



**AKÜ BİLEŞENLERİNDE YAPILACAK DEĞİŞİKLİKLERİN AKÜNÜN
PERFORMANSINA ETKİLERİNİN DENEYSEL TASARIM YÖNTEMİ İLE
İNCELENMESİ**

Muhammed Ferhat ÖZTÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Muhammed Ferhat ÖZTÜRK

06/05/2024

AKÜ BİLEŞENLERİNDE YAPILACAK DEĞİŞİKLİKLERİN AKÜNÜN
PERFORMANSINA ETKİLERİNİN DENEYSEL TASARIM YÖNTEMİ İLE
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammed Ferhat ÖZTÜRK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2024

ÖZET

Günümüzde birçok akü çeşidi arasından en çok kullanılanı ve kullanım alanı en geniş olanı kurşun-asit akülerdir. Kurşun-asit akülerde çevrim ömrü ve kapasite çok önemlidir. Çevrim ömrü (Cycle Life): Akünün belli bir seviye kadar deşarj ve sonra tam şarj edilmesine bir “çevrim” denir. Akü Ah olarak belirtilen kapasitesini %80'e kadar koruyacak şekilde kaç kez şarj/deşarj “çevrimine” sokulabiliyor ise o akünün “çevrim ömrü” o sayıya eşittir. Elektriksel akım, elektriksel yük taşıyan parçacıkların hareketidir. Çevrim ömrü, ızgara kalınlığına, ızgara malzemesine, plaka hamur kimyasalına, akü sıcaklığına bağlıdır. Kapasite, plakaların yüzey alanlarına, kaynak kalitesine (iç direnç), plaka sayılarına ve kullanılan seperatörlerin(ayırıcı) geçirgenliklerine bağlıdır. Bu çalışmada MOORA yöntemi kullanılarak birden fazla akü bileşeni aynı anda incelenip en iyi akü tasarımını seçenekler arasından belirleyebilecek bir model önerilmiştir. 12 ay sonunda iç direnç ve voltaj ölçümleri yapıldıktan sonra en iyi sonucu veren parametre seti ilk uygulama olarak MOORA yöntemiyle belirlenmiş, seçilen set için XRD analizleri yapılmış ve SEM görüntüleri yorumlanmıştır. Bu sayede bütünsel bir iyileşme yaklaşımı geliştirilmiştir.

Bilim Kodu : 91408
Anahtar Kelimeler : Enerji, kurşun asit akü, moora metodu, deney tasarımı
Sayfa Adedi : 70
Danışman : Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CHANGES IN BATTERY COMPONENTS
ON BATTERY PERFORMANCE USING DESIGN OF EXPERIMENTS APPROACH

(M. Sc. Thesis)

Muhammed Ferhat ÖZTÜRK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2024

ABSTRACT

Today, among many battery types, the most used and the most widely used are lead-acid batteries. Cycle life and capacity are very important in lead-acid batteries. Cycle Life: Discharging the battery to a certain level and then charging it fully is called a "cycle". The "cycle life" of the battery is equal to the number of times the battery can be charged/discharged in a way to preserve its capacity stated in Ah up to 80%. Electric current is the movement of particles carrying electrical charge. Cycle life depends on grill thickness, grill material, plate dough chemical, battery temperature. Capacity depends on the surface area of the plates, welding quality (internal resistance), number of plates and the permeability of the separators used. In this study, a model that can examine multiple battery components simultaneously using the MOORA method and determine the best battery design among the options is proposed. After internal resistance and voltage measurements were made at the end of 12 months, the parameter set that gave the best results was determined by the MOORA method as the first application, XRD analyzes were performed for the selected set and SEM images were interpreted. In this way, an integrated optimization approach has been developed.

Science Code : 91408

Key Words : Energy, lead acid battery, moora method, design of experiment

Page Number : 70

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sűresince değerli bilgilerini benimle paylaŐan, kıymetli zamanını ayırıp samimiyetini ve bilgi birikimini esirgemededen her zaman elinden gelenin fazlasını sunan, değerli danıŐmanım Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL ve ArŐ. Gör. İbrahim ŐLKE' ye bir borç biliyor ve Őűkranlarımı sunuyorum.

Beni bu gűnlere ulaŐtıran ve benden hiçbir zaman desteęini esirgemeyen, hayattaki en bűyűk Őanslarım olan anneme, babama sonsuz teŐekkűrler.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. TÜRKİYE’DE VE DÜNYA’DA AKÜNÜN GELİŞİMİ.....	7
3.1. Kurşun Asit Akü Üreticisi İçin Yeni Teknolojinin Geliştirilmesi.....	8
3.2. İnsan Yaşamında Kurşun Asitli Akülerin İlk Uygulamaları	9
3.3. Kurşun Oksit Üretim İşlemleri	10
4. AKÜNÜN BİLEŞENLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ	11
4.1. Kapasite	11
4.2. Ah (Amper Saat)	12
4.3. CCA (Soğuk Marş Akımı).....	12
4.4. Akünün Kimyasal Yapısı.....	12
4.4.1. Akü kutusu	13
4.4.2. Aküde kullanılan kapak	13
4.4.3. Buşon (Tapa).....	14
4.4.4. İndikatör	14

	Sayfa
4.4.5. Kutup başı ve eleman	14
4.4.6. Plaka	15
4.4.7. Seperatör	16
4.4.6. Elektrolit.....	16
4.5. Akünün Çalışma Prensibi	17
4.6. Akü Hücresinde Kullanılan Kurşun Bileşikleri	18
4.6.1. Kurşun oksit (PbO)	19
4.6.2. Kurşun sülfat (PbSO ₄).....	19
4.6.3. Monobazik kurşun sülfat, PbO. PbSO ₄ (1BS)	20
4.6.4. Tribazik kurşun sülfat, 3PbO. PbSO ₄ . H ₂ O(3BS).....	20
4.6.5. Tetrabazik kurşun sülfat, 4PbO. PbSO ₄ (4BS).....	20
4.6.6. Kurşun dioksit (PbO ₂).....	20
4.6.7. Kırmızı kurşun (sülyen), Pb ₃ O ₄	21
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	23
5.1. Materyal ve Yöntem	23
5.2. Deney Grupları 1. Karşılaştırma	25
5.3. Deney Grupları 2. Karşılaştırma	31
5.4. Deney Grupları 3. Karşılaştırma	33
5.5. Deney Grupları 4. Karşılaştırma	36
5.6. Deney Grupları 5. Karşılaştırma	40
5.7. Deney Grupları 6. Karşılaştırma	44
5.8. MOORA yönteminin kullanılması.....	49
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53

	Sayfa
KAYNAKLAR	55
EKLER.....	61
EK-1. Prototip deneme üretimleri.....	62
ÖZGEÇMİŞ	70



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Deney tasarım değişkenleri	24
Çizelge 5.2. Deney Grupları.....	25
Çizelge 5.3. Antimuan alaşımlı ızgara kurşunu spektleri	26
Çizelge 5.4. Kalsiyum alaşımlı ızgara kurşunu spektleri.....	26
Çizelge 5.5. TS EN 50342-1 5.8 su kaybı testi sonuçları	26
Çizelge 5.6. TS EN 50342-1 5.6.3 çevrim testi sonuçları.....	27
Çizelge 5.7. TS EN 50342-1 5.6.3 korozyon testi	29
Çizelge 5.8. Antimuan ve kalsiyum alaşımlı akü 12 ay voltaj takip çizelgesi.....	30
Çizelge 5.9. Sülyen katkıli karışım çizelgesi	35
Çizelge 5.10. Laboratuvar fonksiyonel test sonuçları.....	35
Çizelge 5.11. 3BS ve 4BS Hamur verileri	37
Çizelge 5.12. 3BS XRD hamur verileri	38
Çizelge 5.13. 4BS hamur verileri.....	39
Çizelge 5.14. X (Standart 3BS) ve Y (4BS) grubu olarak üretimi gerçekleştirilen akülere ait Fonksiyonel Test Sonuçları.....	40
Çizelge 5.15. Flux kimyasal çözelti deneme 1 ve deneme 2	46
Çizelge 5.16. Flux kimyasal çözelti deneme 3, deneme 4 ve deneme 5	47
Çizelge 5.17. Yol verme performans testi.....	48
Çizelge 5.18. 12 ay sonraki deney grupları voltaj ve iç direnç ölçümleri.....	49
Çizelge 5.19. MOORA uygulama sonucu	51

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Deşarj işlemi	17
Şekil 4.2. Şarj işlemi	18
Şekil 5.1. Deney gruplarının oluşturulması süreci akış şeması	24
Şekil 5.2. Su kaybı test sonuçları grafik gösterimi	27
Şekil 5.3. Çevrim testi kapasite sonuçları grafik gösterimi	28
Şekil 5.4. Çevrim testi voltaj sonuçları grafik gösterimi	28
Şekil 5.5. Korozyon testi grafik gösterimi	29
Şekil 5.6. Pb-Sb ve Pb-Ca 12 ay iç direnç grafiği	30
Şekil 5.7. 12 ay ADV takip grafiği	31
Şekil 5.8. 0,8mm – 1,1 mm Ah karşılaştırma grafiği.....	32
Şekil 5.9. Plaka başına ah ortalamalar	33
Şekil 5.10. 25 °C ‘de Sülfürik asit kullanılan akünün açık devre voltaj takibi.....	42
Şekil 5.11. 25 °C ‘de Kostik asit kullanılan akünün açık devre voltaj takibi	42
Şekil 5.12. 50 °C ‘de Sülfürik asit kullanılan akünün açık devre voltaj takibi.....	43
Şekil 5.13. 50 °C ‘de Kostik asit kullanılan akünün açık devre voltaj takibi	43
Şekil 6.1. Sıralama sonuçlarının grafik gösterimi.....	51

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Batarya teknolojisine genel bakış	8
Resim 4.1. Akünün bileşenleri.....	11
Resim 4.2. Akü kutu görünümü.....	13
Resim 4.3. Akü kapak görünümü	13
Resim 4.4. Buşon	14
Resim 4.5. İndikatör.....	14
Resim 4.6. Kutup başı ve eleman.....	15
Resim 4.7. Plaka görünümü	16
Resim 4.8. Seperatör ve plaka.....	16
Resim 4.9. Tribazik kurşun sülfat SEM görüntü görseli	20
Resim 4.10. Tetrabazik kurşun sülfat SEM görüntü görseli.....	21
Resim 4.11. Resim 4.11 a) α - PbO ₂ 'in kristal yapısı b) β - PbO ₂ 'in kristal yapısı.....	22
Resim 4.12. Kırmızı kurşun (sülyen) görsel	22
Resim 5.1. a) 0,8 mm kalınlıktaki ızgara b) 1,1 mm kalınlıktaki ızgara	32
Resim 5.2. Izgara üzerinde sülyenin yakından görünümü.....	34
Resim 5.3. (3BS) numunesine ait SEM görüntüleri a) 5000x, b) 10000x.....	38
Resim 5.4. (4BS) numunesine ait SEM görüntüleri a) 5000x, b) 10000x.....	39
Resim 5.5. Karışım tankı	41
Resim 5.6. Sulu şarj havuzları	41
Resim 5.7. Eleman yastığı ve plaka temsili gösterim	45
Resim 5.8. Kaynama yüzeyi hava boşlukları.....	46
Resim 5.9. Deneme 1 kaynama yüzeyi hava boşlukları	46
Resim 5.10. Deneme 2 kaynama yüzeyi hava boşlukları	47

Resim	Sayfa
Resim 5.11. Deneme 3 kaynama yüzeyi hava boşlukları	47
Resim 5.12. Deneme 4 kaynama yüzeyi hava boşlukları	48
Resim 5.13. Deneme 5 kaynama yüzeyi hava boşlukları	48



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
°C	Santigrat derece
µm	Mikron
Ah	Amper-saat
C ₆ H ₁₀ O ₄	Adipik asit
C ₆ H ₁₂ O ₇	Glikolik asit
Ca	Kalsiyum
CH ₃ CH(OH)CH ₃	İzopropil alkol
H	Hidrojen
kW/h	Kilowatt/saat
m/s	Metre/saniye
ml/dk	Mililitre/dakika
Pb	Kurşun
Pb ₃ O ₄	Sülyen
PbO	Kurşun oksit
PbO ₂	Kurşun dioksit
Sb	Antimuan
V	Volt
Ω	ohm

Kısaltmalar	Açıklamalar
1BS	Monobazik kurşun sülfat
3BS	Tribazik kurşun sülfat
4BS	Tetrazik kurşun sülfat

Kısaltmalar**Açıklamalar****ADV**

Açık devre voltajı

CCA

Soğuk marş akımı

DoD

Derin deşarj

H₂SO₄

Sülfürik Asit

NAM

Negatif aktif malzeme

PAM

Pozitif aktif malzeme

Wt

Faz oranı



1. GİRİŞ

Otomobil, otobüs veya kamyon akülerinin araçlarda birçok işlevi vardır. En önemli görevleri marş motorunu çalıştırmak ve aracı hareket ettirmektir. Aynı zamanda araçlarda alternatörün ihtiyacı karşılayamadığı durumlarda ilk ateşleme, kalorifer açılması, far lambalarının yanması, radyo gibi sistemlerin başka bir enerjiye ihtiyaç olan bölümlerine elektrik sağlar. Ayrıca aküler aracın voltaj kontrol sisteminin bütünü oluşturarak araçtaki bilgisayar hafızalarını, far ve radyoları elektriksel dalgalanmalardan korur.

Yeni teknoloji olan lityum bataryaların kullanımı günümüzde artmıştır. Ancak yine de kurşun-asit akülerin kullanımı en fazladır. Kurşun-asit akülerde çevrim ömrü ve kapasite çok önemlidir.

Akünün çevrim ömrü denilince belli bir derin deşarj seviyesine kadar deşarj ve sonra tam şarj edilmesidir. Akü Ah olarak belirli bir kapasite mevcuttur. Bu kapasitenin %80'e kadar koruyacak şekilde kaç kez şarj/deşarj yapabiliyor ise o akünün "çevrim ömrü" o sayıya eşittir. Elektriksel akım, elektriksel yük taşıyan parçacıkların hareketidir. Akü üzerinde yazılı olan Ah (Amper-saat) akünün kapasitesini, kapasite de akünün depolayabileceği maksimum elektrik enerjinin göstergesidir.

Kurşun asit batarya, elektrik jeneratörlerinin icat edilmesinden yaklaşık 10 yıl önce doğmuştur. İkincil bir güç kaynağı olan kurşun asitli batarya, ucuz ve kullanımı kolay bir şarj cihazı olduğundan ihtiyaç duyulmuştur. Bunun üzerine kurşun asit bataryanın önemi artmıştır.

Gramme (1869), akü şarjını kolaylaştıran ilk doğru akım dinamo makinesini kurmuştur. Mekanik enerji, elektrik enerjisine dönüştürülmüştür, daha sonra kimyasal bir enerji şeklinde bir kurşun asit pilde depolanmıştır.

Company (1873), Plante kurşunsuz piller ve Gramme dinamo makineleri üreten ilk firma olmuştur. Böylece, elektrik enerjisini kolayca üretmek ve depolamak için teknik bir olasılık yaratılmıştır. Elektrik enerjisi henüz insan yaşamında pratik bir uygulama bulamamıştır.

Edison ve Akkor (1879) lambayı icat etmiştir; böylece elektrik enerjisini ışığa dönüştürmüştür. Ampulün icadı, insanların günlük yaşamlarında elektrik kullanımını teşvik etmiştir. Kurşun asit batarya talebi artmıştır. Bununla birlikte, büyük hacimli kurşun asit akü üretimi, üretim teknolojisi ile sınırlandırılmıştır.

Buluşundan hemen sonra, kurşun asit akümülatör, Bitki hücresi varyantlarını arayan birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nden Kirchoff (1861), Pb (NO₃)₂ ve Pb (CH₃COO)₂ çözeltilisine batırılmış platin elektrotları içeren bir hücre önermiştir. Aynı zamanda, Almanya'daki Siemens (1861), kurşun tuzları ile emprenye edilmiş ve asit çözeltilisine daldırılmış karbon elektrotları olan ikincil bir hücre tasarlanmıştır.

Bu tez çalışmasında akünün bileşenlerinin seviyelerini değiştirerek akü performansının iyileştirilmesi ve MOORA yöntemi kullanılarak en iyi akü tasarımını belirlemek amaçlanmıştır. Tezin önemi; akü performansının iyileştirilerek akülerin kullanım süresinin ve diğer performans sonuçlarının artırılması ve prodesteki girdilerin çeşitlerinin gerekli deneme çalışmaları yaparak en uygun (optimum) seviyelerinin belirlenmesidir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Göçmen vd. (2021) yaptığı çalışmada geliştirdiği pil paketinde hava soğutmalı batarya termal sistemlerinin deneysel incelemesini yapmıştır. Gelişmiş kompaktlık ile ortaya çıkan soğutma gereksinimlerini karşılayan yeni bir pil paketi manifold tasarımıdır. Sonuçlar, iki ve üç boyutlu modellerin doğru olduğunu ancak aralarında özellikle sıcaklık dağılımında uyumsuzluk olduğunu belgeliyor. Genel olarak bu tez, akü hücrelerinde termal kaçak ve kapasite kaybını ortadan kaldırmak için düzgün soğutma sıvısı dağıtımına sahip kompakt bir BTMS tasarımını belgelemektedir.

Celen ve Kaba (2021), hava akış yönlendirici kanatların kullanımının prizmatik lityum-iyon batarya sıcaklığı üzerine etkisinin farklı çalışma şartlarında deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında elektrikli araçlarda kullanılan 20 Ah kapasiteye sahip torba tipi bir prizmatik lityum-iyon bataryanın termal yönetimi incelenmiştir. Akışkan olarak hava kullanılmış olup, akışkan giriş sıcaklığının (15°C, 25°C, 35°C), akışkan giriş hızının (0,5 m/s, 1 m/s, 1,5 m/s) ve deşarj hızının (2C, 3C, 4C) batarya yüzey sıcaklığına, batarya yüzey sıcaklık farkına ve ısı transfer hızına etkisi araştırılmış ve yapılan hesaplamalar sonunda hava sıcaklığının 15°C üzerine çıktığı hava şartlarında doğrudan soğutmanın yeterli olmadığı bu sebeple sıvı soğutmanın kullanılmasının gerekli olduğu belirlenmiştir.

Çetin vd. (2023) ise çalışmalarında 18 adet silindirik lityum iyon pillerden oluşan batarya paketini, 1,5 mm et kalınlığındaki bakır plakalardan imal edilen S tipi bir sıvı soğutma kanalı içerisine yerleştirilerek sıvı soğutmalı batarya termal yönetim sisteminin soğutma performansı üzerinde etkisini araştırmışlardır. PCM tabanlı bir pil termal sistemi kullanıldığında maksimum pil sıcaklığı yaklaşık %30,65 oranında azalmıştır. Ayrıca batarya termal yönetimi sayesinde akü sıcaklıkları da homojen elde ediliyor ve maksimum değerler arasındaki farklar ve minimum sıcaklıklar termal yönetim olmayana göre daha küçük olduğu görülmüştür.

Wu vd. (2022), PV akü sistemlerinde yaşam döngüsü maliyetini en aza indirmek için yaptıkları çalışmalarında iki katmanlı bir optimizasyon modeli geliştirerek en iyi batarya kapasitesini bulmaya çalışmışlardır.

Chen vd. (2019), akış düzeninin tasarlanması yoluyla hava soğutmalı akü termal yönetim sisteminin soğutma verimliliğinin iyileştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında giriş ve çıkış kanallarının simetrik olarak tasarlandığı hücrelerin en yüksek soğutma verimliliğini sağladığını tespit etmişlerdir.

Sezici vd. (2022) ise Chen ve diğerlerinden farklı olarak silindirik yapıdaki 18 adet lityum iyon pil hücrelerinden oluşan pil takımı ve üç farklı modelin bir arada olduğu hava soğutmalı batarya kutusu tasarlanıp imal ederek hava soğutmalı batarya termal yönetim sisteminin soğutma deneylerini yapmışlardır.

Bozkurt (2022), entegre pil enerji depolama sistemlerine sahip fotovoltaik (FV) sistemler, enerji verimliliğini, sürdürülebilirliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında rolü vardır. Bu çalışmada, şebeke bağlantılı hibrit sistemin optimal tasarımını sağlayarak, en yaygın kullanılan geleneksel yöntemler olan değiştir ve gözlemle ve artan iletkenlik maksimum güç noktası takibi (MGNT) yöntemlerinden daha iyi sonuçlar veren yapay sinir ağları (YSA) tabanlı bir MGNT yöntemi geliştirmektedir. MATLAB/Simulink 10 kW/h kapasiteli akü depolama sistemi ile 12 kW FV sisteminden oluşan hibrit sistemi tasarlamak ve test etmek için kullanılır. Bu çalışmada hibrit sistemin tüm çalışma modları için bir senaryo oluşturulmuştur. Tarsus/Mersin'in gerçek meteorolojik verilerinden oluşan bir günün güneş ışınım eğrisi oluşturulmuş ve sistem bu ışınım eğrisi ile simüle edilerek, MGNT yöntemleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca 25°C'de 1000 W/m² ve 500 W/m² için simülasyon sonuçları ayrı ayrı analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Sunulan YSA tabanlı MGNT yönteminin, değişken atmosfer koşulları ve sistemin tüm çalışma modları için diğer yöntemlere göre daha iyi toplam harmonik bozulma (THD) sonuçları simülasyon sonuçlarından gözlemlenmiştir. Özellikle düşük ışınım değerlerinde geleneksel MGNT yöntemleri daha yüksek THD değerlerine sahipken, önerilen YSA tabanlı MGNT yöntemi ile bu durum önlenmiş ve düşük ışınımına sahip hava koşulları için daha verimli bir sistem elde edilmiştir.

İşler (2017), ızgara tasarımının kurşun asit batarya üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

Bu tezin amacı kurşun-asit bataryanın farklı şebeke performansını değerlendirmektir. Kurşun-asit akü hücresinin ızgarasının 3 boyutlu matematik kullanılarak optimizasyonu model daha düzgün potansiyel ve akım yoğunluğu dağılımı elde edilmesine yardımcı olurken, aynı zamanda iç direnci minimumda tutmak ve toplam beş farklı ızgara geometrisi

Potansiyel düşüşü ve akım yoğunluğu dağılımını değerlendirmek için kullanıldı. Optimum ızgara geometrisi sonlu elemanlar analizi yöntemiyle belirlendi. Düzgün olmayan akım ve potansiyel dağılımlar genellikle simetrik olmayan ızgara tasarımlarında gözlemlendi. Optimum ızgara tasarımı için ızgara ağırlığının önemli bir parametre olduğu bulunmuştur. Çıkış akımı yoğunluğu, ızgara boyutu, ızgara kalınlığı, elektrolit konsantrasyon ve iletkenlik, katı çerçeve kalınlığı ve iletkenlik, gözenekli alan kesir ve iletkenlik, pabuç konumu, akım toplayıcı kablo boyutu ve yoğunluğu ve son olarak aktif ağırlık için 3 boyutlu model tasarlandı. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle birlikte sayısal modelleme ve elektro kimyasal enerji depolama teknolojilerinin değerlendirilmesi yeni akü elektrotları ve akü sistemlerim geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

Özermiş vd. (2010) kurşun asit akülerin optimum şarj olmasını sağlayan şarj devresi tezinde, en yüksek verim, akü etiketinde yer alan elektriksel değerlerin yani, kapasite (Ah) ve CCA (soğukta marş basma akımı) değerlerinin T süresi boyunca sağlanabilmesidir. Burada belirtilen T süresinin optimize edilmesi gerekmektedir. Bu işlem ise, akünün şarj sistemine bağlıdır. Deney çalışmasında akü yapısı, akü şarj yöntemleri, günümüzde araçlarda kullanılan şarj sistemleri, kullanılması gereken şarj üniteleri incelenmiştir. Deney, gerçekleştirilen kurşun asit akü optimum şarj devresinin 3 adet aküye uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Üç adet aküye sırasıyla yavaş şarj, normal şarj ve hızlı şarj uygulanmıştır. Şarj sonlarında elde edilen grafiklerde akülerin kimyasal yapısını bozmadan şarj edilmesini sağlayacak uygun değerler elde edildiği görülmüştür.

Efe ve Güngör (2021), geçmişten günümüze batarya teknolojisi çalışmasında günümüze kadar gelen batarya çalışmalarında, bataryalar kullanılan elektrot ve/veya elektrolit çeşidine göre; kurşun-asit, nikel-kadmiyum, nikel-metal hidrit, lityum-iyon ve lityum-sülfür bataryalar olarak sınıflandırılmaktadır. Tüm batarya çeşitleri incelenerek günümüzdeki yerleri ve önemleri belirtilmiştir. Her bir batarya çeşidinin çalışma prensibi, avantajı, dezavantajı hakkında bilgi sunulan çalışmada, bataryaların teknik özellikleri de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Yapılan araştırma çalışmasıyla; çalışmada lityum-iyon bataryalarının diğer batarya çeşitlerine göre nominal gerilim ve özgül güç değerlerinin daha büyük olduğu, sadece nikel-kadmiyum bataryaların da hafıza etkisinin görüldüğü, diğer bataryalara göre nikel-metal hidrit bataryalarının da daha uzun bir yaşam döngüsüne sahip olduğu görülmektedir. Batarya

çeşitleri içerisinde lityum-sülfür bataryalarının özgül enerji, hacimsel enerji yoğunluğu kendi kendine deşarj ve çalışma sıcaklığının daha iyi değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışma günümüz bataryalarına genel bir bakış yapan derleme çalışması niteliğindedir.

Literatür taramasında, Lityum-iyon bataryalar üzerinde çalışmalar yoğun olduğu gözlemlenmiştir. Batarya yüzey sıcaklığı, ısı transferi etkisi, ızgara geometrisi geliştirilerek yüksek performans sağlayan kurşun asit batarya 3D matematiksel yöntem, optimum şarj olmasını sağlayan şarj devresi ve geçmişten günümüze batarya teknolojisinin gelişimi hakkında çalışmaların olduğu gözlemlenmiştir. Ancak kurşun asit bataryalarda sülyen, 3BS-4BS mikro yapı plaka üretimi, ızgara kalınlık, kurşun kaynak iyileştirici flux hazırlama ve farklı asitlerin kullanımının aküye olan etkisi birlikte incelenmediği görülmüştür. Bu faktörlerin akü performansına etkileri önemli bir araştırma konusudur. Birçok değişkenin etkisinin incelendiği bu tezde çok ölçütlü karar verme yöntemi olan MOORA yöntemi kullanılarak kurşun asit akü bileşenlerinde yapılacak değişikliklerle akü performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

3. TÜRKİYE'DE VE DÜNYA'DA AKÜNÜN GELİŞİMİ

II. Dünya Savaşı'ndan sonra, otomobil, taşımacılık ve telekomünikasyon endüstrilerinin hızlı bir şekilde artması, ayrıca rezerv enerjisinin artması ve son zamanlarda bilgi patlaması ile teşvik edilen kurşun asitli pillerin üretimi büyük ölçüde artmıştır.

Fransız fizikçi Planté (1859), pozitif aktif madde oluşturmak için kurşun folyolarını paslandırarak kurşun asit bataryanın ilk pratik modelini icat etti. İçinden ters akım geçirilerek şarj edilebilen ilk bataryadır.

Faure (1881), içine süngerimsi bir kurşun oksit macununun bastırıldığı ve daha büyük bir yüzey alanına sahip bir plaka oluşturan, bal peteğinin kesimine benzeyen kurşun ızgara kafesinden oluşan Planté'nin düz plaka (flat) modelinin önemli ölçüde geliştirilmiş bir versiyonunu ortaya koydu. Faure'in tasarımı daha verimli ve seri üretimi daha kolaydır.

Teknolojisi ve uygulamalarına göre kurşun asitli aküler aşağıdaki ana tiplere ayrılabilir:

Uygulama alanlarına göre aküler aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır: Starter aküler, (kara: -18°C, deniz: 0°C, marş kapasitesi, 65/320), stasyonier; endüstriyel aküler, telekom, genel amaç, high-rate (gerektiğinde kullanılmak üzere bekleyen), traksiyonier aküler, (üretim robotları, golf, elektrikli araç vb. için her gün kullanım amaçlı) olarak sıralanmaktadır.

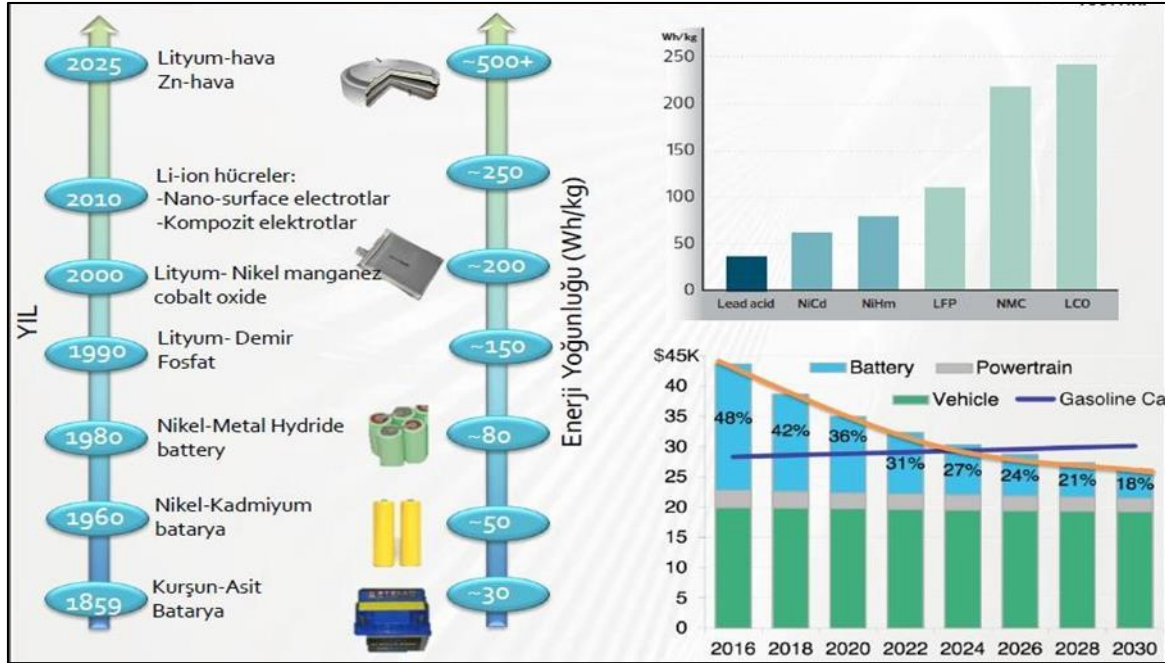
Üretime alanlarına göre aküler aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır: Sulu tip aküler, standart sulu tip aküler, tübüler sulu tip aküler, kuru tip aküler (maintenance free - vrla - sla) ,agm aküler, jel aküler, tübüler jel aküler olarak sıralanmaktadır.

Kullanım alanlarına göre alanlarına göre aküler aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır. Float aküler, bekleyen akü, cyclic aküler, her gün kullanım aküsü olarak sıralanmaktadır. Günümüzde lityum bataryaların önemi artmaktadır ancak en çok kullanılan aküler kurşun asit akülerdir.

Bakım açısından, bataryalar şöyle sınıflandırılır:

- Yüksek Sb ızgara alaşımli aküler düzenli bakım gerektirirler.
- Bakım gerektirmeyen aküler (pozitif plakalar için PbCaSn veya düşük Sb, As ve Sn ve negatif plakalar için PbCa ızgaraları).
- VRLAB'lar (PbSnCa ızgaraları ve AGM ayırıcıları ile).

Resim 3.1’de batarya teknolojisinin gelişiminin genel görünümü gösterilmiştir. Günümüzde lityum bataryalar önem kazanmıştır.



Resim 3.1. Batarya teknolojisine genel bakış

3.1. Kurşun Asit Akü Üreticisi İçin Yeni Teknolojinin Geliştirilmesi

Elektrotların yavaş üretimi ve düşük kapasiteleri nedeniyle kurşun asit pillerin kullanımı sınırlandırılmıştır. Faure (1881), kurşun levhaları kırmızı kurşun oksit, sülfürik asit ve sudan oluşan bir macunla kaplamıştır ve Pb ve PbO₂ aktif kütleleri oluşturmak üzere doldurmuştur. Akünün özgül enerjisi, 10 saatlik deşarj oranında 8 Wh ve 1 kg 'a yükselmiştir.

Volckmar (1881), kurşun levhayı kurşun ızgara ile değiştirmiştir. Sellon (1881) ise akü de saf kurşun ızgaralar yerine kurşun kenarlık ızgaraları kullanmıştır. Curie (1911), kurşun

asitli aküler için boru şeklinde pozitif plakalar tasarlamıştır. Bu plakalar endüstriyel tip akülerde kullanılmıştır.

Gladstone ve Tribe (1882), batarya çalışması sırasında iki elektrotta ilerleyen reaksiyonları açıklamıştır ve çift sülfat teorisini önermişlerdir.

Aron (1885), kurşun asitli bir pilin şarj ve deşarjı ile ilgili işlemleri ayrıntılı olarak incelemiştir. Özel H_2SO_4 elektrolit yoğunluğu ve boşalma süresi arasında bir korelasyon kurmuştur ve ilk olarak batarya sülfatlama işlemlerini tarif etmiştir.

3.2. İnsan Yaşamında Kurşun Asitli Akülerin İlk Uygulamaları

1880'lerin başlarında, yüksek kapasiteli ve nispeten basit üretim teknolojisine sahip kurşun bir batarya yaratılmıştır. Trouve (1881) ilk üç tekerlekli elektrikli otomobilinde kurşunsuz bir pil kullanılmıştır, 12 km/h hıza ulaşmıştır. 1886' da, kurşun asit piller tarafından itilen ilk denizaltı, Fransa'da piyasaya sürülmüştür. Bir kurşun pil, 4 m/s hızında itilen küçük, yönlendirilebilir bir balonun içine monte edilmiştir.

Jenatzy (1899), kurşunsuz pillerle çalışan puro şeklindeki elektrikli otomobiliyle 109 km/h hız rekoruna ulaşmıştır.

Kurşun asit bataryası hızla gelişen telekomünikasyon teknolojilerinde hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır: birincisi, Morse elektrik telgrafında ve daha sonra ABD'deki telefon şirketleri tarafından kullanılmıştır.

1882 yılında, Paris şehri, aydınlatma için elektriğin dağıtılması için bir dinamo ve kurşun asit akülerden oluşan bir sistem kurmuştur. Elektrikle aydınlatılan ilk cadde Paris'teki Grands Magasins Louvre'du (lights ışık şehri). Plante (1883), Viyana'daki Franz Josef İmparatorluk Sarayı'na aydınlatma için sabit ve taşınabilir donanımlar sağlamıştır.

Kurşun asit akü yavaş yavaş sanayinin çeşitli sektörlerine yerleştirilmiş ve elektrik enerjisi üretimi ve depolanmasında önemli bir araç haline gelmiştir. Böylece kurşun asit batarya sisteminin geliştirilmesindeki ilk aşama ve üretim teknolojisi tamamlanmıştır.

3.3. Kurşun Oksit Üretim İşlemleri

Faure (1881), kurşun levhaların her iki tarafını ve daha sonra kurşun ızgaraları kaplamak için bir kurşun oksit (litharge), kırmızı kurşun, sülfürik asit ve su hamuru ile kaplamak ve daha sonra Pb ve PbO₂ aktif oluşturmak üzere plakaları doldurmak için bir işlem geliştirmiştir. Kurşun oksit, yanıcı bir fırında kurşunun eritilmesi ile üretilmiştir ve sonra erimiş kurşun, bir hava ve su buharı akışı ile oksitlenmiştir. İşlem yavaş (parti başına yaklaşık 30 saat) ve elde edilen oksit, kaba tanecik haline getirilmiştir ve batarya endüstrisinde kullanım için uygun bir ürün elde etmek için öğütülmüş olması gerekmektedir.

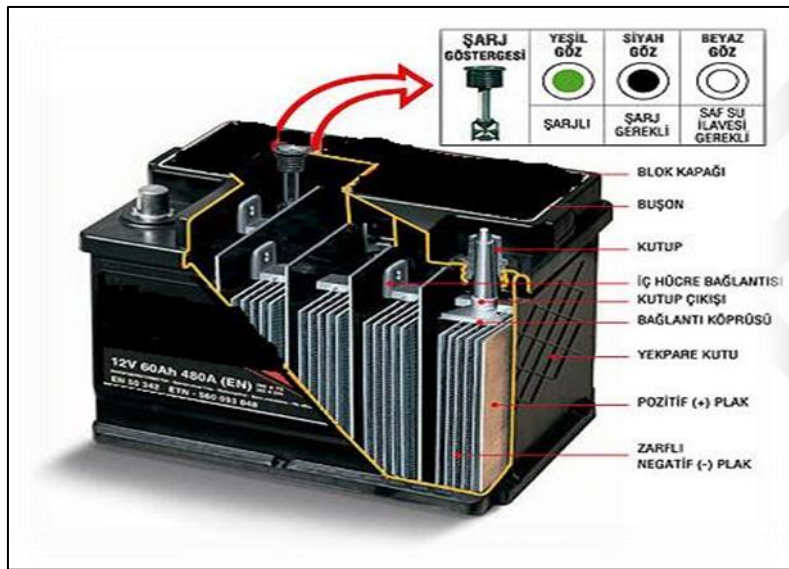
Shimadzu (1926), değirmende birbirine yuvarlanan kurşun bilyeler kullanarak, taşlama cevherleri, pigmentler, vb. için kullanılan bilyeli değirmen işleminin bir uyarlamasını tarif etmiştir. Sürtünme, kurşun topların dış yüzeyini oksitlemek için yeterli ısı üretmiştir ve elde edilen oksit tabakası sürekli olarak toz halinde düşmüştür. Belli bir hız ve nemde hava akımı, kaba fraksiyonları ayırmak ve bunları değirmene geri döndürmek için dahili tozları eleklerden geçirilmiştir. İnce kurşun oksit parçacıkları depolama silolarında toplanmıştır.

Barton (1898), erimiş kurşunun hızlı bir şekilde karıştırıldığı ve küçük damlacıklara atomize edildiği yeni bir işlemin patentini almıştır, kaptan çekilen nemlendirilmiş bir hava akımı ile kurşun oksitlenmiştir. Elde edilen oksit bir seri siklondan geçirilmiştir. Büyük partiküllerin ayrıldığı ve ileri işlem için reaksiyon kabına geri döndüğü sınıflandırıcılar, ince toz ise silolarda toplanmıştır.

Her iki yöntem de (Barton pot ve top değirmeni) %20 ila %40 arasında serbest kurşun içeren kısmen oksitlenmiş kurşun oksit üretmiştir. Oksidin süresi büyük ölçüde azaltılmıştır, bu da 1926'dan sonra kurşun-asit batarya endüstrisinin gelişmesine güçlü bir ivme kazandırmıştır. Günümüzde, bu iki işlem hala kurşun oksit üretimi için hâkim yöntemlerdir.

4. AKÜNÜN BİLEŞENLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Akü kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine ve elektrik enerjisini kimyasal enerjiye tekrarlı olarak birçok sefer çevirebilen cihazlardır. Akü araçta ateşleme, alternatörün yetersiz kaldığı durumlarda elektrik ihtiyacını karşılama ve elektrik sistemini dalgalanmalara karşı koruma gibi yaşamsal fonksiyonları gerçekleştiren bir cihazdır. Elektrolit tiplerine göre aküler; kuru ve sulu olarak sınıflandırılır. Elektrolit bir pasta haline getirilerek sabitlenmiş ise akü kuru akü, sıvı halde bulunuyorsa sulu akü adını alır.



Resim 4.1. Akünün bileşenleri

Bir aküden 12V'luk gerilim elde edilir ve her aküde 6 adet hücre bulunur. Bu hücrelerin içinde birbirine seri olarak bağlanmış elemanlar vardır (Resim 4.1). Her hücre yaklaşık 2 V gerilim kapasitesine sahiptir. Reaksiyon sadece elektrotların yüzeyinde gerçekleştiğinden elektrotlar ince plakalar şeklinde tasarlanır.

4.1. Kapasite

Kapasite amper saat olarak tanımlanır. Akü tam şarjlı iken, aküden alınabilecek toplam enerji miktarıdır. Kapasite, plakaların yüzey alanlarına, sayılarına, asit miktarına, yoğunluğuna, sıcaklığına ve seperatörlerin geçirgenliğine göre değişir. Enerji kayıplarından dolayı şarj esnasında amper-saat olarak verilen elektrik miktarı, akünün deşarjında alınan

amper-saat elektrik miktarından her zaman büyüktür. Bu yüzden hiçbir zaman %100 kapasite verim sağlayamaz.

12 V ve 60 Ah bir aküyü örnek verecek olursak 6 Amper güç ile çalışan bir oto teybini 10 saat çalıştırabilir. ($60 \text{ Ah} / 6 \text{ A} = 10 \text{ saat}$) 10 saat çalışma sonunda akü boşalır ve tekrar şarj edilmesi gerekir.

4.2. Ah (Amper Saat)

Akünün kapasitesi amper saat olarak tanımlanmaktadır. Bu değer akünün depolayabileceği maksimum elektrik enerjisi miktarını göstermektedir.

4.3. CCA (Soğuk Marş Akımı)

Aküde CCA (Cold Cranking Ampere / soğuk marş akımı) marş motorunu çalıştırırken ani olarak çekilen marş gücüdür. Bu marş gücü -18 derecede hesaplanır ve amper cinsinden tanımlanır. DIN, EN, SAE gibi normlarda olabilir. Plaka sayısı CCA değerini direkt etkiler.

Amper (sembölü A), elektrikte akım şiddeti birimidir. Aküden bir defada çekilebilen maksimum akım değerine verilen isimdir. A(EN) ise Avrupa normunda CCA değerini belirtir. JIS normunda CCA değeri SAE olarak tanımlanır.

4.4. Akünün Kimyasal Yapısı

Kurşun-asit akü plakalarında kurşun ve alaşımları, kurşun oksitleri ve sülyen, elektrolit yapısında ise seyreltilmiş sülfürik asit kullanılmaktadır. Şarj olmuş bir aküde pozitif plakada kurşun dioksit (PbO_2), negatif plakada ise gözenekli yapıya sahip kurşun (Pb) bulunmaktadır. Plakalar + ve - özelliklerini ilk şarjdan sonra kazanırlar. Bataryada deşarj sırasında saf kurşun (- plaka) yükseltgenir ve kurşun dioksit (+ plaka) indirgenir ve her iki elektrot kurşun sülfat haline gelir. Batarya bir doğru akım kaynağına bağlandığında ise bu reaksiyonlar tersine döner ve batarya şarj olur.

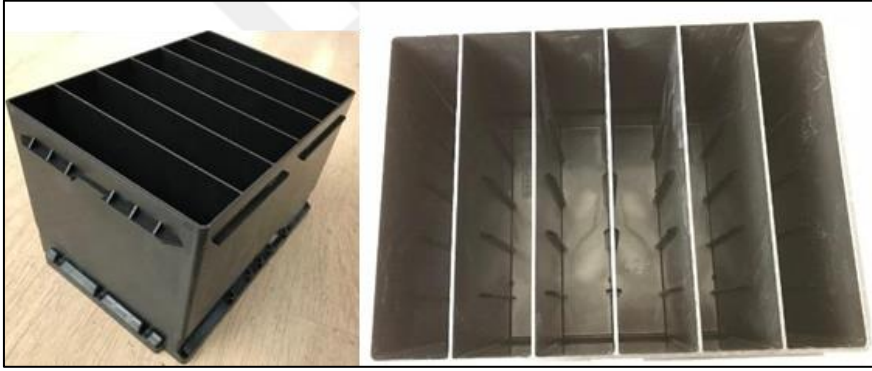
Reaksiyon Eş. 4.1'deki şekildedir ve çift yönlüdür;



Aküyü oluşturan parçalar kutu, kapak, buşon, indikatör, eleman, kutup başı, plaka, seperatör ve elektrolitten oluşmaktadır.

4.4.1. Akü kutusu

Akü kutusu kullanılacağı yerin durumuna göre boyutları bulunmaktadır. Akü kutuları 6 hücreden oluşmaktadır ve kutular plastik malzemeden yapılmaktadır. (Resim 4.2).



Resim 4.2. Akü kutu görünümü

4.4.2. Aküde kullanılan kapak

Akü kapakları hava sızdırmayacak şekilde yapıştırılarak aküyü kapatmaktadır. Akü kapaklarında buşonlu kapak ve buşonsuz kapak olmak üzere iki çeşit kapak kullanılmaktadır. Akü kapak görüntüleri Resim 4.3 gösterilmektedir.



Resim 4.3. Akü kapak görünümü

4.4.3. Buşon (Tapa)

Buşonlar tamir edilebilir akülerde bulunur (Resim 4.4). Üç tane görevi vardır.

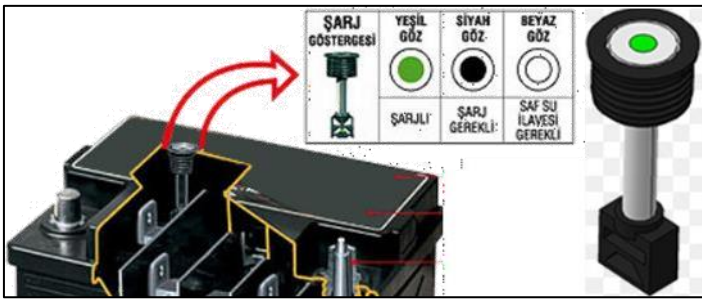
- 1) Buşonlar çıkarılıp, elektrolitin yoğunluğunu ölçmek veya saf su ilave etmek.
- 2) Buşon tamamen kapalıyken akümülatör içinde oluşan gazların buşonların içindeki küçük delik yoluyla dışarı çıkmasını sağlamak.
- 3) Özel tip bazı buşonlarda, 6 adet hücrenin her birinde oluşan gazı buşon içinde yoğunlaşarak tekrar elektrolite dönmesini sağlar ve böylece akünün saf su kaybını azaltır.



Resim 4.4. Buşon

4.4.4. İndikatör

Asit yoğunluğunun ve seviyesinin, yalnızca bir hücre kontrolüyle kontrol etmeye yarayan akü elemanıdır (Resim 4.5).



Resim 4.5 İndikatör

4.4.5. Kutup başı ve eleman

Akü elemanı seperatör, pozitif-negatif plakalar ve griftten (eleman yastığı) meydana gelmektedir. Her hücrede 1 eleman bulunmaktadır. Bir (+) bir (-) olarak dizilen plakaların oluşturduğu grupların her birine eleman adı verilmektedir (Resim 4.6). Artı uçlar bir tarafa,

eksi uçlar bir tarafa bağlanır, her hücreye bir eleman yerleştirilir. Akü elemanının akım vermesinin nedeni iki kutupta da farklı kimyasal maddeler bulunmasıdır.



Resim 4.6. Kutup başı ve eleman

Kutup başı artı ve eksi kutupları meydana getirmektedir. Kurşundan yapılmaktadır. Pozitif plakalar artı kutba, negatif plakalar eksi kutba bağlanır. Kapak üstünde yönleri belirtilir. (+) kutup sağ tarafta ise düz aküdür.

Kutup başı çapı (+) > (-) ve (+) kutba kırmızı akü kablosu, (-) kutba siyah şase kablosu takılmaktadır.

4.4.6. Plaka

Bir akü hücresi içinde, negatif ve pozitif olmak üzere iki tane plaka grubundan oluşmaktadır. Plakanın boyutları müşterinin talebine veya imalatçının kullanım amaçlarına göre çeşitli olabilmektedir. Genel olarak akü hücresi içindeki negatif plaka sayısı, pozitif plaka sayısından bir fazladır. Bu durumda genel olarak az sayıda olan plakalar ayıraçla zarflanır ve pozitif plakanın her iki yüzeyi de aktif durumda tutularak bükülmesi önlenmesi amaçlanır.

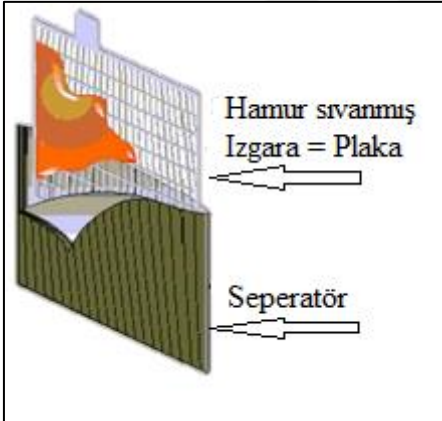
Pozitif plakanın aktif maddesi Kurşun Dioksit (PbO_2), negatif plakanın aktif maddesi Kurşun (Pb)'dur. Pozitif plaka kapasiteyi verir, oksitlenir o yüzden daha kalın ve ağırdır (Resim 4.7).



Resim 4.7. Plaka görünümü

4.4.7. Seperatör

Seperatör yani ayıraçlar akü içerisinde bulunan pozitif ve negatif plakaların birbirine temas edip kısa devre yapmasını engellemektedir. Asite karşı dayanıklı yalıtkan (polietilen) malzemeden yapılmıştır, ancak sadece iyonların geçebileceği büyüklükte gözeneklere sahiptir (Resim 4.8).



Resim 4.8. Seperatör ve plaka

4.4.8. Elektrolit

Akü içerisine koyulan, plakaların içine batırıldığı, iyonların pozitif kutuptan negatif kutba taşınmasını sağlayan seyreltilmiş sülfürik asittir. Tam şarjlı aküde 27 °C'de elektrolit yoğunluğu 1,28 g/cm³'tür. Daha yüksek yoğunluklarda daha fazla voltaj verir ancak çabuk yıpranmaktadır. Daha az yoğunlukta ise marş akımı gücü azalmaktadır. Aküler kullanılıncaya boşalır ve pozitif, negatif plakalar kurşun sülfat haline döner farklılık ortadan kalkar. Sülfürik asit ise suya dönüşür.

4.5. Akünün Çalışma Prensibi

Deşarj işlemi sırasında aşağıdaki tepkimeler olur, sülfürik asidin içindeki sülfat iyonları plakalara geçer ve asit seyrelir. Asidin hidrojeni ile dioksinin oksijeni birleşerek suyu oluşturur, bu çözeltiyi daha da seyreltir. Kurşun dioksit ve kurşun, kurşun sülfata dönüşür. Aşağıda şema halinde deşarj işlemleri anlatılmaktadır (Şekil 4.1).

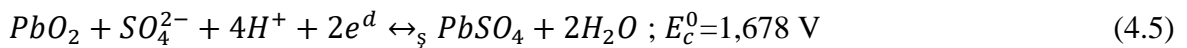


Şekil 4.1. Deşarj işlemi

Elektrolit eşitliği Eş. 4.2 ve Eş.4.3'de gösterilmiştir.

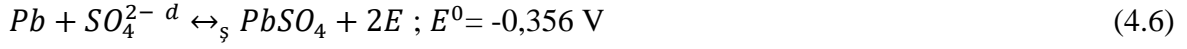


(+) Pozitif kutup tepkimeleri:

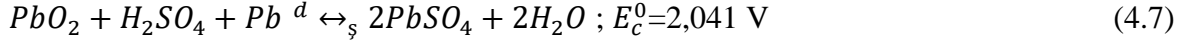


Pozitif kutup tepkimeleri pozitif değer verirken negatif kutup tepkimeleri negatif değer vermektedir. Genel eşitlikte toplam değer pozitif tepkimeden negatif tepkime çıkarılarak bulunur.

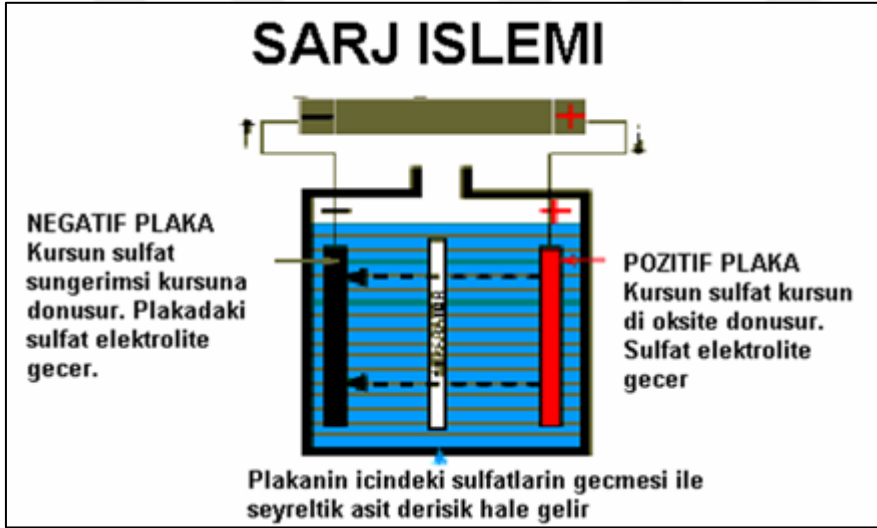
(-) Negatif kutup tepkimeleri:



Genel eşitlik:



d ve ş; eşitliklerde deşarj ve şarj anlamına gelmektedir. Aşağıda şema halinde deşarj işlemleri anlatılmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Şarj işlemi

Şarj işleminde plakanın içindeki sülfatların geçmesi ile seyreltik asit derişik hale gelir.

4.6. Kurşun Asit Hücresinin İmalatı ve İşletilmesinde Kullanılan Kurşun Bileşikleri

Elektrokimyasal reaksiyonları ve Pb / H_2O ve $Pb / H_2SO_4 / H_2O$ sistemlerinin elektrot potansiyellerini ve bu sistemlerde yer alan bileşiklerden kurşun oksit, kurşun sülfat monobazik kurşun sülfat, tribazik kurşun sülfat, tetrabazik kurşun sülfat, kurşun dioksit, sülyen aküde önemli rol almaktadır.

4.6.1. Kurşun oksit (PbO)

Bu kurşun bileşiği iki polimorfik formda bulunur: tetragonal (β -PbO) ve ortofobik (α -PbO). İki formun 25 ° C'deki sudaki çözünürlüğü α -PbO için 0,0504 g L⁻¹ ve β -PbO için 0,1065 g L⁻¹'dir . Kurşun oksit, kurşun hidroksitleri, 3PbO H₂O ve 5PbO H₂O oluşturur. Kurşun oksit, amfoterik yapıya sahip bir bileşik olan Pb (OH) 2'yi oluşturmak için hidratlanır.

HPbO₂ ve Pb (OH) 2iyonlarına ayrıştır. Batarya endüstrisinde kurşun oksit, kurşunun kısmi termal oksidasyonu ile elde edilir ve geri kalan kısmı oksitlenmemiş kurşun olan %73 ila %85 PbO içerdiği için "kurşunlu oksit" olarak adlandırılır. Kurşunlu oksidin temel bileşeni PbO, ancak ortofobik PbO' da %5-6'ya kadar mevcuttur. Kurşun oksit, kurşun asit akü plakası üretiminde kullanılan macunların hazırlanmasında kullanılır. daha çözünür.

4.6.2. Kurşun sülfat (PbSO₄)

Oda sıcaklığında, bu kurşun bileşik genellikle ortombiktir, ancak yüksek sıcaklıklarda (> 800 ° C), bir küp kristal formu kazanır. Kurşun sülfat, BaSO₄ ve SrSO₄'e izomorfiktir. Suda çok az çözünür: 40 ° C'de 0,0425 g L⁻¹ ve 40 ° C'de 0,056 g L⁻¹. Sülfürik asit çözeltisindeki çözünürlüğü, H₂SO₄ konsantrasyonuna bağlıdır. Kurşun sülfat, pozitif ve negatif akü plakalarının boşaltılması ve kendiliğinden deşarjı sırasında oluşur. Temel kurşun sülfatları oluşturmak için PbO ile reaksiyona girer. Oda sıcaklığında, bu kurşun bileşik genellikle ortombiktir, ancak yüksek sıcaklıklarda (> 800 ° C) bir küp kristal formunu alır. Kurşun sülfat, BaSO₄ ve SrSO₄'e izomorfiktir. hidratlanır.

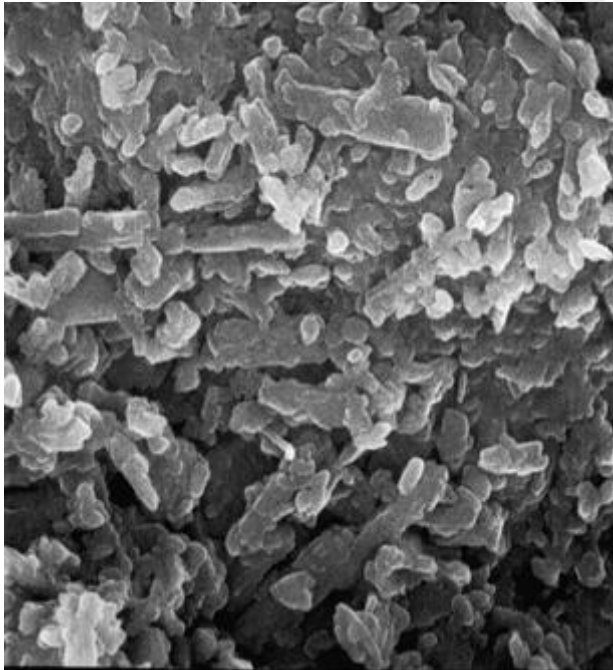
Suda çok az çözünür: 25 ° C'de 0,0425 g L⁻¹ ve 40 ° C'de 0,056 g L⁻¹ Sülfürik asit çözeltisindeki çözünürlüğü, H₂SO₄ konsantrasyonuna bağlıdır. Kurşun sülfat, pozitif ve negatif akü plakalarının boşaltılması ve kendiliğinden boşaltılması sırasında oluşur. Bazik kurşun sülfatları oluşturmak için PbO ile reaksiyona girer. Kurşun sülfat akü üretim hatlarında kurşun ile sülfürik asidin tepkimeleri sonucu oluşmaktadır. Bu proses zamanları ayarlamak üretimde doğru çıktıyı almak için önemlidir ve bu duruma dikkat etmek gerekmektedir. Monobazik kurşun sülfat , tribazik kurşun sülfat ve tetrabazik kurşun sülfat oluşumları konu olarak ele alınmıştır.

4.6.3. Monobazik kurşun sülfat, PbO. PbSO₄ (1BS)

Uzun ince kristallerden yapılmış monoklinik bir kristal maddedir. PbO, hamur hazırlığı sırasında H₂SO₄ çözeltisi ile karıştırıldığında, çok dar bir pH aralığında: ağırlıkça 8-15 % H₂SO₄ / kurşunlu oksit içinde oluşur. Monobazik kurşun sülfat, kürlenmiş plakaların oluşumdan önce sülfürik asit çözeltisine batırılması sırasında da elde edilir. 1BS suda az çözünür, 0 ° C'de 0,044 g L1, fakat zayıf H₂SO₄ çözeltilerinde daha çözünür.

4.6.4. Tribazik kurşun sülfat, 3PbO. PbSO₄. H₂O (3BS)

Bu kurşun bileşik, 1-4 mikron uzunluğunda ve 0.2-08 mikron uzunluğunda prizmatik kristaller oluşturur. Yoğunluğu 6,5 g cm³ 'tür. Suda az çözünür, 0,0262 g L1. Kurşunlu oksit sülfürik asit çözeltisi ile karıştırıldığında (ağırlıkça %8'e kadar H₂SO₄ / PbO) 3BS elde edilir ve sonuncusu 70 ° C'nin altındaki sıcaklıklarda hazırlandığında akü hamurunun temel bileşenini oluşturur. Tribazik kurşun sülfat, kurşun dioksit aktif kütlelerinin yapısını ve dolayısıyla pilin performans özelliklerinden bazılarını etkiler.

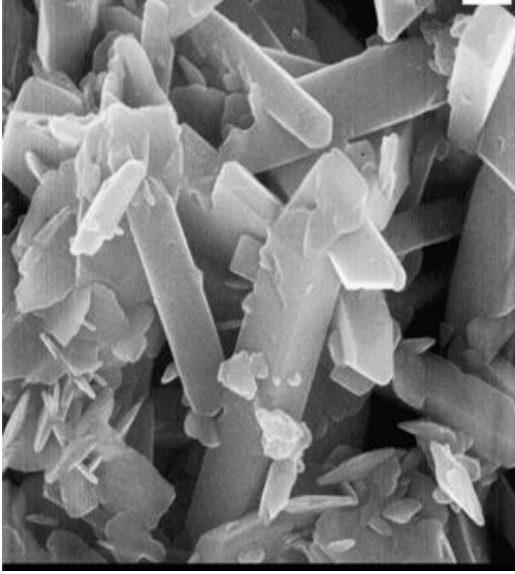


Resim 4.9. Tribazik kurşun sülfat SEM görüntü görseli

Tribazik kurşun sülfat SEM görüntüsü incelendiğinde de 1-4 mikron uzunluğunda küçük kristaller oluşmaktadır (Resim 4.9).

4.6.5. Tetrabazik kurşun sülfat, $4\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4$ (4BS)

10 ila 100 mikron uzunluğunda ve 3 ila 15 mikron çapında prizmatik kristaller içerir. Kurşunlu oksit sülfürik asit çözeltisi $\text{H}_2\text{SO}_4 / \text{PbO}$ <ağırlıkça %6,75 ° C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ve ayrıca macunun yüksek sıcaklıklarda kürlenmesi sırasında karıştırıldığında 4BS oluşur. (> 85 C) su buharı varlığında. 4BS'den oluşan aktif kütlelerin yapısı, uzun pil ömrü sağlar.



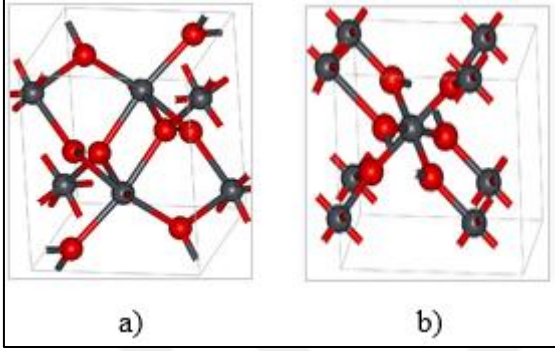
Resim 4.10. Tetrabazik kurşun sülfat SEM görüntü görseli

4.6.6. Kurşun dioksit (PbO_2)

Kurşun oksit, PbO_2 formülüne sahip bir inorganik bileşiktir. Kimyasal bileşimi Pb'nin +4 yükseltgenme durumunda oluşan oksittir (Meek,2005). Su da çözünmezler ve koyu kahverengi bir toz halindedir (Eagleson ,1994). İki kristal formda bulunur. Elektrokimyada, genellikle kurşun asit akülerin pozitif ve negatif plakasının aktif malzeme yapımında sıkça kullanılmaktadır.

Kurşun dioksitin, alfa ve beta olmak üzere iki önemli polimorfu vardır. Bu formlar sırasıyla, scrutinyit ve plattnerit nadir mineralleri olarak doğada bulunur. Beta formu 1845 yılında tanımlanmışken, α - PbO_2 ilk olarak 1946 yılında tanımlanmış ve 1988 yılında doğal olarak oluşan bir mineral olarak bulunmuştur. Sıcaklığın 22'den 84 ° C'ye yükselmesiyle, PbO_2 'nin iletkenliği her 1 C adımda yaklaşık %0,06 azalır. Kurşun dioksit pratik olarak suda

çözünmez, sülfürik asit çözeltisinde ise 22 ° C'de 0,01 M L1 çözünürlüğe sahiptir. PbO_2 güçlü bir oksitleyicidir ve genel olarak stokiometrik olmayan bileşiklerin yanı sıra kolayca Pb_3O_4 ve Pb_2O_3 'e indirgenir. Formül PbO_n ($1 < n < 2$). Elektrokimyasal olarak elde edildiğinde, PbO_2 partiküllerinin yüzey katmanları, $PbO(OH)_2$ 'yi oluşturan hidratlanır.



Resim 4.11. a) α - PbO_2 'in kristal yapısı b) β - PbO_2 'in kristal yapısı

4.6.7. Kırmızı kurşun (sülyen), Pb_3O_4

Sülyen, kırmızı kurşun veya minyum olarak da adlandırılan, Kurşun oksit Pb_3O_4 formülüne sahip inorganik bileşiktir. Parlak kırmızı veya turuncu renkli bir katı olan kurşun tetraoksit, akülerin üretiminde pozitif aktif malzemede katkı maddesi olarak belli bir oranda kullanılır (Resim 4.12).

Bu kurşun bileşiği, $2PbO$ ve $1 PbO_2$ 'den oluşur ve asitlerde kolayca ayrışır. Kırmızı kurşun, ılık ve soğuk suda hemen hemen çözünmez. $2PbSO_4$ ve PbO_2 oluşturmak için H_2SO_4 ile reaksiyona girmektedir.



Resim 4.12. Kırmızı kurşun (sülyen) görsel

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kurşun asit akülerde çevrim ömrü plakadaki şerit kalınlığı, şeritten oluşturulacak ızgaranın malzemesi, pozitif aktif malzeme ve negatif aktif malzeme morfolojik yapısı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada sülyenli plaka, suluşarj operasyonundaki kostikli asit kullanımının, hamur morfolojik yapısının, ızgara kalınlığının, ızgara üretiminde kullanılan kalsiyum ve antimuanın etkileri deneysel sonuçlarla açıklanmaya çalışılmıştır. Bu tezde 12 adet deney ve 6 adet deney grubu oluşturulmuş ve çok ölçütlü karar verme yöntemi olan MOORA yöntemi kullanılarak kurşun asit akü bileşenlerinde yapılacak değişikliklerle akü performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Deneysel çalışmalar yapılırken ikili kombinasyon yapılarak denemeler yapılmış ve iyi olan seçilmiştir. Sülyenli plaka ile üretilen aküler ve sülyensiz plaka ile üretilen standart aküler karşılaştırılmış iyi olan seçilmiştir. Kalsiyumlu ve antimuanlı ızgara ile yapılan akülerde aynı şekilde iyi olan seçilmiştir. Plakaların morfolojik yapıları incelendiğinde 3BS ve 4BS aküler yapılmış ve SEM, XRD sonuçları irdelenmiştir. Starter akülerde stoklama ömrü 6 aydır. Üretici bu 6 ayı ve müşterisinin stoğunda bekleme süresindeki 6 ayı toplamını alarak ölçüm yaparak akü voltajında ne kadar düşüş olduğunu ve son nihai kullanıcıda minimum ne kadar olacağını görmek amaçlanmaktadır. Bu sebepler deneysel çalışmalar yapıldıktan sonra aküler 12 ay boyunca voltaj grafiği yapılmıştır. Açık devre voltaj haritalama dediğimiz (OCV mapping) bu çalışma ile MOORA yöntemi için gerekli veriler elde edilmiştir. MOORA yöntemi kullanılarak en uygun seçim yapılmıştır.

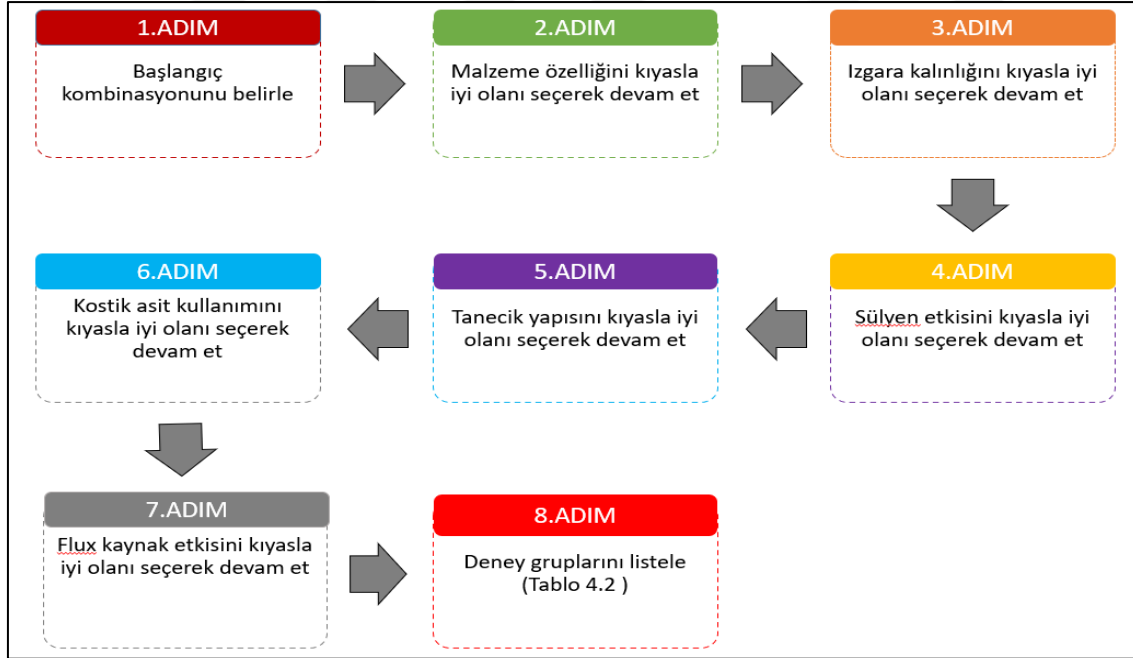
5.1. Materyal ve Yöntem

Kurşun asit akülerde kullanılan ızgara alaşımlarından kalsiyum ve antimuan alaşımlı akülerde beklenen korozyon pozitif ızgaralarda oluşur. Korozyon direncinin arttırılması için gümüş ve kalay gibi madenler alaşıma eklenebilmektedir. Ancak bu durum negatif ızgarada hidrojen oluşumuna neden olmaktadır. Bu durum akülerde su kaybını arttırmaktadır. Su kaybı yüksek olan ve korozyon direnci düşük olan aküler voltaj hızlı bir şekilde düştüğü için çevrim testlerinden geçemezler.

Çizelge 5.1. Deney tasarım değişkenleri

Katkı maddeleri	Malzemenin özelliği	Izgara kalınlığı
I. Sülyenli plaka	1. Kurşun-Antimuan alaşımlı ızgara	a. 0,8mm
II. Sülyensiz plaka	2. Kurşun-Kalsiyum alaşımlı ızgara	b. 1,1 mm
III. 3BS morfolojik yapı		
IV. 4BS morfolojik yapı		
V. Kostikli asit kullanımı		
VI. Flux kaynak		

Bu tez çalışmasında deneysel tasarım yapılarak aküde su kaybı az, korozyon direnci daha yüksek ve aküde daha uzun ömür ve verim alınması amaçlanmıştır. Bu çalışmada Çizelge 5.1’de verilen bağımsız değişkenlerin akü performansına etkileri çok ölçütlü bir karar verme yöntemi olan MOORA yöntemi kullanılarak incelenmektedir.



Şekil 5.1. Deney gruplarının oluşturulması süreci akış şeması

Tez çalışması Şekil 5.1 ‘de gösterildiği üzere 8 adımdan oluşturulmuştur. Her bir değişken ikiye bölünmüş ve karşılaştırılmış ve performansları incelenerek iyi olan seçenek seçilmiştir. 12 ay sonra MOORA yöntemi kullanılarak en iyi seçeneğe karar verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deney Grupları

1. Karşılaştırma		2. Karşılaştırma		3. Karşılaştırma		4. Karşılaştırma		5. Karşılaştırma		6. Karşılaştırma	
Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6	Grup 7	Grup 8	Grup 9	Grup 10	Grup 11	Grup 12
1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
a	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a
II	II	II	II	I	II	I	I	I	I	I	I
III	III	III	III	III	III	III	IV	III	III	III	III
V	V	V	V	V	V	V	V	V	-	V	V
VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	-

Bu deneysel çalışmalar kapsamında Çizelge 5.2’de verilen 12 farklı kombinasyon incelenmiştir. Bu kombinasyonların kıyaslanmasında her kombinasyona ait akünün 12 ay boyunca voltaj ve iç direnç değerleri takip edilmiştir. OCV mapping sonrası voltaj düşüşü en az olan akünün plakaları SEM ve XRD sonuçları incelenmiştir.

5.2. Deney Grupları 1. Karşılaştırma

Bu deney grubunda akümülatörün en temel bileşeni olan ızgara alaşımlarının geliştirilerek akümülatör performansının artırılması istenmiştir. Özellikle ağır hizmet akümülatörlerinde kullanılmak üzere su kaybı azaltılmış ve korozyon direnci artırılmış ızgara üretiminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla mevcut Kurşun-Antimuan alaşımlı ızgara üretimi Kurşun-Kalsiyum alaşımı ile yapılarak performansı kıyaslanmıştır.

Gelişen araç teknolojileri ile birlikte otomotiv akülerinden beklentilerin sürekli artması ve artan kaput altı motor sıcaklıkları (60°C-80°C) nedeniyle su kaybının yanı sıra çevrim ömrü ve korozyona dayanımı gibi diğer özelliklerde olumsuz yönde etkilenmektedirler.

Yapılan bu tez çalışmasından, antimuan alaşımlarının kalsiyum alaşımlarından daha hızlı korozyona uğradığı anlaşılmaktadır. Ağır hizmet akümülatör üretiminde pozitif ve negatif ızgaralar %1,8 Antimuan alaşımlı yani düşük antimuan alaşımı kullanılmaktadır (Çizelge 5.3). Su kaybı akümülatör içerisinde gerçekleşen kimyasal tepkimeler nedeni ile negatif ızgarada gerçekleşmektedir.

Çizelge 5.3. Antimuan alaşımlı ızgara kurşunu spektleri

Element	Değer (%)	Tolerans (%)
Antimuan (Sb)	1,8	±0,1
Kalay (Sn)	0,135	±0,015
Arsenik (As)	0,125	±0,005
Selenyum (Se)	0,03	±0,005

Mevcut durumda kullanılan ızgara döküm makinelerinin kalsiyumlu kurşun alaşımı dökümünde kalıp sıcaklıklarının antimuanlı alaşım dökümüne göre daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Kalıp sıcaklıklarının yüksek olması nedeni ile mantar atma prosesi 1,5 katında çıkarılmıştır. Çalışmalar sonucunda kalsiyum alaşımlı ızgaralar için uygun spektler belirlenmiştir.

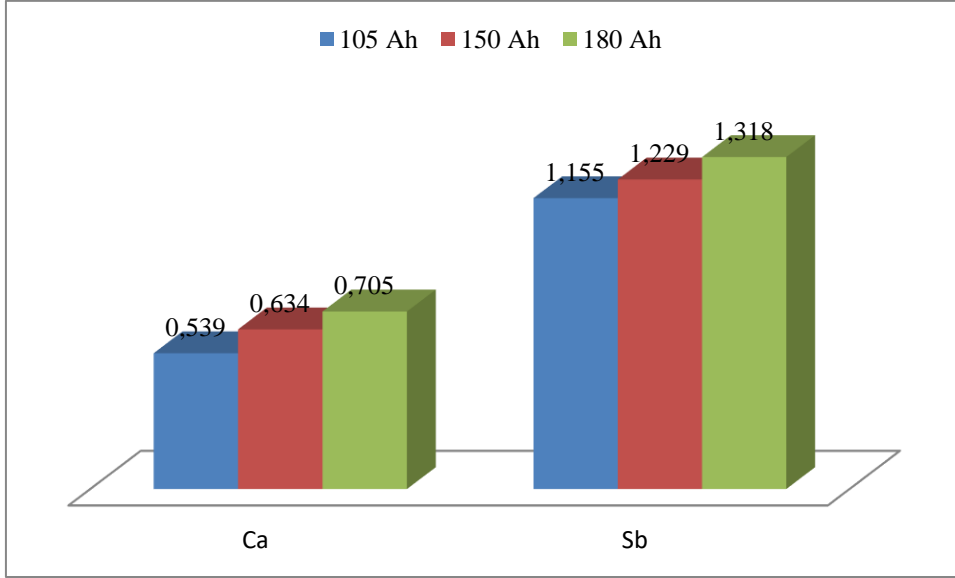
Çizelge 5.4. Kalsiyum alaşımlı ızgara kurşunu spektleri

Element	Değer (%)	Tolerans (%)
Kalsiyum (Ca)	0,09	± 0,01
Kalay (Sn)	0,3	± 0,05
Alüminyum (Al)	0,012	± 0,003
Antimuan (Sb)	Max 0,001	
Arsenik (As)	Max 0,001	
Selenyum (Se)	Max 0,003	

Deney sonucunda 105,150 ve 180 amper antimuan ızgaralı ve kalsiyum ızgaralı aküler yapılarak su kaybı testi, çevrim testi, korozyon testine verilmiştir. Ayrıca 12 ay boyunca voltaj takibi yapılarak ADV haritalama yapılmıştır.

Çizelge 5.5. TS EN 50342-1 5.8 su kaybı testi sonuçları

Alaşım	Gereklilik	Test Sonucu
Ca	≤1g/Ah	0,634 g/Ah
Sb	≤4g/Ah	1,229 g/Ah
Alaşım	Gereklilik	Test Sonucu
Ca	≤1g/Ah	0,705 g/Ah
Sb	≤4g/Ah	1,318 g/Ah
Alaşım	Gereklilik	Test Sonucu
Ca	≤1g/Ah	0,539 g/Ah
Sb	≤4g/Ah	1,155 g/Ah

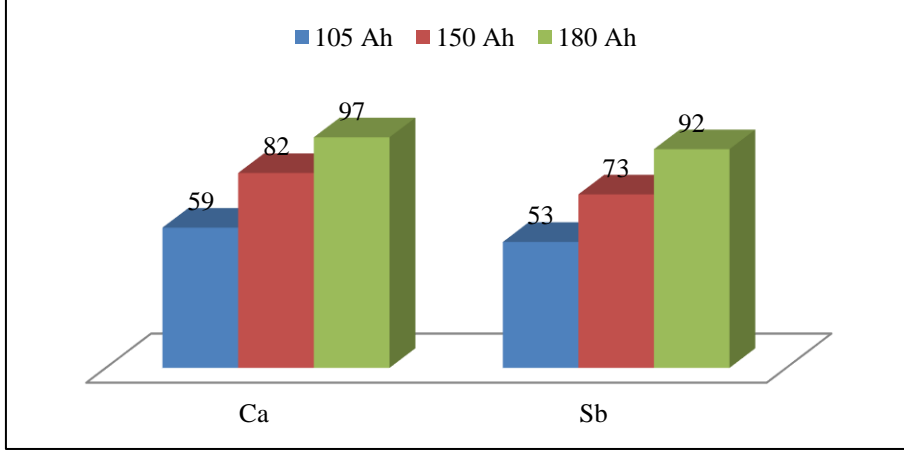


şekil 5.2. Su kaybı test sonuçları grafik gösterimi

Kurşun kalsiyum ve kurşun antimon alaşımlı ızgaralar ile üretilen numuneler üzerinde uygulanan test sonuçları değerlendirildiğinde su kaybı testinde ortalama olarak Ca alaşımlı ızgara ile üretilen akülerde %49 oranında su kaybının azaldığı görülmüştür (şekil 5.2).

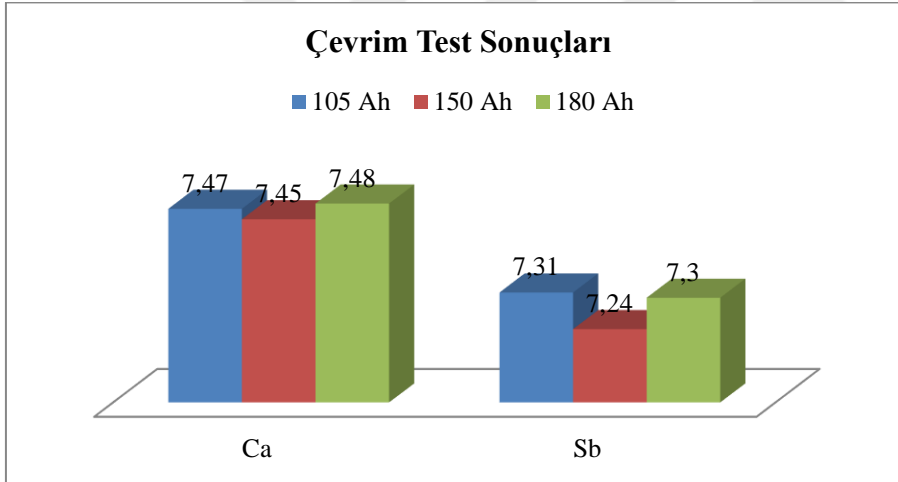
Çizelge 5.6. TS EN 50342-1 5.6.3 çevrim testi sonuçları

Alaşım	Gereklilik	Test Sonucu
Ca	4 birim ≥ 0,5 Ce ≥7,2 V	4 birim 59Ah 7,47 V
Sb	4 birim ≥ 0,5 Ce ≥7,2 V	4 birim 53Ah 7,21 V
Alaşım	Gereklilik	Test Sonucu
Ca	4 birim ≥ 0,5 Ce ≥7,2 V	4 birim 82Ah 7,45 V
Sb	4 birim ≥ 0,5 Ce ≥7,2 V	4 birim 73Ah 7,22 V
Alaşım	Gereklilik	Test Sonucu
Ca	4 birim ≥ 0,5 Ce ≥7,2 V	4 birim 97Ah 7,48 V
Sb	4 birim ≥ 0,5 Ce ≥7,2 V	4 birim 92Ah 7,30V



Şekil 5.3. Çevrim testi kapasite sonuçları grafik gösterimi

Ca ile yapılan akülerde Sb ile yapılan akülere göre çevrim testi kapasite gerekliliğinde %10 oranında artış sağlanmıştır (Şekil 5.3).



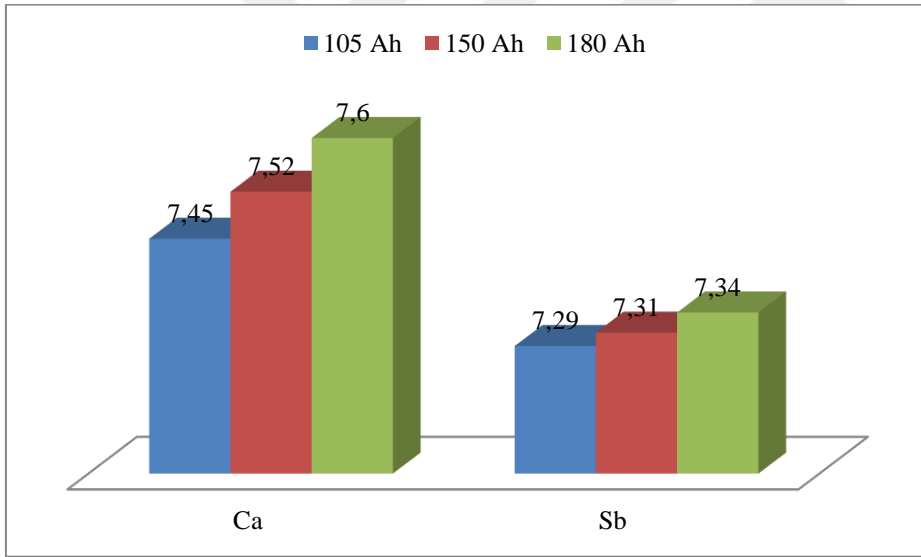
Şekil 5.4. Çevrim testi voltaj sonuçları grafik gösterimi

Ca ile yapılan akülerde Sb ile yapılan akülere göre çevrim testi voltaj gerekliliğinde de %3 oranında artış sağlanmıştır (Şekil 5.4).

Çevrim testleri akülerin ömürlerini görmek için yapılmaktadır. Ca ızgaraların ömürlerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Sb ızgaralı akülerde su kaybı fazla olduğundan akülerin ömürleri daha az olduğu tespit edilmiştir.

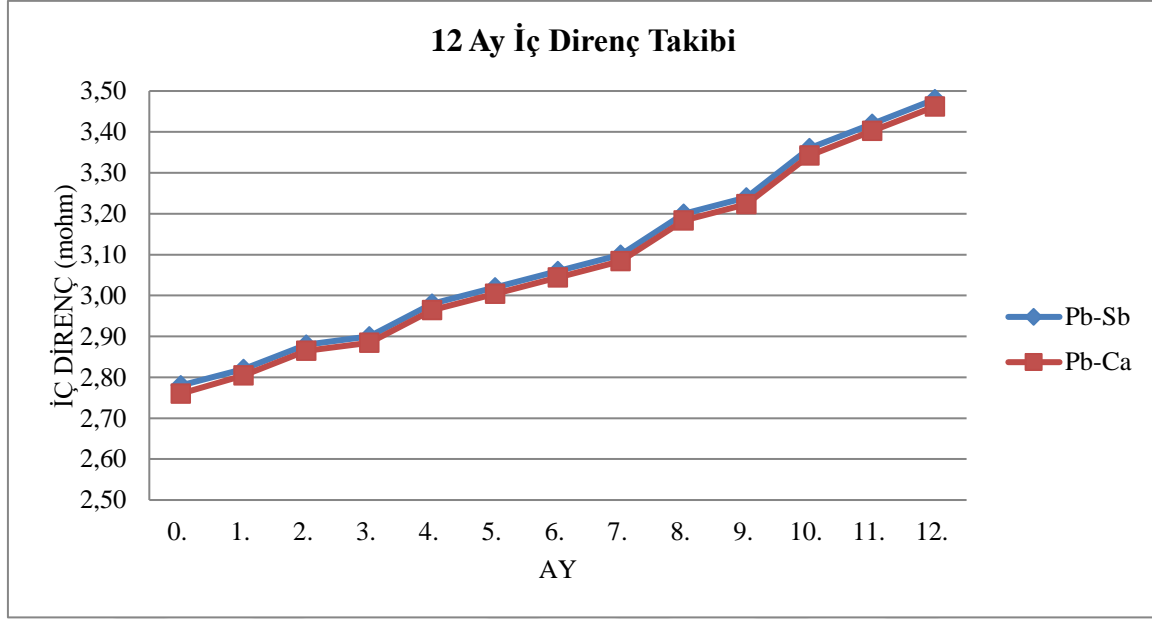
Çizelge 5.7. TS EN 50342-1 5.6.3 korozyon testi

Alaşım	Gereklilik	Test Sonucu
Ca	4 birim $\geq 7,2$ V	4 birim 7,45 V
Sb	4 birim $\geq 7,2$ V	4 birim 7,29 V
Alaşım	Gereklilik	Test Sonucu
Ca	4 birim $\geq 7,2$ V	4 birim 7,52V
Sb	4 birim $\geq 7,2$ V	4 birim 7,31V
Alaşım	Gereklilik	Test Sonucu
Ca	4 birim $\geq 7,2$ V	4 birim 7,6V
Sb	4 birim $\geq 7,2$ V	4 birim 7,34V



Şekil 5.5. Korozyon testi grafik gösterimi

Ca ile yapılan akülerde Sb ile yapılan akülere göre korozyon testinde %3 oranında artış sağlanmıştır (Şekil 5.5). Buda kalsiyum ızgaranın korozyona karşı daha dayanıklı olduğunu ve korozyona katkı sağladığını göstermiştir.



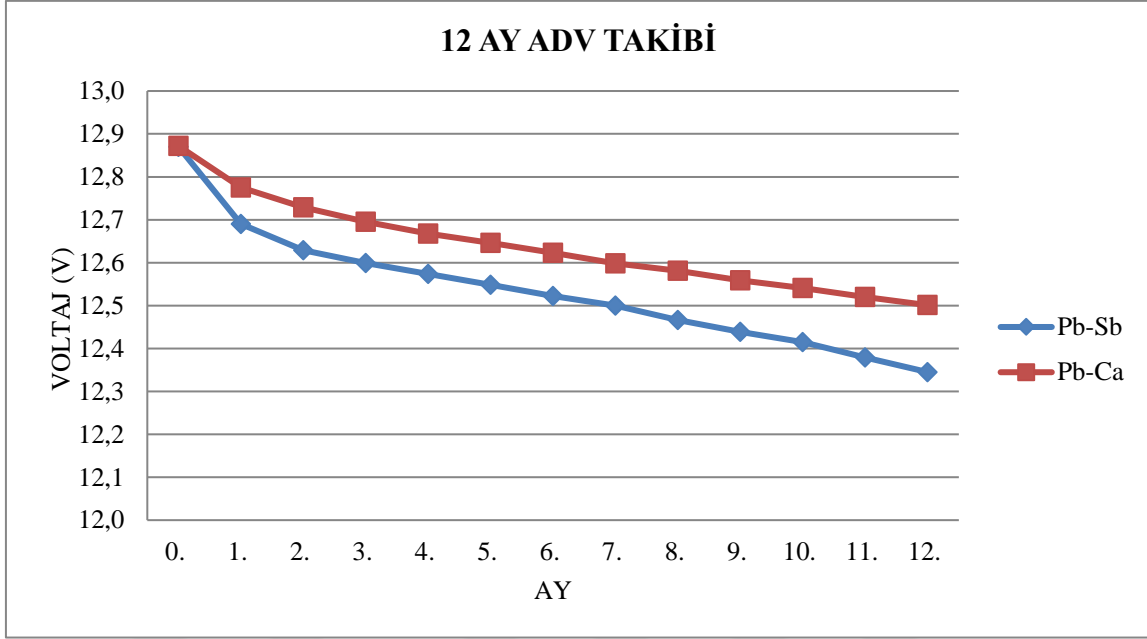
Şekil 5.6. Pb-Sb ve Pb-Ca 12 ay iç direnç grafiği

12 ay boyunca iç direnç takibi yapıldığında Ca ile yapılan akünün daha az iç direnç gösterdiği görülmüştür. İç direnç fazla olması akünün Ah değerinde düşüslere sebep olmaktadır. Bu yüzden Ca ızgara iç direnç yönünden karşılaştırıldığında ön planda olduğu görülmüştür (Şekil 5.6).

Çizelge 5.8. Antimuan ve kalsiyum alaşımlı akü 12 ay voltaj takip çizelgesi

Kurşun-Antimuan Alaşımlı			
Ay	Voltaj	İç direnç	ADV Farkı
	(V)	(mohm)	
0. Ay	12,87	2,78	
1. Ay	12,69	2,82	0,18
2. Ay	12,629	2,88	0,061
3. Ay	12,599	2,9	0,03
4. Ay	12,574	2,98	0,025
5. Ay	12,548	3,02	0,026
6. Ay	12,522	3,06	0,026
7. Ay	12,5	3,1	0,022
8. Ay	12,47	3,2	0,034
9. Ay	12,439	3,24	0,027
10. Ay	12,415	3,36	0,024
11. Ay	12,379	3,42	0,036
12. Ay	12,345	3,48	0,034
12 ay ADV -iç direnç			0,525

Kurşun-Kalsiyum Alaşımlı			
Ay	Voltaj	İç direnç	ADV Farkı
	(V)	(mohm)	
0. Ay	12,872	2,76	
1. Ay	12,775	2,8	0,097
2. Ay	12,729	2,86	0,046
3. Ay	12,695	2,88	0,034
4. Ay	12,668	2,96	0,027
5. Ay	12,646	3	0,022
6. Ay	12,623	3,04	0,023
7. Ay	12,598	3,08	0,025
8. Ay	12,581	3,18	0,017
9. Ay	12,559	3,22	0,022
10. Ay	12,541	3,34	0,018
11. Ay	12,52	3,4	0,021
12. Ay	12,501	3,46	0,019
12 ay ADV -iç direnç			0,371



Şekil 5.7.12 ay ADV takip grafiği

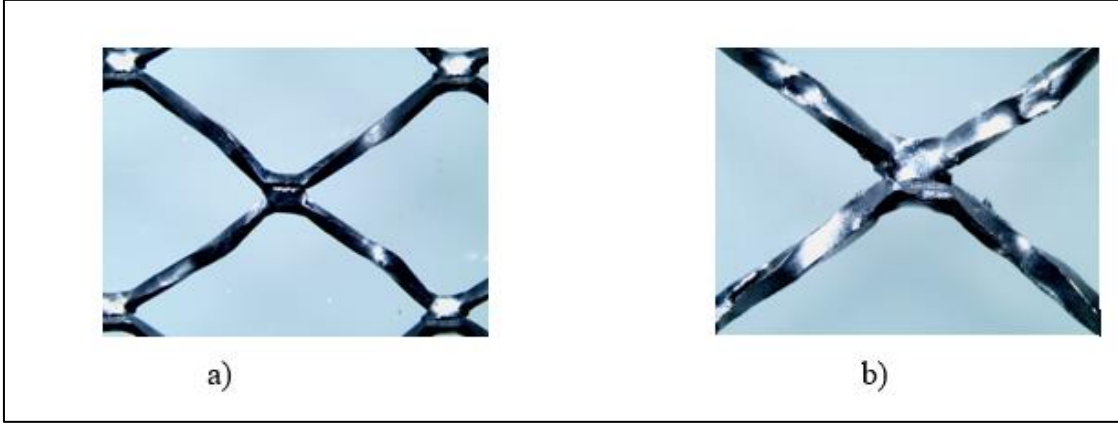
Hedeflenen düşük su kayıplı yüksek korozyon direncine sahip akümülatör üretimini ızgara alaşımını geliştirerek gerçekleştirmiştir. ADV ve iç direnç takip verileri incelendiğinde de depolama süresinin arttığı saptanmıştır. Ca ile yapılan aküde %40 oranında daha az voltaj kaybı olmuştur.

5.3. Deney Grupları 2. Karşılaştırma

Bu deney grubunda akümülatörün performansta, ürünlerde ağırlık parametresi sabit tutularak soğukta marş basma gücünün %10 artırılması ve bu sayede doğal kaynak tüketimini minimumda tutmak hedeflenmiştir.

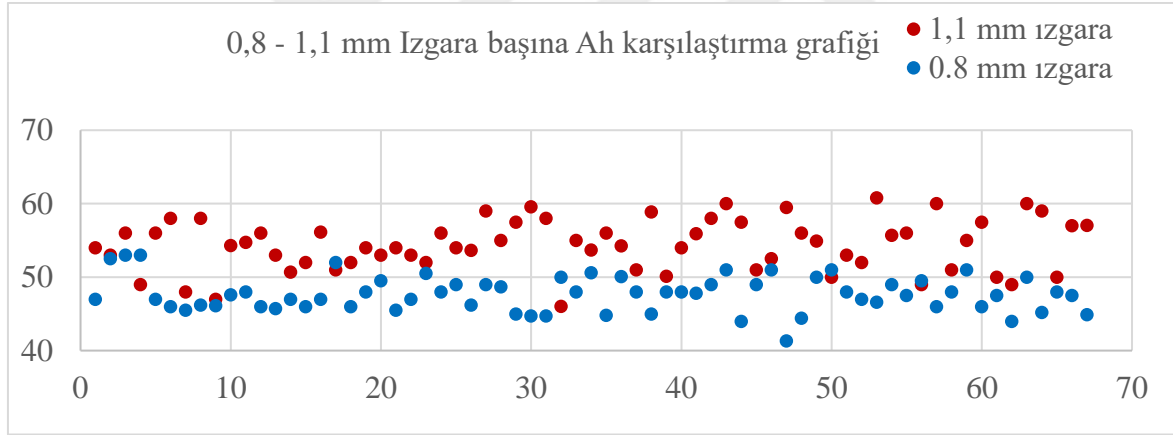
Tasarlanan ızgara yapıları, pozitif ve negatif aktif malzemenin sıvanması için bir iskelet oluşturur ve akımın Plaka hacmi boyunca iletimini sağlamaktadır. Izgaralar, akünün çevrimi ömrü boyunca mekanik gerilmeleri sönümlediğinden dolayı yüksek korozyon direncine sahip olmalı ve aynı zamanda aktif malzeme ile ızgara telleri arasında iyi elektriksel ve mekaniksel bağlantıya sahip olmalıdır.

Bataryanın iç direncindeki iki ana bileşen elektronik direnç ve iyonik dirençtir. Elektronik direnç (Ohmic direnç) kutup başı, eleman yastığı, ızgara ve ızgara pasta bileşimlerinin oluşturduğu dirençtir.



Resim 5.1. a) 0,8 mm kalınlıktaki ızgara b) 1,1 mm kalınlıktaki ızgara

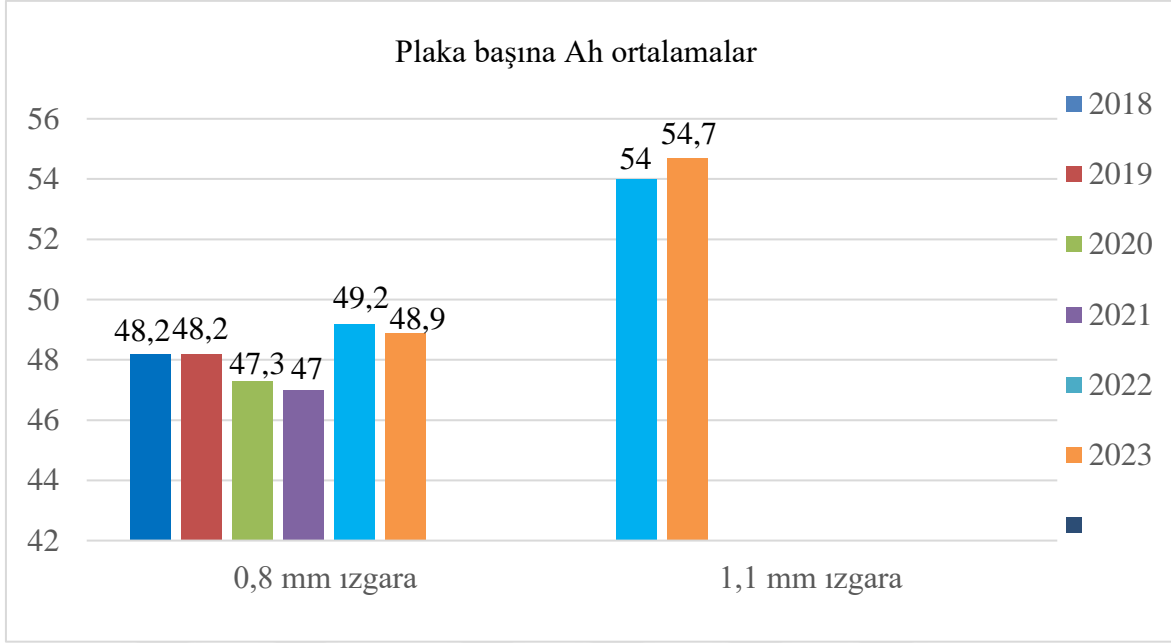
Plaka tasarımı yapılırken, şerit kalınlığı 0,8 mm'den 1.1 mm ye çıkarılmıştır. Yeni tasarım ızgaralar ile deneme üretimleri yapılmıştır. Deneme üretimi sonrası plaka başına Ah karşılaştırılmış ve soğuk marş akımlarına bakılmıştır.



Şekil 5.8. 0,8mm – 1,1 mm Ah karşılaştırma grafiği

Resim 5.1 'de 0,8mm ve 1,1 mm kalınlıkta üretimi yapılan ızgaraların mikroskop altında görüntüleri incelenmiştir. Bu üretim için 2 ayrı kalınlıkta şerit üretmek için 7 tane haddeden geçirilmiştir. Üretilen şeritler expanded metal teknolojisiyle ızgara haline getirilmiştir. Ölçümler yapıldıktan sonra deneme üretimi devam etmiştir.

Şekil 5.8'de ise seri üretimden alınan 65 adet ızgara başına düşen Ah hesaplanmıştır. Ölçümler sonucu 1,1 mm ızgaraların daha yüksek Ah karşıladığı görülmüştür.



Şekil 5.9.Plaka başına Ah ortalamalar

Izgara tasarımı için temel gereksinim, ohmik düşüşü en aza indirmek ve Plaka boyunca düzgün bir akım dağılımını sağlamaktır. Bunun sayesinde elektrokimyasal reaksiyonların homojen dağılması sağlanmaktadır.

İletkenin (kurşun) kesit alanının artması elektriği daha iyi iletmesinden dolayı ızgara direncinin azalması anlamına gelir. Düşük iç dirence sahip aküler yüksek akım geçirir.

Yapılan yeni ürün tasarımı, bu proje kapsamında geliştirilmiş ızgara tasarımı ile oluşturulmuştur. Standart tip plaka tasarımına sahip ürünlerde %12,94 CCA (soğuk marş akımı) artışı elde edilmiştir (Şekil 5.9). Ürün ağırlığı sabit tutularak CCA artışı sağlanmıştır.

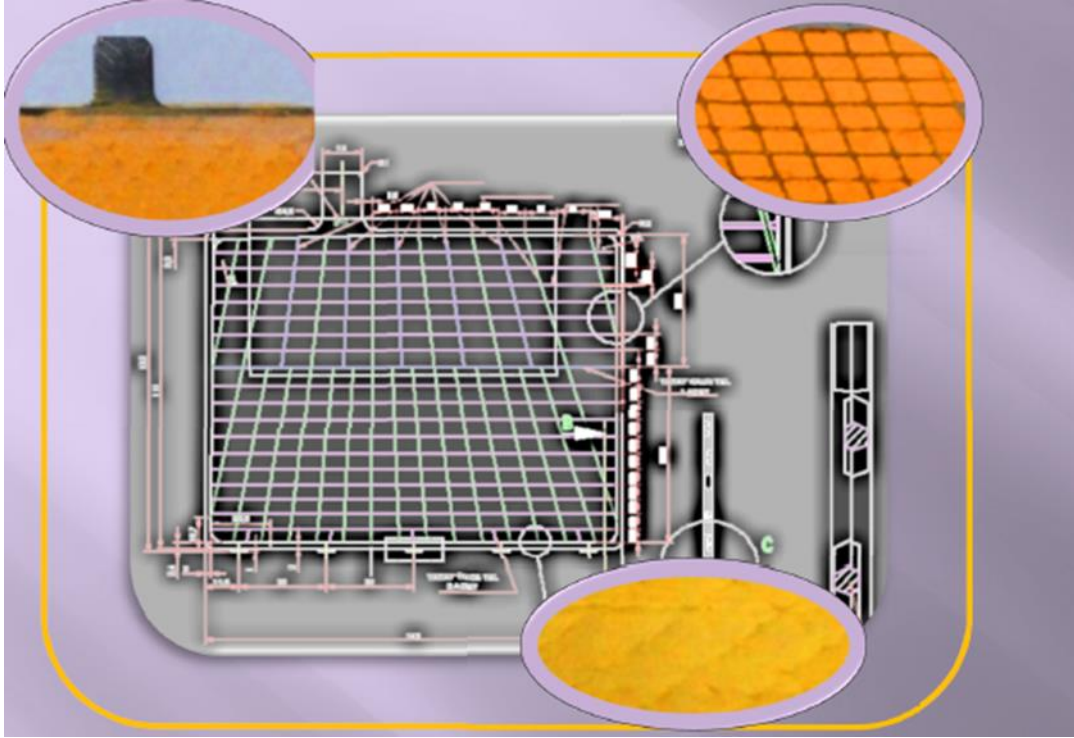
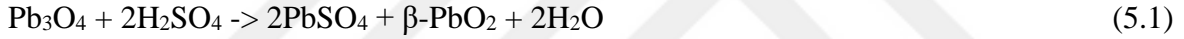
5.4. Deney Grupları 3. Karşılaştırma

Bu deney grubunda akümülatörde kullanılan pozitif aktif malzeme içeriğini değişiklik yapılmıştır. Sülyen (red lead), kırmızı oksit olarak da adlandırılan ve kurşun oksitin daha yüksek sıcaklığa maruz kalması ile elde edilen bir oksitlenme ürünü olup; kurşun asit akülerde kapasite değerlerini artırmak ve kolay şarj edilebilirliği sağlamak amacı ile kullanılmaktadır. Plaka morfolojisi üzerinde tribazik ve tetrabazik yapıdaki kristallere ek olarak sülyen kullanımına bağlı çok daha küçük kristal yapıların elde edilmesi; hem yüzey

alanını artırdığından plakadan alınacak kapasite değerini yükseltmekte hem de şarj operasyonunda çok daha kolay şarj olarak program verimliliğini artırabilmektedir.

Bu deney grubunda ağırlıkça belirlenen farklı oranlarda kırmızı oksit içeren hamur formülasyonlarının hazırlanması ile kapasite ve şarj performansında beklenen iyileştirmelerin elde edildiği oran belirlenerek, Plaka başına alınacak Ah değerinin artırılabilmesi amaçlanmaktadır.

Sülyen olarak da adlandırılan kırmızı oksit (Pb₃O₄) (Resim 5.2), belirli oranlarda akü kimyasal karışımlarına katılmakta ve kurşun oksit (PbO) tozuna göre daha yüksek reaksiyon eğilimine sahiptir. Sülyen katkısı ile üretilen kimyasal karışımlarda da kür operasyonu sonrası yapıda bulunan kırmızı oksit, formasyon operasyonu ilk aşamasında kurşun dioksit oluşumunu da sağlamaktadır. Formasyon operasyonunda elektrokimyasal dönüşüm başlamadan önce oluşan kurşun dioksit malzemenin iletkenliğini arttırmakta ve formasyon prosesini hızlandırmaktadır.



Resim 5.2. Izgara üzerinde sülyenin yakından görünümü

Kurşun tetraoksit ile hazırlanan akü pastalarının ilk kapasite değerlerinin standart 3BS (tribazik) kurşun sülfat yapılarına göre daha yüksek olduğu kanıtlanmıştır. Ancak sülyen, kurşun monoksitten daha küçük tanecik yapısına sahiptir. Bu durum, karışım içerisinde sülyen miktarının değişimine bağlı olarak, avantaj ve dezavantajlar getirmektedir. Örneğin kurşun monoksit yerine tamamen kurşun tetraoksit (kırmızı oksit) ile üretimi gerçekleştirilen pozitif aktif malzeme (PAM) yapısının kırılğan ve kolaylıkla parçalanabilir olduğu gözlenmiştir. Ancak, belli miktarlarda kurşun monoksit ile kullanıldığında, ilk kapasite ve çevrim ömrü üzerinde iyileştirme yarattığı görülmüştür.

Bu deney grubunda, pozitif aktif malzemenin kırmızı oksit ile hazırlanmasına bağlı olarak tüketilen kurşun oksit miktarının azaltılması ile plaka başına alınan kapasite değerinin sabit tutulması ve buna uygun yeni plaka tasarımlarının gerçekleştirilmesi, uygun plaka üretimi aşamasında, kırmızı oksit eklenmesi göz önünde bulundurularak yeni hamur formülasyonlarının oluşturulması ve deneme aküleri yapılarak test sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çizelge 5.9.Sülyen katkılı karışım çizelgesi

Sülyen Katkılı Karışım	
Oksit	950
Asit	60
Su	140
Sülyen	50

Standart karışımında 1000 kg oksit kullanılırken, sülyen katkılı karışımında 950 kg oksit ve 50 kg sülyen kullanılarak üretim yapılmıştır (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.10. Laboratuvar fonksiyonel test sonuçları

Kapasite			
Direk Deşarj K0	K1	K2	K3
-	53,88	52,5	50,79

Kapasite testine sokulan akülerin birinci kapasite, ikinci kapasite ve üçüncü kapasite geçtiği görülmüştür (Çizelge 5.10). Kg başına Ah değerinde sülyen ile birlikte artış sağlanmıştır.

Buna göre yapılan değişiklikler ile üretimi gerçekleştirilen plaka ve aküler ile prototip test sürecine başlatılmıştır. Proje kapsamında hamur formülasyonları ve proses basamaklarında yapılan değişiklerin akü elektriksel performansı üzerindeki etkilerini incelemek amacı ile TSE-50342-1 standardı kapsamında fonksiyonel testler yürütülmüştür.

i) TSE-50342-1 standardı madde 5.1 Ce 5 saatlik kapasite kontrolü

Kurşun tetraoksit kullanımına geçilmesi ile birlikte formasyon sırasında aktif malzemenin elektrokimyasal dönüşümü için uygulanan kg başına Ah değerinde %20 oranında kazanç sağlanmıştır. Pozitif malzeme için uygulanan 550 Ah/kg değeri, yeni reçete değerleri ile 480 Ah/kg değerine çekilebilmiştir.

5.5. Deney Grupları 4. Karşılaştırma

Bu deney grubunda akümülatörde tribazik (3BS) ve tetrabazik (4BS) morfolojik yapının aküye etkisi incelenmiştir. Akü kullanım ömrü boyunca aküden alınacak kapasite değerine ek olarak akünün uzun çevrim ömrü sağlayabilmesi de bir diğer performans göstergesidir. Daha yüksek çevrim ömrü sağlayabilmek ve ürün kalitesini ileriye taşımak amacı ile yeni denemeler yapılmıştır.

Kurşun asit aküler için kullanılan pozitif aktif malzeme içeriği oluşturan büyük ölçüde bazik sülfat fazından oluşmaktadır. Mikro yapı üzerinde etkili olan bazik sülfatlar 3BS (tribazik) ve/veya 4BS (tetrabazik) kristal yapısına sahip olabilir. Plaka yapısında oluşacak bazik sülfat türü ve boyutu, akünün ilk kapasite değerini ve çevrim ömrünü doğrudan etkiler. 3BS kristalleri küçük yapıda olup 1 ila 4 µm uzunluğunda, 0,5 ila 0,8 µm yarıçapındadır. 4BS kristalleri ise daha büyük olup 15 ila 50 µm uzunluğunda, 3 ila 15 µm yarıçapındadır. 3BS kristaller küçük boyutlarına bağlı olarak aktif malzemenin yüzey alanını arttırarak yüksek ilk kapasitenin verilmesini sağlar. Ancak parçacıklar arası gözeneklilik oranının yüksek olması, mekanik dayanımı zayıflatarak çevrim testlerinde düşük performans göstermesine neden olmaktadır. Bu durum akü ömrü üzerinde etkili olduğundan olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. 4BS kristalleri ise büyük yapılarına bağlı düşük ilk kapasite profili göstermekte ancak, aę benzeri yapıları ile mekanik açıdan daha güçlü olup uzun çevrim ömrü sağlamaktadır.

Bu deney grubunda, hamur karma sıcaklıklarında 4BS çekirdek eşirme eklenmesi ile tetrabazik çekirdeklerin olduğu hamur yapısının mevcut formülasyonlar ve sıcaklık profili değiştirilmeden elde edilmesi, 4BS çekirdeklenme ajanının eklenmesi ile kristallerin çekirdeklenme sürelerinin kısaltılması ve hemen büyüme aşamasına geçilmesi ile hamur karma sürelerinde zaman profili ve enerji sarfiyatının değerlerinin korunması, Aktif malzemedeki kristalleşmenin devam ettiği kürlenme basamağında, mevcut kür programlarından farklı olarak düşük sıcaklık geçişlerinin kullanıldığı ve zaman profilinin korunduğu bir kür programı ile morfolojinin oluşumunu sağlamak ve akü çevrim ömrünün artırılması hedeflenmiştir.

Bu deneme kapsamında 1 adet 4BS katkılı pozitif hamur, 1 adet standart pozitif hamur üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen bu hamurlara ait veriler Çizelge 5.11’de görülebilir.

Çizelge 5.11. 3BS ve 4BS Hamur verileri

Standart Hamur Verileri (3BS)		Üretilen Hamur Verileri (4BS)	
Hamur Özellikleri		Hamur Özellikleri	
Bağıl nem (%)	10,78	Bağıl nem (%)	13,38
Yoğunluk (g/cm ³)	4,42	Yoğunluk (g/cm ³)	3,96
Sertlik (1/mm)	249	Sertlik (1/mm)	152

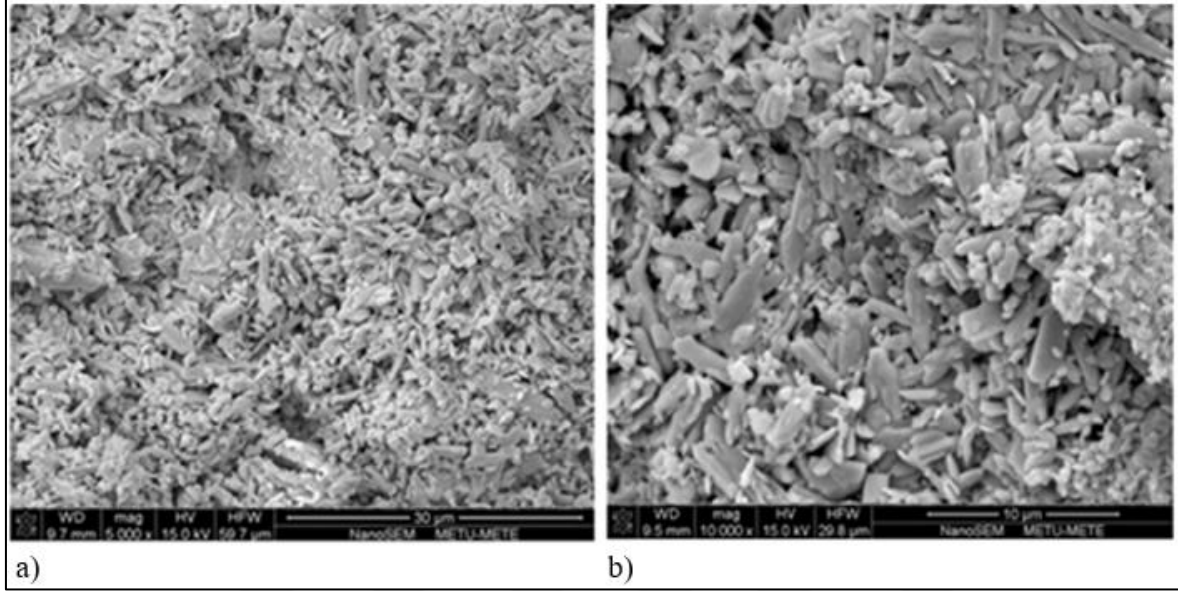
4BS hamur üretimi için gerçekleştirilen pozitif plakaların bölümü, hamur karma prosesinde elde edilen kristal yapının kür prosesinde oluşumunun devamını sağlamak ve taneciklerin düzenli büyümesini sağlamak amacı ile “soft curing” yani düşük sıcaklıkta yürütülen bir kür programı ile kürlenmiştir.

4BS katkısı eklenmeden üretilen standart pozitif (3BS) plakalarda, eşlenik akülerin üretiminde kullanılmak üzere standart programa göre kürlenmiştir. Bu deney grubu kapsamında kullanılan tüm kür programları 3BS (tribazik) karakteristiğe sahip olup, yalnızca kürlenme basamağında sıcaklık değişimi içermektedir. Buna göre bu deneme kapsamında üretilen Plakalar aşağıdaki gibi harf kodları ile ifade edilmiştir;

A: Standart hamur (3BS) reçetesine göre üretilip, standart (3BS) olarak kürlenmiş plakalar

B: 4BS hamuru üretilip “Soft Curing” programı ile kürlenmiş plakalar

Üretimi gerçekleştirilen ve düşük sıcaklıkta kürlenmiş 4BS plakalar ile kür programının etkisini görmek amacıyla standart kürlenmiş 4BS plakalardan ve standart üretim olan 3BS yapıları plakalardan öncelikle oluşan fazları belirlemek için XRD analizi, mikro yapıyı yakından görmek için SEM analizleri yapılmıştır.



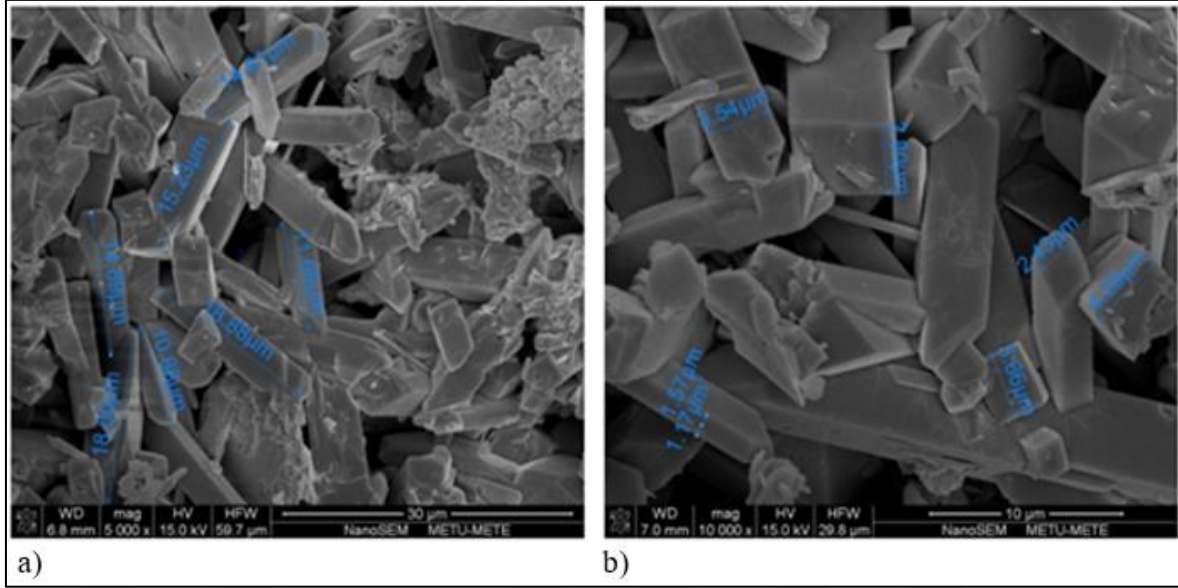
Resim 5.3. (3BS) numunesine ait SEM görüntüleri a) 5000x, b) 10000x.

3BS hamur üretimi sonrası SEM görüntüleri (Resim 5.3) ve XRD sonuçları (Çizelge 5.12) verilmiştir.

Çizelge 5.12. 3BS XRD hamur verileri

	Wt %	Vol%
Pb	0	0
3BS	53,6	58,9
4BS	19,5	18,85
a-PbO	26,7	22,26

Standart üretilen plakaların 3BS faz içeriğinin XRD sonuçlarına göre ağırlıkça %53,6, hamur karma operasyonu sırasında oluşan bölgesel sıcaklık artışlarıyla birlikte %19,5 oranında 4BS fazı içerdiği görülmüştür. SEM analizi incelendiğinde oluşan bazik sülfat taneciklerine ait boyut dağılımının 0,63 µm ile 2,29 µm aralığında olduğu gözlenmiştir. Bu durum literatürde 1 ile 4 µm aralığında değişen boyutlara sahip 3BS morfoloji özelliğine sahip üretimin gerçekleştirildiğini göstermektedir.



Resim 5.4. (4BS) numunesine ait SEM görüntüleri a) 5000x, b) 10000x.

4BS hamur üretimi sonrası SEM görüntüleri (Resim 5.4) ve XRD sonuçları (Çizelge 5.13) verilmiştir.

Çizelge 5.13. 4BS hamur verileri

	Wt %	Vol%
Pb	0	0
3BS	2,2	2,5
4BS	71,9	74,4
a-PbO	23,2	25,9

Üretilen plakalar kürlendiğinde ise XRD sonuçlarına bakıldığında 4BS faz oranının %71,9 olduğu gözlenmiştir. SEM analizi incelendiğinde oluşan bazik sülfat taneciklerine ait boyut dağılımının ise 3,66 µm ile 14,89 µm aralığında olduğu gözlenmiştir.

Akü üretimi aşamasında A (standart hamur/standart kütleme) grubu pozitif plakalar ve B (“Soft Curing” kütleme) gurubu pozitif plakaların karşısına standart negatif Plakalar getirilerek aşağıdaki konfigürasyonlarda akü üretimi gerçekleştirilmiştir.

Akülerin şarj programlarında değişiklik yapılmamış ve aynı şekilde şarj edilen deneme aküleri TSE EN 50342-1 standardına uygun olarak fonksiyonel test laboratuvarında test edilmiştir.

Çizelge 5.14. X (Standart 3BS) ve Y (4BS) Grubu olarak Üretimi Gerçekleştirilen Akülere Ait Fonksiyonel Test Sonuçları

Plaka tipi	(Ah/CCA)	Gruplar	Ağırlık	1.C20 (Ah) Kapasite	CCA1		2.C20 (Ah) Kapasite	CCA2		3. C20 (Ah) Kapasite	CCA3	
					In 10 s, V >7,5	6V, 1> 90s		In 10 s, V >7,5	6V, 1> 90s		In 10 s, V >7,5	6V, 1> 90s
5x5/115	50/420	X										
		X	13,184	52,57	8,33	198	49,87	8,43	185	48,22	7,84	126
			13,184	55,968	8,08	171	52,217	8,41	178	51,887	Çevrim testi tamamlanamadı	
		Y	13,184	54,59	7,92	218	56,75	7,77	183	52,49	8,14	191

Aküler marş gücü açısından değerlendirildiğinde ise tüm akülerin test voltaj ve süre gerekliliğini sağladığı görülmüştür. Y grubu 4BS ile üretilen akülerde başlangıç deşarj kapasiteleri daha düşüktü ancak şarj kabulü, -18 C kapasitesi ve akım deşarj kapasitesi %8 daha yüksek geldi. Ayrıca 4BS ile üretilen aküler şarj-deşarj döngüsünde 1,5 kat daha fazla gelmiştir. Buda 4BS'li aktif malzemeli akünün çevrim ömrünü arttırdığını göstermektedir. 4bs plakanın aküdeki voltaj kaybının azalmasını sağladığı ve iç direncine olumlu etkileri olduğu bu sayede de akü ömrünün uzamasını sağladığı tespit edilmiştir.

5.6. Deney Grupları 5. Karşılaştırma

Bu deney grubunda kostik asit ve sülfürik asit kullanılarak yapılan akülerin şarj sonrası 12 ay takip edilerek voltaj düşüşüne bakılmıştır. Voltaj düşüşü daha az olan akünün raf ömrü daha uzundur.

Akülerin deşarj oranları sıcaklık ile paralel olarak artar veya azalır. Genel olarak her 10 derece artışta kayıp kendiliğinden iki katına çıkar. Bu yüzden 10-16 derece aralığındaki stoklama 25-30 derece aralığındaki stoklamadan çok daha sağlıklıdır. Sıcak havalarda akünün marş gücü artar ancak buna paralel olarak aküdeki korozyon (yıpranma) da artar. Bu nedenle sıcak iklimlerde kullanılan aküler daha az ömre sahiptir. Soğuk havalarda akülerin marş gücü azalır. Bu duruma ilaveten araç motorunun marş alma değeri de artar. Sonuçta soğuk koşullarda akülerin marş gücü önemli hale gelir. Çok soğuk havalarda akünün içindeki sıvının (elektrolit) donma riski vardır. Tam şarjlı bir akü ancak -70 derecede

donarken deşarj konumundaki bir akü deşarj seviyesine bağlı olarak -5 derecede dahi donabilir. Bu nedenle soğuk havalarda akünün şarjlı halde bulunması çok önemlidir.

Bu alışmamızda aküyü 25  C ve 50  C de farklı asitler kullanarak açık devre voltajının aylara göre azalışı izlenmiştir. Böylece hangi asit ve sıcaklıkta raf ömrünün daha uzun olduğu bulunması amaçlanmıştır.



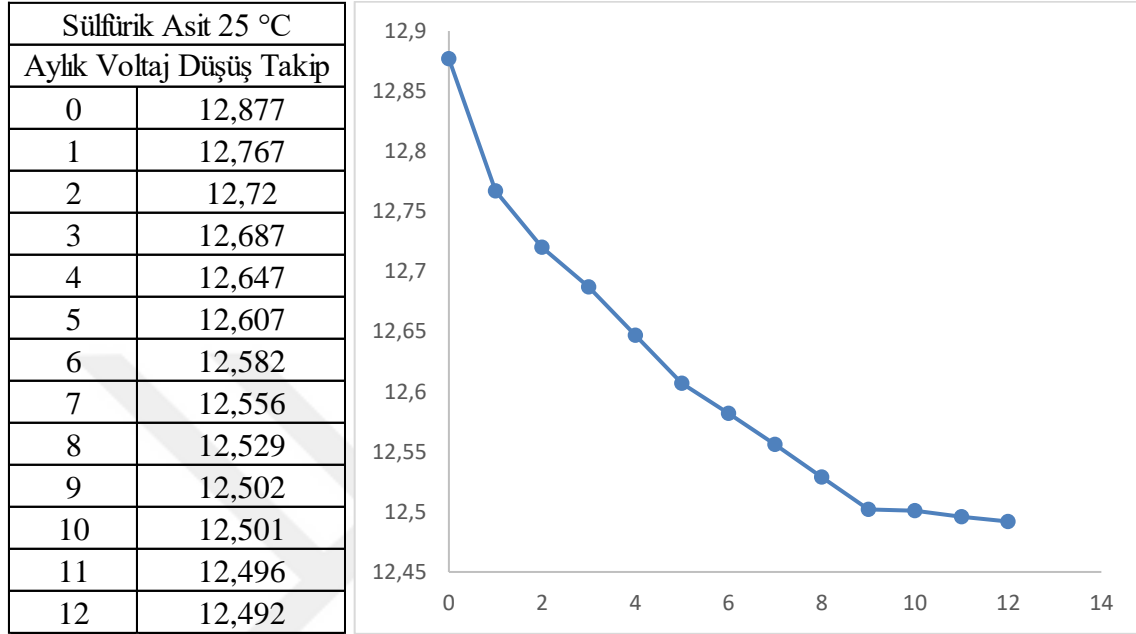
Resim 5.5. Karışım tankı

Saf su ile asit karıştırılarak istenilen yoğunlukta asit elde edilir. Karışım tankında saf su ile asit karıştırma işlemi yapılır (Resim 5.5).



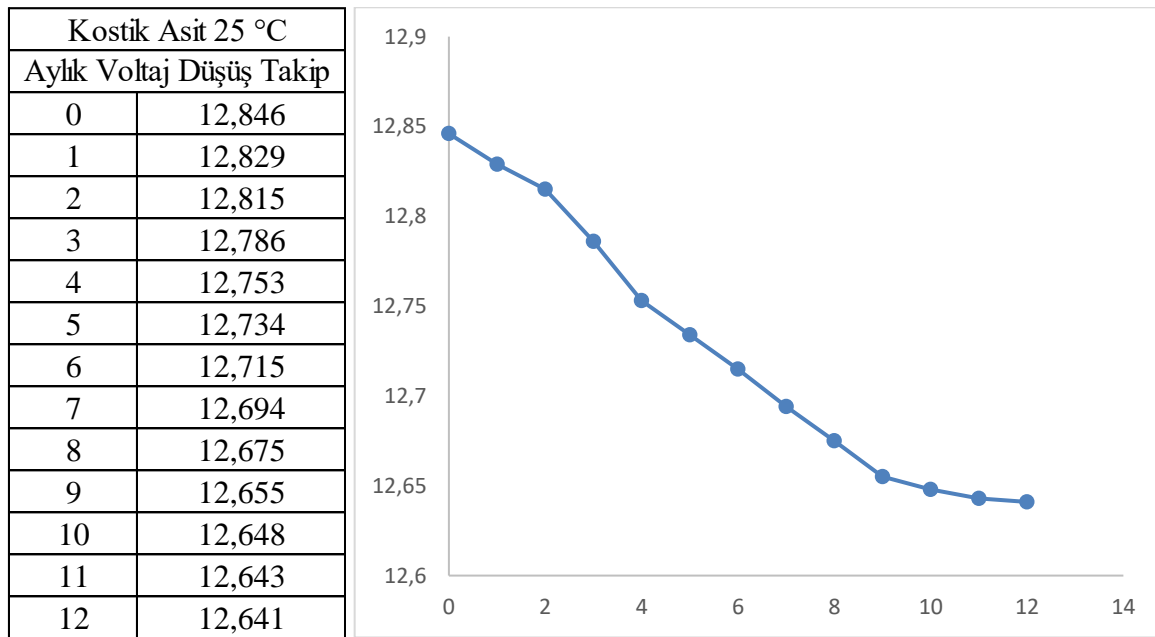
Resim 5.6. Sulu şarj havuzları

Sulu şarj havuzlarında kapasitesine göre belirli bir şarj programı ile aküler havuzlara alınır. Aküler kutup başlarından redresörlere bağlanarak şarj edilmesi sağlanır. Seri bir şekilde aküler birbirlerine bağlanarak şarj edilir (Resim 5.6).



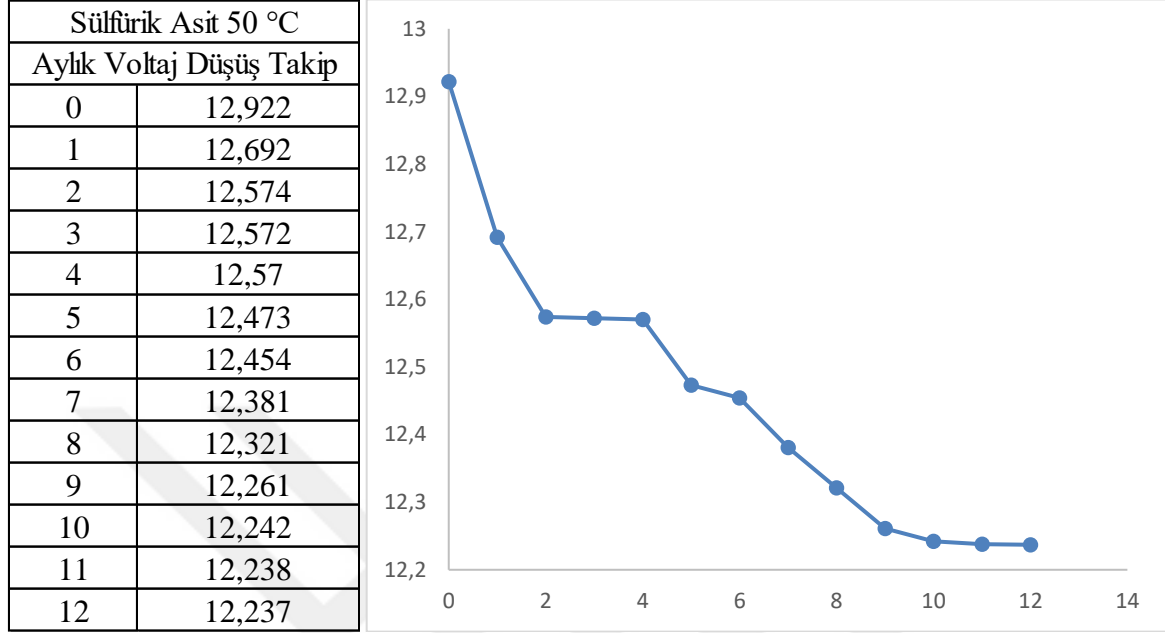
Şekil 5.10. 25 °C ‘de Sülfürik asit kullanılan akünün açık devre voltaj takibi

Sülfürik asit kullanılan aküde 12 ay boyunca yapılan takip sonrası açık devre voltajı düşüşü 0,375 V olarak ölçülmüştür (Şekil 5.10).



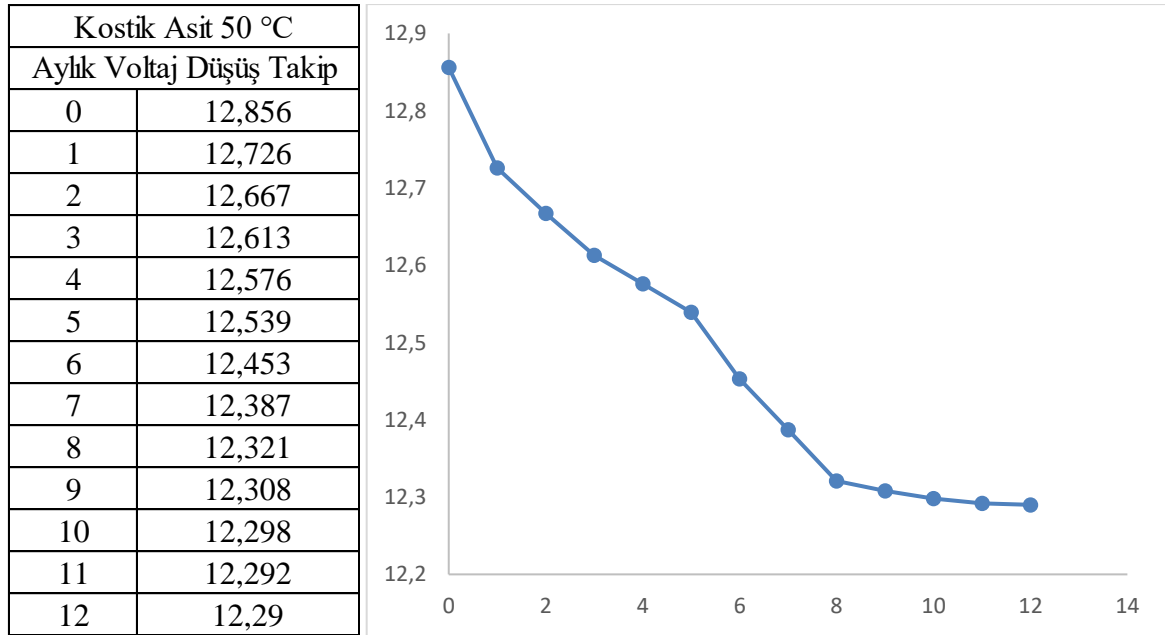
Şekil 5.11. 25 °C ‘de Kostik asit kullanılan akünün açık devre voltaj takibi

Kostik asit kullanılan aküde 12 ay boyunca yapılan takip sonrası açık devre voltajı düşüşü 0,205 V olarak ölçülmüştür (Şekil 5.11).



Şekil 5.12. 50 °C ‘de Sülfürik asit kullanılan akünün açık devre voltaj takibi

Sülfürik asit kullanılan aküde 12 ay boyunca yapılan takip sonrası açık devre voltajı düşüşü 0, 685 V olarak ölçülmüştür (Şekil 5.12).



Şekil 5.13. 50 °C ‘de Kostik asit kullanılan akünün açık devre voltaj takibi

Kostik asit kullanılan aküde 12 ay boyunca yapılan takip sonrası açık devre voltajı düşüşü 0,567 V olarak ölçülmüştür (Şekil 5.13).

25 °C ve 50 °C en yüksek voltaj düşüşünden aza göre sıralandığında;

Sülfürik Asit > Kostik Asit olarak sıralanır. Kostik kullanılan sülfürik asitli akülerde voltaj düşüşü (Self discharge) daha azdır ve akünün raf ömrü daha uzundur.

Aküde elektrolit olarak kullanılan sülfürik asidin farklı asitlerle karşılaştırılmasıyla akünün şarj-deşarj ömrüne etkisi incelendiğinde; 12 ay boyunca yapılan çalışmalar ve elde edilen veriler sonucunda her iki sıcaklık koşulunda da kostik asit ile kullanılan aküdedeşarj süresini ve akünün raf ömrünü uzadığı görülmüştür.

5.7. Deney Grupları 6. Karşılaştırma

Bu deney grubunda kaynak kalitesinin artırılması için yeni bir kaynak solüsyonunun geliştirilmesi(flux) böylelikle akümülatöre ait iç direncin düşmesi ve yol verme performansının (marş gücünün) artması amaçlanmaktadır.

Plaka gruplarının eleman yastığına kaynak kalitesinin artırılması amacı ile flux çözeltileri kullanılmaktadır. Akümülatör çalışması süresince plaka kulaklarında korozyon, oksitlenme gibi akümülatör performansını etkileyen deformasyonlar ile karşılaşılması için flux çözeltileri kullanılmalıdır. Flux çözeltilerinin amacı, oksit tabakasının plaka kulaklarından uzaklaştırılmasını ve eriyik kurşuna plaka kulaklarının birleşmesi sağlamaktır. Kulaklarda en iyi koruma ve kaynamayı sağlamak için flux çözeltileri kurulmalıdır. Bu kurutma işlemi sayesinde flux içerisindeki çözücü buharlaştırılarak uzaklaştırılır ve plaka kulakları üzerinde kristal yapılan kalması sağlanır böylece iyi bir kaynak kalitesi elde edilir. Buna ek olarak kurutma işlemi ön ısıtma olduğundan eriyik kurşuna plaka kulaklarının girmesi ile yüksek ısı transferi engellenmiş olur.

Flux çözeltileri su, alkol veya yağ bazlı olabilmektedir. Genellikle asit ve amin tuzlarından sentezlenen flux çözeltilerinde su veya alkol çözücü olarak kullanılmaktadır. Yoğunluk değeri 0,9-1,25 g/mL; pH 1-5 aralığındadır.

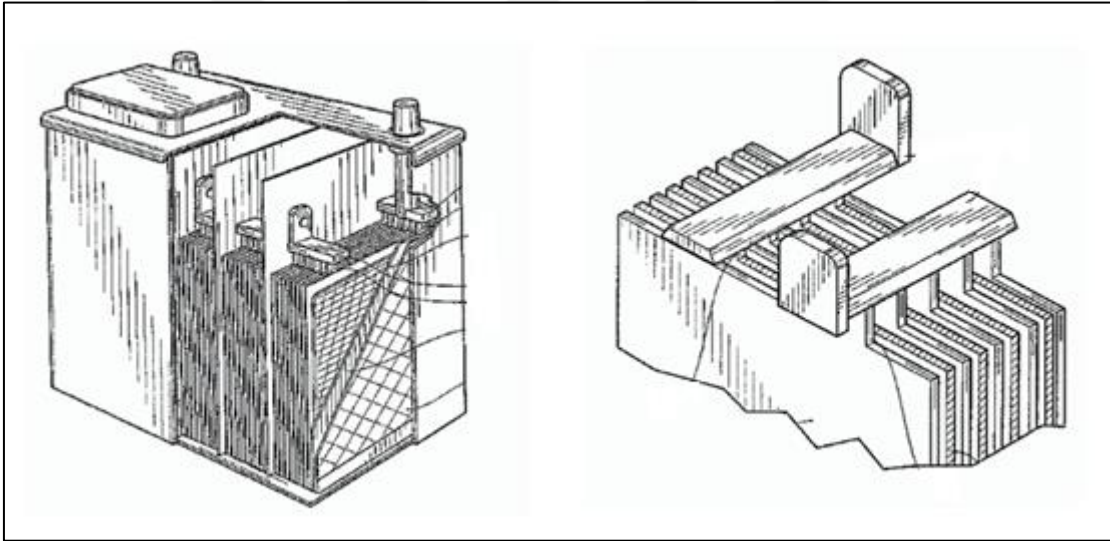
Flux kimyasal çözeltilisinde, 2-propanol (isopropyl) alkol ($\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$), glikolik asit ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_7$), adipik asit ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$) ve saf su kullanılmaktadır.

2-propanol (isopropyl) alkol ($\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$); Çözücü ve uçucu özelliklerinden faydalanılır.

Glikolik asit ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_7$); Birleştirici özelliği vardır. Bileşiminde ki H iyonunu suya verir ve sudaki mineraller ile tuz yapısını oluşturur.

Adipik asit ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$); $\text{pH}=2,7$ kuvvetli organik asit, 15g/l suda zayıf çözünürlük olması nedeni ile alkol çözücüsü kullanılır.

Saf su: Çözücü



Resim 5.7. Eleman yastığı ve plaka temsili gösterim

Resim 5.7 de eleman yastığının plaka kulaklarının nasıl tuttuğu ve 6 adet hücrede seri olarak bağlanarak $6 \times 2 = 12\text{V}$ olması için gerekliliği temsili gösterilmiştir. Akımın düzgün iletilmesi için hava boşlukları olmaması gerekmektedir.

Plaka kulaklarının eriyik kurşuna dolması esnasında kaynama yüzeyinde oluşan hava boşlukları oluşmaktadır (Resim 5.8).



Resim 5.8. Kaynama yüzeyi hava boşlukları

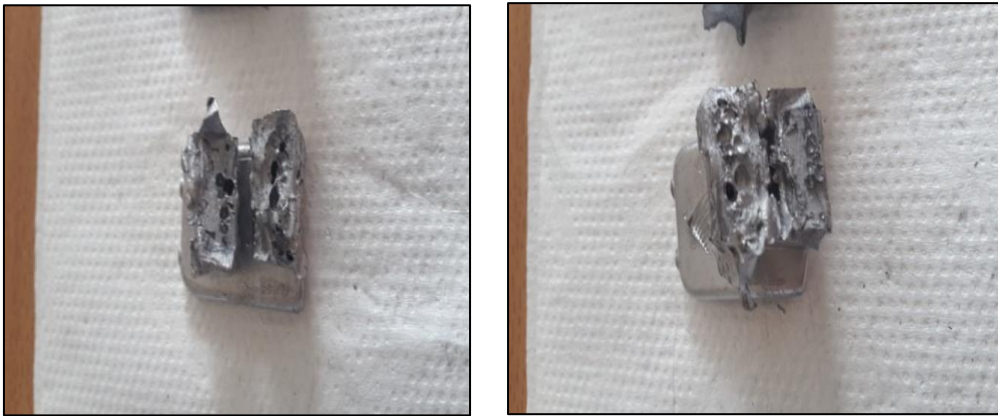
Flux kimyasalı ile 5 farklı deneme yapılarak en uygun çözelti oluşturulmaya çalışılmıştır.

Çizelge 5.15. Flux kimyasal çözelti deneme 1 ve deneme 2

Kimyasal adı	Deneme 1	Deneme 2
	%	%
İzo promil alkol	A+20	A+22
Glikolik asit	Sabit	*0,8
Adipik asit	*0,5	*0,4
Saf su	B+10	B+10

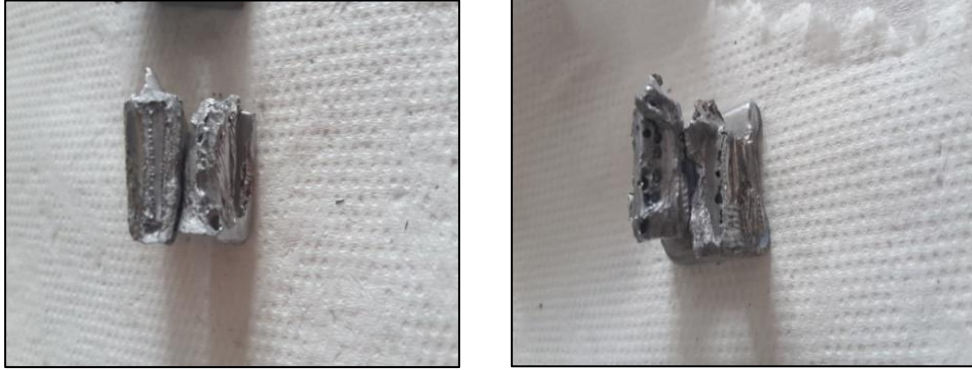
Deneme 1 sonrası eleman yastıkları kırılarak hava boşlukları incelenmiştir (Resim 5.9).

Boşlukların çok fazla ve derin olduğu gözlemlenmiştir.



Resim 5.9. Deneme 1 kaynama yüzeyi hava boşlukları

Deneme 2 sonrası eleman yastıkları kırılarak hava boşlukları incelenmiştir (Resim 5.10). Kulak kaynama kalitesinin azaldığı ve buharlaşma oranı azaldığı gözlemlenmiştir.



Resim 5.10. Deneme 2 kaynama yüzeyi hava boşlukları

İlk 2 denemede istenilen kaliteye ulaşılamadığı için yeni çözeltiler hazırlanmıştır.

Çizelge 5.16. Flux kimyasal çözelti deneme 3, deneme 4 ve deneme 5

Kimyasal adı	Deneme 3	Deneme 4	Deneme 5
	%	%	%
İzo promil alkol	A+30	A+32	A+40
Glikolik asit	Sabit	*0,8	Sabit
Adipik asit	Sabit	*0,4	Sabit
Saf su	50	50	40

Deneme 3 sonrası eleman yastıkları kırılarak hava boşlukları incelenmiştir (Resim 5.11). Boşlukların derinlik, çap ve sayıları azalmış ancak hedeflenen kaliteye ulaşılamamıştır.



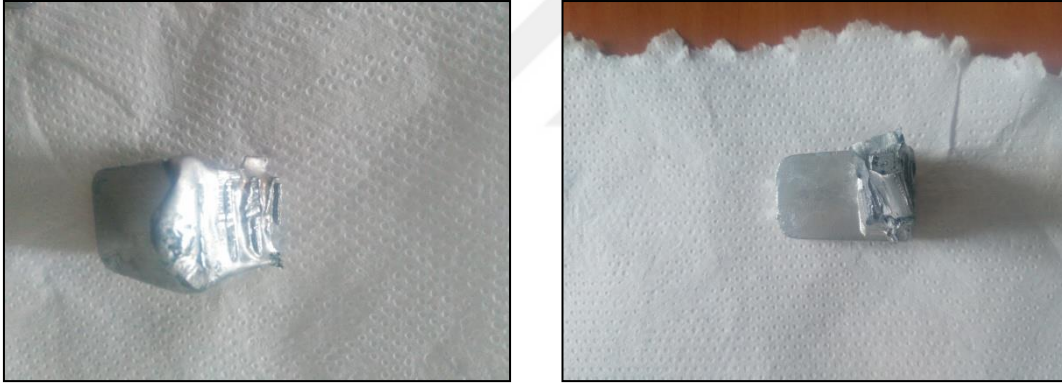
Resim 5.11. Deneme 3 kaynama yüzeyi hava boşlukları

Deneme 4 sonrası eleman yastıkları kırılarak hava boşlukları incelenmiştir (Resim 5.12). Kulakların kaynamadığı ve boşlukların derinliklerinin arttığı gözlenmiştir.



Resim 5.12. Deneme 4 kaynama yüzeyi hava boşlukları

Deneme 5 sonrası eleman yastıkları kırılarak hava boşlukları incelenmiştir (Resim 5.13). Eleman yastıklarının istenilen kalitede olduğu gözlenmiştir.



Resim 5.13. Deneme 5 kaynama yüzeyi hava boşlukları

Çizelge 5.17. Yol verme performans testi

Kapasite (Ah)	Test öncesi		CCA testi	
	ADV (V)	İç direnç(mΩ)	V>7,5 v	t>90 s
40 Ah	12,783	7,84	7,75	138
40 Ah	12,742	7,44	7,77	127

Eleman yastığında oluşan hava boşlukları projede hedeflendiği üzere minimize edilmiştir. İç direnç (%7 azalma) ve yol verme performansı (%4 artış) değerlerinde iyileşmeler sağlanmıştır.

5.8. MOORA yönteminin kullanılması

Tüm sonuçlar irdelendiğinde;1 yıl boyunca takip edilen akülerin 12.aydaki elde edilen voltaj ve iç direnç performans sonuçları Çizelge 5.18’te verilmiştir. Çizelge incelendiğinde ise en yüksek voltaj ve en düşük iç direnç değerlerinin 8. Deney grubundan elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 5.18. 12 ay sonraki deney grupları voltaj ve iç direnç ölçümleri

Deney grupları	Voltaj (V)	İç direnç (mohm)
1	12,34	3,481
2	12,50	3,461
3	12,34	3,481
4	12,51	3,421
5	12,35	3,476
6	12,34	3,481
7	12,35	3,476
8	12,60	3,391
9	12,35	3,476
10	12,21	3,541
11	12,35	3,476
12	12,30	3,491

Diğer taraftan Çizelge 5.18’te verilen deney sonuçları için MOORA yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem ile deney sıralaması yapılarak en iyi yanıtların hangi deneyden alındığı analiz edilmiştir (Çizelge 6.2). MOORA yöntemi 4 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar:

Adım 1: Öncelikle karar matrisi yapılır.

Karar matrisinde satırlarında oluşturulan alternatifler ($i=1,\dots,m$, deneyler), sütunlarında ise oluşturulan değerlendirme kriterleri ($j=1,\dots,n$) yer alır. Matriste, a_{ij} ise alternatifin ilgili ölçütteki değerini gösterir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ - & \dots & \dots & - \\ - & \dots & \dots & - \\ - & \dots & \dots & - \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

Adım 2: Normalize karar matrisi oluşturulur. Normalize matris, Eş. (5.3) ile oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (5.3)$$

Ardından, R normalize karar matrisi elde edilir:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ - & \dots & \dots & - \\ - & \dots & \dots & - \\ - & \dots & \dots & - \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Adım 3: Değerlerin ağırlıkları 1-10 ölçeği ile belirlenmektedir. 1 ölçütü en düşük ve 10 ölçütü ise en yüksek değeri gösterir.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ - & \dots & \dots & - \\ - & \dots & \dots & - \\ - & \dots & \dots & - \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Adım 4: Bu son adımda ise MOORA yönteminin sıralama indeksi ölçülür ve en iyi sıralama çıkar. [22-23]:

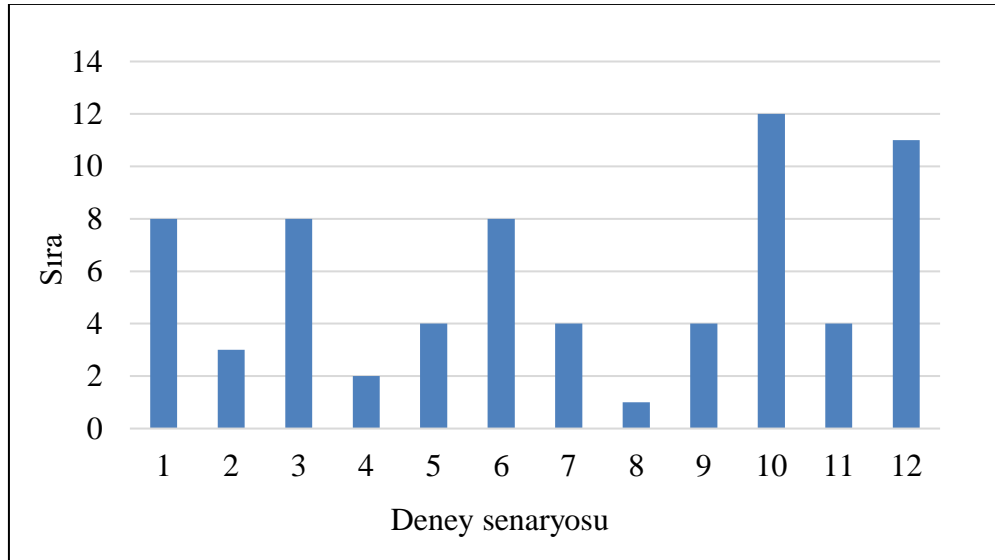
$$Y_{ij}^* = \sum_{j=1}^t V_{ij} - \sum_{j=t+1}^n V_{ij} \quad (5.6)$$

Eşitlik 5'te gösterilen t değeri maksimum olması istenen kriter sayısıdır, (n-t) ise değerinin minimum olması istenen kriter sayısıdır, Y_{ij}^* ise deney senaryosunun sıralama puanıdır.

Çizelge 5.19. MOORA uygulama sonucu

Deney grupları	Voltaj (v)	İç direnç (mohm)	Normalize matris		Ağırlıklı normalize matris		Yij*	Sıra
1	12,345	3,48	0,2878	0,2895	0,2616	0,0263	0,2353	8
2	12,501	3,46	0,2914	0,2878	0,2649	0,0262	0,2388	3
3	12,345	3,48	0,2878	0,2895	0,2616	0,0263	0,2353	8
4	12,516	3,42	0,2918	0,2845	0,2652	0,0259	0,2394	2
5	12,357	3,476	0,2881	0,2891	0,2619	0,0263	0,2356	4
6	12,345	3,48	0,2878	0,2895	0,2616	0,0263	0,2353	8
7	12,357	3,476	0,2881	0,2891	0,2619	0,0263	0,2356	4
8	12,601	3,39	0,2938	0,2820	0,2671	0,0256	0,2414	1
9	12,357	3,476	0,2881	0,2891	0,2619	0,0263	0,2356	4
10	12,21	3,54	0,2846	0,2945	0,2588	0,0268	0,2320	12
11	12,357	3,476	0,2881	0,2891	0,2619	0,0263	0,2356	4
12	12,301	3,49	0,2868	0,2903	0,2607	0,0264	0,2343	11
		Ağırlık	10	1	11			
		Normalize Ağırlık	0,909091	0,090909				

Moora uygulama sonucu sonrası deney senaryosu incelenerek en iyi seçim için karar verilmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Sıralama sonuçlarının grafik gösterimi

MOORA yöntemi ile bu tez çalışmasında 12 adet deney yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Sıralama indeksine göre 8 numaralı deney olan 4BS yapılı akünün birinci sırada olduğu görülmüştür.

Sülyenli plaka ile yapılan akülerin sülyensize göre daha iyi performans gösterdiği, 4BS plakaların ömür olarak kıyaslandığında 3BS plakalara göre daha iyi performans gösterdiği, flux fırça kullanımı ile eleman yastığında oluşan hava boşlukların en aza indirilerek iç direncin düştüğü ve bunun etkisiyle daha yüksek Ah ve ömür sağlandığı, kostik asit kullanarak raf ömründe iyileştirme olduğu, kalsiyum alaşım kullanılarak aküde su kaybının azaldığı ve daha uzun süre kullanılacak akülerin yapıldığı, ızgara tasarımında kalınlığın 0,8 mm den 1,1 mm çıkarılarak kg başına düşen Ah miktarının arttığı bu tez çalışmasında görülmüştür.

Karar verme, tüm olası alternatiflerden en iyi seçeneği bulma sürecidir. Çoğu durumda, en iyi seçeneğin bulunması ya da daha kesin olarak belirlenmesi, çoklu, genellikle çelişen kriterlerin etkilerine dayanmaktadır ve bu nedenle de bu karar verme türüne Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) denilmektedir (Stanujkic vd., 2012). Çok kriterli karar verme yöntemleri; ekonomik, yönetsel ve inşaat gibi birçok problemi çözmek için popüler bir araçtır (Brauers vd., 2008). Moora yöntemi, bu yöntemlerinden bir tanesidir (Brauers ve Zavadskas, 2006). Açılımı “Multi Objective Optimization for Ratio Analysis” olup; farklı karar verme yöntemlerini çözmek için kullanılmaktadır (Chakraborty, 2011). Moora yöntemi çok basit ve kolay uygulandığından dolayı, karar verme sürecinde farklı sorunlara karşı oldukça güvenilirdir (Gadakh, 2011). Herhangi bir alternatifin sıralama indeksini belirlemeye yönelik bu yaklaşım kesin, mantıksal temelli, karar vericiler için ise kolay ve anlaşılabilir (Stanujkic vd., 2012).

Yapılan testler sonucu akü bileşenlerinde yapılacak değişikliklerin akünün performansına etkileri ve deneysel tasarım yöntemi ile incelenmesi için MOORA metodu kullanılarak; A_{ij} Karar matrisi oluşturulmuştur, r_{ij} i. alternatifin j. amacına göre karşılığı olup; $i=1,2,\dots,n$ amaçlar, $j=1,2,\dots,m$ alternatiflerdir. Bu değerler, performans skorlarının karesi toplamına bölünerek Eşitlik 2’deki gibi normalize edilir. İyileştirme işlemi için maksimize edilmesi gereken skorlar toplanır; minimize edilmesi gerekenler Eşitlik 5’teki biçimde çıkartılır. $j=1,2,\dots,t$ maksimize edilmesi gereken amaçlar $j=t+1,t+2,\dots,n$ minimize edilmesi gereken amaçlardır. Y_{ij}^* ile ifade edilen, normalleştirilmiş olan j. alternatifin bütün amaçlara göre incelenmesidir. Elde edilen bu değerler ile sıralama işlemi gerçekleştirilmiştir ve 8 numaralı deney olan 4BS akü üretimi birinci sırada çıkmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tüm sonuçlar irdelendiğinde, bu tez çalışmasında akü bileşenlerindeki değişikliklerin akünün performansına etkileri 12 ayrı deney ve 6 ayrı deney grubuyla incelenmesi yapılmıştır. Bu tez çalışma sonucunda, kalsiyum alaşımlı ızgara ve daha kalın bir şerit ile birlikte plaka sıvamasında ve hamur karma prosesinde belirli bir oranda sülyen kullanılarak oluşturulan plakaların, belli bir ısı altında kürlenerek 4BS plaka morfolojik yapısında plakalar üreterek ve kostik asit takviye kullanılarak şarj edilen akülerde 12 ay takip edildiğinde voltaj kaybının daha az olduğu ve akü çevrim ömrünün daha uzadığı görülmüştür.

Tez çalışmasında yapılan prototip üretim aküler Ekler kısmında Resim 7.1’de gösterilmiştir. Resim 7.2’de labaratuvar testleri, Resim 7.3’te 0,8mm ızgara ve 1,1mm ızgara üretimleri, Resim 7.4’ te tribazik ve tetrabazik kürlenme deneme çalışmaları, Resim 7.5’te Flux fırça deneme çalışmaları, Resim 7.6’da sülyen üretimi ve sülyenli plaka üretimi, Resim 7.7 de asit ve sıcaklık denemeleri gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında yapılan çalışmalarla deney gruplarının akünün performansına etkisi incelendiğinde;

- Kurşun kalsiyum ve kurşun antimuan alaşımlı ızgaralar ile üretilen numuneler üzerinde uygulanan test sonuçları değerlendirildiğinde su kaybı testinde ortalama olarak Ca alaşımlı ızgara ile üretilen akülerde %40 oranında su kaybının azaldığı görülmüştür. Ca ile yapılan akülerde Sb ile yapılan akülere göre çevrim testi kapasite gerekliliğinde %10 oranında artış sağlanmıştır.
- Yapılan yeni ürün tasarımı, bu proje kapsamında geliştirilmiş ızgara tasarımı ile oluşturulmuştur. Standart tip plaka tasarımına sahip ürünlerde %12,94 CCA (soğuk marş akımı) artışı elde edilmiştir (Şekil 5.9). Ürün ağırlığı sabit tutularak CCA artışı sağlanmıştır.
- Kurşun tetraoksit kullanımına geçilmesi ile birlikte formasyon sırasında aktif malzemenin elektrokimyasal dönüşümü için uygulanan kg başına Ah değerinde %20 oranında kazanç sağlanmıştır. Pozitif malzeme için uygulanan 550 Ah/kg değeri, yeni reçete değerleri ile 480 Ah/kg değerine çekilebilmiştir.
- 4BS ile üretilen akülerde başlangıç deşarj kapasiteleri daha düşüktü ancak şarj kabulü, -18 C kapasitesi ve akım deşarj kapasitesi %8 daha yüksek geldi. Ayrıca 4BS ile üretilen

aküler şarj-deşarj döngüsünde 1,5 kat daha fazla gelmiştir. Buda 4BS'li aktif malzemeli akünün çevrim ömrünü arttırdığını göstermektedir.

- Kostik kullanılan sülfürik asitli akülerde voltaj düşüşü (Self discharge) daha azdır ve akünün raf ömrü daha uzundur. Sülfürik asit ile 12 ayda 0,375 V düşüş var iken kostik asit ise 0,205 V görülmüştür. Verilere göre yaklaşık akünün 3-6 ay daha fazla ömrü vardır.
- Eleman yastığında oluşan hava boşlukları projede hedeflendiği üzere minimize edilmiştir. İç direnç (%7 azalma) ve yol verme performansı (%4 artış) değerlerinde iyileşmeler sağlanmıştır.

Tez çalışmasında yapılan denemeler ve sonuçlara bakıldığında akü üretiminde performans olarak çok önemli kazançlar sağlandığı görülmektedir. Tez çalışmasında yapılan akülerin prototip üretim ve test maliyetleri göz önüne alındığında bir deney tasarımı metodolojisine dayalı analiz gerçekleştirilmemiştir. Deney gerçekleştirilebilme sayısı 12 olduğu için oldukça az deneyle bir iyileşme çalışması gerçekleştirme gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bu nedenle deney sonuçları iyi bir analiz yöntemi olan çok kriterli karar verme metodu MOORA yöntemi ile analiz edilerek en iyi parametre değerleri bulunmuştur. Yapılacak akü üretimlerinde;

Araştırmayla ilgili en önemli istatistiksel sonuçların belirlenip yorumlandığı aşağıdaki öneriler göz önünde bulundurulmasının faydaları;

- Müşteri talebi ve maliyet göz önünde bulundurularak aküde su kaybını önlemek için kalsiyum alaşımlı ızgaraların tercih edilmesi,
- Soğuk marş akımının artması için daha kalın ızgara tasarımları yapılması,
- Çevrim sayısının artırılması için 4BS morfolojik yapılı plaka üretimi ile akü yapılması,
- Kapasite artışının sağlanması için pozitif plakada sülyen kullanılması ve iç direncin azalması için kaynak kalitesinin iyileştirilmesi önerilmektedir.

Bu tez çalışmasından sonra yapılacak olan ileriki çalışmalarda deney tasarımı metodolojisi kullanılarak faktöriyel tasarım, minitab programı kullanarak istatistiksel analizleri daha verimli bir şekilde gerçekleştirmelerine ve verilerin onlara ne söylediğini görselleştirmelerine yardımcı olan histogramlar, Taguchi Yöntemleri gibi deney tasarım metotlarıyla çalışmalar yapılabilir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Cho, J., Jeong, S., Kim, Y. (2015). Commercial and research battery technologies for electrical energy storage applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 48, 84-101
2. Jafari, H., Rahimpour, M. R. Pb acid batteries. (2020). *Rechargeable Batteries: History, Progress, and Applications*, 17-39.
3. Czerwiński, A., Wróbel, J., Lach, J., Wróbel, K., Podsadni, P. (2018). The charging-discharging behavior of the lead-acid cell with electrodes based on carbon matrix. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 22, 2703-2714.
4. Akar, A. (2020). *Otomobiller için yenilikçi bir akü koruma cihazı tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, 99-102.
5. Liu, D., Lin, N., Zhang, W., Wang, Y., You, Q., Liu, Z., Lin, H. (2023). Development of titanium-based positive grids for lead acid batteries with enhanced lightweight, corrosion resistance and lifetime. *Journal of Energy Storage*, 73, 108880.
6. Yang, T., Qian, S., Luo, Y., Wang, X., Wang, Z. (2021). Direct re-usability of lead-plated tin bronze as negative plate for lightweight lead-acid battery. *Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage*, 18(3), 030906.
7. Zhang, Y., Zhou, C. G., Yan, X. H., Gao, H. L., Gao, K. Z., Cao, Y. (2023). Synthesis of Nafion-reduced graphene oxide/polyaniline as novel positive electrode additives for high performance lead-acid batteries. *Electrochimica Acta*, 466, 143045.
8. Chen, Z., Cao, J., Rao, Y., An, L., Yang, Y., Zhou, S., Wu, L. (2023). Monosodium glutamate as an effective electrolyte additive in lead acid battery. *Electrochimica Acta*, 458: 142492.
9. Romero, A. F., Tomey, R., Ocón, P., Valenciano, J., Fricke, H. (2023). Improvement of positive plate grid corrosion resistance through two methods of boric acid addition to lead-acid battery electrolyte. *Journal of Energy Storage*, 72, 108302.
10. Yanamandra, K., Pinisetty, D., Gupta N. (2023). Impact of carbon additives on lead-acid battery electrodes: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 173, 113078.
11. Chen, Z., Li, J., Yu, J., Wu, L., Zhou, S., Rao, Y., Cao, J. (2022). The critical role of aluminum sulfate as electrolyte additive on the electrochemical performance of lead-acid battery. *Electrochimica Acta*, 407, 139877.
12. Göçmen, S. (2021). *Numerical and experimental investigations of an air-cooled battery thermal management system*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 40-44.
13. Celen, A., Kaba, M. Y. (2021). Elektrikli Araçlarda Kullanılan Silindirik Lityum İyon Bataryaların Soğutulmasının Parametrik İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 33(1), 49-61.

14. Çetin, İ., Sezici, E., Karabulut, M., Avci, E., Polat, F. A. (2023). Comprehensive review of battery thermal management systems for electric vehicles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 237(3), 989-1004.
15. Wu, Y., Liu, Z., Liu, J., Xiao, H., Liu, R., Zhang, L. (2022). Optimal battery capacity of grid-connected PV-battery systems considering battery degradation. *Renewable Energy*, 181, 10-23.
16. Chen, K., Wu, W., Yuan, F., Chen, L., Wang, S. (2019). Cooling efficiency improvement of air-cooled battery thermal management system through designing the flow pattern. *Energy*, 167, 781-790.
17. Sezici, E., Cetin, I., Polat, F. (2022). Design and Experimental Investigation of Air-Cooled Battery Thermal Management System for Electric Vehicles. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 11(2),2062-2077.
18. Ye, B., Rubel, M. R. H., Li, H. (2019). Design and optimization of cooling plate for battery module of an electric vehicle. *Applied Sciences*, 9(4), 754.
19. Dong, S., Lv, J., Wang, K., Li, W., Tian, Y. (2022). Design and optimization for a new locomotive power battery box. *Sustainability*, 14(19), 12810.
20. Akinlabi, A. H., Solyali, D. (2020). Configuration, design, and optimization of air-cooled battery thermal management system for electric vehicles: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 125,109815.
21. Tajik, M., Makui, A., Tosarkani, B. M. (2023). Sustainable cathode material selection in lithium-ion batteries using a novel hybrid multi-criteria decision-making. *Journal of Energy Storage*, 66, 107089.
22. Brauers, W. K. M., E. K. Zavadskas, Z. Turskis, and T. Vilutiene. (2008). Multi objective contractor's ranking by applying the moora method. *Journal of Business Economics and Management*, 9 (4), 245–255.
23. İç, Y. T., and S. Yıldırım. (2012). Improvement of a product design using multi criteria decision making methods with taguchi method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27 (2), 447–458.
24. Schilling, S. (1999). Ensuring lead-acid battery performance with pulse technology, fourteenth annual battery conference on applications and advances. *Proceedings of the Conference, USA: California State University*, 247-252.
25. Wagner, R. Sauer, D.U. (2001). Charge strategies for valve-regulated lead/acid batteries in solar power applications, *Journal of Power Sources* ,95, 141–152
26. Kim, S.C., Hong, W.H. (2000). Fast-charging of a lead–acid cell: effect of rest period and depolarization pulse, *Journal of Power Sources*, 89(1), 93-101.
27. Lam, L.T., Haigh, N.P., Phyland C.G., Urban, A.J. (2004). *Journal of Power Sources*,133 (268), 126–134.

28. Sauer, D.U., Karden, E., Fricke, B., Blanke, H., Thele, M., Bohlen, O., Schiffer J., Gerschler J.B., Kaiser, R. (2007). Charging performance of automotive batteries an underestimated factor influencing lifetime and reliable battery operation, *Journal of Power Sources*, 168(1), 22-30.
29. American National Standards Institute (ANSI). (2006). Lead-acid starter batteries, Part I: General requirements and methods of test (IEC 60095-1).
30. Jossen, A., Garche, J., Sauer, D.U. (2004). Operation conditions of batteries in PV applications, *Solar Energy* ,76(6), 759–769.
31. Xu, K. (2014). Electrolytes and interphases in Li-ion batteries and beyond, *Chemical Reviews*, 114(23), 11503–11618.
32. Zeier, B.E. (2012) Lead acid battery de-sulfation. U.S. Patent No. 8,330,428. Romoland,CA, US.
33. Hollenkamp, A. (1996). When is capacity loss in lead/acid batteries 'premature', *Journal of Power Sources*, 59(1-2), 87 – 98.
34. Cooper, A. and Moseley, P. (2003). Progress in overcoming the failure modes peculiar to VRLA batteries, *Journal of Power Sources*, 113(2), 200 – 208.
35. Moseley, P. (2000). Improving the valve-regulated lead-acid battery, *Journal of Power Sources*, 88(1), 71 – 77.
36. Özermiş, M.E. (2013). Kurşun asit akülerin optimum şarj olmasını sağlayan şarj devresi Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
37. ABD Enerji Bakanlığı. (1995). Doe Handbook Primer on Lead-Acid Storage Batteries. Washington, USA.
38. Gençten, M. (2013). Kurşun asit akülerin performanslarının artırılması Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
39. Barlak, C. (2009). Batarya model parametrelerinin, doluluk durumunun, sağlık durumunun kestirimi ve Ni-MH bataryalara uygulanması Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
40. İnternet: Akümülatör eğitim kitabı, Yiğit Akü. (t.y.). URL:<https://sirinleraku.com/upload/files/tekniktr%282%29.pdf>. Son erişim tarihi: 19.12.2023.
41. İnternet: Traksiyoner akü. URL: <http://blog.inciaku.com/traksiyoner-aku-nedir/>. Son erişim tarihi:14.12.2023.
42. Bauer H., (1996) Bosch Automotive Handbook, Stuttgart: Society of Automotive Engineers 4, 803-807.
43. Jackey, R. (2007). A simple, effective lead-acid battery modeling process for electrical system component selection. SAE World Congress and Exhibition.

44. Pavlov, D. (2011). *Lead-Acid Batteries: Science and Technology*, (First edition). Amsterdam: Elsevier.
45. Pierson, J.R., in: D.H. Collins (Ed.) (1970). *PowerSources Oxford 2*. Pergamon PressLtd, 103.
46. Ruetschi P. (2004). Aging mechanisms and service life of lead–acid batteries. *Journal of Power Sources* ,127 (268), 33–44
47. İnternet: About batteries. URL:<<http://aboutbatteries.batteryCouncil.org/What-is-a-lead-battery>>, Son erişim tarihi:14.12.2022.
48. Meek, Terry L.; Garner, Leah D. (2005). "Electronegativity and the bond triangle". *Journal of Chemical Education*. 82 (2), 325.
49. İnternet: Lead acid batteries aging. URL:<<http://www.openthesis.org/documents/Lead-Acid-Battery-Aging-State-546978.html>>, erişim tarihi: 15.12.2023.
50. Eagleson, M. (1994). *Concise encyclopedia of chemistry*, Walter de Gruyter. Germany: CAS (Chemical Abstracts Service), ISBN 978-3-11-011451-5, 590
51. Gu, D.H., Nguyen,T.V. (1987). A Mathematical model of a lead-acid cell. *Journal of The Electrochemical Society*, 134(12), 2953–2960.
52. Haidinger W. (1845). *Zweite Klasse: Geogenide. II. Ordnung. Baryte VII. Bleibaryt. Plattnerit. Handbuch der Bestimmenden Mineralogie (PDF) (Almanca)*. Viyana: Braumüller and Seidel. 500.
53. Gu, W. B., Wang C. Y., Liaw B. Y. (1997). Transport processes in lead-acid batteries. *The Electrochemical Society Interface*, 144(6), 2053–2061.
54. Jung J., Zhang L., Zhang J. (2015). *Lead-acid battery technologies: fundamentals, materials, and applications*. Hoboken: CRC Press.
55. Taggard, J. E., Jr. (1988). Scrutinyite, natural occurrence of α -PbO₂ from Bingham, New Mexico, U.S.A., and Mapimi, Mexico. *Canadian Mineralogist*. 26, 905.
56. Kurzweil P. (2010). Gaston Planté and his invention of the lead-acid battery-The genesis of the first practical rechargeable battery. *Journal of Power Sources*, 195(14), 4424–4434.
57. Newman, J., Tiedeman, W. (1975). Porouse-electrode theory with battery applications. *AIChE Journal*, 21(1), 25–41.
58. Ruetschi P. (1977). Reveiw on the lead-acid battery science and Technology. *Journal of Power Sources*, 2(1977178), 3–24.
59. Monahov B., Kelley K., Alkhateeb M., McDuff R. (2008). *Proceedings of the 7th International Conference on Lead-AcidBatteries, LABAT, Varna, Bulgaria* 27.
60. Garche J. (1990). On the historical development of the lead/acid battery, especially in Europe. *Journal of Power Sources*, 31, 401–406.

61. Ferg E. E., Loyson P., Rust N. (2005). Porosity measurements of electrodes used in lead-acid batteries. *Journal of Power Sources*, 141(2), 316–325.
62. Dell R. M., Rand D. A. J., Bob D. B. (2001). *Understanding batteries*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.

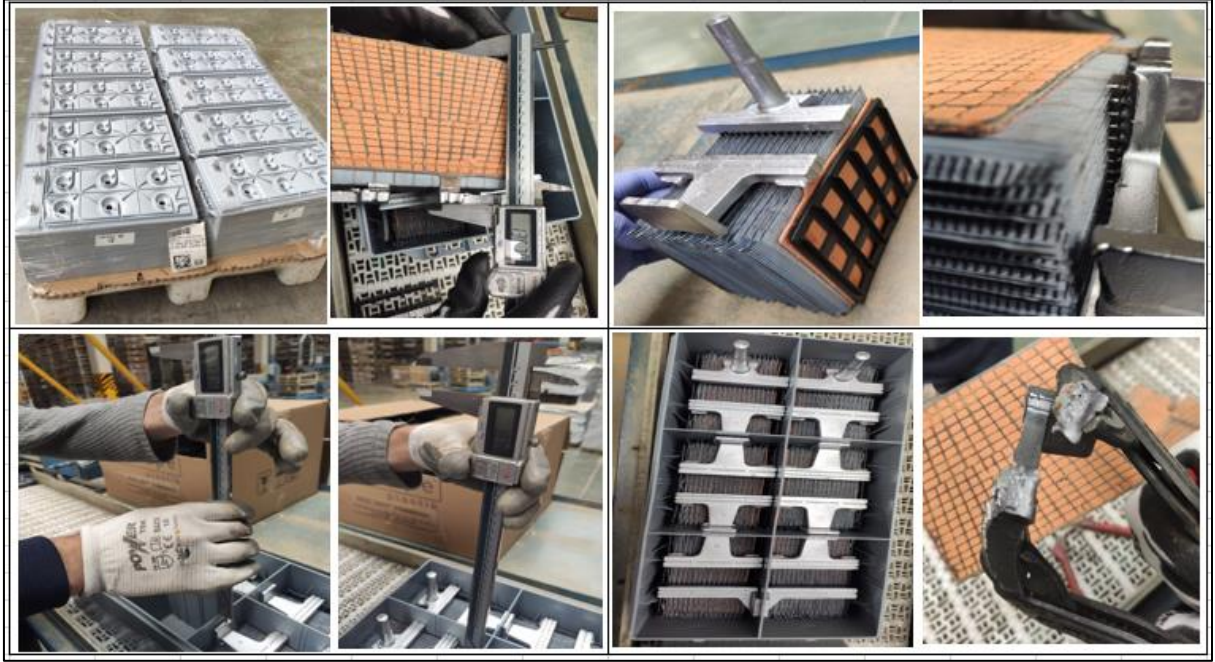






EKLER

EK-1. Prototip deneme üretimleri



Resim 1.1. Kamyon aküleri deneme üretiminden görüntüler

EK-1. (devam) Prototip deneme üretimleri



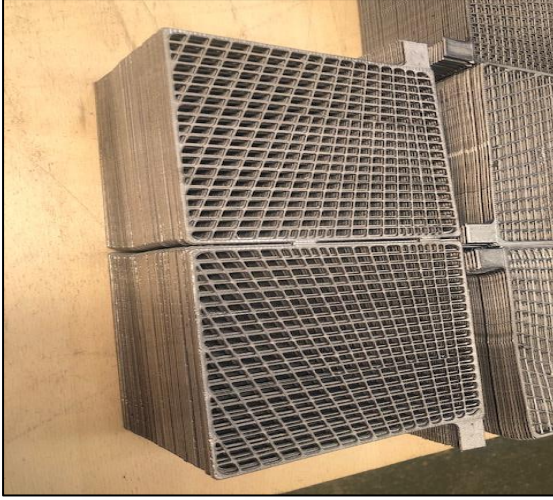
Resim 1.2. Binek araç deneme üretiminden görüntüler

EK-1. (devam) Prototip deneme üretimleri



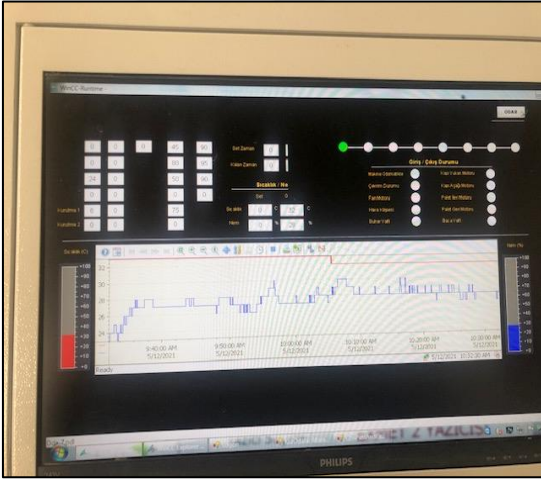
Resim 1.3. Prototip deneme üretimi laboratuvar testleri

EK-1. (devam) Prototip deneme üretimleri



Resim 1.4. Prototip 0,8mm ızgara ve 1,1 ızgara üretimi

EK-1. (devam) Prototip deneme üretimleri



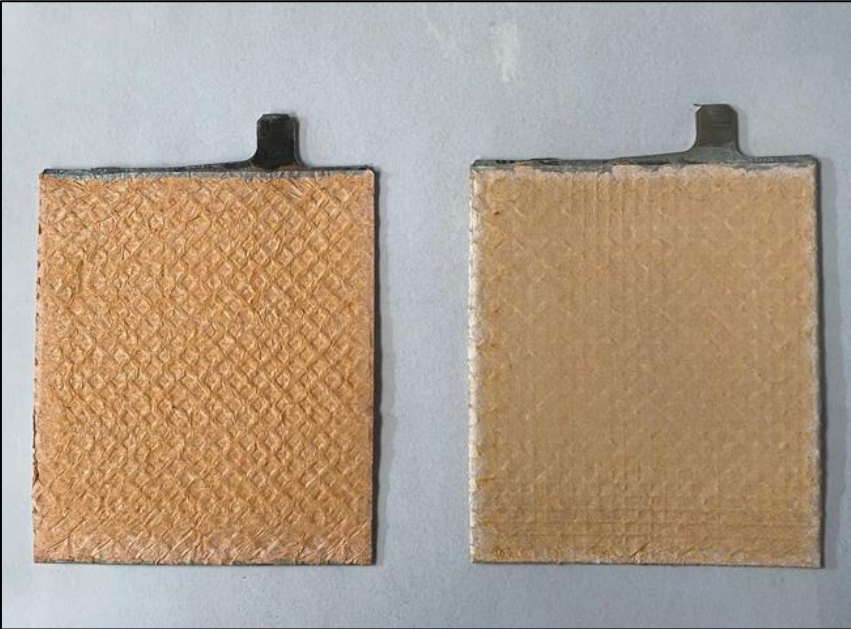
Resim 1.5. 3BS ve 4BS hamur karışımı ve kütleme prosesi üretimi

EK-1. (devam) Prototip deneme üretimleri



Resim 1.6. Flux fırça deneme üretimi

EK-1. (devam) Prototip deneme üretimleri



Resim 1.7. Sülyen üretimi ve sülyenli plaka

EK-1. (devam) Prototip deneme üretimleri



Resim 1.8. Sülfürik asit ve kostik asit denemeleri



Gazili olmak ayrıcalıktır