda düşüş gerçekleşir. Şarj işleminde ise deşarj sürecinin tersi bir tepkime söz konusudur. Burada elektrolite Sülfat molekülleri salınır ve elektrolit içerisindeki su miktarında oransal bir azalma gerçekleşir. Sonuç olarak elektrolit yoğunluğu artar (Cao-Paz vd., 2010).

Akünün şarjı sırasında akünün pozitif elektrotu oksitlenir ve Kurşun iyonları açığa çıkar. Açığa çıkan Kurşun iyonları oksijen ile tepkimeye girerek Kurşun oksit oluşturur. Bunun sonucu olarak ta iki plaka arasında potansiyel fark oluşur. Bu potansiyel fark oluşumu devam ettiği sürece akü şarj olur.

Akü bir yüke bağlanırsa, potansiyel farktan dolayı bir elektron akışı meydana gelir, yani yük üzerinden akım akar. Bu süreç bir süre daha devam eder ise potansiyel fark azalmaya başlar ve en sonunda sıfıra düşer. Bu durumda şarj tepkimesi yön değiştirmiş olur. Belirtilen tepkime çift yönlü çalışabilir. Yani bitmiş olan bir akü plakalarına potansiyel fark uygulanırsa akü şarj olur (Jamratnaw, 2017).

2.7. Kurşun Asit Akülerin Matematiksel Modelleri

Matematiksel modelleme ve benzetim uygulamaları batarya endüstrisi tarafından pek tercih edilmemektedir. Bunun başlıca nedenleri modellerin karmaşıklığı ve pratik uygulamalarda doğru sonuç verecek hassasiyete sahip olmamalarıdır. Doğru sonuçlar verebilen bir batarya modeli ve benzetimi batarya hakkında geleneksel laboratuvar testleri ile elde edilenden daha detaylı bilgi sunabilir. Elde edilen bu bilgi kullanılarak, laboratuvar ortamında yapılan testlerde ulaşılması mümkün olmayan çeşitli çalışma koşulları altında akünün vereceği tepkiler incelenebilir. Bu nedenle, bahsi geçen konu batarya mühendisliği, güç ve enerji yönetimi ve güç kaynaklarının kombine edilmesi konularında çalışmalar yapılan sektörlerin ilgisini çekmektedir. Son otuz yıl içerisinde Kurşun asit aküler ile ilgili, tek bir elektrotun modellenmesinden akünün bütünsel bir paket olarak ele alınarak modellendiği pek çok çalışma yayınlanmıştır. Modelleme kapasitesi nerede ise

modellemelerin yapılmasına olanak tanıyan bilgi işlem kapasitesi ile paralel bir hızda gelişme göstermiştir. Günümüzde kişisel bir bilgisayar aracılığı ile batarya modeli geliştirmeye olanak sağlayan pek çok programlama diline ve platforma ulaşmak mümkündür. Modelleme ve benzetim konusunda önemli hususlardan bir tanesi de modelin veya benzetimin ne derece doğru olduğu ve model esas alınarak yapılan hesaplamaların ne derece güvenilebilir olduğudur (Cugnet vd., 2010).

Son elli yıl içerisinde Kurşun asit akülerin modellenmesi üzerine kayda değer araştırmalar yapılmıştır. Bu tür bataryaların karmaşık yapısı nedeni ile tek bir model ile ifade edilebilmesi nerede ise imkânsızdır. Bu tür çalışmaların onlarca yıl daha devam edeceği söylenebilir. Farklı amaçlar için farklı batarya modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller üç temel başlık altında incelenebilir. Birinci model türü bir akü içerisinde şarj/deşarj işlemi sırasında meydana gelen kimyasal, elektriksel ve fiziksel olayların daha iyi anlaşılması amacı ile geliştirilmiştir. Bu tür modeller akü plakalarının gözenek karakteristiğini, farklı bileşenlerin reaksiyon hızlarını ve plaka genişlemesini baz alır. İkinci tür modeller ise sabit şarj veyadeşarj sürecinde dışarıdan ölçülebilen elektriksel parametrelerin tahmini için kullanılır. Bu parametrelerden bazıları gerilimin zamana göre değişimi, iç direnç değişimi, kapasitenindeşarj akımı ile düşme oranı gibi değerlerdir. Bu modelleri ortaya atan bazı bilim insanları Peukert yasası ve difüzyon denklemleri gibi yarı deneysel modelleri birleştirirken diğerleri ise bataryaların bir elektriksel sistem şeklinde modellenmesi gerektiğini savunmaktadır. Üçüncü ve son batarya modellerinde ise bir akü hücresinin çalışması sırasındaki davranışını tanımlamak için kapasitör ve dirençler kullanılarak eşdeğer devreler önerilmiştir. Sonuç olarak hassas ve doğru dinamik modellere olan ihtiyaç, akülerin fotovoltaiik sistemlerde tek başlarına kullanılmaları ihtiyacından ortaya çıkmıştır. Böyle bir sistem için akülerin yapılandırılması ve tüketicinindeşarj rejimi değişken olacağından, pratik uygulamalarda ücretlendirmenin önceden tahmin edilmesi pek mümkün olmayacaktır. Yine benzer olarak bu durum,deşarj işleminin düzensiz olduğu elektrikli araç aküleri için de geçerlidir. Genel olarak dinamik modeller bahsi geçen kullanım şartlarının tahmini için kullanılmaktadır (Baert ve Vervaet, 1999).

Günümüzde Kurşun asit aküler için önerilmiş olan matematiksel modelleri dört temel grupta toplamak mümkündür. Bu dört matematiksel model şu şekilde ifade edilebilir:

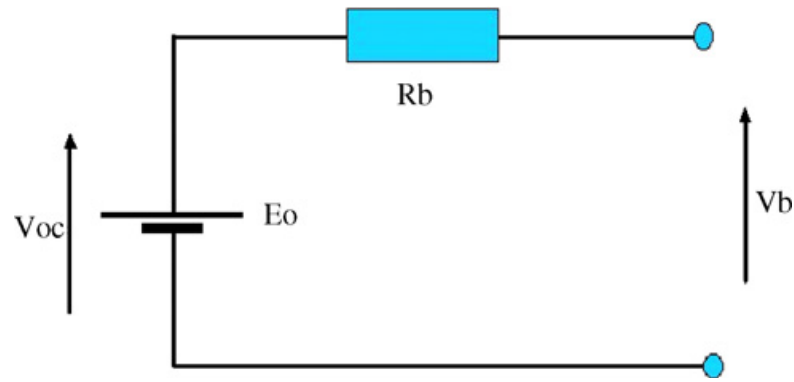
- Basit model
- Geliştirilmiş basit model

- Thevenin batarya modeli
- Doğrusal olmayan dinamik batarya modeli

Bunlara ek olarak Durr ve çalışma arkadaşlarının 2006 yılında yayınladıkları çalışmada doğrusal olmayan model daha da geliştirilmiştir. Yukarıda belirtilen matematiksel batarya modelleri daha ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2.7.1. Basit model

En basit ve en sık kullanılan modeldir. Bu matematiksel model bünyesinde ideal bir gerilim kaynağına seri bağlı sabit bir dirençten oluşur. Bu modelde açık devre gerilimi ideal kaynağın gerilimini verir. Akünün deşarjı sırasında, seri bağlı direncin üzerinde gerilim düşümü meydana gelir. Akünün terminal gerilimi, ideal kaynak gerilimi ile iç direnç üzerine düşen gerilimin farkı alınarak bulunur. Basit modelin devre şeması Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Batarya basit eşdeğer devresi

Bu model bataryanın şarj durumu ve elektrolit derişimi ile bağlantılı olan gerçek iç direnç değerini dikkate almaz. Bu model yalnızca şarj durumunun önemli olmadığı uygulamalar için uygundur (Durr vd., 2006).

2.7.2. Geliştirilmiş basit model

Bu model akünün şarj durumunu da içerdiğinden basit modelde sabit şekilde yer alan akü iç direnci R_b bu modelde akü şarj durumunun bir fonksiyonu olarak yer alır. Devre şeması Şekil 2.4'teki ile aynıdır. Tek fark R_b 'nin şarj durumuna bağlı olarak değişmesidir. Bu modelde kullanılan değişkenler ve matematiksel ifadeleri aşağıda verilmiştir.

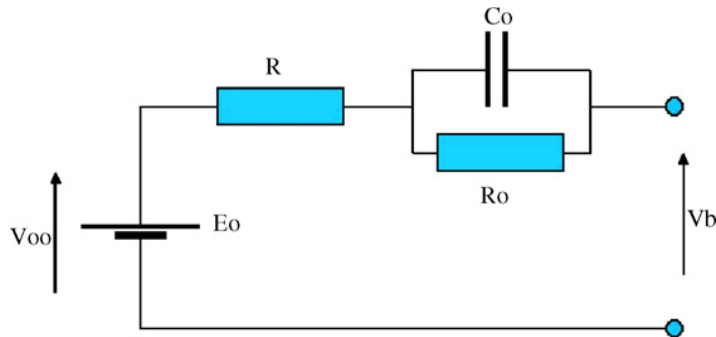
$$R_b = \frac{R_0}{S^k} \quad (2.7)$$

$$S = 1 - \frac{Ah}{C_{10}} \quad (2.8)$$

Bu denklemlerde C_{10} akünün 10 saat boyunca verebileceği akım kapasitesi, A deşarj akımını (Amper), h deşarj süresini (saat), R_0 tam dolu haldeki akünü iç direncini (Ω), S şarj durumu faktörünü, k kapasite sabitini belirtmektedir. S değeri 0 ile 1 aralığında değişir ve tam dolu bir akü için $S=1$ değerini alır. Geliştirilmiş basit modeldeki k katsayısı, Peukert faktörüne benzer şekilde farklı deşarj oranlarında akü kapasitesindeki değişimi dikkate almaktadır. Peukert denklemi, pil kapasitesi ile deşarj aralığı arasında, deneysel olarak elde edilebilecek bir bağlantı olduğunu ifade eder.

2.7.3. Thevenin batarya modeli

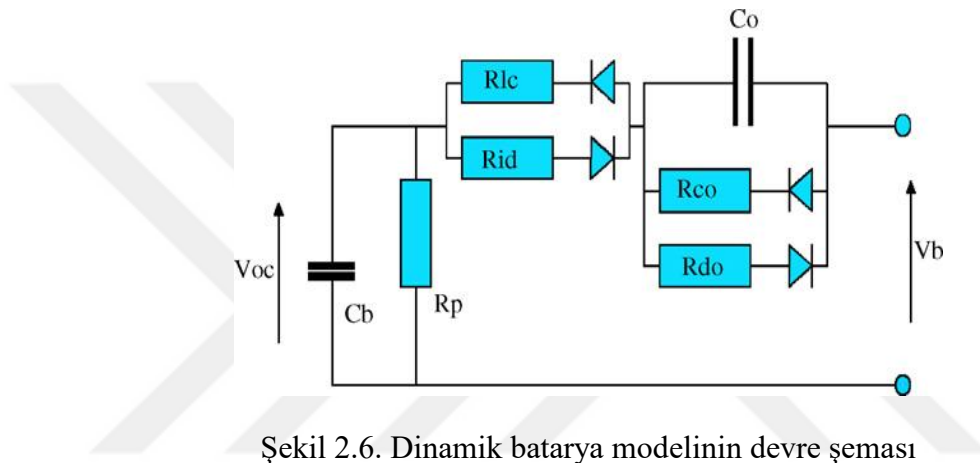
Bu batarya modelinde akü voltajı E_0 , iç direnci R , kapasitans değeri C_0 ve aşırı gerilim direnci R_0 ile ifade edilir. Bu denklemde C_0 çift katmanlı kapasitans olarak da adlandırılan akünün asıl kapasitans değerini ifade eder. R_0 direnci ise plakaların ve elektrolitin temas ettiği bölgenin direncini temsil eder. Bu modelin temel dezavantajı, tüm bileşenlerin sabit olmasıdır. Gerçekte tüm bu elektriksel elemanların değerleri, şarj durumuna ve deşarj oranına bağlı olarak değişir. Bu modele, “Faradaik” süreç olarak adlandırılan ve batarya elektrokimyasını tanımlayan süreç dahil edilmediğinden, bu modelde bazı kısıtlamalar söz konusudur. Thevenin batarya modelinin devre şeması Şekil 2.5’te yer almaktadır.



Şekil 2.5. Thevenin batarya modeli devre şeması

2.7.4. Doğrusal olmayan batarya modeli

Thevenin modelinde yer alan doğrusal olmayan parametreler dikkate alınarak daha gerçekçi dinamik batarya modeli ortaya konmuştur. Bu model dahilinde iç direnç, kendi kendine boşalma direnci ve aşırı şarj direnci karakterize edilir ve bataryanın şarj ve deşarj işlemleri ayrılır. Belirtilen bu parametrelerin değerleri akünün açık devre geriliminin bir fonksiyonudur. Yani dolaylı olarak akünün şarj durumunun bir fonksiyonudur. Bu batarya modeline ait devre şeması Şekil 2.6’da verilmiş olup, devre şemasında yer alan elemanlar ve bu elemanlar ile ilgili açıklamalar aşağıda sunulmuştur.



Şekil 2.6. Dinamik batarya modelinin devre şeması

C_b : aküler yük depolayan bir kondansatör gibi düşünülebilir. Burada C_b akünün depo ettiği yük miktarı cinsinden ifade edilir. Yani C_b değeri akünün şarj durumuna bağlıdır. MATLAB benzetimlerinde bu eleman akünün yük miktarına bağlı, ayarlı gerilim kaynağı olarak ifade edilir.

R_p : Bu direnç matematiksel modele, akünün zaman içinde kendi kendine kaybettiği şarj miktarını dahil eder.

R_{ic}, R_{id} : bu iki değer, akünün şarj ve deşarj sırasında farklı değerler alan iç direncini ifade eder. R_{ic} Şarj sırasında akünün iç direncini R_{id} ise akünün deşarjı sırasında sahip olduğu iç direnç değerlerini ifade eder. Bu dirençler akü plakalarının ve akü çözeltisinin sahip olduğu toplam direnç değerini ifade eder.

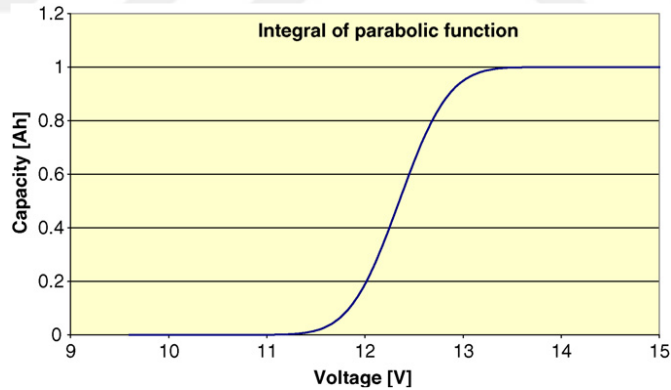
R_{co}, R_{do}, C_o : Aküden yük çekildiği sırada akü kutupları arasında meydana gelen gerilim düşümünü yalnızca iç direnç ile ifade etmek mümkün değildir. Bir elektrik devresi modelinde, bu düşüş paralel bağlı bir RC devresi ile ifade edilebilir. Şarj ve

deşarj işlemi için voltaj düşüşü R_{co} ve R_{do} ile temsil edilirken, C_o şarj vedeşarj sırasında pilin çift katmanlı kapasitif davranışını temsil eder.

Doğrusal olmayan batarya modeli, bataryanın açık devre gerilimini temel alan farklı bileşenlerden oluşur. Bataryanın açık devre gerilimi ise deneysel olarak elde edilebildiği gibi, akülerin veri kataloglarından da elde edilmesi mümkündür. Açık devre geriliminin değeri kullanılarak modelde yer alan direnç ve kondansatörlerin açık devre gerilimine bağlı olan değerleri hesaplanabilir. Sonuçta yapılan hesaplamalar doğrultusunda elde edilen doğrusal olmayan batarya modelinin matematiksel ifadesi aşağıda yer almaktadır.

$$C = k \times e^{(W \times (V_m - VOC))^F} \quad (2.9)$$

Bu denklemde C, bataryanın açık devre geriliminin bir fonksiyonu olan kondansatörü temsil eder. Kazanç katsayısı k ile ifade edilir. W genişlik faktörünü ifade eder ve negatif değer alır. V_m Ortalama gerilim değerini verir. VOC akünün açık devre gerilimini ifade eder. F ise düzlük katsayısını temsil eder (Durr vd., 2006). Bu denklem kullanılarak elde edilen, akü kapasitesinin gerilimine bağlı değişim grafiği Şekil 2.7’de yer almaktadır.



Şekil 2.7. Doğrusal olmayan batarya modelinin grafiği

2.8. Peukerd Yasası

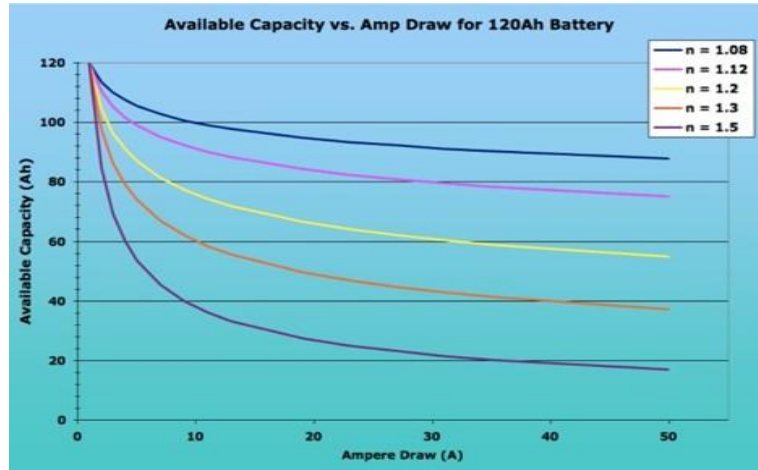
Peukert yasası 1897 yılında Alman bilim adamı Wilhelm Peukert tarafından sunulmuştur. Peukert, Kurşun asit aküler ile yaptığı çalışmalar sonucunda akım ve akü kapasitesi iledeşarj arasındaki değişimi ifade eden bir denklemi ortaya çıkardı. Bu denklemin amacı, akülerdedeşarja bağlı içsel kayıpları hesaba katmaktır (Hausmann ve Depcik, 2013). Peukert yasası basitliği, doğruluğu ve geniş sıcaklık aralığında

uygulanabilir olması nedeni ile sık kullanılan deneysel eşitliklerden bir tanesidir. Bu denkleme göre Kurşun asit aküler deşarj oranı arttıkça kapasiteleri azalır (Cugnet vd., 2010). Denklem (2.10)'da Peukert denkleminin orijinal hali yer almaktadır. Burada C_p amper saat (Ah) cinsinden akü kapasitesini, t saat bazında zamanı, k ise kalibre edilmiş bir sabiti belirtir. Ancak denklem bu hali ile birim uyumsuzluğu içerdiğinden, bunun yerine genel olarak denklem (2.11) kullanılır.

$$C_p = I^k \cdot t \quad (2.10)$$

$$t = H \left(\frac{C}{IH} \right)^k \quad (2.11)$$

(2.10) denkleminde C genelde 20 saati baz alan ve akü üreticisi tarafından sağlanan bir değerdir. t deşarj başladığında akünün ne kadar süre ile akım vermeye devam edeceğini saat cinsinden belirtir. I deşarj sırasında çekilen akım miktarını belirtir ve birimi amper'dir. H ise I akımının ne kadar süre ile çekilebileceğini belirtir ve birimi Amper Saat'tir. k ise akü türüne göre değişen bir sabittir ve birimi yoktur. Akü kapasitesinin aküden çekilen akıma göre değişim grafiği Şekil 2.8'de yer almaktadır (http://www.rialtainfo.com/vw/engine_battery_002.htm).



Şekil 2.8 Akü kapasitesinin akıma göre değişim grafiği

Grafik üzerinde belirtilen n değerleri her akü türü için farklılık gösterir. Örneğin, n değeri AGM aküler için 1,05 ile 1,15 arasında değişirken, jel aküler için bu değer 1,10 ile 1,25 arasında değişir.

2.9. Kurşun Asit Akü Parametreleri

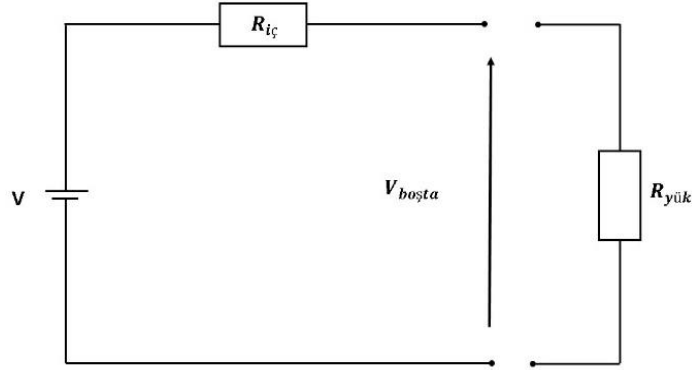
Bir akünün verimli şekilde kullanılabilmesi için, akü dinamiklerini anlamak ve performansı etkileyen parametreleri bilmek gerekir. Akülerin kullanım ömürlerini mümkün olduğunca uzatmak ve enerji kullanım düzeylerini en uygun düzeyde tutmak gereklidir. Bir akünün değerlendirilmesindeki ana parametreler akım, voltaj, sıcaklık, şarj durumu (SoC) ve sağlık durumudur (SoH). Şarj durumu, bir akünün en önemli parametrelerinden biridir. Batarya çalışması, performans, güvenilirlik ve kullanım ömrünün iyileştirilmesi için yararlı olan önemli bilgileri sağlar. Şarj durumundan yola çıkarak, çalışma ömrünü kısaltacak veya akünün arızalanmasına neden olabilecek aşırı şarj durumunun önüne geçilebilir (Cao-Paz vd., 2010).

Kurşun asit akülerin önemli parametrelerinden bir tanesi de elektrolit yoğunluğudur. Elektrolit yoğunluğunun ölçümü, akünün sağlık durumunun doğru şekilde tespit edilebilmesine olanak sağlar. Kurşun asit akü, pozitif elektrotta aktif madde olarak Kurşun dioksiti (PbO_2) ve negatif elektrotta aktif madde olarak çok gözenekli yapıda bulunan metalik Kurşunu (Pb) kullanır. Elektrolit, su içinde seyreltilmiş sülfürik asitten oluşur (H_2SO_4) (H_2O). Elektrolit derişimi şarj durumuna ve pil türüne bağlı olarak %8 ila %40 arasındaki değişkenlik gösterir (Cao-Paz vd., 2010). Kurşun asit akülerin sağlık durumlarını ve performanslarını takip edebilmek ve gerekli durumlarda uygun şekilde müdahale edebilmek için akü parametrelerinin bilinmesi fayda sağlar. Bu parametreler akü şarj durumu, iç direnç, CCA akımı, akü kapasitesi, deşarj derinliği, akım, gerilim, akü sıcaklığı, elektrolit yoğunluğu gibi parametrelerdir. Yukarıda belirtilen Kurşun asit akü parametreleri ayrıntılı olarak maddeler halinde açıklanmıştır.

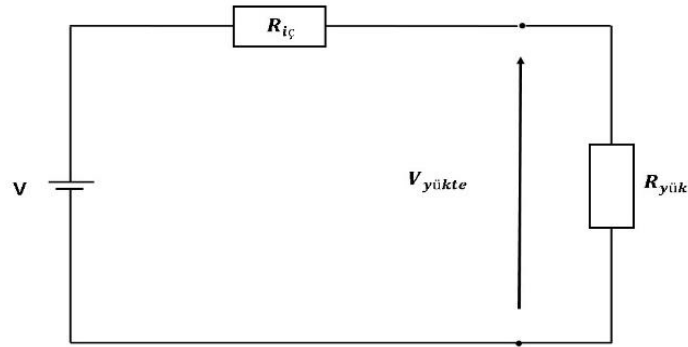
- İç direnç: Kurşun asit akülerin iç direnç değerleri akünün Sülfatlanma düzeyi ile ilgili bir göstergedir. İç direnç değeri düşük olan akü gerektiğinde yüksek akım sağlayabilir. Yüksek iç direnç ise akünün ısınmasına ve akü geriliminin düşmesine neden olur. Sülfatlanma sorunu yaşayan akülerde iç direnç yüksek olur. Akü verebileceği nominal akım değerinin ancak bir kısmını verebilir. Akünün iç direnç ölçüm bilgisi kullanılarak iki ayrı arıza durumu ile ilgili bilgi edinilebilir, bunlar ızgarada meydana gelen korozyon ve akünün kurumasıdır (Jamratnaw, 2017). Akü ve bataryaların iç dirençleri dolaylı yoldan ölçülebilir. Birinci aşamada akünün boştaki gerilimi ölçülür, ardından akü direnç değeri bilinen bir yüke bağlanır ve yaklaşık 5-7 saniye akım akması sağlanır. Ölçüm sırasında yük üzerinden akan

akımın, akünün C_{20} değerini geçmemesine dikkat edilmelidir. İkinci aşamada ise yük üzerine düşen gerilim ölçülür. Yükün direnç değeri de bilindiğinden akü iç direnci (2.12) formülü kullanılarak hesaplanabilir. Akü iç direnç ölçümlerinin ifade edildiği prensip şemaları Şekil 2.9’da ve Şekil 2.10’da yer almaktadır.

$$R_{iç} = \frac{V_{boşta} \cdot R_{yük}}{V_{yükte}} - R_{yük} \quad (2.12)$$



Şekil 2.9 akü iç direnç ölçüm işleminin birinci aşaması



Şekil 2.10 akü iç direnç ölçümü işleminin ikinci aşaması

- CCA (Cold Crank Ampere): Soğuk krank akım değeri bir akünün kısa süreliğine verebileceği enerji miktarıdır. Bir diğer tanıma göre ise bir akünün yaklaşık -17°C 'de ve akü geriliminin 7,2 Voltun altına düşmeden 30 saniye boyunca verebileceği akım miktarıdır. Yani CCA değeri yüksek olan aküler soğuk havalarda daha iyi performans verirler (Jamratnaw, 2017).
- Akü kapasitesi: Akü kapasitesi akünün depolayabileceği enerji miktarını belirtir. Kurşun asit akü üreticileri akü kapasitesini belirtmek için genelde amper saat (Ah) olarak bilinen terimi kullanırlar. Ancak akü kapasitesi, “akünün yüke verebileceği akım” şeklinde tanımlanır. Bu da akünün yükü

arttıkça, akü kapasitesinin azalacağı anlamına gelir. Bu olay Peukert yasası olarak bilinir (Mehdi vd., 2017). Bu değer genelde 20 saat üzerinden hesaplanır ve akülerin üzerinde akü geriliminin yanı sıra bu değer de yer alır

- Deşarj derinliği: Bu terim akünün ne kadar derin deşarj edildiğini tanımlar. Eğer bir akü tam dolu iken şarj oranına %100 dersek, %0 akünün derin deşarj olduğu anlamına gelir. Bir akü enerjisinin %40'ını vermiş ise geriye %60'lık bir enerji kaldığından bahsedilebilir. Yani batarya %40 oranında derin deşarj edilmiştir. Bir diğer değişle eğer akü %100 boş ise, bu akü %100 derin deşarja maruz kalmıştır. Derin deşarj akünün ne kadar enerji verdiğini ifade eder (Mehdi vd., 2017).
- Akü şarj durumu: Kurşun asit aküler için akü şarj durumunun bilinmesi akülerin daha uygun kullanım şartlarında kullanılmasını sağlayabilir. Örneğin akünün şarjı % 30 civarında ise ve akü uzun süre kullanılmayacaksa bu durum akü plakalarında Sülfat kristallerinin birikmesine neden olacaktır. Oluşabilecek bir başka durum ise düşük şarj oranına sahip bir akü daha fazla kullanıldığında derin deşarja maruz kalacaktır. Bu da akü performansı açısından olumsuz bir gelişmedir. Dolayısı ile akü şarj durumunun bilinmesi ve akü kullanımının buna göre ayarlanması akü sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır.
- Akü akımı: Kurşun asit aküler aşırı deşarj edildiğinde, yani akülerden uzun süre yüksek akım çekildiğinde, akülerde gaz oluşumu gerçekleşebilir, aküler aşırı ısınabilir veya akü plakalarında Sülfat kristalleri oluşabilir. Yine benzer şekilde şarj sırasında akülerden yüksek akım geçmesi de akü performansını olumsuz etkileyen bir süreçtir. Bu nedenle Kurşun asit akülerin nominal değer üzerindeki akımlar ile şarj-deşarj edilmemeleri gereklidir.
- Akü gerilimi: Akü gerilimi akü şarj durumu ile ilgili bilgi veren önemli parametrelerden bir tanesidir. Ayrıca akünün şarj sürecinde 12 volt'luk bir akünün geriliminin 13.8 voltu geçmemesine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde akü gaz üretecek, ısınacak ve bu durum da belirli riskleri beraberinde getirecektir. Yine aynı şekilde akünün deşarj süresince geriliminin 10.8 voltun altına düşmemesi gerekir.
- Akü sıcaklığı: Kurşun asit aküler düşük ve yüksek sıcaklıklarda iyi performans verebilmelerine rağmen, kullanım veya depolama sırasında maruz kaldıkları sıcaklık değişimleri akülerin ömürlerini etkileyen faktörler arasındadır.

Örneğin sıcak bir ortamda depo edilen aküler için Sülfatlanma ve şarj kaybetme miktarları daha fazla olur. İçten yanmalı motorlu araçların motorlarının marş edilmesi için kullanılan aküler soğukta daha iyi performans verebilirler. Bir diğer örnek ise, sıcak ortamda uygun şarj deşarj döngüsüne tabi tutulan akülerde, Sülfat kristallerinin daha iyi çözülmesi ve akü performansının etkin bir şekilde artmasıdır.

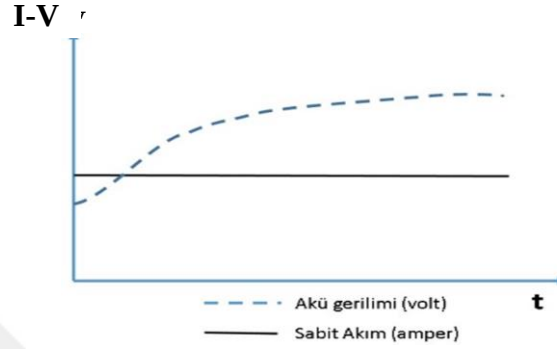
- Elektrolit yoğunluğu: Kurşun asit aküler elektrolit olarak su ile seyreltilmiş sülfürik asit kullanırlar. Bu elektrolitin derişimi akünün şarj durumuna, yaşına ve performansına göre değişir. Örneğin tam şarj edilmiş bir akünün elektrolit yoğunluğu düşük ise akü performansının düşük olduğundan bahsedilebilir. Sulu tip Kurşun asit akülerin bakımları yapılırken, sağlık durumlarını belirlemek amacıyla hidrometre denilen ölçü aleti ile elektrolit yoğunluğu ölçülür ve akü performansı tespit edilir.

2.10. Kurşun Asit Akülerin Şarj Yöntemleri

Kurşun asit akülerin uygun şekilde şarj edilmeleri, akü performansı ve kullanım ömrü açısından önem arz eder. Uygun şekilde şarj edilen akülerde Sülfat kristali oluşumu daha azdır, dolayısıyla akü iç direnci de düşük olur. Bu da akünün gerektiğinde yüksek akım verebilmesini sağlar. Böylece akü kapasitesi daha verimli kullanılabilir. Bunun yanı sıra şarj sürecinde akü akımı, akü gerilimi, akü sıcaklığı gibi parametrelerin de güvenlik sınırlar dahilinde olması gereklidir. Geleneksel akü şarj cihazlarında kontrol devreleri genellikle analog kontrol yöntemini kullanır. Bu da bu tür cihazlarda kullanıcı müdahalesini gerektirir. Başka bir deyişle bu tür cihazlar akıllı değildir. Bu tür cihazlarda Kurşun asit aküler yeterince şarj edilemezler, bu da akünün ömrünü olumsuz şekilde etkileyebilir (Zhang vd., 2017).

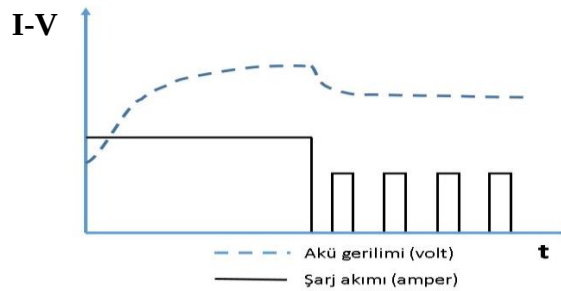
Kurşun asit akülerin şarj edilmesi için en sık kullanılan yöntem belki de aküye sabit gerilim uygulama yöntemidir. Kurşun asit akü teknolojisinin ilerlemesine paralel olarak sabit voltaj ile şarj yöntemi dışında, farklı şarj yöntemleri de geliştirilmiştir. Bu yöntemler; sabit akım ile şarj, iki aşamalı akım şarjı, iki aşamalı şarj, darbe ile şarj ve reflex yöntemi ile şarj şeklinde sıralanabilir. Bu şarj yöntemlerinin ayrıntılı açıklamaları aşağıda yer almaktadır.

- Sabit akım uygulanarak şarj etme yöntemi, akünün şarj oranından daha düşük bir değerde akım uygulanması ile akünün şarj edilmesidir. Aküleri bu yöntem ile şarj ederken tahmini bir şarj sonlandırma zamanı belirlemek gereklidir. Bu yöntemin dezavantajlarından bir tanesi akünün ısınmasına neden olmasıdır. Bu şarj yönteminde aküye uygulanan akımın ve akü geriliminin zamana göre değişimi Şekil 2.11’de yer almaktadır.



Şekil 2.11. Sabit akım ile şarj yönteminde akü geriliminin ve akımının zamana göre değişim grafikleri

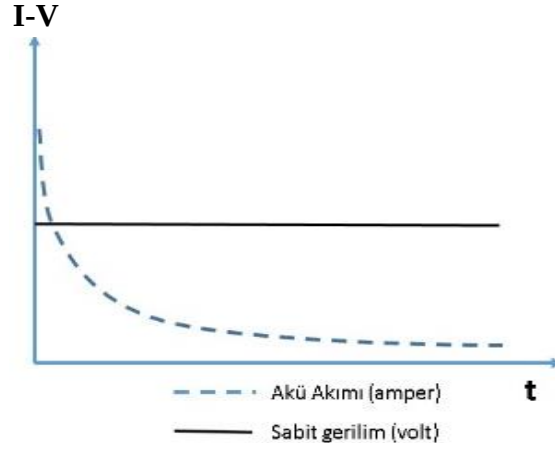
- İki aşamalı akım şarjı yöntemi: Bu yöntem iki aşamadan oluşur; ilk aşamada akü voltajı belirli bir değere ulaşana kadar şarj akımı aküden akmaya devam eder. İkinci aşama bakım aşamasında ise, kendi kendine boşalmayı telafi etmek için aküye darbe şarj akımı uygulanır. Bu işlem aküye aşırı şarj veya deşarj uygulanmasının önüne geçer. Böylece akü ömrü uzatılmış olur. Ancak, bu yöntem şarj sırasında sıcaklığın yükselmesine neden olur. Bu şarj yönteminde akü üzerinden akan akımın ve akü geriliminin zamana göre değişimleri Şekil 2.12’de yer almaktadır.



Şekil 2.12. İki aşamalı akım şarjı yönteminde akü akım ve geriliminin zamana göre değişimi

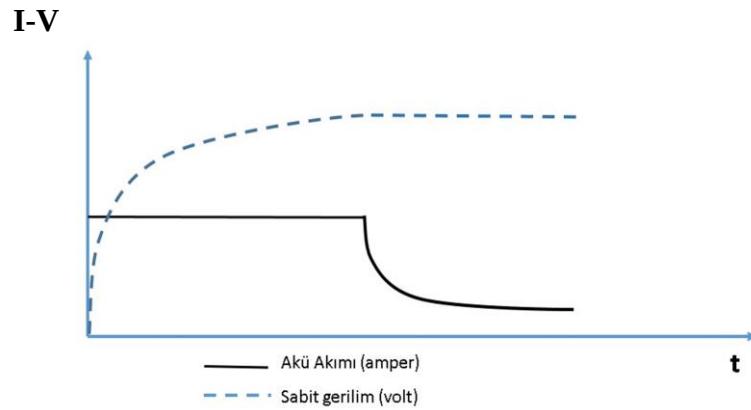
- Sabit voltaj ile şarj: Bu şarj yöntemi uygulama açısından en kolay yöntemdir. Bu yöntemde sabit gerilim uygulandığı sırada aküden yüksek değerde akım

akabilir. Bu akımın değeri akü gerilimi belirli bir şarj değerine ulaşana kadar zamanla azalır (Şekil 2.13.). Bu şarj yöntemi ısınmaya neden olmaz ancak akünün aşırı şarj olmasına neden olabilir bu da ızgara korozyonuna yol açar. Bunu önlemek için bu yöntemde şarj akımının sınırlanması gereklidir.



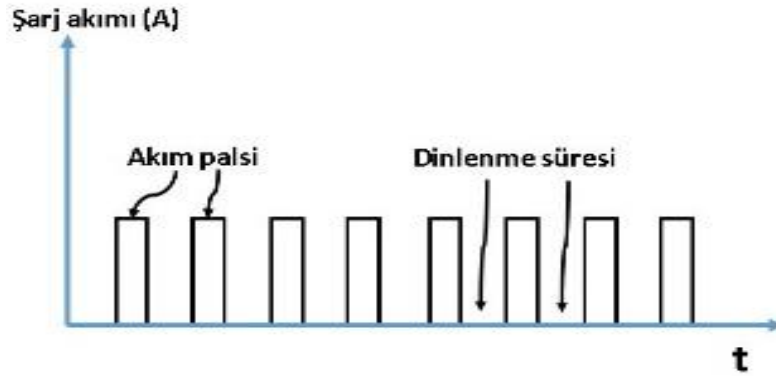
Şekil 2.13. Sabit gerilim ile şarj sürecinde akü akımının ve geriliminin zamana göre değişim grafiği

- İki aşamalı şarj yöntemi: İki aşamadan oluşan bu yöntemin ilk aşamasında, akü gerilimi belirli bir değere ulaşana kadar aküye sabit akım uygulanır. İkinci aşamada ise akü tam şarj olana kadar aküye sabit gerilim uygulanır. İkinci aşamada akü şarj oldukça akü üzerinden akan akım zamanla azalır. Bu şarj yönteminde akım ve gerilimin zamana göre değişimlerini ifade eden grafik Şekil 2.14'te yer almaktadır.



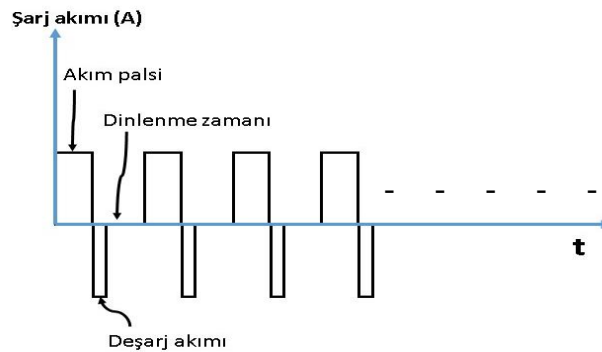
Şekil 2.14. İki aşamalı şarj yönteminde akü akımının ve geriliminin zamana göre değişimi

- Darbe yöntemi ile şarj: Darbe ile şarj yöntemi iki aşamada incelenebilir. Birinci etapta akü üzerinden akım akar, ikinci etap ise akünün dinlenmesi için aküye zaman tanınır ve bu süreçte aküden akım akmaz. Bu dinlenme süreci elektrolit tepkime süresinin iyileşmesini sağlar. Bu yöntem ile akülere şarj sırasında yüksek frekanslı darbeler uygulanması plakalarda birikmiş olan Sülfat kristallerinin sökülmesine yardımcı olur. Bu şarj yönteminde akü akımının ve geriliminin değişimlerini gösteren grafik Şekil 15 'de yer almaktadır.



Şekil 2.15. Darbe yöntemi ile şarj yönteminde akü akımının zamana göre değişimi

- Reflex yöntemi ile şarj yöntemi: Bu yöntem ile aküye uygulanan şarj sinyalini üç aşamada incelemek mümkündür. Birinci aşamada akü üzerinden pozitif yönde akım akar. İkinci aşamada ise aküden kısa süreliğine akım çekilir. Üçüncü ve son aşamada ise akü boşa alınır ve elektrolit iyon seviyesinin iyileşmesi amacı ile uygulanır. Bu şarj yöntemi kimyasal tepkime düzeyini arttırabilir. Bu yöntemin şarj verimliliğinin az olması ve kontrol devresinin karmaşık olması gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Bu şarj yöntemine ait akımın zamana göre değişim grafiği Şekil 2.16'te yer almaktadır (Serhan ve Ahmed, 2018).



Şekil 2.16. Reflex yöntemine ait akü akımının zamana göre değişim grafiği

2.11. Kurşun Asit Akü Arızaları

Çoğu Batarya uygulaması, mevcut çalışma süresini planlayarak veya hataları mümkün olan en kısa sürede tespit ederek, akülerin performansını artırmak için akü durumunun güvenilir bir şekilde ölçülmesini gerektirir. Arızalı bir akü, büyük ekonomik kayıplara veya daha hassas ekipman kayıplarına neden olabileceği gibi, insan yaşamının kaybına bile neden olabilir (Cao-Paz vd., 2010).

Valf ayarlı Kurşun-asit aküler, korozyon, sert sülfasyon, su kaybı, dökülme ve aktif kütle bozulması gibi çeşitli nedenlerden dolayı bozulabilir. Sert sülfasyon, birçok akü için en yaygın bozulma nedenidir. Kurşun asit akülerin farklı ortamlarda kullanılmaları ve üretim sürecinin tüm aküler için aynı olmaması her akünün farklı şekilde kapasite kaybı yaşamasına neden olur.

Hibrit elektrikli araçlarda kullanılan Kurşun asit akülerde parçalı şarj ve deşarj döngülerinden dolayı Sülfatlanma görülür. Sülfatlanma sorununa karşı darbe ile şarj yöntemi ve negatif plakanın karbon elektrot ile değişimi gibi çözüm yöntemleri geliştirilmiştir.

Akünün sağlık durumu ve aküdeki performans kaybının nedenleri akünün yapısal bütünlüğünü bozmayacak yöntemler kullanılarak belirlenebilir. Bu ölçüm yöntemlerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Akım ölçümü
- Şarj deşarj sırasındaki gerilim ve basınç ölçümü
- Ardışık darbe testi
- Elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemi

Genel olarak valf ayarlamalı Kurşun asit aküler birbirine seri bağlı hücrelerden oluşur. Akü kullanıldıkça bu hücrelerin performanslarında düşüş gerçekleşir. Ancak Sülfatlanmış hücreleri belirleyen ve oluşan Sülfat tabakayı plakalardan sökebilen bir batarya yönetim sistemi kullanılması, akü performansında iyileşme sağlar (Ying vd., 2012).

Ortaya çıkabilecek arızalar, yüksek öncelikli sorunlara odaklanmayı engellediğinden, arıza tanımının doğru şekilde yapılması önemlidir. Bir arıza tanımı yapılırken dikkate alınması gereken bileşenlerin sınırlı olması gereklidir. Arıza tanımı özlü ve kolay anlaşılabilir olmalıdır, herhangi bir yoruma açık olmamalıdır. Sadece bir konuyu ele almalıdır. Aksi takdirde konu pratik şekilde ele alınamayacak kadar genişleyebilir.

Genel olarak arıza nedeniyle ortaya çıkan durumlar şu şekilde sıralanabilir:

- 1- İstenen iş veya işlerin gerçekleştirilememesi
- 2- Yetersiz olma durumu
- 3- Uygun işlevin veya performansın son bulması
- 4- İstek ve beklentilerin performans ile uyuşmaması
- 5- Güç veya verimde düşüş

Aküler için de birçok arıza tanımı yapmak mümkündür. Normal bakım yöntemleri ile onarılamayacak durumda olan aküler için geri dönüşü olmayan arıza tanımı yapılabilir. Bir örnek ile açıklayacak olursak akü hücresinin kısılması onarım olanağı olmayan bir arızadır. Bu tür arızası olan akülerin geri dönüşüme gönderilmeleri gereklidir. Diğer yandan pozitif (anot) elektrotunda etkinlik azalması var ise bu arıza türü yukarıdaki tanıma dahil edilemez. Çünkü akü belirli bir çevrim boyunca uygun şekilde şarj edilerek bu arızanın etkileri azaltılabilir veya tamamen ortadan kaldırılabilir. Akü arıza tanımlamaları için verilebilecek bir diğer karşılaştırmalı örnek ise, akünün minimum performans seviyesine gelinceye kadar aşamalı ancak algılanabilir bir performans kaybıyla kendini gösteren bir arıza türü olan pozitif ızgara aşınma arızasıdır. Ancak elektrolitin tabakalaşması nedeni ile ortaya çıkan arıza, elektrolitin karıştırılması ile giderilebilir. Sonuç olarak bu iki arıza türü için aynı şekilde sınıflandırma yapılması doğru olmaz.

Arızanın tanımının basit bir şekilde yapılması gereklidir. Arıza tanımının kullanıcının bakış açısına bağlı olarak değişeceği bir gerçektir. Yani akünün kullanıcının ihtiyaçlarına cevap verememesi durumunda, bir arızadan bahsedilebilir. Örneğin bir araba aküsünün, aracın motorunu başlatmak için yeterli akım veremiyor olması, bu akünün düşük akım uygulamaları için kullanılabilir olabileceğini, ancak yeterli marş akımı verebilme kabiliyeti açısından arızalı olduğunu gösterir.

Akülerde karşılaşılabilecek olası arıza çeşitleri şu şekilde sıralanabilir:

- 1- Elektrolit azalması
- 2- Elektrolit tabakalaşması
- 3- Hidrasyon (sulanma)
- 4- Pozitif (anot) ızgara aşınması
- 5- Dahili kısa devreler
- 6- Pozitif plakada pasifleştirici Kurşun oksit tabakalaşması
- 7- Negatif elektrotta ince Kurşun topaklaşması
- 8- Elektrolit kirlenmesi

- 9- Akü kasasında, kapaklarında veya terminallerinde fiziksel hasar oluşması
- 10- Sülfatlanma
- 11- Hücreler arasındaki sorunlu bağlantılar
- 12- Pozitif elektrottaki aktif maddenin yumuşaması ve dökülmesi
- 13- Aşırı ısınma
- 14- Hidrojen birikimi
- 15- Negatif plakada Kurşun Sülfat birikimi

Belirtilen bu akü arıza türleriyle ilgili kısa açıklamalar aşağıda verilmiştir.

2.11.1. Elektrolit azalması

Elektrolit kaybı bataryanın etkin iç yüzey alanını azaltır ve sonuçta iç direnç artar. Akü, kaybedilen elektrolitin yerine damıtılmış su ilavesiyle kolayca geri kazanılabilir. Valf ayarlamalı Kurşun asit akü tipleri gibi mühürlenmiş aküler, ilave su eklenmesine izin vermez. Bu bataryalarda bu arıza türünün geri dönüşü mümkün değildir. Bu bataryalardaki su kaybı tüm akü ömrü boyunca su eklenmesine gerek olmayacak kadar düşük seviyededir. Bununla birlikte, su kaybı sıcaklığa bağlı olduğundan, bu arıza türü sıcak ortamlarda çalışan akülerde daha sık görülür. Elektrolite erişime izin veren su eklenebilen akü tasarımları burada büyük avantaj sağlar.

2.11.2. Elektrolit tabakalaşması

Elektrolit tabakalaşması geri dönüştürülebilir bir arıza türüdür. Bataryayı uzun süre bu durumda tutmak ızgara korozyonuna ve sert Sülfatlamaya neden olabilir. Bu tabakalaşma etkisi, çözeltiye su eklenmesine izin veren tasarımlarda sıkça görülür. AGM ve GEL akü tasarımlarında bu etki belirgin değildir.

2.11.3. Hidrasyon

Bu akü arızası elektrolit olarak kullanılan sülfürik asidin neredeyse saf suya dönüşmesi ile ortaya çıkar. Bu durum uzun süre kullanılmayan ve boşta bekletilen akülerde görülür. Buna en iyi örnek askeri araçlarda kullanılan akülerdir. Ticari ve binek araçlardaki akülerde bu durum seyrek olarak gözlenir. Hidrasyon etkisini önlemek için iki çözüm kullanılabilir. Birincisi elektrolite fazladan sülfürik asit eklemektir. Diğer çözüm yöntemi ise akü elektrolitinin iyonik gücünün asla saf suya

ulaşmamasını sağlamak için destekleyici bir elektrolit (örneğin, Sodyum Sülfat) eklenmesidir. Bu arıza türü geri dönüşümlü değildir.

2. 11.4. Pozitif ızgara korozyonu

Akü içerisinde bulunan Kurşun dioksit, metalik Kurşun ile temas halindedir. Bu da termodinamik ve rastgele bir tepkimeye neden olur. Tepkime sonucu Kurşun tuzu açığa çıkar. Bahsedilen bu süreç, Kurşun asit akülerde çok yavaş gelişir. Zaman içerisinde Kurşun bazlı pozitif ızgaralar kaybolacağından, bu durum doğal olarak akü ömrünü sınırlar. Korozyon oranını en aza indirmek için depolama sürecinde aküler şarj edilmiş durumda tutulmalıdır. Bu arıza türü de kalıcıdır.

2. 11.5. Dahili kısa devreler

Ayraçlar ve elektrotların uygun şekilde paketlenmesi ve hücre içerisine malzeme dökülmesi ile kısa devre oluşma olasılığı ortadan kalkar. Bununla birlikte, normal akü döngüsünde, aktif maddenin fiziksel hacmi değişir. Bu işlem paketleme ve ayırma malzemesini zorlar. Zamanla bu malzemeler bozulabilir ve bazı durumlarda bir hücredeki pozitif ve negatif elektrotlar arasında elektrik iletimini mümkün kılacak, küçük çaplı kontaklar ortaya çıkabilir. Bu gerçekleştiğinde çoğu zaman geri döndürülemez arızalar ortaya çıkar.

2. 11.6. Pasifleştirici Kurşun oksit film oluşumu

Pozitif elektrot (ızgara), paslanma oranını düşürmeye yarayan pasif bir film oluşturur. Bu film kalınlaştıkça, Kurşun asit akünün iç direncinde bir artış meydana gelir. Antimon alaşımlı ızgaralar kullanıldığında bu film oluşumu en aza indirgenir. Bununla birlikte, kalsiyum alaşımlı ızgara bu etkiyi daha belirgin şekilde ortaya koyma eğilimindedir. Bu Kurşun oksit tabakası, bataryanın düşük şarj durumunda uzun süre kaldığında kalınlaşır. Akünün iç direnci ölçülürse veya akü derin deşarja tabi tutulursa, bu filmin etkisi kolayca görülür. Ancak, aküyü belirli bir süre boyunca sabit voltajda şarj etmek filmi yok eder. Akü orijinal çalışma durumuna dönene kadar, gözlenen akım yavaşça yükselir. Bu etki genellikle geri dönüşümlüdür. Filmin kalınlığı ve ızgara korozyon derecesi, bataryanın geri kazanma oranını sınırlayabilir.

2. 11.7. Negatif elektrotta ince Kurşun topaklaşması

Saf metaller erime noktalarının çok altındaki bir sıcaklıkta temas füzyonu denilen bir süreçten geçerler. Bu etki, küçük boyutlu metal parçacıkları ortaya çıktığında daha belirgin hale gelir. Bu taneciklerin etkisini azaltmak için yüzeye, temasla füzyonu minimuma indirecek bir madde katkılanır. Akülerde, dışarıdan katkılanan bu maddeye genişletici denir. Bu madde, normal akü kullanımı sırasında yetersiz kalırsa veya tahrip olursa, küçük boyutlu Kurşun parçacıklarının topaklaşması nedeniyle aküde kapasite düşüşü gözlemlenir. Topaklanmış Kurşun etkisi geri döndürülemez.

2.11.8. Elektrolit kirlenmesi

Kullanıma bağlı olarak aküde elektrolit miktarı düştüğünde, standart olarak aküye saf su eklenmektedir. Ancak, saf su yerine sıklıkla şebeke suyunun kullanıldığı da bilinmektedir. Kullanılan her şebeke suyunun farklı mineral içeriği vardır. Bu da akülerin kendi kendilerine boşalma hızlarını arttırır. Bazı durumlarda kendiliğinden boşalma miktarı akünün bir daha şarj alamayacağı seviyelere kadar ulaşabilir. Bazı durumlarda ise bu süreç geri döndürülebilir. Akü elektrolit seviyesini şebeke suyu ekleyerek tamamlamaktansa akünün elektrolit seviyesi düştüğü için kullanılmaz hale geldiğini kabul etmek bazen daha iyidir. Bu arıza türünün gerçekleşme olasılığı az da olsa vardır. Böyle bir durumla karşılaşmamak için yalıtılmış aküler tercih edilebilir.

2.11.9. Kasa kapak veya terminalde fiziksel hasar oluşması

Bu tür hasarlar harici hasar olarak kabul edilir. Normalde Sülfatlanma harici bir hasar değildir. Bununla birlikte, harici hasar gündelik muayene sırasında tespit edilmezse, Sülfatlanma akü arızası için en uygun açıklama olarak kabul edilir. Etki genellikle geri döndürülemez, ancak hasar tespit edilirse ve basit düzeltici eylem mümkün ise, akü servis bakımından sonra yeniden kullanılabilir.

2. 11.10. Sülfatlanma

Sülfatlanma Kurşun asit bataryalarda en eski ve en çok tartışılan arıza çeşididir. Esasında, Kurşun Sülfat kristal oluşması ve plakalar üzerine birikmesi uzun sürede gerçekleşir. Kurşun Sülfat iletken olmadığından, kristalleşen parçacıklar daha fazla elektrokimyasal aktiviteyi pasifleştirir. Eğer akü kapasitesinin zaman içindeki kaybı

ölçülürse, etkinin gerçekten de sert Sülfatlama ile (ve aynı zamanda bir dizi başka mekanizma ile) tutarlı olduğu görülür. Akülerin geri dönüşü olmayan arızalarının incelendiği çalışmalarda, sert Sülfatlamanın varlığını ortaya konmakla birlikte, bu olay batarya için genelde bir arıza türü olarak sayılmamaktadır. Sert Sülfatlama etkisinin geri dönüşümsüz olduğu düşünülmektedir, ancak diğer yandan önemli tartışmalar dönüşümün mümkün olabileceğini de göstermektedir. Bu bağlamda, akünün derin deşarj koşulları altında belirli bir süre çalışması durumunda, Kurşun Sülfat kristallerinin bir tabaka oluşturacağı ve bunun da normal şarj yöntemiyle bataryayı şarj etmeyi zorlaştıran bir durum yaratabileceği görülmüştür. Bu sorun, elektrikli araçlarda elektrik motorları bulunduğu ve bu motorlar ek güç gerektirdiğinden daha önemli hale gelmektedir. Yeni start-stop teknolojisine sahip araçlarda, akünün nispeten daha sık marş akımı vermesi, aküye daha çok yük binmesi ve akünün bu süreçte düzgün şarj olamaması nedeniyle, muhtemelen bu araçlardaki akülerdeki Sülfatlanma oranı daha yüksek olacaktır.

2.11.11. Hücreler arası sorunlu bağlantılar

Genellikle modern akülerde, mono bloklu akü kutuları kullanılır. Bu kutularda hücreleri bağlamak için “duvardan” kaynak kullanılır. Bunlar, batarya montajı ve nakliyesinden önce son bir kez iyice test edilmiş olan kör kaynaklardır. Nispeten az sayıda vakada, kötü kaynaklardan meydana gelen arızalar görülmüştür. Bu tür arızalar gizlidir ve batarya kullanımı sırasında geç görünebilir. Bu arıza türü geri döndürülemez.

2.11.12. Pozitif elektrottaki aktif maddenin yumuşaması ve dökülmesi

Bu arıza, aktif maddenin kristal yapısında (genellikle aşırı kullanımın bir sonucudur) bir değişiklikten kaynaklanır ve bu da aktif maddenin pozitif ızgaradan dökülmesine neden olur. Pozitif ızgaralar normalde hem ayırıcıdan hem de pozitif elektrotlardan dökülen parçacık maddesini sınırlayan gözenekli bir zarf kullanılarak mühürlenir. Bu arıza türü de yapısaldir ve geri döndürülemez.

2. 11.13. Aşırı ısınma

Aküler sabit gerilim ile şarj edilirken normalde akımın sınırlı olması gereklidir. Şarj cihazının akım sınırlaması sağlamadığı durumlarda akülerde kontrolsüz şekilde ısı artışı gerçekleşebilir. Böyle durumlarda akü üzerinden akan akım, akünün şarj

edilmesi için gerekli akım değerinin çok üzerinde bir değere ulaşabilir. Bazı durumlarda akım değeri şarj cihazının verebileceği en yüksek akıma bile ulaşabilir. Bu gibi durumlarda, bir süre sonra hücre kuruması denen olay gerçekleşir.

2.11.14. Hidrojen birikimi

Günümüzde aküler aşırı şarjda oksijen üretmek üzere tasarlanmışlardır. Akülerde bulunan valf mekanizması daha sonra oksijeni aküdeki gaz alanından çıkarır. Bununla birlikte, Kurşun asit aküler kendi kendine deşarj işlemi sırasında hidrojen üretir. Bu hidrojen aküde verimli bir şekilde yeniden birleştirilmez ve aküdeki gaz boşluğında birikir. Bu biriken hidrojen, bazen yakındaki olası bir alevin geri yayılmasını önleyen bir disk aracılığıyla aküden dışarı atılır. Böyle bir durum, hidrojen ve oksijenin tam olarak tepkimeye girememesinden kaynaklanan aşırı ısınma sonucu ortaya çıkabilir. Ortaya çıkan basınç dalgası, akü muhafazasını şişirir ve bu belirgin şekilde görülebilir. Tüm bunlara rağmen yukarıda belirtilen mekanizmanın oluşma olasılığı düşüktür.

2. 11.15. Negatif plakada Kurşun Sülfat birikimi

Bu durum Hidrojen oluşumunun doğal sürecinin bir sonucu olarak negatif plakalarda gerçekleşir. Süreç sonunda Hidrojen gazı aküden dışarı atılır. Bu hidrojen kaybı, pozitif ve negatif elektrotlar arasında yük dengesizliğine neden olur. Aküler mühürlendiğinden ve eşitleme şarjının yapılması kolay olmadığından, bu etki kademeli olarak kapasite kaybına ve en sonunda da bozulmaya neden olur (Catherino vd., 2004).

Akülerin farklı şekilde kullanımları, farklı yaşlanma süreçlerinin gelişmesine neden olur. Akünün aşırı şarj edilmesi korozyona ve su kaybına neden olur. Kullanım sırasında akülere aşırı derin deşarj uygulamak aktif malzemenin azalmasına neden olur. Bazı yaşlanma mekanizmaları sadece akülerin yanlış kullanımı nedeni ile ortaya çıkar. Örneğin metalik Kurşun kristallenmesi oluşumu nedeniyle ayırıcılar boyunca kısa devreler genellikle aşırı derin deşarjdan sonra oluşur. Seyrek kullanılan ve sürekli gerilim uygulanarak şarjı seviyeleri korunan sabit aküler, tipik olarak ızgara korozyonu nedeni ile yaşlanacaklardır. Diğer yandan sürekli olarak şarj-deşarj sürecine tabi olan aküler, tipik olarak pozitif aktif kütlenin yapısının bozulmasına bağlı olarak yaşlanırlar. Binek araçlarda kullanılan marş akülerinin ömürleri ızgara korozyonu nedeni ile kısalır. Bununla birlikte, sık sık durmak zorunda kalan şehir

içinde hizmet veren otobüslerin marş aküleri, pozitif aktif kütle bozunumu ile erken yaşlanabilir, çünkü aküler çok sayıda sığ deşarj döngüsüne tabidir. Valf ayarlı aküler genellikle negatif aktif kütle sülfatlanması veya su kaybı sonucu kullanılamaz hale gelirler. Her akü tasarımı ve kullanım türü için, genellikle ulaşılabilir hizmet ömrünü belirleyen karakteristik ve öngörülebilir yaşlanma mekanizmaları vardır.

Sıcaklığın akülerin yaşlanma süreçleri üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Izgara korozyon oranı, kendi kendine deşarj miktarı sıcaklıkla doğru orantılı olarak artar. Öte yandan, şiddetli şarj-deşarj döngüsü içeren uygulamalarda makul bir sıcaklık artışı hizmet ömrünü artırabilir. Akülerin ömrü ayrıca asit derişimine de bağlıdır. Genel olarak çok düşük veya çok yüksek asit konsantrasyonu aküler için zararlıdır. Başlıca arıza çeşitleri şu şekilde sıralanmıştır (Ruetschi, 2004):

- Pozitif elektrot korozyonu
- Pozitif aktif malzemenin bozulması
- Sülfat kristali nedeni ile aktif kütlede geri döndürülemeyen bozulma
- Akü içerisinde oluşan kısa devreler
- Elektrolit kaybı

2.12. Kurşun Asit Akülerde Sülfatlanma

Teorik olarak, bir akü şarj olduğunda, elektrotlarda tabaka şeklinde birikmiş olan Kurşun Sülfat kristalleri çözünerek elektrolit içerisine geri döner. Bununla birlikte, pratikte, bazı Sülfat kristalleri çözeltiye geri dönemez ve plakalarda bağlı kalır. Sonunda bu Sülfat parçacıkları birikmeye başlar ve kristalleşerek tabaka oluşturur. Zamanla bu oluşum akü plakalarının büyük bölümünü kaplar. Bu da akünün şarj edilmesini veya gerektiği durumlarda aküden yeterli enerji çekilmesini zorlaştırır.

Uluslararası Batarya Konseyi'nin tanımına göre aküler; şarj özellikleri kimyasal yapısına göre değişiklik gösteren elektrokimyasal cihazlardır. Sülfatlanma akü kullanım sürecinin doğal bir parçasıdır. Ancak aşırı Sülfatlanmaya engel olunmaz ise bu durum büyük sorunlara neden olabilir. Aküler uzun süre kullanılmadıklarında veya yeni aküler kullanılmadan uzun süre depolama alanlarında tutulduklarında, akü plakalarında Sülfatlanma meydana gelir. Sülfatlanmış bir akü, şarj sırasında yeterince şarj olamaz ve uzun süre kullanılmadığında zamanla kendiliğinden boşalır. Akülerin şarj düzeyleri belirli bir değerin üzerinde tutulmaz ise Sülfatlanma meydana gelir ve normal şarj voltajı ile şarj edilemez hale gelirler (Schilling, 1999b).

Kurşun asit akülerde yaşlanma mekanizmaları genellikle birbirlerine bağlıdır. Örneğin plakalarda bulunan ızgaraların korozyona uğraması iç direnci artırarak akım akışını kısıtlar. Bu da aktif malzemenin bir kısmının uygun şekilde yüklenmesini engelleyerek Sülfatlanmaya neden olur. Aktif malzemenin bozulması akü içerisinde kısa devrelere neden olabilir. Sülfatlanma elektrolit azalmasından kaynaklanabilir (Ruetschi, 2004). Bir diğer tanıma göre Sülfatlanma, elektrotlar (Kurşun plakalar) üzerinde Kurşun Sülfat birikimi anlamına gelir. Bu fenomen, akünün her deşarjında doğal olarak ortaya çıkar ve bir sonraki şarj sırasında kaybolur. Bu sorun, şehir içinde kullanılan ve sürekli yük çekilen marş akülerinde yaygındır. Duran veya düşük hızda seyreden bir araç alternatörü aküleri tam olarak şarj edemez. Bu da Sülfatlanma denilen soruna neden olur (Mehdi vd., 2017).

Sülfatlanma, Kurşun asit akülerde görülen arızaların temel nedeni olarak gösterilir. Aşağıda belirtilen nedenlerin deneysel olarak gözlenmesi sonucunda bir akünün Sülfatlandığı öne sürülebilir:

- Kapasite kaybı
- Akü geriliminin düşük olması
- Akü iç direncinde artış
- Sülfürik asit derişiminde azalma

Sülfatlanmanın ikinci tanımı ise Sülfat moleküllerinin kristal yapıya geçmesidir. Yani bu moleküller artık aküdeki elektrokimyasal süreçlerde yer alamazlar. Bu tanım birinci tanıma kıyasla sorunu daha iyi belirtmektedir. Üçüncü bir tanıma göre Sülfatlanma, akü plakalarında Sülfat birikim süreci olarak tanımlanmıştır. Her ne kadar akülerde kimyasal elektrolit bileşiminde ve akünün yapısında iyileşmelere gidilmiş olsa da başlıca akü arıza kaynakları geçerliliğini korumaktadır. Akülerin plakalarında biriken Sülfat kristallerinin neden olduğu akü arızaları toplam akü arızalarının %80'ini oluşturmaktadır (Jiramoree vd., 2011) .

Sülfatlanmanın neden olabileceği bazı sorunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Akülerde iç direnç artışı
- Etkin olarak tepkimeye giren elektrolit oranının düşmesi
- Şarj sırasında aşırı ısınma
- Elektrolit ile aktif madde arasındaki reaksiyonun zayıflaması
- Kurşun asit akülerin kapasitelerinin ve kullanım ömürlerinin azalması

Ayrıca bu çalışmada bu soruna neden olan temel etkenlerin belirlenmesinin sorunun çözümü için önemli olduğu belirtilmiştir (Man vd., 2015).

2.13. Sülfatlanmanın Nedenleri

Schilling'in 1999 yılında yayınlanan çalışmasında, Sülfatlanmaya neden olan veya Sülfatlanmayı arttıran nedenler şu şekilde sıralanmıştır:

- Akülerin uzun süreler boyunca kullanılmadan bekletilmesi
- Araçlarda yeterince şarj edilmeden kullanılması
- Akü plakasının aşınması nedeni ile akünün tam şarj almaması
- Akülerin deşarj edildikten sonra şarj edilmeden bekletilmesi
- Akülerin aşırı sıcak ya da aşırı soğuk ortamlarda kullanılması
- Akülerin düşük voltajlar ile şarj edilmesi

Akülerin tam olarak şarj edilmemeleri, negatif plakada Sülfat moleküllerinin sertleşerek kristal tabakalar halinde birikmesine neden olur. Kurşun asit akülerin uygun olmayan şekilde şarj ve deşarj edilmeleri Sülfatlanmaya neden olur, bu da Kurşun asit aküler için bir dezavantajdır (Singh ve Karandikar, 2016).

2.14. Kurşun Asit Akülerde Sülfatlanmanın Neden Olduğu Diğer Arızalar

Kurşun asit akülerde Sülfatlanma, doğrudan ya da dolaylı olarak diğer sorunların da ortaya çıkmasına neden olur. Bu sorunlardan bazıları:

- Akü Plakalarının Bükülmesi: Akü plakalarında biriken Sülfat nedeni ile akü şarj almakta zorlanır. Akünün şarj edilebilmesi için nominal şarj geriliminden daha yüksek değerdeki gerilimler ile şarj edilmesi gerekir. Bu da ısınmaya neden olur, açığa çıkan ısı nedeni ile akü plakalarında bükülme gerçekleşir.
- Plaka Parçalanması: Izgara yapısındaki çökme nedeni ile plaka parçalanabilir. Akünün aşırı şarj edilmesi ve elektrolitin tabakalaşması da bu süreci hızlandırır.
- Kısa Devreler: Akü plakalarında biriken Sülfat kristalleri nedeniyle iç direnç artar ve plakalarda şişme meydana gelir. Bu da plakanın diğer plaka ile temasına neden olur, bu durumda kısa devre sorununa yol açar. Bunun yanı sıra bu durum, plakalarda biriken Sülfat kristallerinin kendilerini destekleyen çerçeveye zarar vermesine de neden olabilir.
- Aktif Maddenin Dökülmesi: Sülfat birikimi kaynaklı yüksek iç direnç nedeni ile akünün aşırı şarj edilmesi, plakadaki malzemelerin küçük parçalar halinde düşmesine neden olur.

Daha önceki yıllarda, Sülfatlanmış bir akü ömrünü tamamlamış sayılırdı. Ancak, günümüzde darbe teknolojisi kullanılarak Sülfatlanma sorunu ortadan kaldırılabilmektedir (Schilling, 1999b). Aslında Kurşun-asit akülerde, sekiz yıl veya daha uzun süre akülerin güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için yeterli reaktif malzeme bulunur. Ancak çoğu durumda bu kullanım sürelerine ulaşamaz. Bir akünün ortalama ömrü, kullanıma bağlı olarak 6 ila 48 aydır. Ancak yakın tarihli bir araştırmaya göre, tüm pillerin sadece %30'u 48 aylık kullanım süresine ulaşabilmektedir. Bu kısa kullanım ömrü, akü plakalarında meydana gelen Sülfatlanma nedeni ile ortaya çıkan bazı sorunlardan kaynaklanmaktadır. Bu soruna karşı geliştirilmiş olan en etkin çözüm yöntemi ise darbe teknolojisidir (Schilling, 1999a).

Akülerin herhangi bir bölümünde meydana gelen bir arıza akünün tamamen kullanım dışı kalmasına neden olabilir. Genelde, akülerin hurdaya çıkmasının ana nedeni Kurşun Sülfat oluşumu olarak görülmektedir. Bir Kurşun asit akü boşaldığında ya da devre dışı kaldığında, batarya levhalarında Kurşun Sülfat oluşur. Kısa süre içerisinde, bu Sülfat kademeli sertleşir ve kristalize olarak bir tabaka oluşturur. Bu durum artarak devam eder ve belirli bir süre sonra akü şarj edilemez duruma gelir. Sülfatlanma olarak bilinen bu süreç, taşımacılık, enerji, madencilik, otomotiv ve denizcilik endüstrisi gibi çeşitli alanlarda kullanılan tüm Kurşun asit bataryalarda görülür. Sülfatlanma süreci, akülerin kullanılamaz hale gelmelerinin ana nedenidir. Aküler şarj edilmeden uzun süre bekletildiklerinde Sülfat oluşumu baş gösterir. Batarya ne kadar derin deşarj edilirse, Sülfat birikimi de o kadar ciddi olur. Sülfat materyali, plakaları kaplayan yalıtkan bir film formundadır. Bir akünün şarj akımını alabilmesi ve gerektiğinde yüksek akım verebilmesi için plakaların ve elektrolitin temiz olması gereklidir.

Kurşun asit bataryalar, Sülfatlanma nedeniyle belirli bir süre sonra kapasitelerini büyük oranda kaybederler. Bu durum geri döndürülemez hale geldiğinde ve artık akü istenen akımı ve gerilimi veremediğinde, akü kullanım ömrünü tamamlamış sayılır ve hurdaya ayrılır. Kurşun Sülfat, Kurşun asit bir akünün normal deşarjı sırasında, Kurşun levhalar ve sülfürik asit arasındaki kimyasal reaksiyon nedeniyle oluşur. Yeniden şarj edilirken Kurşun Sülfat, elektrot plakalarından ayrılarak tekrar elektrolitin içine karışır. Kurşun Sülfat molekülünün elektrot plakalarından ayrılma işlemi tam olarak gerçekleşmediği ve plakalarda Sülfat molekülleri kaldığı takdirde, bu moleküller daha sonra sertleşerek kristalik bir yapı

oluşturur. Bu sert kristalik yapı, normal akü şarjı yoluyla elektrolitin içine geri çözülemez. Bu yavaş bir yaşlanma sürecidir ve batarya yeni olsa bile kötü kullanım koşullarında bu süreç oluşabilir. Bunun sonucunda kademeli olarak aktif elektrolit ve plaka malzemesi kaybı gözlemlenir. Bu, akü plakalarının sert kristalli Sülfatlarla kaplanmasına ve elektrolitin özgül ağırlığının düşmesine neden olur. Aküden nominal akım akması, yalıtkan Sülfat tabakası nedeniyle sınırlandırılmıştır ve sonuç olarak akü normal bir şarj cihazı kullanılarak şarj edilse bile şarj alamaz ve akü kullanılamaz hale gelir.

Plakalarda oluşmuş sert kristalik Kurşun Sülfat tabaka, şarj aşamasında aktif malzemeye (negatif kutupta Pb ve pozitif kutupta PbO₂) geri dönüştürülemez. Kurşun Sülfat çok zayıf elektriksel iletkenliğe ve yüksek yoğunluğa sahiptir. Kurşun Sülfat birikintileri her iki elektrotu da kaplar ve onları etkin olmayan hale getirir. Böylece hücrenin etkin kapasitesi nominal kapasitenin %10'undan daha düşük bir seviyeye kadar geriler. Deşarj işlemi devam ettikçe akünün iç direnci artar. Direnç artışı, plakalarda PbSO₄ oluşumu nedeniyle ve sülfürik asit derişiminin azalmasına bağlı olarak elektrolitin direncinin düşmesi nedeniyle olur. Çözeltiye geri kazandırılmayan Kurşun Sülfat miktarı her şarj-deşarj çevriminde daha da artar ve belirli bir noktadan sonra elektrotlar tamamen Sülfatlanır ve akü kullanılamaz hale geldiği için atılır.

Yukarıda da belirtildiği gibi Sülfatlanma, Kurşun asit aküler için en önemli arıza türüdür. Akülerin kullanılamaz hale gelmelerine neden olur. Sülfatlanma süreci, Kurşun asit aküler için ana arıza mekanizmalarından biridir. Sülfatlanmış Kurşun asit aküler geri kazanılabilir durumda değillerse hurdaya ayrılırlar. Bu da çevresel açıdan zararları olan bir süreçtir. Bu nedenle, Kurşun asit akülerin yeniden kazanımı ve Sülfatlanma etkilerini en aza indirgeyerek kullanım ömürlerinin uzatılması çok kritik bir öneme sahiptir. Bu konuda çeşitli yöntemler geliştirilmeye devam etmektedir (Karami ve Asadi, 2009).

2.15. Darbe Yöntemi ile Desülfasyon

Kurşun asit akülerde desülfasyon sorununa yönelik olarak iki temel çözüm yöntemi vardır. Bunlar kimyasal ve elektriksel çözüm yöntemleridir. Elektriksel yöntemler içinde ise en yaygın kullanılan ve güvenilir yöntem ise akü kutuplarına elektriksel darbeler (palsler) uygulanarak gerçekleştirilen desülfasyon işlemidir. Darbe uygulayarak şarj tekniği, akü kapasitesinin erken kaybını önlemek, şarj işlemini hızlandırmak ve sabit akım kullanan geleneksel şarj yöntemlerine kıyasla Kurşun asit

pil ömrünü 3 ila 4 kat uzatmak için kullanılır. Kurşun asit akülerin gerilim darbeleri ile şarj edilmesinin, Sülfatlanmanın temel nedeni olan elektrotlarda birikmiş Sülfatın çözülmesini sağladığı düşünülmektedir (Mehdi vd., 2017). Akü kullanım ömrünü uzatmak için darbe uygulama yöntemini temel alan farklı akü desülfasyon teknolojileri geliştirilmiştir (Gang vd., 2014).

Desülfasyon işlemi sırasında çözeltide bulunan Sülfat iyonları titreşerek plakalarda bulunan Kurşun Sülfatın çözülmesine neden olurlar (Mehdi vd., 2017). Akülere 2 ila 6 MHz arasında (rezonans frekansı) gerilim darbeleri uygulamanın, akülerdeki Sülfatlanma işlemini tersine çevirdiği belirtilmektedir (Mehdi vd., 2017). 1989 yılından itibaren bu yöntem devlet kurumları, ticari ve bireysel kullanıcılar tarafından uygulanmış, yöntemle ilgili çeşitli değerlendirmeler yapılarak yöntemin faydalarına değinilmiştir. Bu teknoloji ile ilgili ilk sonuç ve değerlendirmeler 1990 yılında Stennis Uzay Merkezi tarafından yayınlanmış ve darbe teknolojisinin akü plakalarındaki Sülfat birikimini engelleyebilecek bir teknoloji olduğu vurgulanmıştır (Schilling, 1999b). Amerika Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri Yönetim Ekipmanı ve Değerlendirme Programından darbe teknolojisine dair çıkan sonuçlar yukarıda belirtilen durumları daha iyi yansıtmaktadır. Bu kuruluşun yaptığı açıklama şu şekildedir: “Darbe teknolojisinin kullanımı, kronik akü şarj sistemi problemlerini neredeyse tamamen ortadan kaldırmaktadır. Darbe Teknolojisinin kullanımı ile akü şarj ve bakım sistemlerindeki işçilik ve malzeme maliyetindeki azalma arasında doğrudan bir ilişki vardır. Ancak, bu teknolojiden tam olarak yararlanmak için, ürünün tam zamanlı olarak kullanılması gereklidir. Bu sistemin tam zamanlı kullanılması ile akü kullanım maliyetlerinde, akülerin bünyelerinde bulunan tehlikeli atıkların imha işlemlerinde ve imha maliyetlerde azalma sağlanacaktır” (Schilling, 1999b) .

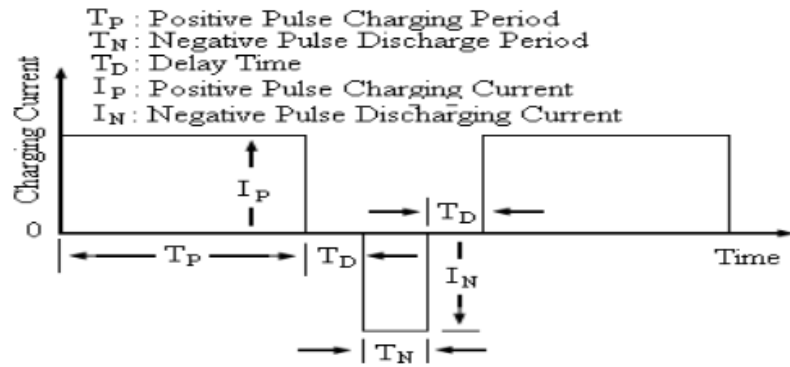
2.16. Darbe Parametreleri

Gang ve arkadaşlarının 2014 yılında yayınladıkları bir çalışmada, farklı darbe frekanslarının ve farklı darbe genliklerinin Kurşun asit akülerin desülfasyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada, akülere uygulanan darbelerin genlikleri 18V ve 25V olarak seçilmiş, darbe frekansları için ise 1Hz ve 1000Hz’lik frekans değerleri seçilmiştir. Deney sonunda akülere uygulanan sinyalin frekansı arttıkça akülerde belirli bir performans artışı gözlenmiştir. Akülere desülfasyon amacı ile uygulanan sinyalin genliği arttıkça da performansta artış gerçekleşmiş, ancak akü fazla akım çektiğinden ve şarj devresi aşırı güç harcadığından, genliğin aşırı yüksek

olmasının dezavantajlı olduğu belirtilmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonuç kısmında ise şu değerlendirmeler yapılmıştır:

- Darbenin genliğinin yüksek olması daha iyi performans artışı sağlar. Ancak cihazın güç tüketimi nedeni ile uygun genlik değeri kullanılmalıdır.
- Frekans arttıkça akünün performansı da artmaktadır. Ancak devrenin verebileceği frekans değeri sınırlı olduğundan uygun frekans değeri belirlenmelidir. Frekans artışı ile güç tüketimi arasında belirgin bir orantı yoktur.
- Deney sonunda desülfasyon cihazının yüksek frekanslı ve düşük genlikli darbeler uygulaması gerektiği anlaşılmıştır. Bu şekilde cihazın aküyü koruyabileceği anlaşılmıştır (Gang vd., 2014).

Darbe yöntemine benzer şekilde, akülerin desülfasyonu için uygulanan bir diğer yöntem ise “negatif darbe deşarj akımı” yöntemidir. Bu yöntemde aküye belirli bir süre akım darbesi uygulandıktan sonra aküye kısa bir süre için negatif akım darbesi uygulanır. Pozitif ve negatif darbeler arasında çok kısa bir gecikme süresi vardır. Bahsedilen bu yöntemde akülere uygulanan akımın zamana göre değişim grafiği Şekil 2.17’de gösterilmiştir.

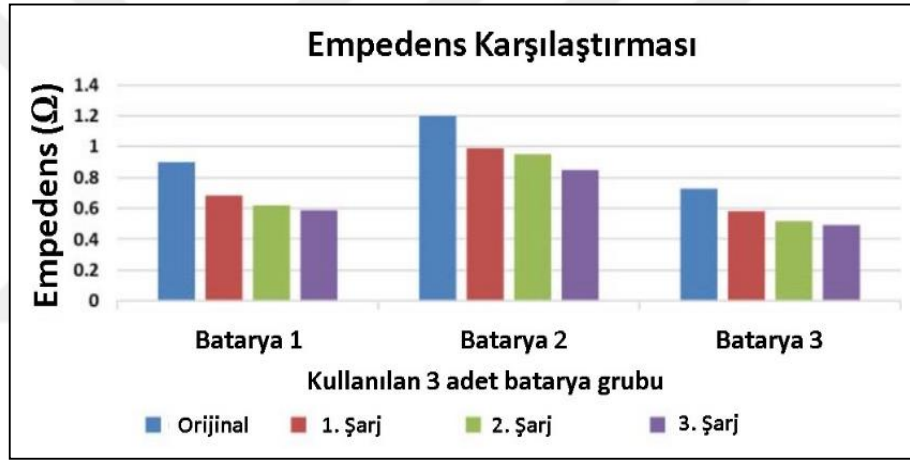


Şekil 2.17. Negatif darbe deşarj akımı grafiği

- Yapılan Literatür taramalarından, negatif darbe deşarj akımı yönteminin, elektrolit reaksiyonunu serbest bıraktığı ve sıcaklığı düşürdüğü anlaşılmaktadır (Gumera vd., 2017a; Tseng vd., 2002; Vorel vd., 2016)
- Huang-Jen Chiu ve arkadaşlarının 2006 yılında yayınladıkları bir çalışmada negatif darbe akımı deşarj yöntemini geliştirerek daha verimli hale getirmişlerdir. Çalışmanın sonuç bölümünde şarj cihazının güç katsayısının 0.987'nin üzerinde ve cihaz veriminin yaklaşık %92 olduğu belirtilmiştir (Huang-Jen Chiu vd., 2006).

Mehdi ve arkadaşlarının 2017 yılında gerçekleştirdikleri deneysel çalışma sonucunda, darbe uygulanan akülerin CCA akımlarında açıkça bir artış gözlenmiştir. Çalışmada ayrıca, Sülfatlanmış durumdaki akünün ilk birkaç şarj-deşarj çevriminde 13.5 V olan şarj gerilimine ulaşmasının zaman aldığı, ancak çevrim sayısı arttıkça akü plakalarındaki Sülfat kristallerinin çözülmesi nedeni ile iç direnç değerinin düştüğü ve akünün nispeten daha kısa sürede şarj edilebilecek duruma geldiği görülmüştür. Sonuç olarak akülerde gözle görülür bir iyileşme saptanmıştır.

Gumera ve diğerlerinin 2017 yılında gerçekleştirdikleri bir diğer deneysel çalışma sonucunda darbe yöntemi ile şarj edilen akülerin iç dirençlerinde belirgin bir düşüş tespit etmişlerdir. Darbe uygulanan akülerin şarj deşarj döngülerinin ardından ölçülen iç dirençlerinin grafiği Şekil 2.18’de yer almaktadır.



Şekil 2.18. Karşılaştırmalı akü iç direnç grafiği

Grafikten, akü elektrotlarında bulunan Sülfatın bir kısmının çözüldüğü ve iç direncin kademeli olarak azaldığı anlaşılmaktadır. Elektrolarda bulunan Sülfat molekülleri tepkimelerde aktif madde olarak yer almak üzere tekrar çözeltiye geçmiştir. Akünün iç direnci düşmüş ve sonuçta akü daha iyi şarj tutma kapasitesine sahip olmuş ve performansı artmıştır.

Çalışmanın sonuç kısmında yer alan bilgilere göre Kurşun asit akülerin gerilim darbeleri uygulanarak şarj edilmesi akü ömrünü uzatmaya yardımcı olmaktadır. Bu sistem sabit akım-sabit gerilim yöntemi ile benzer performansa sahiptir ancak darbe yönteminde aküler yaklaşık bir saat daha önce tam şarja ulaşmışlar ve iç dirençleri de kademeli olarak düşmüştür (Gumera vd., 2017b).

Yapılan Literatür taramalarından da anlaşılacağı üzere Kurşun asit akülerin kullanım ömürlerini kısıtlayan başlıca etkenin plakalarda Sülfat kristallerinin birikimi olduğu anlaşılmaktadır. Bu soruna karşı geliştirilmiş olan, akü kutuplarına elektriksel darbe uygulanarak gerçekleştirilen desülfasyon işlemi, etkin ve pratik bir çözüm yöntemidir. Çalışmalarda desülfasyon için en uygun frekans aralığının 2 ile 6 MHz olduğu belirtilmesine rağmen, bu frekans aralığında akülere gerilim darbeleri uygulayarak desülfasyon işlemi gerçekleştiren bir tasarıma veya araştırma bulgusuna rastlanmamıştır. Yapılan bu çalışmanın amacı, yüksek frekanslı darbelerin Kurşun asit akülerin desülfasyonu üzerindeki etkilerinin deneysel olarak araştırılması ve bu konu ile ilgili Literatürde yer alan boşluğun kapatılmasıdır. Bu kapsamda nesnelerin interneti tabanlı bir sistem tasarlanmış ve farklı frekanslardaki elektriksel darbelerin Kurşun asit akülerin desülfasyonu üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyde kullanılan araçlara (3.1) başlığı altında, deneyde uygulanan yöntemlere ise (3.2) başlığı altında yer verilmiştir.

3.1. Deneyde Kullanılan Araçlar

Deneyisel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada kullanılan temel araçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

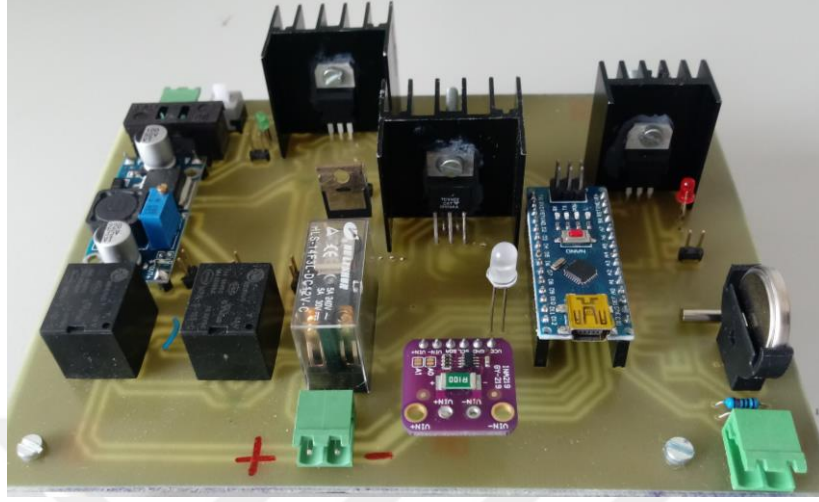
- 1- Her akü grubu için birer adet olmak üzere, toplam dört adet enstrümantasyon devre kartı
- 2- Devre kartlarının tasarlanması için kullanılan EAGLE pcb (baskılı devre kartı) tasarım programı
- 3- Mikro denetleyici modülü için programın yazılmasını ve karta yüklenmesini sağlayan Arduino IDE (bütünleşik geliştirme ortamı) yazılımı
- 4- Arduino nano mikro denetleyicisine ait program kodları
- 5- Raspberry Pi 3B+ IoT kartı
- 6- Raspberry Pi 3B+ içinde yer alan ve PYTHON dilinde yazılmış olan MQTT iletişim programı
- 7- Raspberry Pi 3B+ IoT kartından bilgisayara aktarılan verilerin Wi-Fi üzerinden alınması için PYTHON dilinde yazılmış olan program
- 8- Kullanıcı ara yüz programının yüklü olduğu ve elde edilen verilerin analizlerinin yapılacağı kişisel bilgisayar
- 9- Devrelere güç sağlamak için kullanılan, iki adet laboratuvar güç kaynağı
- 10- Dört adet 12V, 7Ah kuru tip kurşun asit akü

Belirtilen bu araçların temel çalışma prensipleri, bileşenleri ve kullanım amaçları ayrıntılı olarak başlıklar halinde verilmiştir.

3.1.1. Enstrümantasyon devre kartı

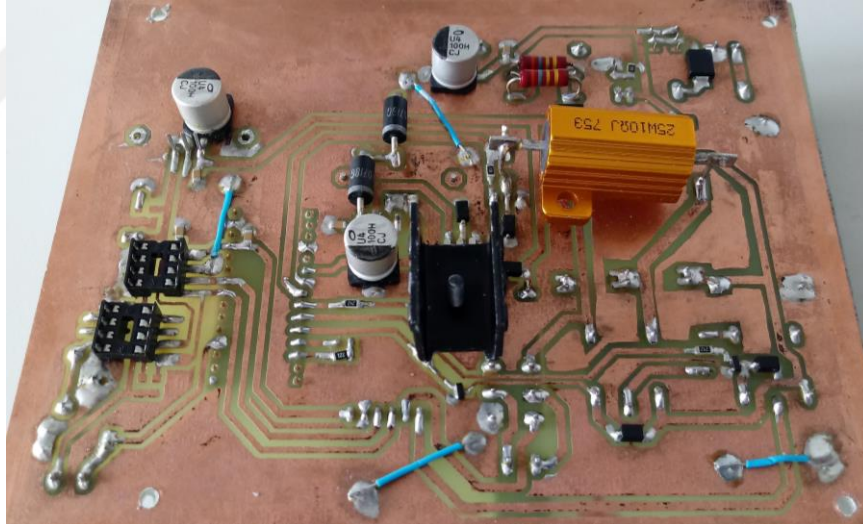
Çalışmada deneysel sürecin gerçekleştirilmesi ve sağlıklı olarak yürütülebilmesi için kullanılan en temel eleman olan enstrümantasyon devrelerinin görevleri; akü parametrelerinin ölçülmesi ve kayıt altına alınması, akünün yüke, boşa, şarja/darbe'ye alınması, akü geriliminin ve akımının belirlenen güvenli sınırlar içinde tutulmasının sağlanması, sensorların ve RTC, INA219 gibi birimlerinin denetlenmesi ile bu birimlerle haberleşerek gerekli verilerin alınması, yapılan ölçümler sonrasında

elde edilen verilerin kayıpsız ve doğru şekilde Raspberry Pi 3B+ IoT modülüne seri iletişim (USART) kullanılarak aktarılması şeklinde sıralanabilir. Aşağıda enstrümantasyon devre kartının üstten görünümü Şekil 3.1’de, alttan görünümü ise



Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Şekil 3.1. Enstrümantasyon devre kartının üstten görüntüsü



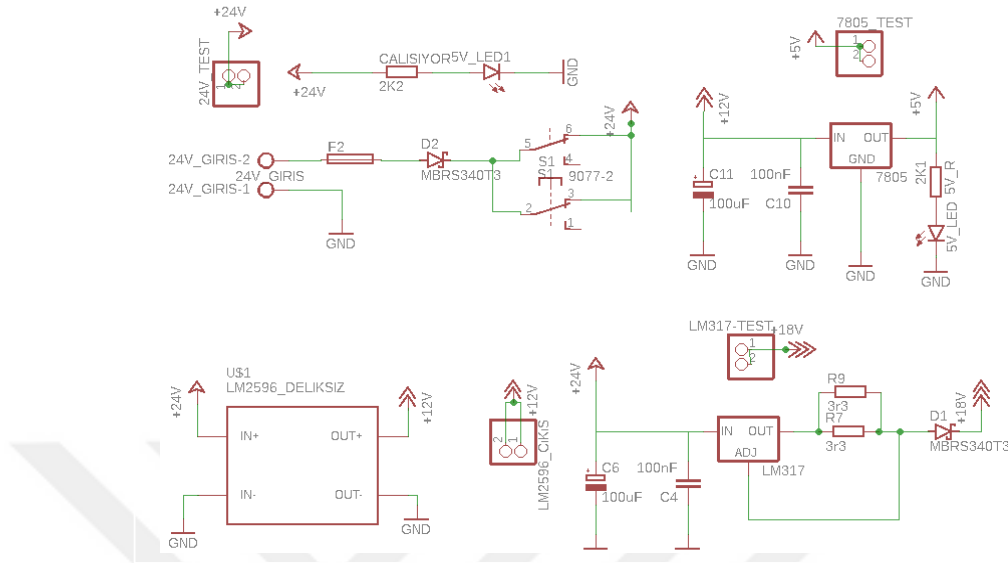
Şekil 3.2. Enstrümantasyon devre kartının alttan görüntüsü

Bu devre kartlarının genel yapısı, bileşenleri ve bu bileşenlerin görevleri ayrıntılı olarak başlıklar halinde verilmiştir.

3.1.2. Güç birimi

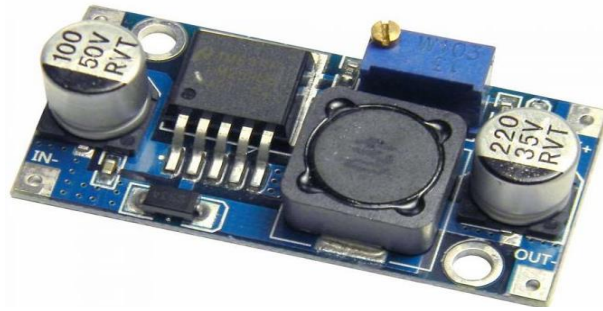
Ölçüm devrelerinde bulunan elemanların, farklı değerlerde güç ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılmaktadır. Güç birimi devre besleme girişine gelen 14,7 Vluk

gerilimi 12V ve 5V olmak üzere iki farklı gerilim değerine dönüştürmektedir. Güç biriminin devre şeması gösterimi Şekil 3.3'te yer almaktadır.



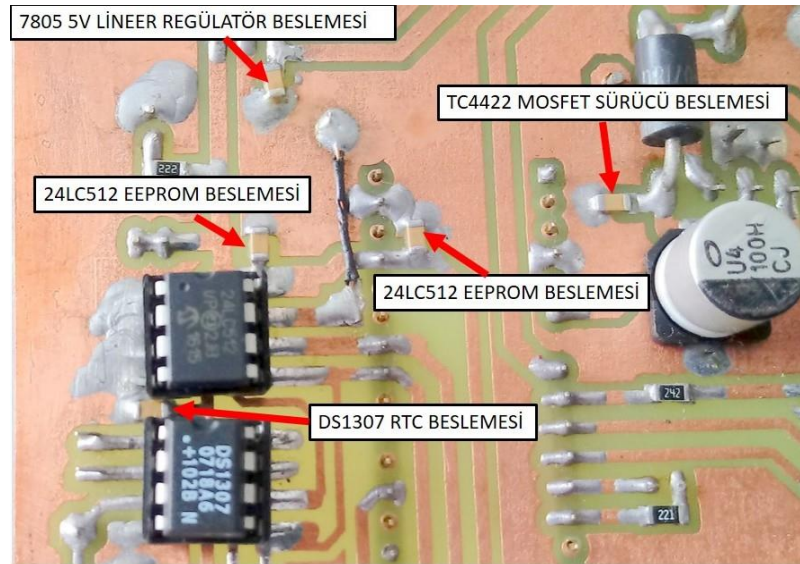
Şekil 3.3. Ölçüm devrelerinde kullanılan güç biriminin devre şeması

Giriş geriliminin 12V'a düşürülmesi amacı ile anahtarlama güç kaynağı olarak çalışması için üzerinde tüm bileşenleri barındıran LM2596 modülü kullanılmıştır. Düşük maliyetli olması, kolay temin edilebilmesi, %80'in üzerinde bir verim ile gerilim dönüşümü yapabilmesi gibi nedenlerden dolayı bu modül tercih edilmiştir. Şekil 3.4'te LM2596 dönüştürücü modülünün görseli yer almaktadır (https://www.mpja.com/LM2596-Step-Down-Adjustable-15-37V-DC_DC-Converter/productinfo/30148%20PS/).



Şekil 3.4. LM2596 anahtarlama gerilim düşürücü modülü

Modül çıkışında elde edilen 12V'luk gerilim, rölelerin bobinlerinin sürülmesi için ve TC4422 MOSFET sürücü entegresinin beslemesi için kullanılmıştır. Ayrıca bu modülden elde edilen 12V'luk gerilim 7805 entegresinin girişine de uygulanmıştır. 78XX serisi doğrusal gerilim dönüştürücü entegrelerinin girişi ve çıkışı arasındaki gerilim farkının yüksek olması, kullanım sırasında entegrenin ısınmasına neden olur. Bu nedenle giriş-çıkış gerilim farkı 1,5V değerine mümkün olduğunca yakın tutulmalıdır ancak 1,5V'daha düşük olmamalıdır. Bu nedenle 7805 entegresinin girişine 14,7V'lık gerilim yerine LM2596 modülünün çıkışından alınan 12V'luk gerilim uygulanmıştır ve 7805 entegresinin çıkışında 5V DA gerilim elde edilmiştir. 5V'luk gerilim ile Arduino nano, INA219 (akımı, gerilimi ve gücü ölçen sensor), DS1307 (RTC), NTC (sıcaklık sensörü), 24LC512 (512 Kb'lik EEPROM) elemanlarının güç beslemesi sağlanmıştır. Bu entegreler besleme girişlerindeki radyo frekans bandındaki parazitlere karşı hassas olduklarından besleme pini ile devrenin GND bağlantısı arasına 100 nF'lık yüzey montaj (SMD) seramik kondansatörler bağlanmıştır. SMD kondansatörlerin besleme pin girişlerine mümkün olduğunca yakın olmasına dikkat edilmiştir. Böylece dışarıdan gelen veya devrenin çalışmasından kaynaklanan RF sinyaller filtrelenmiş entegreler için temiz bir besleme elde edilmiştir (Şekil 3.5).



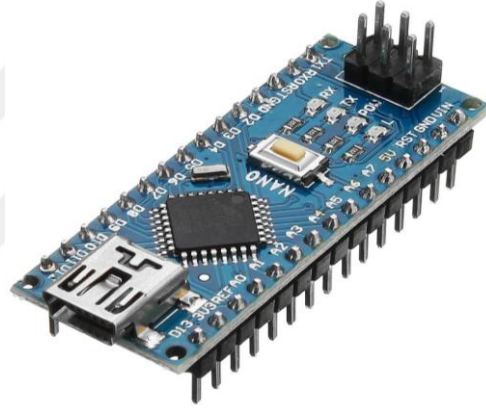
Şekil 3.5. Ölçüm devresinde RF filtre kapasitörlerinin yerleşimleri

3.1.3. Mikrodenetleyici birimi

Bu birim, ölçüm devresindeki tüm işlemlerin programlandığı gibi, güvenli ve doğru şekilde yapılmasından sorumlu olan birimdir. Mikro denetleyicilerin yapılarında

merkezi işlem birimi, rastgele erişimli bellek yani RAM (Random Access Memory), program hafızası yani FLASH, elektriksel olarak yazılıp silinebilen hafıza (EEPROM), giriş-çıkış (I/O) ara birimi gibi bileşenleri barındırır. I/O ara birimi sayesinde elektronik çevre birimleriyle ve entegreler ile uygun şekilde haberleşebilirler. Üzerlerinde bütünleşik olarak analog dijital dönüştürücü (ADA) barındırabilirler. Küçük olmaları, düşük güç tüketimleri, yüksek performansları ve düşük maliyetleri nedeni ile gömülü sistem uygulamalarında sıklıkla tercih edilirler.

Deney ölçüm kartında Arduino firmasının ürettiği Arduino nano mikrodenetleyici modülü kullanılmıştır. Bu modülün görseli Şekil 3.6'da yer almaktadır (https://www.banggood.com/Geekcreit-ATmega328P-Arduino-Compatible-Nano-V3-Module-Improved-Version-No-Cable-Development-Board-p-959231.html?cur_warehouse=CN).



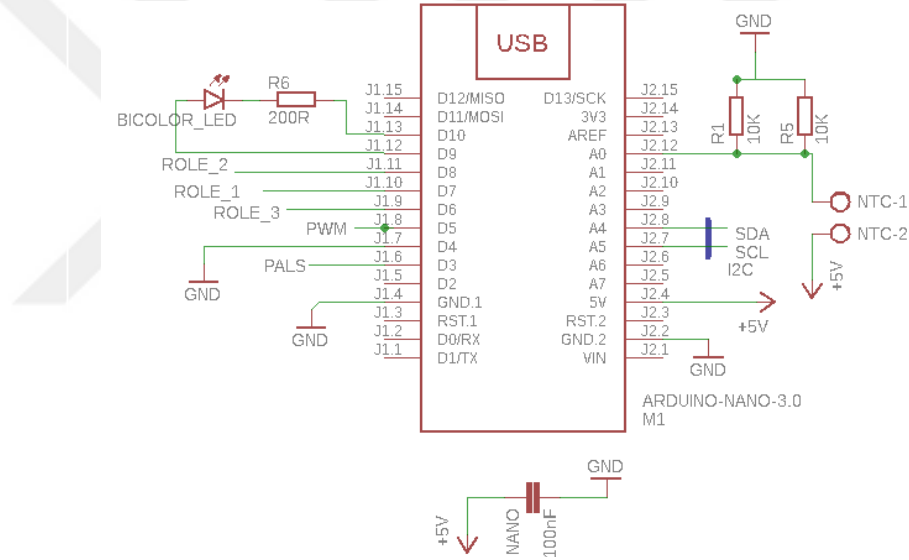
Şekil 3.6. Arduino nano mikrodenetleyici modülü

Bu modül üzerinde ATMEL firmasının ATMEGA328 mikro denetleyicisi kullanılmıştır. Modül üzerinde USB seri dönüştürücü devresi, durum ledleri ve portların bağlı olduğu pin çıkışları yer alır. Bu modülün tercih edilme nedenleri aşağıda verilmiştir:

- Arduino nano modülü sayesinde, bilgisayarlarda standart hale gelen USB arabirimini kullanarak hızlı şekilde program yüklenebilmesi
- Uzun yıllardır kullanılan ve neredeyse standartlaşmış olan C programlama dilini kullanması ve kolay ulaşılabilir açık kaynak kodlu zengin kütüphane içeriğine sahip olması
- USB'den gelen 5V'luk beslemeyi kullandığından harici besleme gerektirmemesi, böylece programlamada ve çalıştırmada kolaylık sağlaması

- Sahip olduğu I2C (inter-integrated circuit) haberleşme birimi sayesinde INA219, DS1307, 24LC512 entegreleri ile sadece iki pin üzerinden iletişim kurabilmesi
- Yapısında bulunan ADA birimi ile analog sinyallerin okunup, işlenmesine olanak sağlaması. Böylece NTC'lerden gelen analog sıcaklık değerinin kolayca okunabilmesi
- I/O portlarının devrede bulunan uyarı ve durum gösteren ledleri sürmeye yetecek kadar akım verebilmesi
- I/O port sayısının ve program hafızasının tasarlanan devre ve yazılan program için yeterli olması

Arduino nano modülüne bağlı olan devre elemanlarının devre şeması Şekil 3.7'de verilmiştir.



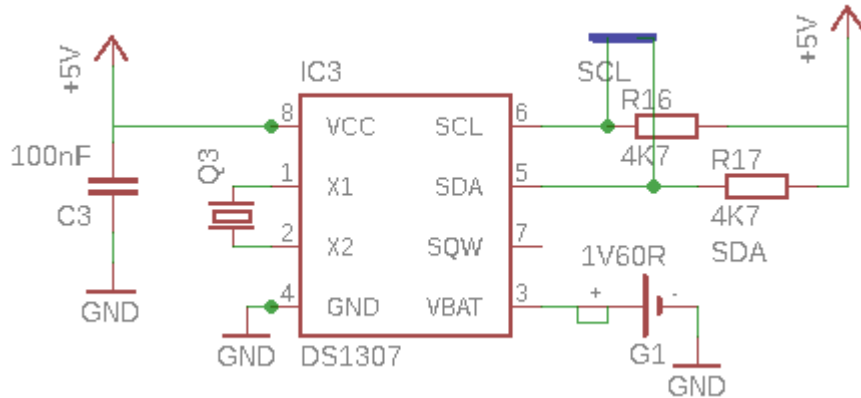
Şekil 3.7. Arduino nano bağlantı şeması

Arduino nano üzerinde bulunan D10 ve D9 portlarına çift renkli led bağlanmıştır. Bu led deney sırasında devrelerin akülere hangi işlemi uyguladığını belirtmek amacı ile kullanılmıştır. D8-D6 portlarına, aküyü yüke, şarja/darbeye, boşa almak için kullanılan röleleri sürececek olan transistörlerin beyzleri bağlanmıştır. D3 portu, mikro denetleyicinin timer 0 birimi ile üretilen yüksek frekanslı pwm sinyallerini mosfet sürücünün girişine yönlendirmektedir. A0 portu ile NTC sıcaklık sensöründen gelen analog sıcaklık verisinin dijitale çevrilmesi için ADA birimine bağlanmıştır. A4 ve A5 portları ise mikro denetleyicinin INA219, DS1307 Vve 24LC512 entegreleri ile

haberleşebilmesi için I2C haberleşme hattına bağlanmıştır. Ayrıca modülün çalışması için gerekli besleme bağlantıları da gerçekleştirilmiştir.

3.1.4. Gerçek zaman takvim birimi

Deney için, elde edilen verilerin zamana bağlı grafikleri çizileceğinden zamanlama işlemlerinin doğruluğu kritik önem taşımaktadır. Bu nedenle ölçüm devrelerinde saat takvim bilgilerinin tutulması ve gerektiğinde ulaşılabilmesi amacı ile I2C haberleşme protokolünü kullanan DS1307 entegresi kullanılmıştır. Bu entegrenin 3 numaralı pinine elektrik kesintisi gerçekleştiğinde saat takvim bilgilerinin saklanabilmesi için harici 3V'luk bir pil bağlanmıştır. Entegrenin I2C 5 ve 6 numaralı haberleşme pinleri Arduino nano birimine bağlıdır. DS1307 RTC entegresi zaman verisini tutabilmek için 32768 Hz'lik bir kristale ihtiyaç duyar. Bu nedenle 1 ve 2 numaralı pinlere 32768 Hz'lik bir kristal bağlanmıştır. Besleme pinlerine ise 5V'luk gerilim bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.8'de ölçüm devrelerinde kullanılan RTC biriminin bağlantıları şematik olarak gösterilmiştir.

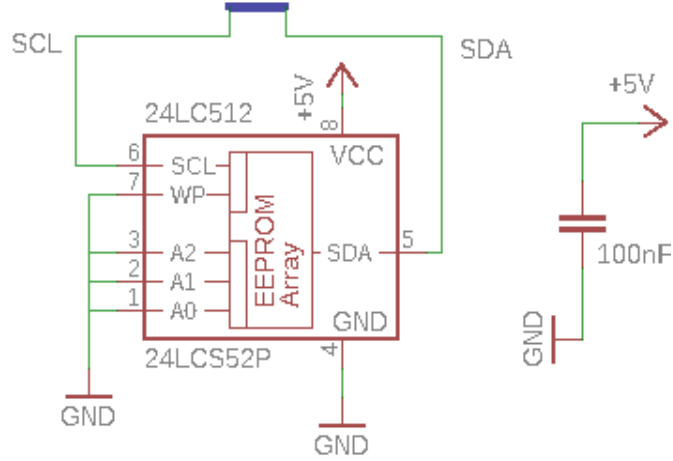


Şekil 3.8. RTC biriminin devre şeması

3.1.5. Eeprom birimi

Ölçüm devrelerinde kullanılan Arduino nano modülü, bünyesinde 512B'lık EEPROM bulundurmasına rağmen bu değer deneyde elde edilecek olan verilerin depolanması için oldukça yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle 512Kb'lık hafızaya sahip olan 24LC512 EEPROM entegresi kullanılmıştır. Bu entegre I2C haberleşme arabirimini kullanarak Arduino nano modülü ile uyumlu çalışır ve mikro denetleyici biriminden gelecek komutlar doğrultusunda içerdiği verileri aktarır veya gelen verileri hafızasında saklar. 24LC512 entegresinin 5 (SDA) ve 6 (SCL) numaralı I2C

haberleşme pinleri Arduino nanonun I2C pinlerine bağlıdır. Entegrenin farklı EEPROM birimleri ile eşzamanlı çalışabilmesi için 1-3 pinleri adresleme pinleri olarak kullanılmaktadır. Ölçüm devrelerinde bir adet EEPROM yeterli olduğundan bu pinlerin tamamı GND'ye bağlanmıştır. Entegre 5V'luk besleme gerilimi ile çalışmaktadır. 24LC512 biriminin devre şeması Şekil 3.9'da yer almaktadır.



Şekil 3.9. EEPROM biriminin devre şeması

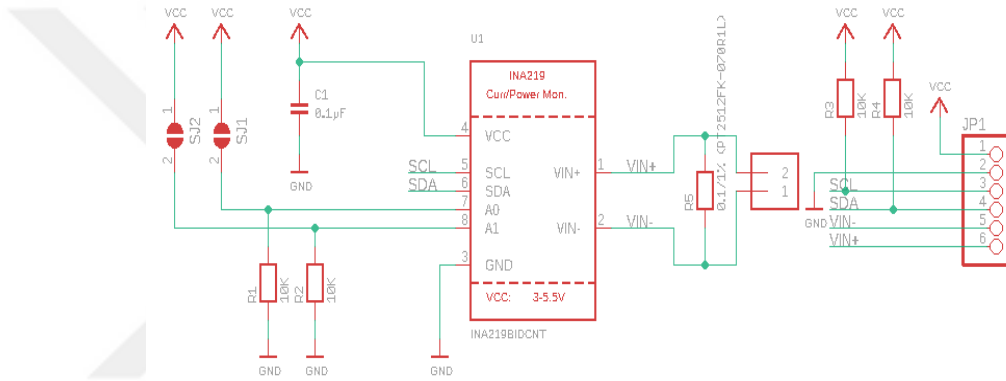
3.1.6. INA219 akım gerilim ve güç ölçüm birimi

INA219 0-26 Volt aralığında 3,2A'e kadar akım ölçebilen I2C haberleşme arabirimini kullanan bir entegredir. Ancak kılıf yapısının küçüklüğü nedeni ile lehimleme sürecinde zorluklar yaşanabileceğinden, hazır modül olarak kullanılması tercih edilmiştir. Bu modül, deneyde akülerin gerilim değerlerini, akülerin deşarj akımlarını, ve yük üzerinde harcadıkları gücü ölçmek için kullanılmıştır. Bu modülün görseli Şekil 3.10'da yer almaktadır(<https://www.ebay.de/itm/GY-219-INA219-I2C-Bi-directional-DA-Current-Power-Supply-Sensor-Breakout-Module-/272503189551>).



Şekil 3.10. INA219 modülü

INA219 entegresi akım, gerilim ve güç ölçümlerinde kullanım kolaylığı sağlamsına rağmen, entegrenin veri kataloğunda da belirtildiği gibi cihaz içerisinde bulunan ADA biriminin tipik örnekleme frekansı 500KHz ($\pm$ %30) civarında olduğundan ölçüm girişlerine 500KHz ve katlarında frekans değerine sahip sinyaller uygulandığında cihaz yanlış ölçüm yapmaktadır. Bazı durumlarda 500KHz ve katlarındaki harmonikler, cihaz içerisinde bulunan ESD(electrostatic discharge) korumasını aktif ederek cihazın kullanılamaz hale gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle ölçüm devrelerinde akülere darbe uygulanması sırasında, akülere uygulanan darbe sinyalleri INA219 modülü üzerinden değil, doğrudan uygulanmıştır. INA 219 modülüne ait prensip şeması Şekil 3.11’de yer almaktadır.

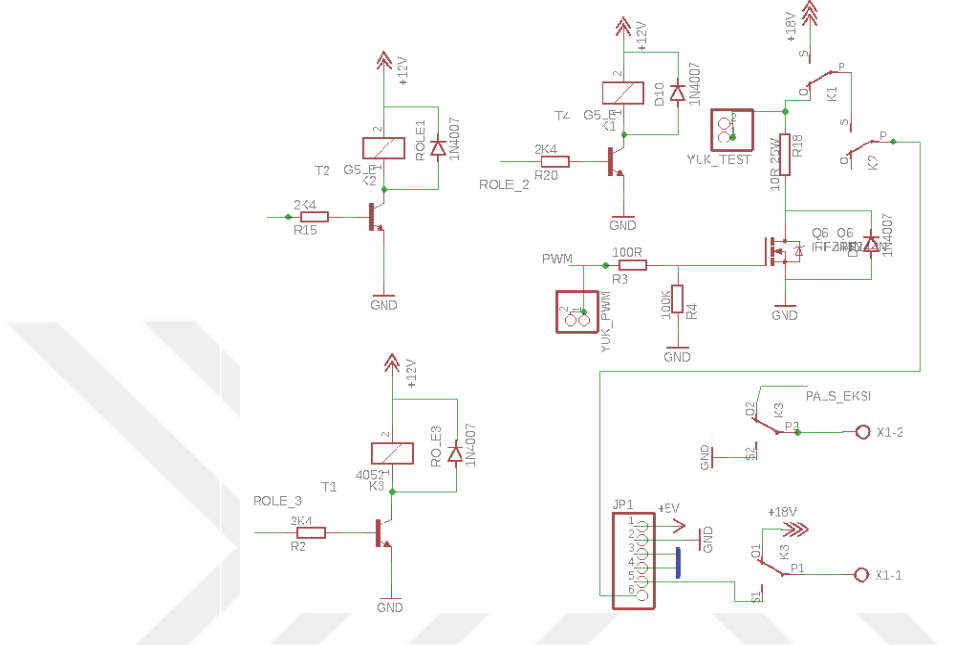


Şekil 3.11. INA219 modülü prensip şeması

3.1.7. Röleler ve konektörler

Ölçüm devre kartlarında, belirli aralıklarla akülerin iç dirençlerini ölçmek için akülerin yüke bağlanması, akülerin kendiliğinden kaybettikleri şarj miktarının belirlenmesi için akülerin boşa tutulması ve akülerin şarj konumuna alınması için röleler kullanılmıştır. 12V'luk üç adet rölenin sürülmesi için MMBT5551 transistor kullanılmıştır. Transistorların beyzlerine akımı sınırlamak amacı ile 2,4 K Ω 'luk direnç bağlanmıştır. Rölelerin komutasyonu sırasında oluşan kısa süreli gerilim yükselmelerinden transistorları ve röle bobinlerini korumak amacı ile bobinlerine paralel olarak 1N4007 diyotları bağlanmıştır. Yukarıda, INA219 modülünün ayrıntılı anlatıldığı bölümde de belirtildiği üzere darbe uygulanan akülere, darbe sinyalleri INA219 modülünü korumak amacı ile doğrudan uygulanmıştır. Bu nedenle darbe uygulayarak aküleri şarj eden devrelerin röle bağlantıları, sadece 14V DA gerilim uygulayarak aküleri şarj eden ölçüm devresinin bağlantılarından kısmen farklıdır.

Bunların yanı sıra, her komütasyondan sonra oluşabilecek gerilim dalgalarının sönümlenmesi ve sistemin görece stabil hale gelmesi için 300 milisaniye beklendikten sonra işlemler gerçekleştirilmiştir. Bu da yazılımda gerçekleştirilen bekleme ile sağlanmıştır. 14V DA ile şarj gerçekleştiren referans devresine ait röle ve konektör bağlantılarını içeren elektriksel devre şeması Şekil 3.12’de yer almaktadır.



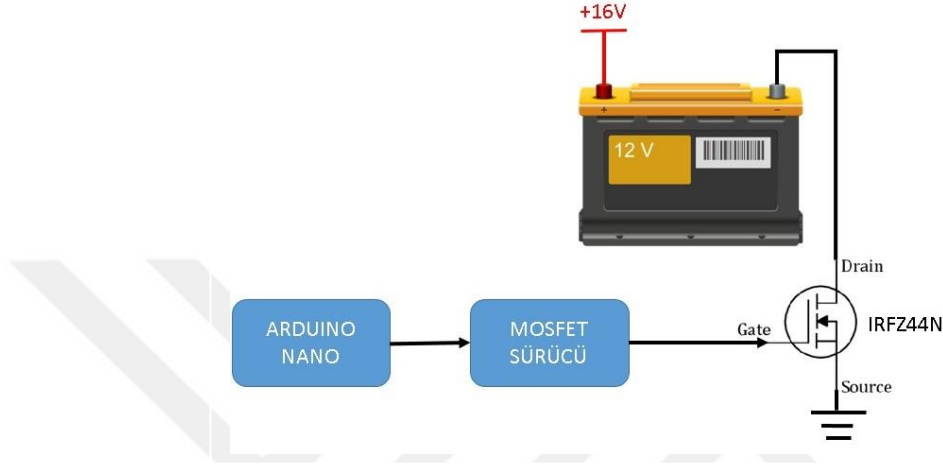
Şekil 3.12. Referans ölçüm kartına ait röle ve konektör bağlantıları devre şeması

3.1.8. Darbe devresi

Darbe devresi, akülerin kutuplarında biriken sülfat kristallerinin yeniden çözeltiye kazandırılması için gerekli olan elektriksel gerilim darbelerini üretmek amacıyla kullanılmıştır. Akülerin kutuplarına uygulanan yüksek frekanslı elektriksel darbelerin üretilmesi için Arduino nano modülü içerisinde bulunan Timer0 zamanlayıcı birimi kullanılmıştır. Bu zamanlayıcı birimi kullanılarak 100KHz, 1MHz ve 2MHz’lik %50 görev periyoduna sahip, tepe değeri 5V olan kare dalga sinyalleri elde edilmiştir. Bu frekans değerlerinin elde edilebilmesi için Arduino nano programı içinde “Timer0.h” kütüphanesi kullanılmıştır.

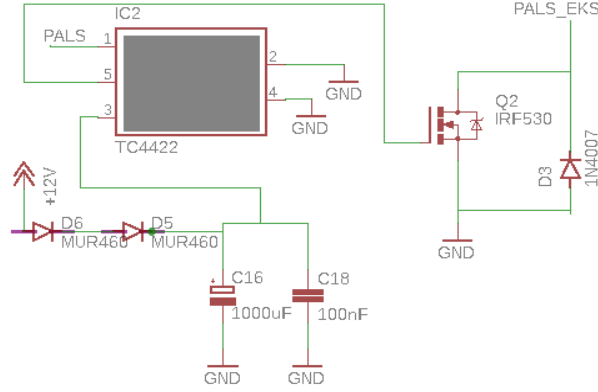
Elde edilen yüksek frekanslı sinyaller TC4422 MOSFET sürücüsüne iletilerek MOSFET sürücünün çıkışına bağlı olan IRF530 N kanal MOSFET’in sürülmesi sağlanmıştır. MOSFET’in çok kısa sürelerde açılıp kapanması gerektiğinden MOSFET sürücü kullanılmıştır. Ayrıca yüksek frekanslarda anahtarlama yapabilme özelliğinden dolayı IRF530 MOSFET modeli tercih edilmiştir. Bir MOSFET’in hızlı anahtarlama yapabilmesi için yapısında bulunan C_{iss} , C_{oss} ve C_{rss} kapasitans

değerlerinin mümkün olduğunca küçük olması gerekmektedir. Ancak bu kapasitans değerleri düştükçe MOSFET'in iletebileceği en yüksek akım değeri ve MOSFET'in gerilim değerleri de düşmektedir. Ölçüm devrelerinde akülere yüksek değerlerde akım ve gerilim uygulanmayacağından ve IRF530 MOSFET'in yüksek frekanslarda anahtarlama yapabilme kabiliyetinden dolayı bu model tercih edilmiştir. Darbe devresinin prensip şeması Şekil 3.13'de yer almaktadır.



Şekil 3.13. Darbe üretici devresinin prensip şeması

Darbe devresinde MOSFET sürücü entegresinin besleme gerilimi aralığı 4,5V ile 18V arasında olmasına rağmen 10V ve üzeri gerilimlerde besleme uygulandığında ısınma sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle besleme girişi LM2596 modülünün 12V'luk çıkışından alınmış ve iki adet MUR460 diyot kullanılarak besleme gerilimi yaklaşık 10,6V'a düşürülmüştür. Böylece yüksek frekanslarda anahtarlama yapılırken ısınma probleminin de önüne geçilmiştir. TC4422 MOSFET sürücüsünün besleme girişinde stabil gerilim elde etmek için 100 μ F'lık kutuplu kondansatör ile 100nF'lık kutupsuz seramik kondansatör besleme ile toprak arasına paralel olarak bağlanmıştır. MOSFET sürücünün çıkışından alınan sinyal IRF530 MOSFET'ine iletilmiştir. Bu MOSFET'i ani gerilim yükselmelerinden korumak amacı ile MOSFET'in gate'i ile drain'i arasına paralel olarak 1N4007 koruma diyotu bağlanmıştır. Darbe devresinin elektriksel şeması Şekil 3.14'te yer almaktadır.



Şekil 3.14. Darbe devresinin elektriksel şema gösterimi

3.1.9. EAGLE baskı devre çizim programı

EAGLE pek çok uzman firma tarafından kullanılan, çok geniş elektronik malzeme kütüphanesine sahip, elektronik devrelerin prensip şemasının yanı sıra baskı devre kartlarının çiziminin de yapılabileceği gelişmiş bir bilgisayar destekli çizim programıdır. Bu program ayrıca çizilen elektronik kartların üç boyutlu görsellerini de oluşturmada kullanılabilmektedir. Bunu yanı sıra kütüphane içerisinde bulunamayan veya yeni tasarlanmış olan bir komponent için yeni kütüphane oluşturma ve kullanma imkânına da sahiptir. Çalışmada ölçüm devrelerinin tasarlanmasında ve kartların baskı devrelerinin çiziminde EAGLE baskı devre tasarım programından yararlanılmıştır.

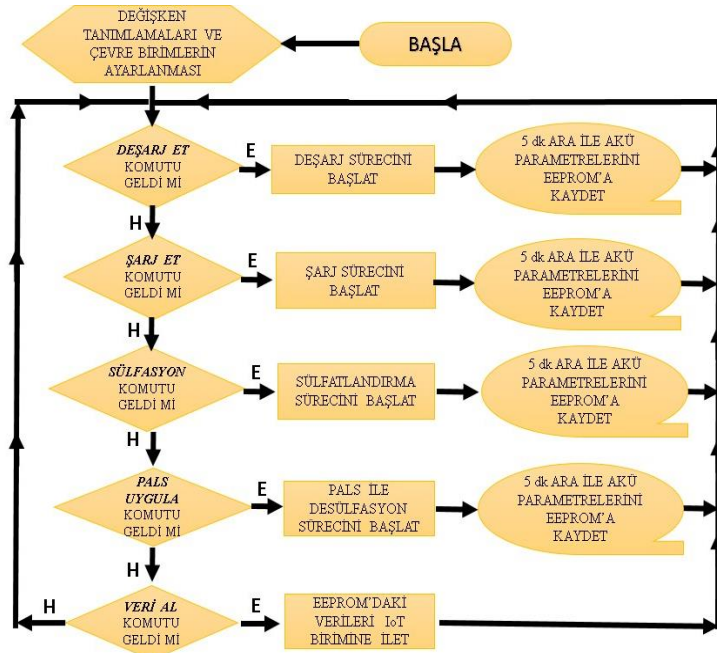
3.1.10. Arduino IDE programı

Arduino IDE, Windows, Linux ve Mac OS ortamlarında çalışabilen, Arduino modülleri için C veya C++ dillerinde program geliştirmeye olanak sağlayan ve yazılan bu programların Arduino modüllerinin program hafızalarına yüklenmesini sağlayan ücretsiz bir bütünleşik geliştirme ortamı yazılımıdır. Arduino IDE Arduino modüllerinin yanı sıra ESP8266, ESP32 gibi IoT modülleri için de program yazılmasına ve bu modüllerin program hafızalarına Arduino IDE programı aracılığı ile program yüklenmesine olanak sağlar. Bunun yanı sıra açık kaynak kodlu ve zengin kütüphane içeriğine sahip olması da çalışmada bu platformun tercih edilme nedenleri arasındadır.

3.1.11. Arduino nano mikro denetleyicisine ait program kodları

Ölçüm devrelerinde deneylerin gerçekleştirilmesi, ölçümlerin yapılması ve kayıt altına alınması, istendiğinde Raspberry Pi aracılığı ile bilgisayar ortamına

aktarılması gibi işlemlerin tamamı Arduino nano modülü içerisinde bulunan program aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Mikrodenetleyici programı çevre birimler ile iletişimin sağlanması, alınan verilerin EEPROM'a kaydedilmesi, zaman bilgisinin okunması, akülerin röleler aracılığı ile şarja/darbe'ye alınması, boşta tutulması, yüke alınması gibi işlemlerin tamamı mikrodenetleyici programı ile gerçekleştirilmektedir. Bu programın akış diyagramı Şekil 3.15'te verilmiştir. Ana programa ait Arduino kodları Ek 1'de yer almaktadır. Arduino nano programı genel olarak, kullanıcıdan gelen komutları uygular ve istendiğinde verileri IoT birimine iletir. Bu programın işlevleri; şarj/deşarj sürecini başlatma, akü sülfatlandırma sürecinin ve darbe ile desülfasyon sürecinin uygulanması ve belirli aralıklarla kayıt altına alınmış olan akü parametrelerinin EEPROM'dan okunarak IoT birimine iletilmesi şeklinde sıralanabilir.



Şekil 3.15. Arduino nano programının akış diyagramı

3.1.12. Raspberry Pi 3B+ IoT kartı

Raspberry Pi okullarda bilgisayar temelli eğitimi geliştirmek amacı ile İngiltere'deki Raspberry Pi vakfı tarafından geliştirilen, kredi kartı büyüklüğünde, içerisine çeşitli Linux ve Android dağıtımları kurulabilen, ARM tabanlı mimariye sahip mini bir bilgisayardır. Raspberry Pi ve benzeri kartlar, nesnelerin interneti (IoT) kartları olarak nitelendirilirler. IoT kavramı, yapısında alıcılar ve çıkış birimleri içeren

cihazların internete bağlanmasını sağlayan cihazlar anlamına gelir. Bunun yanı sıra IoT kavramına, sağlık takip cihazları, kablosuz olarak haberleşebilen sensör ağları ve benzeri sistemler de dahildir (Fremantle vd. 2014). IoT kartları, Kablosuz ağlar üzerinden iletişim için kullanılabilirler. Kablosuz ağlar son birkaç yıl içerisinde veri izleme, ulaşım, otomasyon ve kaynakların yönetimi gibi alanlarda sıklıkla tercih edilen bir teknoloji haline gelmiştir (Hunkeler, Truong, ve Stanford-Clark 2008). Nesnelerin interneti tabanlı cihazlar makinelerle arası (machine to machine) haberleşme amacı ile MQTT (message queue telemetry transport) veya CoAP (Constrained Application Protocol) gibi protokoller kullanılır (Hunkeler, Truong, ve Stanford-Clark 2008). Bu nedenle bu çalışmada elde edilen akü parametrelerinin internet üzerinden kullanıcı bilgisayarına aktarılması için MQTT protokolü tercih edilmiştir. MQTT protokolü yapısında üç temel bölüm yer alır. Bunlar; Mosquitto Sunucusu, yayınlama (publish) ve abone olma (subscribe) hizmetlerini ve MQTT kütüphanesini içerir (A Light, 2017). Bunların yanı sıra Mosquitto, MQTT ve CoAP protokolleri arasında performans karşılaştırması yapılmasına izin vermektedir (A Light, 2017). Mosquitto, büyük çaplı sistemlerde kullanım için araştırma çalışmalarını destekler. Bu sayede, MQTT protokolü akıllı şehir yapılanmalarında (A Light, 2017)(A Light 2017)(A Light 2017) kullanılabilir (A Light, 2017). MQTT ayrıca çevresel takip sistemlerinde de kullanılan bir iletişim protokolüdür (Bellavista, Giannelli, ve Zamagna 2017). MQTT protokolü Ayrıca, gerçekleştirilen bilimsel deneyler sırasında harici etkilerin en aza indirgenmesi amacı ile sistemlerin uzaktan denetlenmesi için de kullanılmaktadır (Schulz, Chen, ve Payne 2014). Bu nedenle, ölçüm devrelerinden elde edilen verilerin Wi-Fi aracılığı ile bilgisayar ortamına aktarılması için bir IoT kartı olan Raspberry Pi tercih edilmiştir. Farklı kullanım ihtiyaçlarına yönelik olarak, farklı özelliklere sahip birçok Raspberry Pi modeli üretilmiştir. Bu çalışmada Raspberry Pi 3B+ modeli kullanılmıştır. Bu modelin yapısında barındırdığı donanımlar ve bu donanımların temel özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Üzerinde Broadcom BCM2837B0 işlemcisi yer alır. 64 bitlik bu işlemci Cortex-A53 (ARMv8) mimarisine sahiptir ve 1.4GHz saat frekansında çalışabilir. İşlemci için uygun soğutma şartları sağlanırsa, işlemciye hız aşırma işlemi uygulanabilir.
- Kart üzerinde 1GB LPDDR2 SDRAM yer alır. Bu RAM internete bağlanma, ofis programları gibi basit uygulamalar için yeterlidir.

- İnternet'e kablosuz bağlanmayı sağlayan 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac kablosuz ağ birimine ve Bluetooth'a sahip cihazlar ile iletişim kurabilmek için Bluetooth 4.2, BLE modülüne sahiptir.
- USB 2.0 kanalını kullanan ve 300Mbps veri aktarım hızına ulaşabilen gigabit Ethernet birimine sahiptir.
- 40 adet giriş-çıkış pinine sahiptir. SPI, IIC, UART, ADA gibi birimler bu pinler aracılığı ile kullanılmaktadır.
- Görüntü arabirimi olarak, HDMI portu kullanılır.
- Dört adet USB 2.0 portu bulunur.
- Karta kamera bağlamak için kamera portu bulunur. Ayrıca dokunmatik LCD ekran bağlamak için display portu bulunur.
- Üzerinde stereo ses çıkışı sağlayan, ses çıkış konektörü vardır.
- Kartın alt kısmında, işletim sisteminin ve programların yüklendiği mikro SD (secure digital) kart soketi bulunur.
- Raspberry Pi kartlarına güç aktarımı için 5V/3A DA güç girişi kullanılır.

Şekil 3.16'de Raspbbery pi 3B+ model IoT kartı yer almaktadır(<https://market.samm.com/raspberry-pi-3-b-plus>).

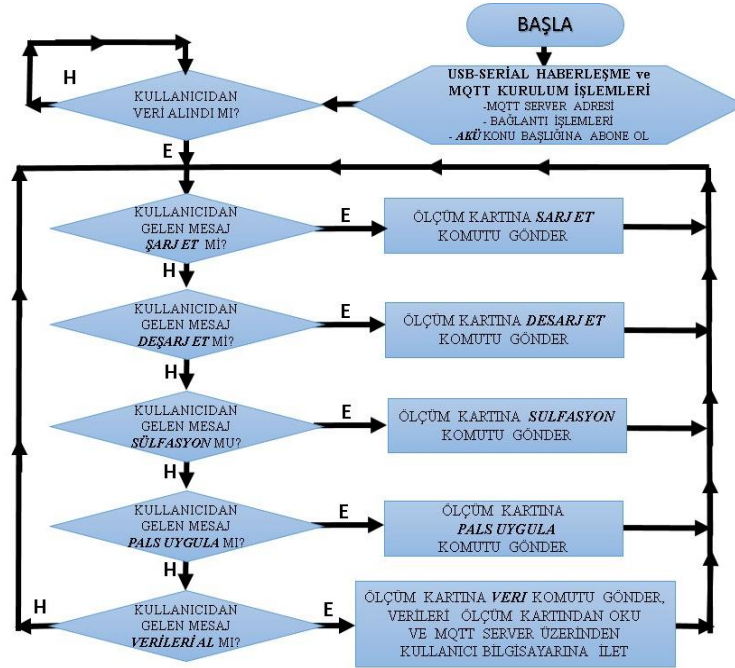


Şekil 3.16. Raspberry Pi 3B+ IoT kartı

3.1.13. Raspberry Pi programı

Enstrümantasyon devrelerinin gerçekleştirdiği ölçümlerden elde edilen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması için Raspberry Pi IoT kartı kullanılmıştır. Veriler bilgisayar ortamına Raspberry Pi yapısında bulunan Wi-Fi birimi aracılığı ile kablosuz olarak iletilmiştir. İletişim ve ara yüz programının geliştirilmesi için PYTHON programlama dili kullanılmıştır. MQTT protokolünü destekleyen

kütüphanesi, grafik tabanlı kullanıcı ara yüzü geliştirilebilmesi, Raspberry Pi IoT kartının giriş-çıkış portlarının kontrolünün yapılabilmesi, kolay ve hızlı program geliştirilebilen ara yüze sahip olması gibi özelliklerinden dolayı PYTHON programlama dili tercih edilmiştir. Kullanıcı ara yüz programı PYTHON programlama dilinin 3.7 versiyonu kullanılarak geliştirilmiştir. Ölçüm kartından alınan akü parametrelerinin internet üzerinden kullanıcı bilgisayarına aktarılabilmesi için MQTT protokolü kullanılmıştır. Raspberry Pi programının akış diyagramı Şekil 3.17’de verilmiştir. Programa ait PYTHON dilinde yazılmış olan kodlar ise Ek 2’de yer almaktadır. Raspberry Pi programında öncelikle MQTT protokolünün kullanımı ve USB – seri iletişim için gerekli kurulum ve tanımlama işlemleri yapılır. Ardından kullanıcı bilgisayarından gelen komutlar doğrultusunda ölçüm kartına gerekli veriler USB portu üzerinden iletilir. Kullanıcı akü parametrelerini bilgisayarına indirmek istediğinde ise program ölçüm kartından verileri talep eder, ölçüm kartından gelen verilerin tamamını okuduktan sonra veriler bir dizi değişkenine atanır ve MQTT protokolü kullanılarak internet üzerinden uzaktaki kullanıcı bilgisayarına aktarılır.



Şekil 3.17. Raspberry Pi programına ait akış diyagramı

3.1.14. PYTHON dilinde yazılmış olan bilgisayar ara yüz programı

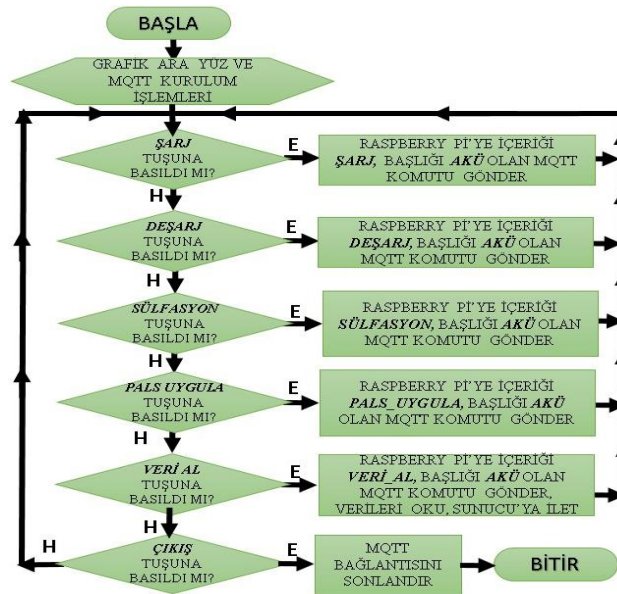
Kullanıcı ara yüz programı, kullanıcının akü ölçüm kartına internet üzerinden erişebilmesine olanak sağlar. Böylece aküyü şarj/deşarj etme, aküye darbe uygulama, aküye sülfasyon işlemi uygulama gibi süreçlerin kontrolü uzaktan sağlanabilmektedir.

Bunların yanı sıra, ölçüm kartının belirli aralıklarla yaptığı ölçüm verileri de bu ara yüz kullanılarak internet üzerinden kullanıcı bilgisayarına aktarılabilir. Bu program ayrıca, akü verilerinin analizini yapmak ve akü parametrelerinin zamana göre değişim grafiklerini çizebilmek için ölçüm kartından gelen verilerin düzenlenerek Microsoft excel programına aktarılmasına da olanak sağlar. Kullanıcı ara yüz programının ekran görüntüsü Şekil 3.18’de yer almaktadır.

ZAMAN	SICAKLIK	I-DEŞARJ	V-DEŞARJ	I-ŞARJ	V-ŞARJ	V-BOŞ	İÇ DİRENÇ
15:39	2427	-2465	1263	19	1272	1270	68
15:45	2419	-2464	1260	14	1266	1265	62
15:51	2696	-2460	1256	16	1264	1263	64
15:57	2417	-2460	1256	15	1263	1262	64
16:03	2569	-2460	1256	15	1263	1262	60
16:09	2393	-2460	1255	15	1262	1261	62
16:15	2395	-2458	1254	16	1262	1261	64
16:21	2395	-2456	1254	16	1262	1260	62
16:27	2385	-2456	1254	16	1261	1260	64
16:33	2387	-2454	1254	15	1260	1260	64
16:39	2395	-2454	1254	16	1261	1259	64
16:45	2439	-2456	1255	17	1262	1262	62
16:51	2381	-2454	1255	17	1262	1261	64
16:58	2375	-2456	1256	19	1263	1262	65
17:04	2389	-2456	1255	17	1263	1261	62
17:10	2369	-2456	1255	18	1263	1261	62
17:16	2363	-2460	1255	18	1263	1262	62
17:22	2355	-2460	1255	18	1262	1261	62
17:28	2365	-2458	1254	17	1262	1261	64
17:34	2415	-2458	1254	17	1262	1261	64
17:40	2383	-2456	1254	16	1262	1261	62
17:46	2391	-2458	1254	17	1262	1261	62

Şekil 3.18. Kullanıcı ara yüz programının ekran görüntüsü

Kullanıcı ara yüz programı için PYTHON programlama dili kullanılmıştır. Kullanıcı ara yüz programı önce MQTT bağlantı işlemlerini gerçekleştirir. Ardından kullanıcı ara yüzü oluşturulur. Program kullanıcıdan gelen komutlar doğrultusunda işlem yapmak için döngüye girer ve işlemler kullanıcı çıkış tuşuna basana kadar devam eder. Kullanıcı ara yüz programının akış diyagramı Şekil 3.19’da yer almaktadır.



Şekil 3.19. Kullanıcı ara yüz programının akış diyagramı

3.1.15. Kişisel bilgisayar

Kişisel bilgisayar, kullanıcı ara yüz programının çalıştırılması ve ölçüm devrelerinden elde edilen bilgilerin excel programına aktarılarak grafiklerinin çizilmesi ve analizlerinin yapılması amacı ile kullanılmaktadır.

3.1.16. Laboratuvar güç kaynağı

Deneyde kullanılan enstrümantasyon devrelerine güç sağlamak için iki adet laboratuvar güç kaynağı kullanılmıştır. Ölçüm kartlarının aşırı akım çekmelerini önlemek için laboratuvar güç kaynakları akım sınırlama özelliğine sahip olacak şekilde seçilmiştir. Kullanılan her kaynakta iki adet olmak üzere, gerilim ve akım değerleri ayarlanabilen çıkış vardır. Akülere darbe uygulayarak desülfasyon gerçekleştiren devre kartlarının girişlerine 14,7 volt değerinde DA gerilim uygulanmıştır.

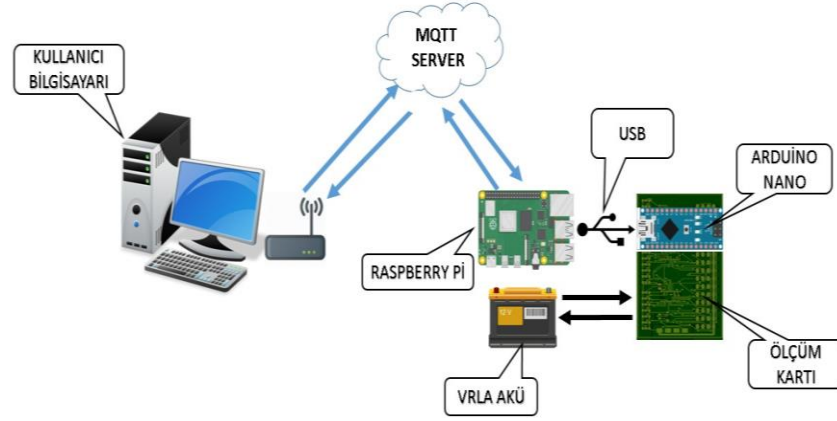
3.1.17. Kurşun asit aküler

Deney sırasında 12V'luk nominal gerilim değerine sahip, 7Ah akım kapasiteli, dört adet VRLA akü kullanılmıştır.

3.1.18. Tüm deney sisteminin iletişim prensibi

Farklı frekansların, Kurşun asit akülerin desülfasyonu üzerindeki etkilerinin incelenmesi için tasarlanmış olan bu sistemin temel çalışma prensibi aşağıda yer almaktadır.

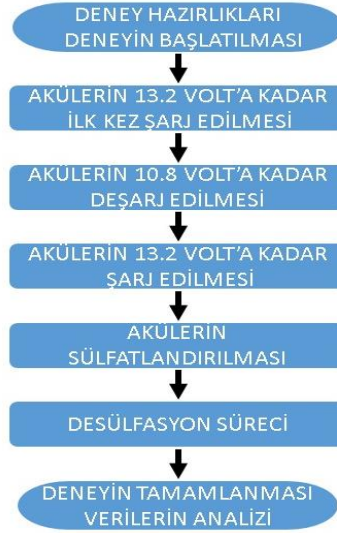
- Kullanıcı komutları, internet üzerinden MQTT sunucusuna iletilir.
- MQTT sunucusu kendisine gelen komutları Raspberry Pi modülüne iletir.
- Raspberry Pi modülü kullanıcıdan gelen komutu USB aracılığı ile ölçüm kartına iletir.
- Ölçüm kartı Raspberry Pi biriminden gelen komuta göre işlem yapar.
- Kullanıcı veri talep etmiş ise veri akışı tersine olacak şekilde ölçüm verileri kullanıcıya iletilir. Tüm sistemin bileşenlerinin yer aldığı temel çalışma prensibini ifade eden prensip şeması Şekil 3.20'de yer almaktadır.



Şekil 3.20. Deney sisteminin prensip şeması

3.2. Deney Sürecinde Uygulanan Yöntem

Deney sürecinde önce dört adet kuru tip VRLA akü gerilim değerleri 13.2 volt olana kadar 13.8 voltluk sabit DA gerilim ile şarj edilmiştir. Ardından, deney öncesindeki ve sonrasındaki akım verebilme kapasitelerinin karşılaştırılabilmesi için akü gerilimleri 10.8 volta ulaşana kadar 50 ohm'luk dirençlere bağlanarak yüke alınmıştır. Deşarjın işleminin ardından aküler tekrar 13.2 volt gerilim değerine ulaşana kadar 13.8 voltluk DA gerilim ile şarj edilmişlerdir. Daha sonra akülerin sülfatlandırma süreçleri başlatılmıştır. Bu süreç akülere belirli aralıklarla şarj/deşarj işlemi uygulayarak akülerin sülfatlanmasını ve iç dirençlerinin artmasını sağlamak için uygulanmıştır. Akülerin iç dirençleri belirli bir düzeye ulaşınca bu işlem durdurulmuş ve akülerin desülfasyon süreçleri başlatılmıştır. Desülfasyon aşamasında referans akü DA 13.8 V ile şarj edilmiştir. Diğer aküler ise sırası ile 100KHz, 1 MHz ve 2 MHz'lik frekans değerlerine, %50 darbe genişlik oranına sahip, 13.8 volt genlikli gerilim darbeleri uygulanarak şarj edilmiştir. Deneyde uygulanan tüm süreçlerde akü parametreleri belirli aralıklarla ölçülerek ölçüm kartının EEPROM'una kaydedilmiştir. Daha sonra bu veriler analizleri yapılmak üzere internet üzerinden kullanıcı bilgisayarına aktarılmıştır. Deney aşamalarının ayrıntılı anlatımı maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır. Deneyde uygulanan tüm aşamalarının yer aldığı akış şeması Şekil 3.21'de yer almaktadır.



Şekil 3.21. Deney sürecinin akış şeması

3.2.1. Akülerin şarj edilmesi

Bu aşamada, deneyin eşit şartlar altında sürdürülmesi ve verilerin objektif şekilde karşılaştırılabilmesi için aküler eşit şartlarda şarj edilmiştir. Aküler 13.8 voltluk sabit gerilim ile şarj edilmiştir. Bu işleme akülerin boştaki gerilim değerleri 13.2 volta ulaşana kadar devam edilmiştir.

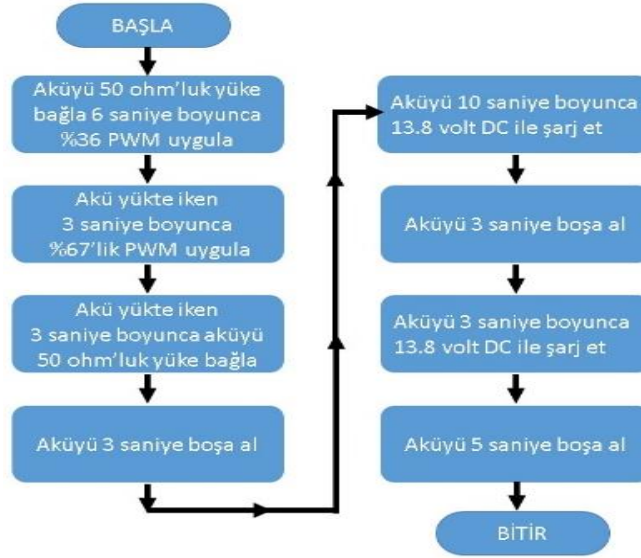
3.2.2. Akülerindeşarj edilmesi

Akülerin ilk kez şarj edilmelerinin ardından akülerin akım verebilme kapasitelerini ölçmek amacı ile aküleredeşarj işlemi uygulanmıştır. Aküler bu süreçte 50 ohm'luk dirençlere bağlanmış ve gerilimleri 10.8 volt'a düşene kadardeşarj edilmiştir. VRLA akülerdedeşarj süresi akünün akım verebilme kapasitesi ile doğru orantılı olduğundan akım kapasitesini belirlemek amacı iledeşarj işlemi uygulanmıştır.

3.2.3. Sülfasyon süreci

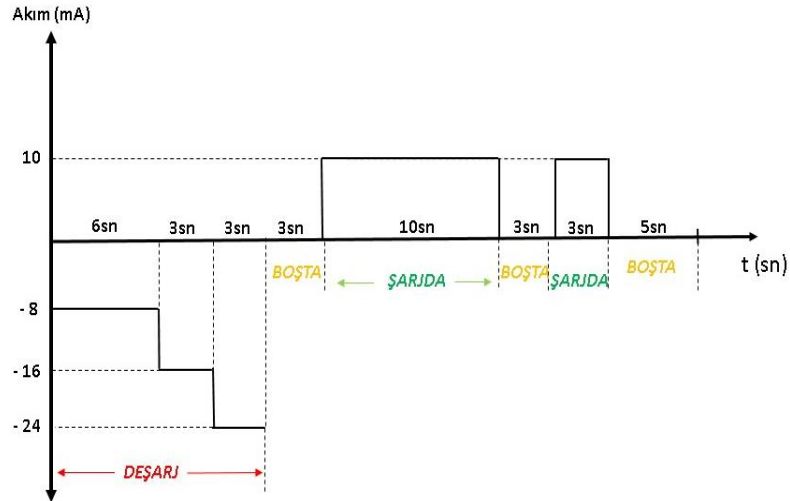
Deneyde kullanılan aküler iç dirençlerinin artması ve plakaların sülfatlanması amacı ile sülfasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem Lam ve arkadaşlarının 2004 yılında yayınladıkları çalışma referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Kurşun asit akülerin sülfatlanması için aküler belirli aralıklar ile şarj/deşarj işlemi uygulayan bir sürece tabi tutulmuşlardır. Süreç sonunda akülerde, sülfat kristallerinin oluşumunun belirtisi olan akü iç direncinde artış ve akım kapasitesinde azalma

gözenmiştir. Sülfatlandırma sürecinde akülere uygulanan işlemlerin akış diyagramı Şekil 3.22’de yer almaktadır.



Şekil 3.22. Sülfatlandırma süreci akış diyagramı

Akü plakalarında sülfat kristallerinin oluşması için uygulanan parçalı şarj/deşarj döngüsünde, akımın zamana göre değişim grafiği Şekil 3.23’de yer almaktadır.

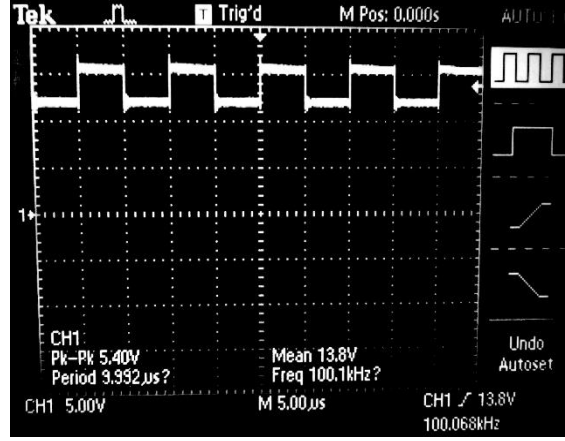


Şekil 3.23. Sülfatlandırma sürecinde akü akımının zamana göre değişimi

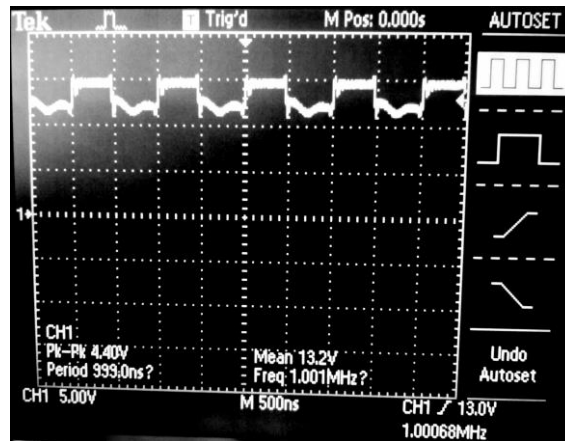
3.2.4. Akülerin desülfasyon süreci

Akülerin plakalarında birikmiş olan Sülfat kristallerinin, plakalardan sökülerek akü çözeltisine yeniden kazandırılması işlemine desülfasyon denir. Deney sürecinde, farklı frekans değerlerine sahip gerilim darbelerinin Kurşun asit akülerin desülfasyonu üzerindeki etkilerinin araştırılması için, referans aküsü dışındaki akülere sırası ile

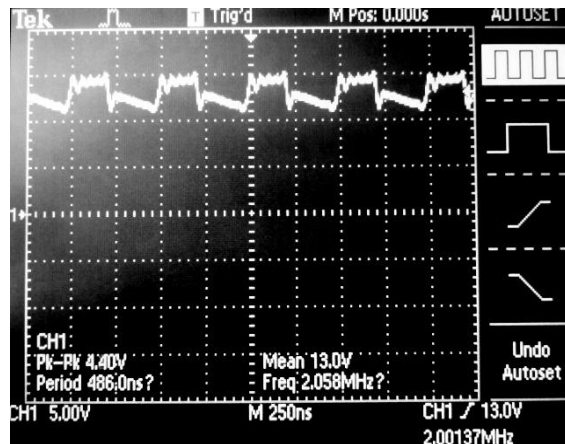
100KHz, 1 MHz ve 2 MHz'lik gerilim darbeleri uygulanarak desülfasyon işlemi uygulanmıştır. Akülerin kutupları arasındaki gerilimlerinin osiloskop görüntüleri, Şekil 3.24, Şekil3.25 ve Şekil 3.26'da yer almaktadır.



Şekil 3.24. 100KHz'lik darbe uygulanan akünün gerilimi

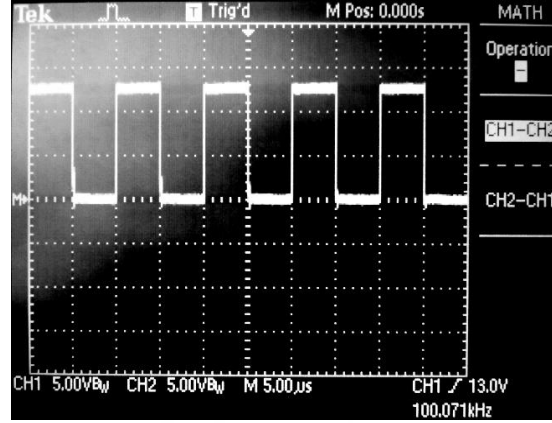


Şekil 3.25. 1MHz'lik darbe uygulanan akünün gerilimi

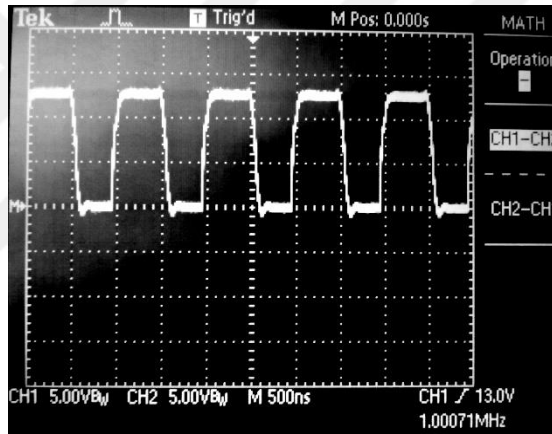


Şekil 3.26. 2MHz'lik darbe uygulanan akünün gerilimi

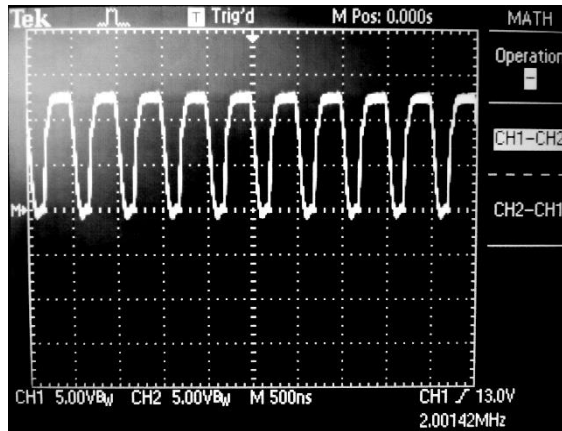
Deneyde 100KHz, 1MHz ve 2MHz'lik gerilim darbeleri uygulanarak desülfasyon işlemi gerçekleştirilen akülere uygulanan darbe sinyallerinin osiloskop görüntüleri sırası ile Şekil 3.27, Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'de yer almaktadır.



Şekil 3.27. İkinci aküye uygulanan 100KHz'lik darbe sinyali



Şekil 3.28. Üçüncü aküye uygulanan 1MHz'lik darbe sinyali



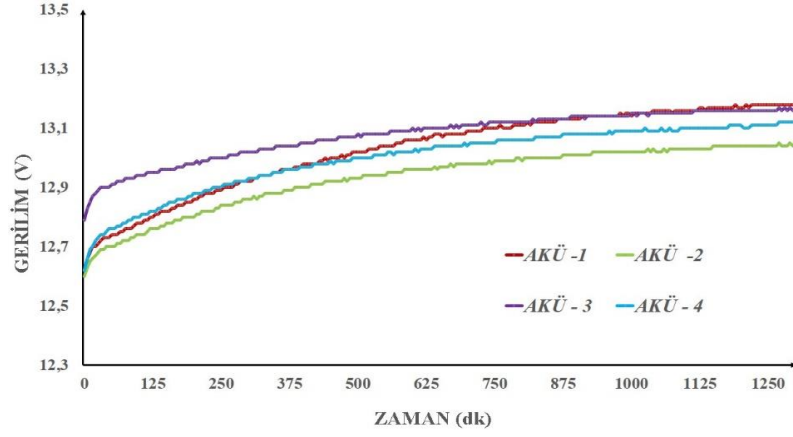
Şekil 3.29. Dördüncü aküye uygulanan 2MHz'lik darbe sinyali

Desülfasyon sürecinde gerilim darbeleri ile desülfasyon işlemi uygulanan akülere önce beş dakika boyunca gerilim darbeleri uygulanmış ardından sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Daha sonra üç saniye boyunca akü boşa alınmış ve ardından gerilim ölçülmüş ve bu işlem desülfasyon sürecinin sonuna kadar devam ettirilmiştir. Darbe uygulanan akülerin iç direnç ölçümleri on dakikalık zaman aralıklarında yapılmıştır. İç direnç ölçümünün ardından aküler beş saniye boşa tutulmuş ve desülfasyon işlemine devam edilmiştir.

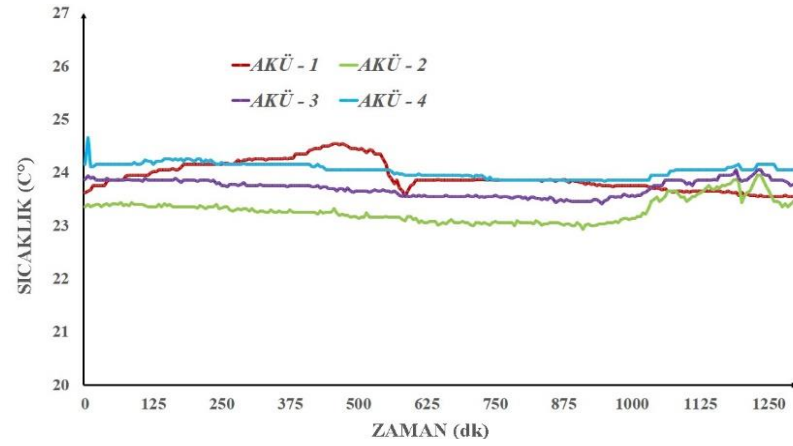
Gerçekleştirilen deneysel çalışma sonunda akülerin şarj ve deşarj gerilimleri, iç direnç değişimleri, deşarj akımları akü sıcaklıkları gibi parametreler kayıt altına alınmış ve analiz edilmek üzere kullanıcı bilgisayarına aktarılmıştır. Kayıt altına alınan veriler doğrultusunda elde edilen parametrelere ve bu parametrelerin zamana göre değişim grafiklerine “BULGULAR” başlığı altında yer verilmiştir.

4. BULGULAR

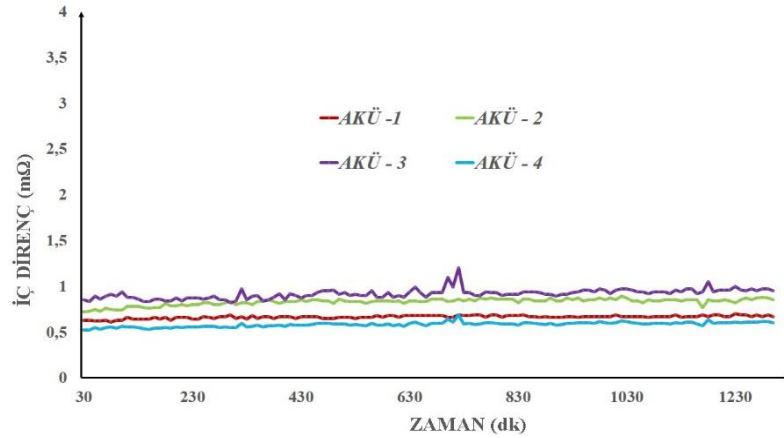
Deneyin ilk aşaması olan, tüm akülerin 13.8 V'luk DA gerilimle şarj sürecinde, ölçüm devrelerinden elde edilen, akü sıcaklığı, şarj gerilimi ve iç direncinin zamana göre değişim grafikleri sırasıyla Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.1. 13.8 V DA gerilim ile şarj edilen akülerin gerilim-zaman grafiği



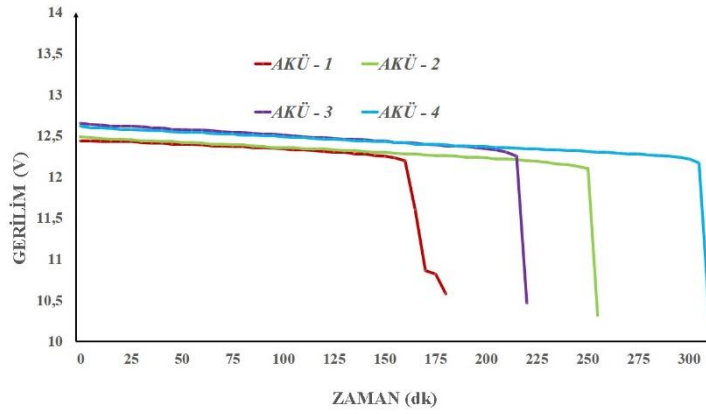
Şekil 4.2. İlk şarj sırasında akü sıcaklıklarının zamana bağlı değişim grafiği



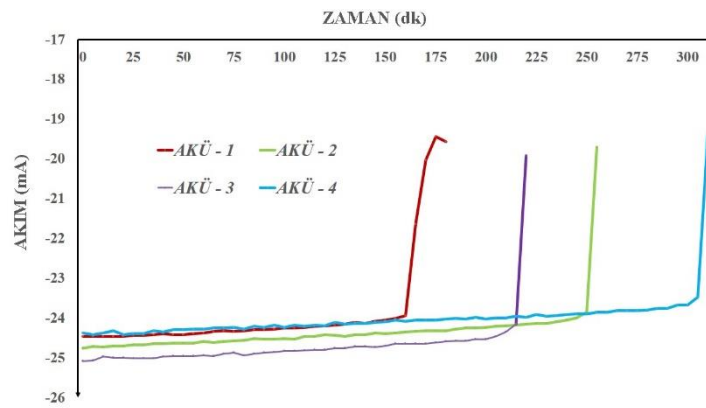
Şekil 4.3. İlk şarj sırasında akü iç direnç değerlerinin zamana göre değişim grafiği

Deneyde kullanılan Kurşun asit akülerin üretim tarihlerinin aynı olması, başlangıç gerilimlerinin yaklaşık olarak birbirlerine eşit olması ve aynı ortamda şarj edilmeleri nedeniyle, şarj sürecinde akülerin gerilim değerleri birbirine yakın şekilde seyretmiştir. Sıcaklık değerlerinin 23.5 ila 24.5°C arasında değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca şarj sırasında, akü iç direnci 0.6-0.8 mΩ civarında ölçülmüştür ve kayda değer bir değişim olmadığı görülmüştür. Elde edilen grafiklerden akülerin yaklaşık olarak özdeş oldukları söylenebilir.

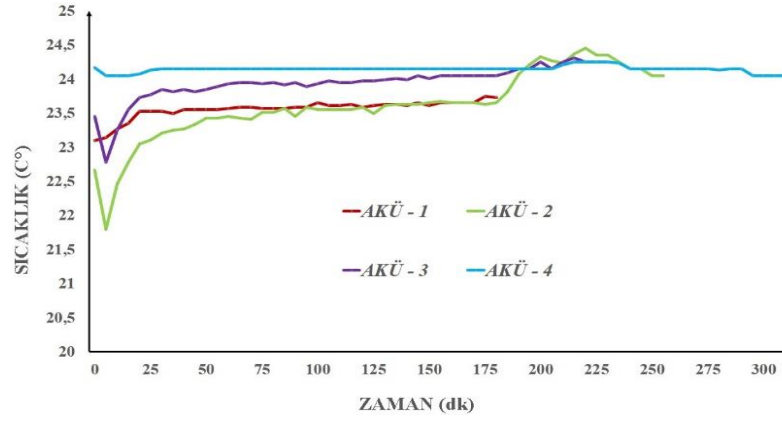
İlk şarj aşamasının ardından aküler eşit yükler üzerinden deşarj işlemine tabi tutulmuşlardır. İlk deşarj sürecinde, akülerin deşarj gerilimlerinin, akımlarının ve sıcaklıklarının zamana göre değişim grafikleri Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da sırası ile gösterilmiştir.



Şekil 4.4. İlk deşarj sırasında akülerin gerilim-zaman grafiği



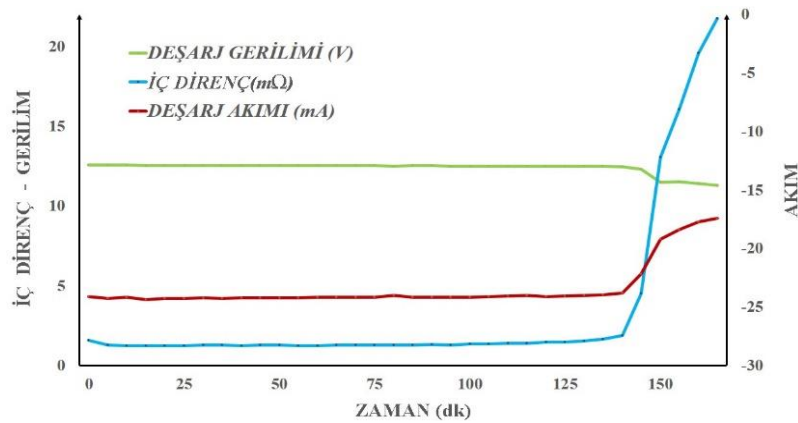
Şekil 4.5. İlk deşarj sırasında akülerin deşarj akımı-zaman grafiği



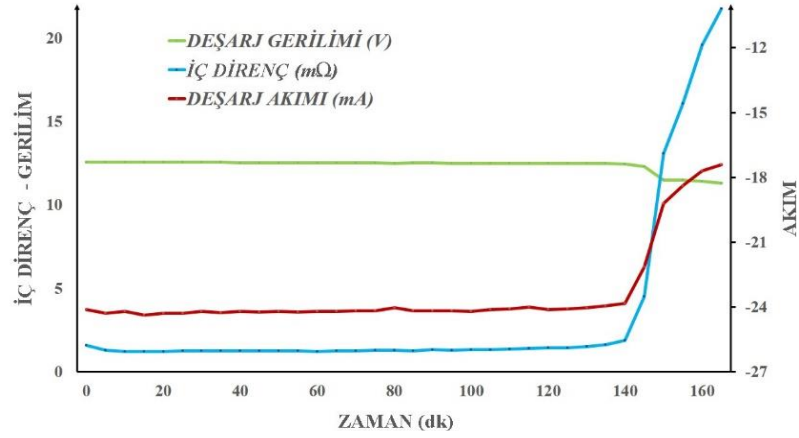
Şekil 4.6. Deşarj sürecinde akülerin sıcaklık-zaman grafikleri

Deşarj sürecinde akülerin gerilim değerleri ile akım değerlerinin doğru orantılı olarak değiştiği gözlenmiştir. Deşarj sırasında akü sıcaklıklarında belirgin bir değişim olmamıştır. Deşarj sonrasında aküler bir süre boşa bekletildikten sonra, yeniden 13.8 V DA gerilimle şarj edilmişlerdir. İkinci şarj sürecine ait şarj gerilimi, sıcaklık ve iç direnç değerlerinin zamana göre değişim grafikleri ilk DA şarj süreci sonucunda elde edilen grafiklere benzer çıkmıştır. Süreç sonunda sıcaklık değerleri, tüm aküler için birbirine yakın seyretmiştir. İç direnç değerlerinde elektriksel gürültüden ve ölçüm hatalarından kaynaklanan küçük sapmalar gözlenmiştir.

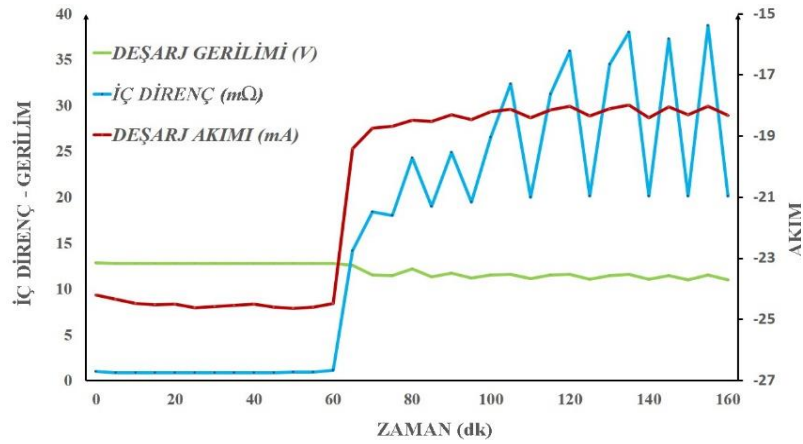
Aküler ikinci kez şarj edilmelerinin ardından sülfatlandırma sürecine tabi tutulmuşlardır. Bu süreç, akülerin iç dirençlerinde belirgin bir artış gözlenene kadar devam etmiştir. Bu süreçte akülere uygulanan şarj/deşarj ve boşa tutulma döngüleri ayrıntılı olarak materyal ve yöntem bölümünde anlatılmıştır. Sülfatlandırma sürecinde her bir akü için gerilim, iç direnç ve akımın zamana göre değişim grafikleri elde edilmiştir. Birinci, ikinci üçüncü ve dördüncü akülere ait sülfatlandırma süreci grafikleri sırası ile Şekil 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'da yer almaktadır.



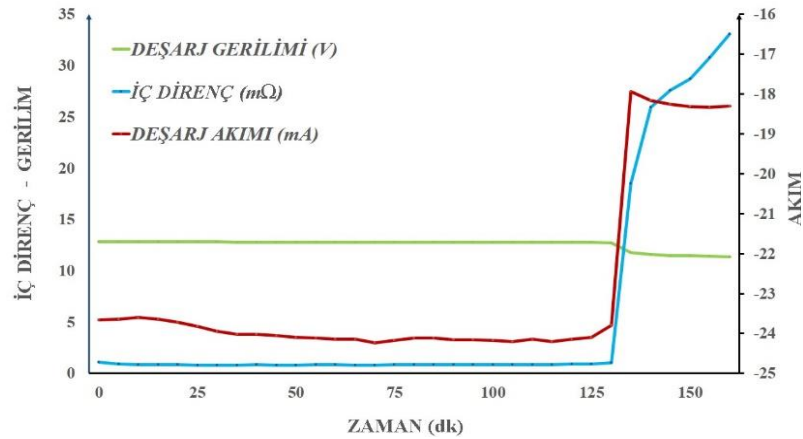
Şekil 4.7. Birinci aküye ait sülfatlandırma süreci grafiği



Şekil 4.8. İkinci aküye ait sülfatlandırma süreci grafiği



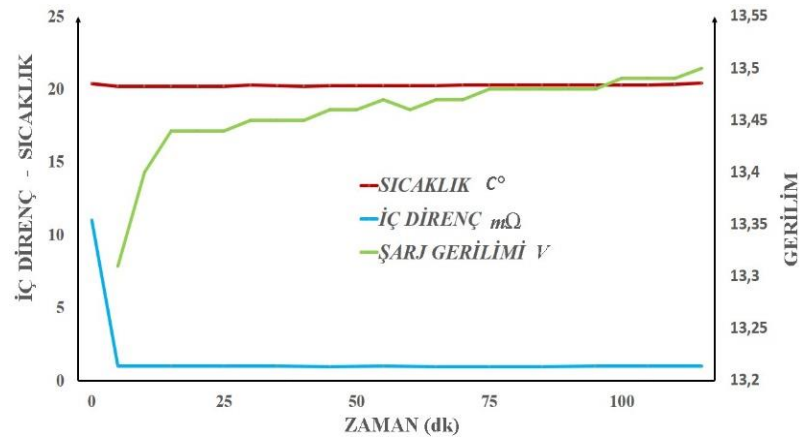
Şekil 4.9. Üçüncü aküye ait sülfatlandırma süreci grafiği



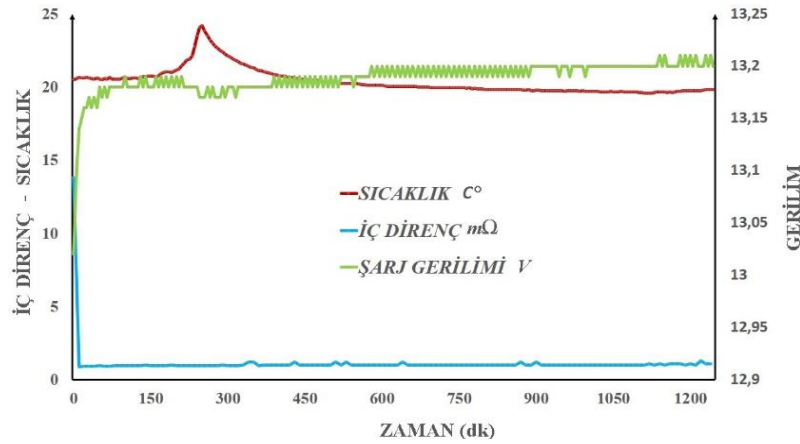
Şekil 4.10. Dördüncü aküye ait sülfatlandırma süreci grafiği

Sülfatlandırma sürecinde tüm aküler için, deşarj akımının ve deşarj geriliminin düşmesi ile iç dirençte hızlı bir artış olduğu gözlenmiştir. Ancak sülfatlandırma süreci, akü iç direncindeki artışın geri dönülemez noktaya ulaşmaması için sınırlandırılmıştır. Sülfatlandırma süreci sonucunda akü gerilimleri başlangıç durumlarına göre %10 civarında düşerek 11.5 V seviyelerine gelmiştir.

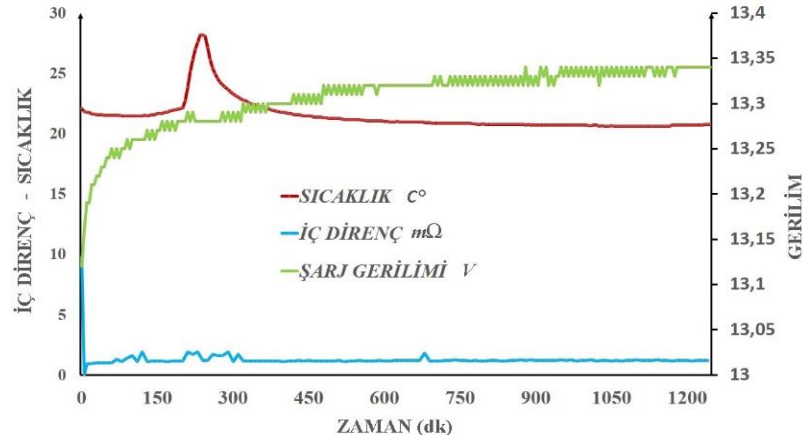
Tüm akülere hemen hemen eşit koşullarda sülfatlandırma işlemi uygulandıktan sonra, birinci akü 13.8 voltluk DA gerilim ile ikinci, üçüncü ve dördüncü akü ise sırası ile 100 KHz, 1 MHz ve 2 MHz'lik frekans değerine sahip gerilim darbeleri uygulanarak şarj edilmişlerdir. Bu üç aküye uygulanan gerilim darbelerinin görev periyodu %50, genlikleri ise 13.8 voltur. Farklı frekans darbeleriyle şarj işlemi desülfasyon olarak isimlendirilmiştir. Şarj veya desülfasyon işlemine başlamadan önce, akülerin üzerindeki gerilim 13 V civarında görülmektedir. Ancak bu değer yanıltıcıdır; akülere uygulanan uzun süre sülfatlandırma döngüsü sonucunda, akü bir süre bekletildikten sonra ölçülen gerilim değeridir. Bu durumda akü yüke bağlandığında, iç direnci yüksek olduğundan, çok düşük kapasite ile çalışacaktır. Akülere şarj için uygulanan gerilim darbelerine ait osiloskop görüntüleri materyal ve yöntem bölümünün son kısmında yer almaktadır. Desülfasyon sürecinde birinci, ikinci üçüncü ve dördüncü aküye ait şarj gerilimi, sıcaklık ve iç direnç değişim grafikleri sırası ile Şekil 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14'de yer almaktadır.



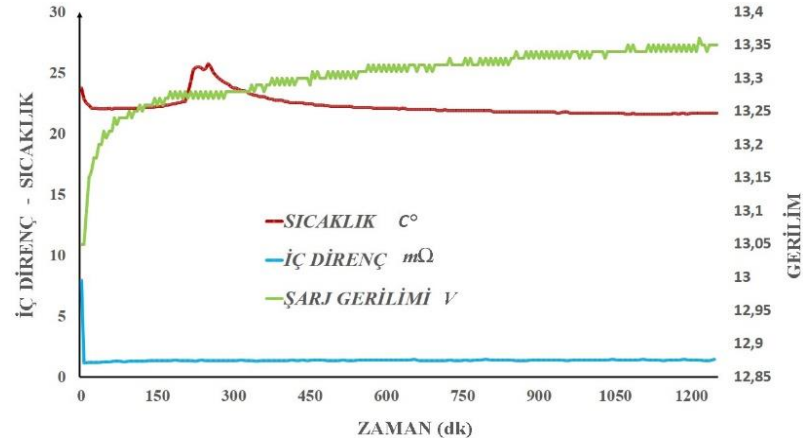
Şekil 4.11. Birinci akünün 13.8 voltluk DA gerilim ile şarj grafiği



Şekil 4.12. İkinci akünün 100 KHz'lik gerilim darbeleriyle desülfasyon grafiği



Şekil 4.13. Üçüncü akünün 1 MHz'lik gerilim darbeleriyle desülfasyon grafiği

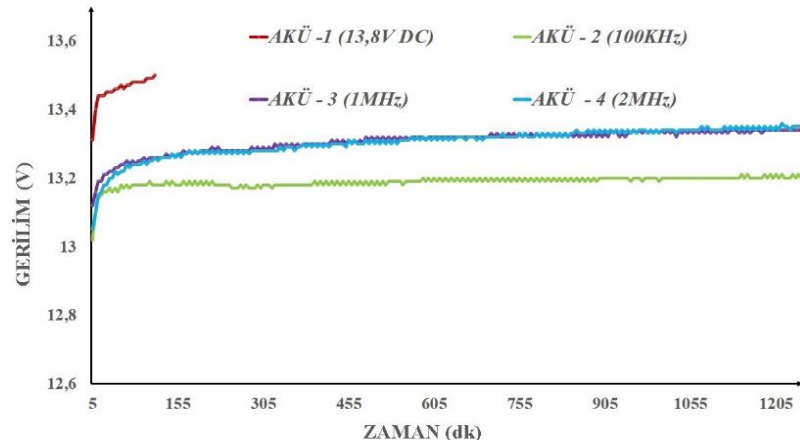


Şekil 4.14. Dördüncü akünün 2 MHz'lik gerilim darbeleriyle desülfasyon grafiği

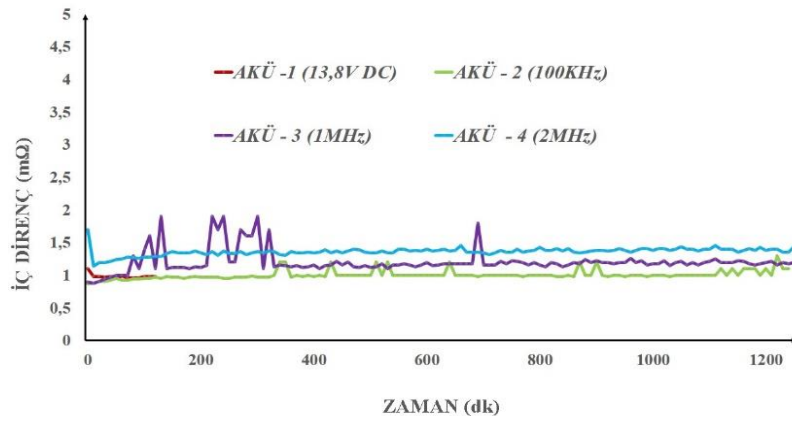
Desülfasyon sürecinde 13,8 voltluk DA gerilim ile şarj edilen birinci akünün, gerilim darbeleri ile desülfasyon işlemi uygulanan diğer akülere göre daha hızlı şarj olduğu görülmektedir. Ancak birinci akünün, akülerin akım verebilme kapasitelerinin ölçüldüğü bir sonraki deşarj sürecindeki performansının son derece düşük olması nedeni ile bu durumun bir avantaj olmadığı anlaşılmaktadır. Darbe ile desülfasyon uygulanan diğer akülerde ise şarj gerilimi ve sıcaklık değerlerinin zamana bağlı olarak beklenen şekilde seyrettiği görülmüştür.

Akü iç dirençlerinde ilk anda gözlenen yüksek değerlerin akünün şarj olmaya başlaması ile birlikte düştüğü ve desülfasyon süreci boyunca yaklaşık 1 mΩ civarında seyrettiği gözlenmiştir.

Desülfasyon sürecinde tüm akülere ait şarj gerilimleri ve iç direnç değerlerinin karşılaştırıldığı grafikler sırası ile Şekil 4.15 ve 4.16'da gösterilmiştir.



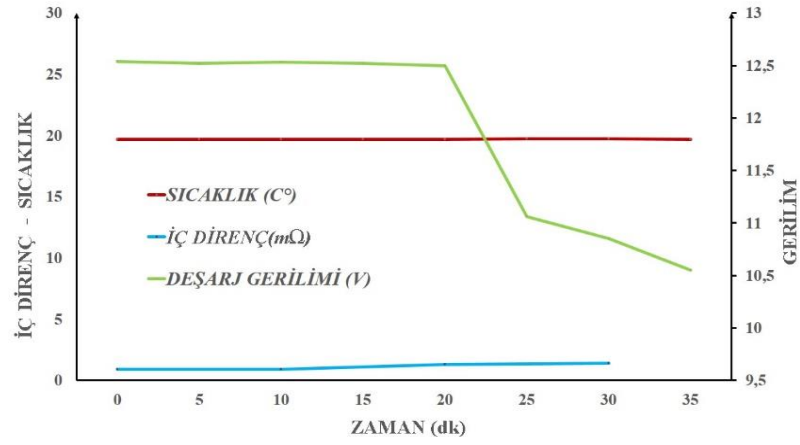
Şekil 4.15. Akülere desülfasyon sürecindeki şarj gerilimi-zaman grafiği



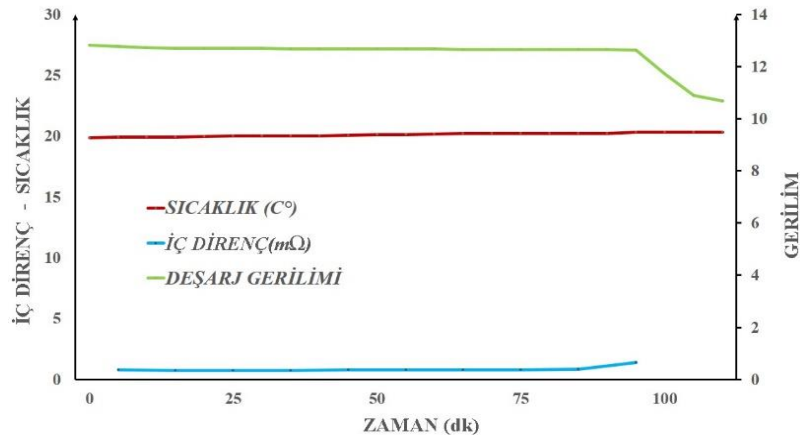
Şekil 4.16. Tüm akülerin desülfasyon sürecindeki iç direnç değişimleri

Karşılaştırmalı grafiklerden görüldüğü üzere en çabuk şarj olan akü DA 13.8 V ile şarj edilen birinci aküdür. Farklı frekans değerlerine sahip gerilim darbeleriyle şarj edilen aküler, nispeten daha uzun sürede şarj olmaktadır. Farklı frekans değerleri arasında bir kıyaslama yapıldığında ise, 2 MHz'lik gerilim darbesinin, daha düşük frekanslı gerilim darbelerine oranla, aküyü daha çabuk şarj ettiği görülmektedir. Burada aküler, 100 KHz'lik gerilim darbelerinin uygulandığı durumda en yavaş şekilde şarj olmuştur.

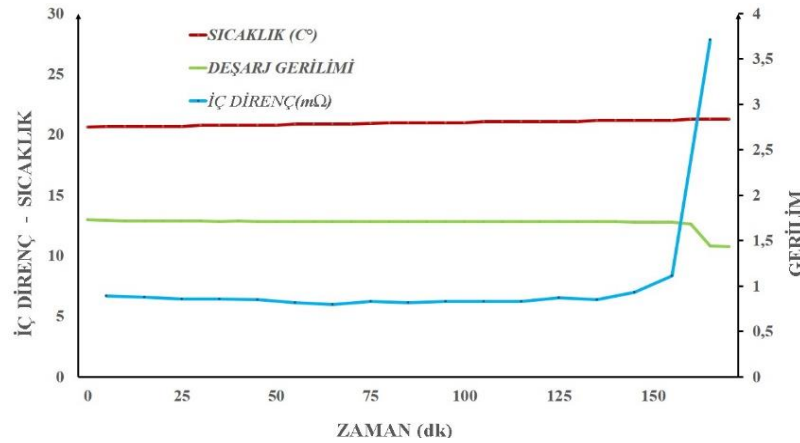
Desülfasyon sürecini takiben, akülerin akım verebilme kapasitelerinin ölçüldüğü çalışmanın son deneysel aşaması olan özdeş yükler üzerinden deşarj sürecine geçilmiştir. Burada amaç akülerin sahip oldukları başlangıç gerilimine göre, kapasitelerini ne kadar uzun süre yüke aktarabildiklerini gözlemlemektir. Deşarj sürecinde birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü aküden elde edilen ölçüm parametrelerinin grafikleri sırası ile Şekil 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20'de yer almaktadır.



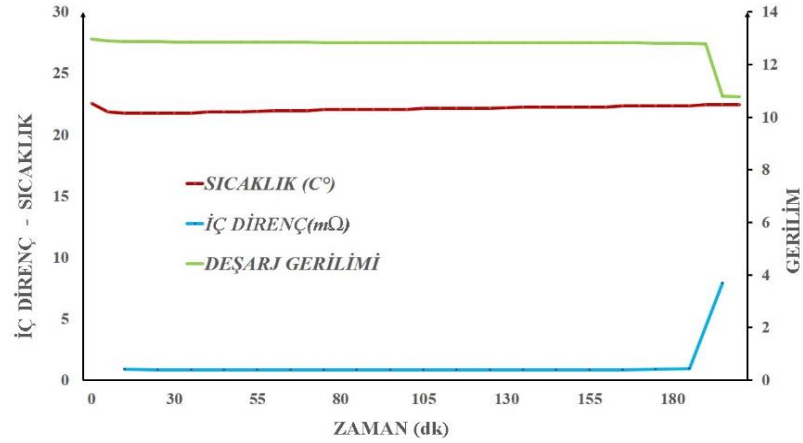
Şekil 4.17. Sabit DA gerilim ile şarj edilen 1. aküye ait deşarj grafiği



Şekil 4.18. 100 KHz'lik gerilim darbeleri ile şarj edilen 2. aküye ait deşarj grafiği



Şekil 4.19. 1 MHz'lik gerilim darbeleri ile şarj edilen 3. aküye ait deşarj grafiği



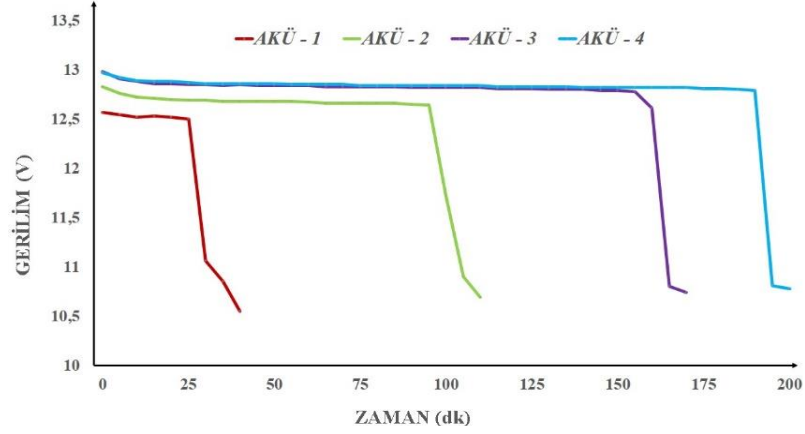
Şekil 4.20. 2 MHz'lik gerilim darbeleri ile şarj edilen 4. aküye ait deşarj grafiği

Desülfasyon sonrasında uygulanan deşarj sürecinde aküler 50 Ω 'luk yüklerle bağlanmış ve akım verebilme kapasiteleri ölçülmüştür. Desülfasyon sürecinde 13.8 volt DA gerilim ile diğerlerine göre daha kısa sürede şarj olan birinci akünün, deşarj sürecinde akım verebilme kapasitesi en düşük akü olduğu görülmüştür. Bu da DA gerilim ile hızlı şarj olmasına rağmen akünün tam anlamıyla yük depolayamadığına işaret eder. Diğer akülere bakıldığında ise uygulanan gerilim darbelerinin frekansı arttıkça, akünün akım verebilme kapasitesinin diğer akülere göre arttığı söylenebilir.

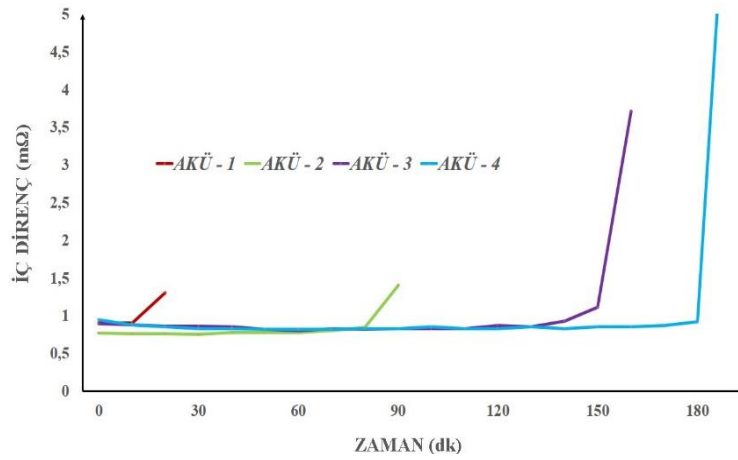
Gerilim darbeleri ile uygulanan desülfasyon işleminin, akü sıcaklığında yaklaşık 1-2°C'lik bir farka neden olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bu sıcaklık artışı, 13.8 V'luk genliğe sahip gerilim darbeleri ile gerçekleştirilen desülfasyon süreci için herhangi bir olumsuzluk teşkil etmemektedir. Yukarıda her bir akü için ayrı olarak verilen desülfasyon sonrası deşarj parametrelerinin yer aldığı grafikler aşağıda karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sırası ile deşarj gerilimi ve iç direncin zamana göre değişim grafikleri Şekil 4.21 ve 4.22'de verilmiştir.

Şekil 4.21 incelendiğinde, 2 MHz'lik, 1 MHz'lik ve 100 KHz'lik gerilim darbeleriyle desülfasyon sürecine tabi tutulan 4., 3. ve 2. aküler, sırasıyla 190 dk, 160 dk ve 100 dk'lık sürelerle kapasitelerini yüke düzgün bir şekilde aktarabilirken, DA gerilimle desülfasyona tabi tutulan 1. akü sadece 25 dakika boyunca kapasitesini yüke aktarabilmiştir. Bu da desülfasyon sonrasında akım verebilme kapasitelerinin, akülere uygulanan gerilim darbelerinin frekansı ile doğru orantılı arttığı görülmektedir. Her ne kadar sülfatlandırma sürecinden sonra, DA gerilimle şarj olan 1. akünün, gerilim darbeleriyle desülfasyona tabi tutulan diğer akülere göre daha hızlı şarj olduğu görülse de kapasitesini yüke uzun süre aktarabilme özelliği açısından diğer akülerin gerisinde

kaldığı görülmektedir. Bu da elektrot plakalarında oluşan sülfat moleküllerinin, elektrolit içerisine yeterince geri dönememelerinden kaynaklanabilir. Zira iç direncinin kısa sürede yükselerek akünün deşarj olması, buna bir göstergedir. Bu durum, desülfasyon sonrası deşarj sürecinde iç direnç değerlerinin karşılaştırıldığı Şekil 4.22’de açıkça görülmektedir.



Şekil 4.21. Desülfasyon sonrası deşarj gerilimleri (akü 1: DA, akü 2: 100 KHz, akü 3: 1 MHz, akü 4: 2 MHz)



Şekil 4.22. Desülfasyon sonrası deşarj sürecinde iç direnç değerleri (akü 1: DA, akü 2: 100 KHz, akü 3: 1 MHz, akü 4: 2 MHz)

Sülfatlandırma süreci uygulanmadan önceki, bütün akülerin DA gerilimle şarj edildikten sonraki ilk deşarj grafiği (Şekil 4.4) göz önüne alındığında, sülfatlandırma prosesinden sonra her bir akü için elde edilen deşarj sürelerinin, aynı aküler için ilk deşarj sırasında elde edilen deşarj sürelerine göre genel olarak daha düşük olduğu görülmektedir. Mesela, sülfatlandırma süreci öncesi ilk deşarjda, 4. akünün deşarj süresi 300 dk iken, sülfatlandırma sonrası 2 MHz’lik gerilim darbeleriyle desülfasyon

uygulandıktan sonra bu değer 190 dk olmuştur. Tüm akülerde bu süre azalmıştır. Bunun nedeni sülfatlandırma prosesinin tüm akülerin iç dirençlerini arttırarak yüke akım verebilme kapasitelerini olumsuz yönde etkilemesidir. Ancak, deşarj süresindeki bu azalma, hem sülfatlandırma prosesinden önceki hem de sonraki durum dikkate alınarak her bir akü için oransal olarak incelendiğinde, 2 MHz, 1 MHz, 100 KHz’lik gerilim darbeleriyle ve DA gerilimle şarj edilen akülerde sırasıyla, %38, %24, %61 ve %82 olarak görölmektedir. Buna göre her ne kadar sülfatlandırma sürecinden sonra, en uzun süre (190 dk) deşarj akımı verebilen akü, 2 MHz’lik gerilim darbeleriyle desülfasyona tabi tutulan 4. akü olarak görünse de, son deşarj sürecindeki akım verme süreleri, sülfatlandırma öncesindeki deşarj kapasiteleriyle karşılaştırıldığında, aslında en uzun süre deşarj akımı verebilen akünün, desülfasyon sürecinin 1 MHz’lik gerilim darbeleriyle gerçekleştirildiğı ve son deşarj süresinde %24 azalma görölen 3. akü olduğı gözlemlenmiştir. Buradan göröldüğü üzere, sülfatlanmış akülere desülfasyon amacıyla 2 MHz, 1 MHz ve 100 KHz’lik frekanslarda uygulanan gerilim darbeleri ve DA gerilim arasında, aküye kapasite yönünden en olumlu katkıda bulunan 1 MHz’lik gerilim darbeleriyle desülfasyon işlemidir.

Çalışmada kapsamında deney ölçümlerini yapmanın yanı sıra akülerin güvenli şekilde çalışmasını sağlayan özgün enstrümantasyon devreleri tasarlanmıştır. Bunun yanı sıra MQTT protokolü aracılığı ile internet üzerinden veri haberleşmesini sağlayan programlar da yine özgün şekilde geliştirilmiştir. Bu sayede deney süresince gerçekleştirilmesi gereken binlerce ölçüm bu devreler sayesinde yapılmış ve kayıt altına alınmıştır. Tasarlanmış olan bu sistem ölçeklendirilebilir olduğundan sisteme daha fazla akü grubu eklenebilir veya sistemde yapılacak bazı değişiklikler ile daha yüksek akım kapasitesine sahip farklı akü türleri de deney sürecine dahil edilebilir. Bunların yanı sıra akü parametrelerinin ölçümleri ve deney süreci uzaktan kontrol edilebildiğinden bu tür sistemler çalışma şartlarının elverişli olmadığı ortamlarda kullanım için uygun olabilirler.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kurşun asit aküler günümüzde, düşük maliyetleri, büyük oranda geri dönüştürülebilmeleri, geniş sıcaklık aralığında çalışabilmeleri, güvenilir olması gibi nedenlerden dolayı sıklıkla tercih edilmektedir. Yüz yılı aşkın bir süredir kullanılan Kurşun asit akü teknolojisinde ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirmelere gidilmiştir. Bu tür akülerde şarj/deşarj sürecinde gerçekleşen elektrokimyasal tepkimelerin doğal bir sonucu olarak sülfatlanma sorunu ortaya çıkmakta, bu da akü ömrünün kısalması, akülerde ısınma ve performans düşüklüğü gibi sorunlara neden olmaktadır. Günümüzde bu sorunun çözümüne yönelik olarak, gerilim darbeleriyle desülfasyon yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem ile akünün fiziksel yapısında değişiklik yapmaya gerek olmadan, akü kutuplarında biriken sülfat kristallerinin büyük oranda yeniden akü çözeltisine kazandırılması mümkün olduğu çeşitli kaynaklarda belirtilmiştir. Sülfatlanma sorunun yanı sıra Kurşun asit akülerin uygun şartlarda kullanılmaması, aşırı şarj/deşarj edilmeleri, bakım gerektiren akülere düzenli bakım işlemlerinin yapılmaması gibi etkenler de akü ömrünü kısaltan başlıca olumsuzluklar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir diğer deyişle Kurşun asit akülerin uygun şartlar altında kullanılması gerekmektedir. Bu da belirli aralıklarla akü parametrelerinin ölçülmesi ve gerektiğinde aküye uygun müdahalenin yapılabilmesi ile sağlanır. Ancak akülerin kullanıldıkları ortamlar nedeni ile bu bakım ve ölçüm işlemlerinin yapılması büyük zorluklar içerir. Bu nedenle akünün güvenli ve kararlı bir şekilde işletilebilmesi ve belirli aralıklarla akü parametrelerinin ölçülerek akülerin performanslarının takip edilmesi için batarya yönetim sistemleri kullanılır.

Çalışmada, deneyde kullanılan akülerin şarj edilmesi, yüke bağlanması, akülere desülfasyon uygulanması gibi süreçlerin uzaktan kontrolünün sağlanması için IoT tabanlı bir sistem tasarlanmıştır. Ayrıca bu sistem ile akü parametrelerinin ölçümü, kayıt altına alınması ve verilerin analiz edilmek üzere internet üzerinden kullanıcı bilgisayarına aktarılması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bu haberleşme işlemleri, sensör ağlarında veya IoT tabanlı sistemlerde kullanılmak üzere geliştirilmiş olan MQTT protokolü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney kapsamında tasarlanan bu sistem, temel bir batarya yönetim sistemi olma özelliği taşır. Bu sistemin akülere uzaktan müdahale edilebilmesi için özgün şekilde ölçüm kartları tasarlanmış, bu kartlara uzaktan erişime imkân veren birimlerin yazılımları da yine özgün şekilde geliştirilmiştir. Bu sistemde yapılan sınırlamalar sayesinde, akülerin istenilen şarj veya

deşarj rejimi dışına çıkmasının önüne geçilmiş, böylece akülerin zarar görmesi engellenmiştir. Geliştirilen özgün yazılım, akülere ait kritik parametreleri kısa zaman aralıklarıyla ölçüp kaydederek, düşük performanslı aküleri kolayca belirlemeye ve bu akü için uygun desülfasyon prosesini başlatabilmeye imkân sağlar. Şarj süresi boyunca, manuel olarak akünün yanına gidip, aküyü denetlemeye ve ölçüm yapmaya gerek kalmaz.

Çalışmada ayrıca sülfatlanma sorununa daha etkin çözümler üretmek amacıyla gerilim darbeleri ile desülfasyon işleminde farklı frekansların etkileri araştırılmıştır. Bu deneysel çalışma kapsamında Literatürde yer alan Kurşun asit akülerin gerilim darbesi ile desülfasyonu işlemi için daha önce denenmemiş olan 1MHz ve 2MHz frekansında ve 13.8 V genliğe sahip gerilim darbeleri ile desülfasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Suni yöntemlerle yaklaşık özdeş olarak sülfatlandırılan aküler, dört farklı gruba ayrılarak tekrar şarj edilmiştir. 1 nolu akü sabit DA gerilimle şarj edilirken, 2, 3 ve 4 nolu aküler sırasıyla 100 KHz, 1 MHz ve 2 MHz'lik gerilim darbeleriyle şarj edilmişlerdir. Bu işlemten sonra her bir akü tekrar özdeş yüklere bağlanarak akım verebilme kapasiteleri ölçülmüş, desülfasyon işleminde hangi frekansın daha etkin olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

Buna göre sülfatlanma prosesinden sonra sabit DA gerilimle şarj edilen akünün diğer akülere göre daha hızlı şarj olduğu, farklı frekansla şarj edilen aküler arasında ise, 1 MHz'lik gerilim darbeleriyle şarj edilen akünün, 2 MHz'lik ve 100 KHz'lik gerilim darbeleriyle şarj edilen akülere göre daha hızlı şarj olduğu görülmüştür. Sonraki adımda, farklı yöntemlerle şarj olan dört akünün özdeş yüklere akım verebilme kapasitesi incelendiğinde ve sülfatlandırma yapılmadan önceki ilkdeşarj sürecindeki akım verebilme kapasiteleriyle kıyaslandığında, sülfatlanmadan dolayı bütün akülerin akım verme kapasitelerinde genel bir düşüş olduğu görülmüştür. Ancak akım verme kapasitelerindeki bu düşüş oransal olarak incelendiğinde, sülfatlandırma sonrası DA gerilim uygulanarak diğer akülere göre daha hızlı şarj olan 1 nolu akünün, akım verme kapasitesini %82 oranında kaybettiği görülmüştür. Buna karşın 2MHz, 1 MHz ve 100 KHz'lik gerilim darbeleriyle şarj edilen akülerde ise kapasite kaybındaki oran sırasıyla %38, %24 ve %61 olarak gözlenmiştir.

Buradan, sülfatlanmış aküleri, sabit DA gerilimle şarj etmenin, her ne kadar hızlı şarj olsalar bile, aküdeki sülfatlanma problemini çözemeyeceği ve aküdeki kapasite kaybına engel olamayacağı görülmektedir. Aküye, farklı frekanslarda gerilim darbeleri uygulamanın sülfatlanma probleminin çözümüne büyük oranda katkıda

bulunabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır. Yapılan deneylerde, uygulanan frekanslar arasında, desülfasyon için en uygun frekansın 1 MHz olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra deneyde uygulanmayan farklı frekanslarda yapılacak yeni çalışmalar, daha farklı sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir. Farklı frekanslı gerilim darbeleriyle desülfasyon prosesinin tek dezavantajı, sürekli tekrarlanan çevrimler nedeniyle uzun süren bir proses olmasıdır.

Bu çalışmada incelenen akülerde, gerilim darbeleriyle desülfasyon prosesinin en uygun 1 MHz'de gerçekleştiği görülmekle birlikte, bu sonucun bütün sülfatlanma arızası görülen akülerde de geçerli olup olmadığının belirlenmesi için, farklı tip ve kapasiteye sahip akülerde de benzer deneylerin tekrarlanması gerekir. Çünkü elektrot plakalarında biriken kristalik Sülfat yapının kalınlığı, elektrotların ne derece korozyona uğradıkları, elektrotlar arası plakanın durumu ve elektrolit yoğunluğu doğrudan iç direnci etkileyen faktörlerdir. Buna göre, farklı sülfatlanma proseslerine uğramış aküler için, gerilim darbeleri için farklı etkin frekans değerleri elde edilebilir. Yani bu etkin frekans değeri, akü parametrelerinin bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkmakta olup, akünün sülfatlanma ve kapasite durumuna göre değişiklik gösterebilmektedir. Ancak ne kadar değişiklik gösterirse göstere, sülfatlanma problemi görülen akülerde, yapılan çalışmadan da görüldüğü üzere, doğrudan DA gerilim yerine yüksek frekanslı gerilim darbeleriyle aküyü şarj etmenin, akünün kapasite kaybını minimize etmek adına daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu yöntemin daha geniş deney imkanları sağlanarak, sulu tip Kurşun asit, Li-Po, Ni-Cd ve Li-İyon bataryalara uygulanması planlanmaktadır. Yöntemin uygulanması sırasında, frekansın yanı sıra genlik, görev döngüsü ve dalga şekli değiştirilerek daha etkili ve verimli sonuçlara ulaşılabilir. Bu şekilde farklı deney setlerinden elde edilecek sonuçlarla, ileride belki de arızalı bir aküye ait birkaç parametre ölçülerek, o aküye en uygun şarj veya iyileştirme yöntemi belirlenebilecektir.

6. KAYNAKLAR

- A Light, R. (2017). Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol. *The Journal of Open Source Software*. **2(13)**, 265.
- Anonim.(2019).<http://akuder.org.tr/img/ElbrTKaK.pdf>. (on-line access on 20 Nov, 2019)
- Anonymous.(2019).https://www.banggood.com/Geekcreit-ATmega328P-Arduino-Compatible-Nano-V3-Module-Improved-Version-No-Cable-Development-Board-p-959231.html?cur_warehouse=CN(on-line access on 19 Nov,2019)
- Anonymous.(2007).<https://batteryguys.com/pages/the-differences-between-agm-gel-and-flooded-batteries>(on-line access on 20 Sep, 2019)
- Anonymous.(2019).<https://www.ebay.de/itm/GY-219-INA219-I2C-Bi-directional-DA-Current-Power-Supply-Sensor-Breakout-Module-/272503189551>(on-line access on 19 Nov, 2019)
- Anonymous.(2019).https://www.mpja.com/LM2596-Step-Down-Adjustable-15-37V-DA_DA-Converter/productinfo/30148%20PS/(on-line access on 19 Nov, 2019).
- Anonymous.(2019).<https://learn.adafruit.com/adafruit-ina219-current-sensor-breakout/downloads>(on-line access on Nov, 2019)
- Baert, D., Vervaet, A. (1999). Lead-acid battery model for the derivation of Peukert's law. *Electrochimica Acta*. **44(20)**, 3491–3504.
- Bellavista, P., Giannelli, C., Zamagna, R. (2017). The PeRvasive environment sensing and sharing solution. *Sustainability (Switzerland)*. **9(4)**, 1–17.
- Cao-Paz, A. M., Marcos-Acevedo, J., del Río-Vázquez, A., Martínez-Peñalver, C., Lago-Ferreiro, A., Nogueiras-Meléndez, A. A., Doval-Gandoy, J. (2010). A multi-point sensor based on optical fiber for the measurement of electrolyte density in lead-acid batteries. *Sensors*. **10(4)**, 2587–2608.
- Catherino, H. A., Feres, F. F., Trinidad, F. (2004). Sulfation in lead-acid batteries. *Journal of Power Sources*. **129**, 113–120.
- Cugnet, M. G., Dubarry, M., Liaw, B. Y. (2010). Peukert's Law of a Lead-Acid Battery Simulated by a Mathematical Model. *ECS Transactions*. January, 223–233.
- Durr, M., Cruden, A., Gair, S., McDonald, J. (2006). Dynamic Model of a lead acid battery for use in a domestic fuel cell system. *Journal of Power Sources*. **2**, 1400–1411.
- Fremantle, P., Aziz, B., Kopecky, J., Scott, P. (2014). Federated identity and access management for the internet of things. *Proceedings - 2014 International Workshop on Secure Internet of Things*. SIoT 2014, 10–17.
- Gang, Y., Dao-Wei, Z., Yan, Z. S. S. (2014). Experiment Study on Effect of Different Parameters Pulses on the Battery Plate Sulfuration. *International Journal Of Electrochemical Science*. **9(11)**, 6431–6437.
- Gumera, X. D. G., Caberos, A. B., Huang, S. C., Liou, W. R., Lin, J. C. (2017a). A Variable Duty Cycle Pulse Train Charger for Improving Lead-Acid Battery Performance. *Asian Conference on Energy, Power and Transportation Electrification*. 2017-Dec 1–5.
- Gumera, X. D. G., Caberos, A. B., Huang, S. C., Liou, W. R., Lin, J. C. (2017b). A Variable Duty Cycle Pulse Train Charger for Improving Lead-Acid Battery Performance. *Asian Conference on Energy, Power and Transportation Electrification*, 2017-Dec, 1–5).
- Haefliger, P., Mathieu-Nolf, M., Locicero, S., Ndiaye, C., Coly, M., Diouf, A., Neira,

- M. (2009). Mass lead intoxication from informal used lead-acid battery recycling in Dakar, Senegal. *Environmental Health Perspectives*, **117(10)**, 1535–1540.
- Hausmann, A., Depcik, C. (2013). Expanding the Peukert equation for battery capacity modeling through inclusion of a temperature dependency. *Journal of Power Sources*. **235**, 148–158.
- Huang-Jen Chiu, Li-Wei Lin, Ping-Lung Pan, Ming-Hsiang Tseng. (2006). A novel rapid charger for lead-acid batteries with energy recovery. *IEEE Transactions on Power Electronics*. **21(3)**, 640–647.
- Hunkeler, U., Truong, H. L., Stanford-clark, A. (2008). MQTT-S – A Publish / Subscribe Protocol For Wireless Sensor Networks. *3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops COMSWARE '08*. 791–798.
- Jamratnaw, W. (2017). Desulfation of Lead - Acid Battery by High Frequency Pulse. *14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*. 676–679.
- Jiramoree, T., Paisuwanna, P., Khomfoi, S. (2011). A multilevel converter charger utilizing superimposed pulse frequency method for prolonging lead-acid battery lifetime. *ECTI-CON 2011 - 8th Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) Association of Thailand - Conference*. 768–771.
- Jolly, R., Rhin, C. (1994). The recycling of lead-acid batteries: production of lead and polypropylene. *Resources, Conservation and Recycling*. **10(1–2)**, 137–143.
- Ka Lok Man, Eng Gee Lim, Leach, M., Jin Kyung Lee, Kyung Ki Kim. (2014). Simulation and analysis of desulfator for smart battery system. *International SoC Design Conference (ISOCC)*. 73–174.
- Karami, H., Asadi, R. (2009). Recovery of discarded sulfated lead-acid batteries. *Journal of Power Sources*. **191**, 165–175.
- Karami, H., Masoomi, B., Asadi, R. (2009). Recovery of discarded sulfated lead-acid batteries by inverse charge. *Energy Conversion and Management*. **50(4)**, 893–898.
- Lam, L. T., Haigh, N. P., Phylant, C. G., Urban, A. J. 2004. "Failure mode of valve-regulated lead-acid batteries under high-rate partial-state-of-charge operation". *Journal of Power Sources*, **133(1)**, 126–134.
- Man, K. L., Lim, E. G., Leach, M., Lee, J. K., Kim, K. K. (2015). Simulation and analysis of desulfator for smart battery system. *International SoC Design Conference*. **00**, 173–174.
- Mehdi, E., EL, A., ZAZI, M. (2017). Impact of Pulse Voltage as Desulfator to Improve Automotive Lead Acid Battery Capacity. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. **8**, 522–526.
- Mizumoto, I., Yoshii, Y., Yamamoto, K., Oguma, H. (2018). Lead-acid storage battery recovery system using on–off constant current charge and short–large discharge pulses. *Electronics Letters*. **54(12)**, 777–779.
- Mohammadi, F. (2019). Electric Vehicle Battery Market Analysis : Lead Acid, 9th *Iranian Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)*. August 2018.
- Ruetschi, P. (2004). Aging mechanisms and service life of lead-acid batteries. *Journal of Power Sources*. **127(1–2)**, 33–44.
- Schilling, S. (1999). Ensuring lead-acid battery performance with pulse technology. *Ensuring lead-acid battery performance with pulse technology*. 247–252.
- Schilling, S. (1999). Pulse-tech.pdf. *Ensuring lead-acid battery performance with*

- pulse technology*. 247–252.
- Schulz, M., Chen, F., Payne, L. (2014). Real-time animation of equipment in a remote laboratory. *Proceedings of 2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation*. 172–176.
- Serhan, H. A., Ahmed, E. M. (2018). Effect of the different charging techniques on battery life-time: Review. *Proceedings of 2018 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering, ITCE 2018*. 421–426).
- Singh, A., Karandikar, P. B. (2015). Review on Desulfation of Lead-Acid Battery for Hev. *Technical Research Organisation India*..
- Singh, A., Karandikar, P. B. (2016). A broad review on desulfation of lead-acid battery for electric hybrid vehicle. *Microsystem Technologies*, **23(6)**, 2263–2273.
- Tseng, K. C., Liang, T. J., Chen, J. F., Chang, M. T. (2002). High frequency positive/negative pulse charger with power factor correction. *PESC Record - IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference*. **2**, 671–674.
- Vorel, P., Cervinka, D., Prochazka, P., Toman, M., Martis, J. (2016). High efficiency fast-chargers for lead-Acid batteries. *ECS Transactions*. **74(1)**, 23–30.
- Ying, S., Christoper, D. R., Christoper, A. F. (2012). JSME 2012 11th Motion and Vibration Conference Engine Valve Actuator. *Capacity recovery of a sulfated lead-acid battery using pressure feedback charging control*. 287–291.
- Zhang, Q., Qian, H. F., Deng, Y. (2017). Coal mine lead-acid battery intelligent charger. *Proceedings of Science*. July, 87.

7. EKLER

7.1 Arduino Nano Ana Programı

```
#include <Wire.h>
#include <INA219.h>
#include "thermistor.h"
#include <TimerOne.h>
#include <FastPwmPin.h>
#include "RTC_DS1307.h"
#define NTC_PIN A0
#define ROLE_1 7
#define ROLE_2 8
#define ROLE_3 6
#define YUK_PWM 5
#define PALS_PIN 3
#define KIRMIZI_LED 9
#define YESIL_LED 10

INA219 ina;

THERMISTOR thermistor(NTC_PIN, // Analog pin
                      5000, // Nominal resistance at 25 °C
                      3470, // thermistor's beta coefficient
                      5000); // Value of the series resistor

RTC_DS1307 rtc;

byte second, minute, hour, dayOfWeek, dayOfMonth, month, year;
byte SANIYE, DAKIKA, SAAT, AY, YIL, GELEN;
unsigned int SURE, TEKRAR, ADRES;
long int i = 0;
float R_IC, GERILIM, AKIM, GUC, SICAKLIK;
float I_DESARZ, V_DESARZ, I_SARZ, V_SARZ, V_BOS;
boolean SERI;

void setup()
{
  AKUYU_GERCEK_BOSA_AL();
  // _____SERİ PORT AYARLA_____
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin();

  // _____DEĞİŞKENLERİN İLK DEĞERLERİ ATANIYOR
  _____
  ADRES = 0;
  TEKRAR = 0;
  // _____INA219 AYARLA_____
  ina.begin();
```

```

    ina.configure(INA219_RANGE_32V, INA219_GAIN_320MV,
    INA219_BUS_RES_12BIT, INA219_SHUNT_RES_12BIT_1S);
    ina.calibrate(0.1, 5);
    //_____DS 1307 SAAT EĞERİ YÜKLENİYOR
    rtc.SetTime( SANIYE, DAKIKA, SAAT, dayOfWeek, dayOfMonth, AY, YIL);

    //_____ROLE PINLERİ İCİN AYARLAMALAR_____
    pinMode(ROLE_1, OUTPUT);
    pinMode(ROLE_2, OUTPUT);
    pinMode(ROLE_3, OUTPUT);
    pinMode(YUK_PWM, OUTPUT);
    pinMode(PALS_PIN, OUTPUT);
    pinMode(YESIL_LED, OUTPUT);
    pinMode(KIRMIZI_LED, OUTPUT);
    delay(300);
}

void loop() {

    if (Serial.available() > 0) {
        GELEN = Serial.read();

        if (char(GELEN) == 'S') {
            SULFATLANDIRMA_CEVIRIMI();
        }

        if (char(GELEN) == 'Z') {
            SARZ_CEVIRIMI();
        }

        if (char(GELEN) == 'B') {
            DESARZ_CEVIRIMI();
        }

        if (char(GELEN) == 'T') {
            Serial.println("İÇ DİRENÇ ÖLÇÜLÜYOR !!");
            RIC_OLC();
        }

        if (char(GELEN) == 'V') {
            delay(100);
            for (i = 0; i <= 2700; i = i + 34) {
                Serial.print(EEPROM_BYTE_OKU(80 , i)); // zaman saat
                Serial.print(" ");
                Serial.print(EEPROM_BYTE_OKU(80 , i + 1)); // zaman dakika
                Serial.print(" ");
                Serial.print(EEPROM_INT_OKU(80 , i + 2)); // sıcaklık
                Serial.print(" ");
                Serial.print(EEPROM_INT_OKU(80 , i + 6)); // ŞARJ gerilim
                Serial.print(" ");
            }
        }
    }
}

```

```

    Serial.print(EEPROM_INT_OKU(80 , i + 10)); // ŞARJ akım
    Serial.print(" ");
    Serial.print(EEPROM_INT_OKU(80 , i + 14)); //Vself discharge
    Serial.print(" ");
    Serial.print(EEPROM_INT_OKU(80 , i + 18)); //V BOŞ
    Serial.print(" ");
    Serial.print(EEPROM_INT_OKU(80 , i + 22)); //R İÇ DİRENÇ
    Serial.print(" ");
    Serial.print(EEPROM_INT_OKU(80 , i + 26)); //V DEŞARJ
    Serial.print(" ");
    Serial.println(EEPROM_INT_OKU(80 , i + 30)); //I DEŞARJ
  }
}

if (char(GELEN) == 'D') {
  PWM_KES();
  AKUYU_PALSE_AL();
  AKUYE_PALS_VER();
}

}

}

```

7.2 PYTHON Dilinde Yazılmış Olan Raspberry Pi Programı

```
import paho.mqtt.publish as publish
import paho.mqtt.client as mqtt
import time
import serial

MQTT_SERVER = "xxxxxxxxx.mqttserver.com"
port=xxxxxx
password="xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx"
username="xxxxxxxxxxxxxxxxx"
MQTT_PATH = "akü"
i=0
mf=0
VERİLER_ALINDI=0;
VERİLER=[]

def SARZ_ET():
    print("AKÜLER ŞARJA ALINDI!")
    print("ŞARJ EDİLİYOR")

def BOSA_AL():
    print("AKÜLER ŞU ANDA BOŞTA!")

def DESARJ_ET():
    print("AKÜLER YÜKE BAĞLANDI!")
    print(" AKÜLER DEŞARJ EDİLİYOR")

def on_publish():
    print("veri yollandı")

def on_connect(client, userdata, flags, rc):
    print("Connected with result code "+str(rc))
    client.subscribe("akü")

def VERİ_YOLLA():
    i=0
    ser.write(b'V')
    time.sleep(2)
    VERİLER.clear()

    print("VERİLER İLETİLİYOR!")

    for i in range (0,3500,1):
        if(ser.in_waiting>0):
            gelen=ser.readline()
            print(gelen)
            VERİLER.append(str(gelen , 'utf8'))
```

```

VERİLER[i]=VERİLER[i][: -2]

client.publish("ana_makina" , str(VERİLER))
print("VERİLER İLETİLDİ")

def on_message(client, userdata, msg):
    print("MESAJ BAŞLIĞI: "+msg.topic+"\nMESAJ İÇERİĞİ: "+str(msg.payload.decode())+"\n")
    if str(msg.payload.decode())=='SARJ':
        client.publish("ana_makina" , "AKULER SARJA ALINDI")
        SARZ_ET()
    if str(msg.payload.decode())=="BOSTA":
        client.publish("ana_makina","AKULER BOSA ALINDI")
        BOSA_AL()
    if str(msg.payload.decode())=="DESARJ":
        client.publish("ana_makina" , "AKULER YUKE ALINDI")
        DESARJ_ET()
    if str(msg.payload.decode())=="VERİ":
        print("karşı cihaz veri istiyor!")
        VERİ_YOLLA()

client = mqtt.Client()
client.username_pw_set(username,password)
client.connect(MQTT_SERVER, port, 60)

ser=serial.Serial('/dev/ttyUSB0' , 115200)
client.on_connect = on_connect

client.on_message = on_message

client.on_publish = on_publish

client.loop_start()

```

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Özgür Fırat AYDIN

Doğum Yeri ve Tarihi: ANKARA 1980

Adres: Çamurlu Mah. İftihar Sok. Üniversite TOKİ konutları C1-2 Blok 1. Kat No:7
Battalgazi/MALATYA

E-Posta: ozgurarge@gmail.com

Lisans: İnönü Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Mesleki Deneyim: 2006 İnönü Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldum.

2008-2009 Gaziantep'te kendi işyerimi işlettim.

2010-2017 kendi alanım dışında farklı işlerde çalıştım.

2017-2018 Malatya Teknokent bünyesinde çalıştım.

Yayın Listesi:

- M KÖSEOĞLU., Ö.F.AYDIN., 2019: Kurşun Asit Aküler İçin Farklı Şarj Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Euroasia international congress on applied sciences – 3, Haziran 28-30 2019 Sivas, Turkey.
- M KÖSEOĞLU., Ö.F.AYDIN., 2019: Nesnelerin İnterneti Tabanlı Batarya Yönetim sistemi Tasarımı Ve Uygulaması. III. Uluslararası Battalgazi Bilimsel Çalışmalar Kongresi 21-23 Eylül 2019 Malatya, Turkey.