
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

# START STOP ARAÇLARDA GÜÇLENDİRİLMİŞ AKÜ TASARIMI

**Yıldırım EYDEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞUSTOS 2019**

Yıldırım EYDEMİR tarafından hazırlanan "START STOP ARAÇLARDA GÜÇLENDİRİLMİŞ AKÜ TASARIMI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Bahadır ÖZDEMİR
Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Başkan:** Prof. Dr. Tayfun MENLİK
Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Ataollah KHANLARI
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Türk Hava Kurumu Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 01/08/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmasında 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.



Yıldırım EYDEMİR

01/08/2019

START STOP ARAÇLARDA GÜÇLENDİRİLMİŞ AKÜ TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Yıldırım EYDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2019

ÖZET

Günümüzde kullanımı gittikçe artan start-stop araçlar için üretilecek olan akülerin performansı, yakıt tüketimi ve $CO_2$ emisyonunu doğrudan etkilemektedir. Yapılan çalışmanın amacı, akü performansının ömrü boyunca güç kaybetmeden etkin olmasını sağlayarak, yakıt tüketimi ve $CO_2$ emisyonundaki kazançların arttırılmasıdır. Üzerinde çalışılan tasarımla imal edilecek yenilikçi ürün, akünün start-stop özelliğinin daha sık frekans ve daha uzun süre sağlanarak, gelişen teknolojide kullanıma sunularak otomotiv sanayiye uluslararası tedarik yapılacak ve ülkeye katma değer sağlanacaktır. Bu performansın sağlanması için, aküye gücünü veren plakaların üretiminde kullanılan hamur formülüne katılan kimyasal maddeler ile plakanın özel proseslerden geçirilerek morfolojik yapısında değişim hedeflenmiştir. Katılan kimyasallar ile quad-core adı verilen tetrabasik kurşunsülfat yapıların ($4PbO{\cdot}PbSO_4$) oluşması ve boyutları incelenmiştir. Üretilen plakaların kullanıldığı aküler ve diğer otomotiv firmalarının akülerinden örnekler alınıp karşılaştırma yapılarak çalışma sonuçlandırılmıştır. Yapılan testler sonucu üretilen plakaların kullanıldığı aküler, laboratuvar ortamında test edilerek çalışma sonuçlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda yakıt tasarrufu ve $CO_2$ emisyonundaki kazançların referans alınan iki ayrı firmanın ürünlerine göre (J1, K1) iki katına kadar çıkabildiği görülmüştür Normal starter akülere göre de çevrim sayısı on katına kadar çıkabildiği tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 92807
Anahtar Kelimeler : Akü, start-stop performans, $CO_2$ emisyon, yakıt sarfiyatı
Sayfa Adedi : 73
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Bahadır ÖZDEMİR

STRENGTHENED BATTERY DESIGN FOR START STOP VEHICLES

(M. Sc. Thesis)

Yıldırım EYDEMİR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2019

## ABSTRACT

Battery performance of the start-stop vehicles whose production rate increasingly go on, affects directly the $CO_2$ emission and fuel consumption. The object of this study is to increase the profits of fuel consumpition and $CO_2$ emission by maintaining the effectiveness of the battery performance in lifetime. Produced innovative product by worked on design with more frequent and period of start-stop property of the battery will come into use in developing technology and add value to our country by supplying to international automotive industry. To ensure this performance with additives which are added to paste that is used in production of plates are passed over special processes to change the morphological structure. Tetra basic lead sulphate ($4PbO \cdot PbSO_4$) structures called quad-core which are formed with paste additives and the formation and sizes of quad-core structures are analyzed. Batteries which are produced by the plates that are manufactured with these studies and also several automotive suppliers' batteries are compared to conclude this study. Result of this study showed that profits in fuel consumption and $CO_2$ emission can be increased up to double. Also those batteries cycle life is up to ten times with compared to normal starter batteries.

Science Code : 92807
Key Words : Battery, start-stop performance, $CO_2$ emission, fuel consumption
Page Number : 73
Supervisor : Asst. Prof.Dr. Mustafa Bahadır ÖZDEMİR

# TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Bahadır ÖZDEMİR'e, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım değerli Ako Akü Genel Müdürüm Dr.Hulki BÜYÜKKALENDER'e, test aşamalarında değerli yardımlarını esirgemeyen Orta Doğu Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği öğretim üyelerinden Prof.Dr.Kadri AYDINOL'a ve Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki değerli hocalarıma, üretim denemeleri ve test aşamaları süresince desteklerini aldığım tüm Ako Akü Fabrikası çalışanlarına ve ayrıca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim. Bu çalışmanın neticelenmesi için son ana kadar benimle birlikte olan kıymetli eşime de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

# 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 ARAŞTIRMASI ..... 5

3. AKÜYE GENEL BAKIŞ ..... 11

3.1. Akü Çeşitleri ve Kullanım Alanları ..... 11

3.1.1. Sulu aküler ..... 11

3.1.2. Kuru aküler ..... 11

3.2. Akü Bileşenleri ..... 11

3.3. Akü Çalışma Prensibi ..... 12

4. AKÜ ÜRETİM PROSESLERİ ..... 15

4.1. Izgara Üretimi ..... 15

4.1.1. Döküm ızgara ..... 15

4.1.2. Genişletilmiş metal ızgara ..... 16

4.1.3. Zımba pres ile delinmiş ızgara ..... 18

4.2. Kurşun Oksit Üretimi ..... 20

4.3. Aktif Malzeme Üretimi ..... 21

4.4. Aktif Malzemenin Izgara Üzerine Sıvama İşlemi ..... 22

**Sayfa**

4.5. Plakaların Kürlenmesi ..... 24
4.6. Grup Kaynağı ve Montaj İşleminin Yapılması ..... 25
4.7. Elektrolit Dolumu ve Şarj İşleminin Yapılması ..... 26
4.8. Nihai Elektrolitin Dolumu ve Test İşlemleri ..... 28
5. YAPILAN ÇALIŞMALAR ..... 29
5.1. Materyal ..... 29
5.1.1. Stereomikroskop ..... 29
5.1.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ..... 30
5.1.3. Bitrode tam donanımlı akü test cihazı ..... 30
5.1.4. TBLS (Tetra bazik kurşun sülfat) ..... 31
5.2. Metot ..... 31
5.2.1. Mikroskop analizi ..... 32
5.2.2. Taramalı elektron mikroskobu analizi ..... 32
5.2.3. Kapasite testi ..... 32
5.2.4. Yol verme testi ..... 33
5.2.5. Düşük sıcaklıkta yüksek akım deşarj testi ..... 34
5.2.6. Şarj kabulü testi ..... 34
5.2.7. Şarj tutma testi ..... 35
5.2.8. Çevrim testinde dayanıklılık ..... 35
5.2.9. Korozyon testi ..... 36
5.2.10. Derin deşarj testi ..... 36
5.2.11. Su tutma testi ..... 37
5.2.12. Titreşime dayanıklılık testi ..... 37
5.2.13. Elektrolit tutma testi ..... 39
5.2.14. Mikro hibrit testi ..... 39
5.2.15. % 17,5 Deşarj derinliğindeki (DoD) çevrim testi dayanımı ..... 40

**Sayfa**

5.2.16. 40˚C'de % 50 Deşarj derinliğindeki (DoD) çevrim testi dayanımı ..... 40
5.2.17. Pozitif şarjlı plakalarda kurşun dioksit ($PbO_2$) testi ..... 41
6. TEST VE ANALİZ SONUÇLARI ..... 43
6.1. Stereo Mikroskop Görüntüleri ..... 43
6.2. SEM Görüntüleri ..... 48
6.3. Kapasite Testi ..... 53
6.4. Yol Verme Testi ..... 54
6.5. Düşük Sıcaklıkta Yüksek Akım Deşarj Testi ..... 55
6.6. Şarj Kabulü Testi ..... 56
6.7. Şarj Tutma Testi ..... 57
6.8. Çevrim Testinde Dayanıklılık ..... 58
6.9. Korozyon Testi ..... 59
6.10. Derin Deşarj Testi ..... 60
6.11. Su Tutma Testi ..... 61
6.12. Titreşime Dayanıklılık Testi ..... 62
6.13. Elektrolit Tutma Testi ..... 63
6.14. Mikro Hibrit Testi ..... 63
6.15. % 17,5 Deşarj Derinliğindeki (DoD) Çevrim Testi Dayanımı ..... 64
6.16. 40˚C'de % 50 Deşarj Derinliğindeki (DoD) Çevrim Testi Dayanımı ..... 65
6.17. Pozitif Şarjlı Plakalarda Kurşun Dioksit ($PbO_2$) Testi ..... 66
7. SONUÇ VE ÖNERİLER ..... 69
KAYNAKLAR ..... 71
ÖZGEÇMİŞ ..... 73

# ÇİZELGELERİN LİSTESİ

**Çizelge** **Sayfa**

Çizelge 5.1. Aktif malzeme karşım oranları ..... 31

Çizelge 5.2. Çevrim testi için parametreler ..... 35

Çizelge 5.3. Titreşim dayanıklılık seviyeleri, seviye1-3..... 38

Çizelge 5.4. Titreşim dayanıklılık seviyesi , seviye 4..... 38

Çizelge 6.1. Kapasite (C20) ölçüm sonuçları ..... 53

Çizelge 6.2. CCA ölçüm sonuçları ..... 54

Çizelge 6.3. Deşarj sonu voltaj ($U_{30s}$) ölçüm sonuçları ..... 55

Çizelge 6.4. Şarj kabulü ($I_{ca}$) ölçüm sonuçları..... 56

Çizelge 6.5. Şarj tutma testi sonu voltaj ($U_{30s}$) ölçüm sonuçları..... 57

Çizelge 6.6. Çevrim dayanıklılık testi sonu kapasite (Ah) ölçüm sonuçları..... 58

Çizelge 6.7. Korozyon testi sonu voltaj ($U_{30s}$) ölçüm sonuçları ..... 59

Çizelge 6.8. Derin deşarj testi sonu voltaj (U) ölçüm sonuçları ..... 60

Çizelge 6.9. Su tutma testi sonu su kaybı (g/Ah) ölçüm sonuçları ..... 61

Çizelge 6.10. Titreşim testi sonu voltaj (U) ölçüm sonuçları ..... 62

Çizelge 6.11. Elektrolit tutma testi sonuçları..... 63

Çizelge 6.12. Mikro hibrit testi sonu kapasite (Ah) ölçüm sonuçları ..... 63

Çizelge 6.13. %17,5 Deşarj derinliğindeki çevrim sayısı ölçüm sonuçları ..... 64

Çizelge 6.14. %50 DoD testi sonu kapasite (Ah) ölçüm sonuçları..... 65

Çizelge 6.15. Pozitif şarjlı plakalarda kurşun dioksit ($PbO_2$) ölçüm sonuçları ..... 66

# ŞEKİLLERİN LİSTESİ

**Şekil** **Sayfa**

Şekil 1.1. Akülerin Avrupa Birliği ülkelerindeki satış adetleri (2011-2015) ..... 1

Şekil 1.2. Gaston Plante aküsü (a) tüm hücre, (b) elektrot montajı, (c) kumaş ..... 2

Şekil 3.1. Akü bileşenleri ..... 12

Şekil 4.1. Haddeleme ile oluşan tanecik boyutu ..... 18

Şekil 4.2. Zımba pres ile dört adımda şerit bobinin delinmesi ..... 19

Şekil 6.1. Kapasite ölçüm grafiği ..... 53

Şekil 6.2. CCA ölçümleri grafiği ..... 54

Şekil 6.3. Deşarj sonu voltaj ($U_{30s}$) ölçümleri grafiği ..... 55

Şekil 6.4. Şarj kabulü ($I_{ca}$) ölçümleri grafiği ..... 56

Şekil 6.5. Şarj tutma sonu voltaj ($U_{30s}$) ölçümleri grafiği ..... 57

Şekil 6.6. Çevrime dayanıklılık testi sonu kapasite (Ah) ölçümleri grafiği ..... 58

Şekil 6.7. Korozyon testi sonu voltaj ($U_{30s}$) ölçümleri grafiği ..... 59

Şekil 6.8. Derin deşarj testi sonu voltaj (U) ölçümleri grafiği ..... 60

Şekil 6.9. Su tutma testi sonu ölçümleri (g/Ah) grafiği ..... 61

Şekil 6.10. Titreşime dayanıklılık testi sonu voltaj (U) ölçümleri grafiği ..... 62

Şekil 6.11. Mikrohibrit testi sonu kapasite (Ah) ölçümleri grafiği ..... 64

Şekil 6.12. %17,5 Deşarj derinliğindeki çevrim sayısı sonuçları grafiği ..... 65

Şekil 6.13. %50 DoD testi sonu kapasite (Ah) ölçümleri grafiği ..... 66

Şekil 6.14. Pozitif şarjlı plakalarda kurşun dioksit ($PbO_2$) ölçümleri grafiği ..... 67

# RESİMLERİN LİSTESİ

**Resim** **Sayfa**

Resim 4.3. Döküm ızgara ..... 16
Resim 4.3. Genişletilmiş metal ızgara makinesi ..... 17
Resim 4.4. Genişletilmiş metal ızgara ..... 17
Resim 4.5. Panç ızgara ..... 19
Resim 4.7. Hamur karma hattı ..... 22
Resim 4.8. Hamur sıvama hattı ..... 23
Resim 4.9. Aktif malzeme sıvanmış ızgara ..... 23
Resim 4.10. Dilimlenen plakaların palet üzerine robotik istifleme işlemi ..... 24
Resim 4.11. Plakaların kürleme işlemine alınması sonrası depoya kaldırılması ..... 25
Resim 4.12. Plakaların grup kaynağı yapılması ve pp kutuya yerleştirilmesi ..... 26
Resim 4.13. Akülere elektrolit dolum işlemi ..... 27
Resim 4.14. Şarj havuzlarında akülerin şarj işlemi ..... 27
Resim 5.1. Analizlerin yapıldığı stereomikroskop ..... 29
Resim 5.2. Testlerin yapıldığı SEM ..... 30
Resim 6.1. R0 reçeteli şarjsız plaka stereomikroskop görüntüsü ..... 44
Resim 6.2. R1 reçeteli şarjsız plaka stereomikroskop görüntüsü ..... 44
Resim 6.3. R2 reçeteli şarjsız plaka stereomikroskop görüntüsü ..... 45
Resim 6.4. R3 reçeteli şarjsız plaka stereomikroskop görüntüsü ..... 45
Resim 6.5. R0 reçeteli şarjlı plaka stereomikroskop görüntüsü ..... 46
Resim 6.6. R1 reçeteli şarjlı plaka stereomikroskop görüntüsü ..... 46
Resim 6.7. R2 reçeteli şarjlı plaka stereomikroskop görüntüsü ..... 47
Resim 6.8. R3 reçeteli şarjlı plaka stereomikroskop görüntüsü ..... 47
Resim 6.9. R0 reçeteli şarjsız plaka sem görüntüsü, X500 ..... 48
Resim 6.10. R1 reçeteli şarjsız plaka sem görüntüsü, X500 ..... 49
Resim 6.11. R2 reçeteli şarjsız plaka sem görüntüsü, X500 ..... 49

**Resim** **Sayfa**

Resim 6.12. R3 reçeteli şarjsız plaka sem görüntüsü, X500 ..... 50

Resim 6.13. R0 reçeteli şarjlı plaka sem görüntüsü, X5000 ..... 50

Resim 6.14. R1 reçeteli şarjlı plaka sem görüntüsü, X5000 ..... 51

Resim 6.15. R2 reçeteli şarjlı plaka sem görüntüsü, X5000 ..... 51

Resim 6.16. R3 reçeteli şarjlı plaka sem görüntüsü, X5000 ..... 52

# SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| Simgeler | Açıklamalar |
|---|---|
| **W** | Ağırlık |
| **WL** | Ağırlık kaybı |
| **Al** | Alüminyum |
| **Ah** | Amper saat |
| **±** | Artı/Eksi |
| **β** | Beta |
| **Bi** | Bizmut |
| **dk** | Dakika |
| **Ω** | Direnç |
| **χ** | Dizinin elemanı |
| **Ce** | Efektif kapasite |
| **$e^-$** | Elektron |
| **N** | Eleman sayısı |
| **$U_f$** | Final voltaj |
| **Hz** | Frekans |
| **g/Ah** | Gram/ampersaat |
| **$g/cm^3$** | Gram/santimetreküp |
| **Ag** | Gümüş |
| **$H^+$** | Hidrojen |
| **$R_{dyn}$** | İç direnç |

| Simgeler | Açıklamalar |
|---|---|
| **Sn** | Kalay |
| **Ca** | Kalsiyum |
| $\sqrt{\ }$ | Karekök |
| **kg** | Kilogram |
| **Pb** | Kurşun |
| **Li** | Lityum |
| **Mg** | Magnezyum |
| $\mathbf{I_{cc}}$ | Marş için deşarj akımı |
| **mAh g- 1** | Miliamper / gram |
| **ml** | Mililitre |
| **mm** | Milimetre |
| **ppm** | Milyonda bir |
| **µm** | Mikrometre |
| **M** | Molar |
| $\mathbf{I_n}$ | Nominal deşarj akımı |
| $\mathbf{O_2}$ | Oksijen |
| $\overline{C_e}$ | Ortalama kapasite değeri |
| **s** | Saat |
| **˚C** | Santigrat derece |
| $\mathbf{cm^2}$ | Santimetrekare |
| **σ** | Sigma |
| **S** | Standart sapma |
| **t(h)** | Süre ( Saat ) |
| ∑ | Toplam |

| Simgeler | Açıklamalar |
|---|---|
| **U** | Voltaj |
| **V** | Volt |
| **%** | Yüzde |

| Kısaltmalar | Açıklamalar |
|---|---|
| **AES** | Atomik emisyon spektroskopisi |
| **EN** | Avrupa Normu |
| **$BaSO_4$** | Baryum sülfat |
| **β – PbO** | Beta kurşun oksit |
| **β – PbO2** | Beta kurşun (IV) oksit |
| **DoD** | Deşarj derinliği |
| **CV** | Döngüsel voltammetri |
| **EIS** | Elektokimyasal direnç spektroskopisi |
| **AGM** | Emici cam elyaf |
| **EDS** | Enerji dağılım spektroskopisi |
| **HSO-4** | Hidrojen sülfat |
| **ICP** | İndüktif eşleşmiş plazma |
| **C20** | Kapasite |
| **$CO_2$** | Karbondioksit |
| **UPS** | Kesintisiz güç kaynağı |
| **CA** | Kronoamperometri |
| **PbO** | Kurşun oksit |
| **$PbO_2$** | Kurşun dioksit |

| Kısaltmalar | Açıklamalar |
|---|---|
| **$PbSO_4$** | Kurşun sülfat |
| **LS** | Lignosülfonatın |
| **NAM** | Negatif aktif materyali |
| **J1** | Piyasadaki diğer marka ürün |
| **K1** | Piyasadaki diğer marka ürün |
| **PASP** | Poliaspartat |
| **PE** | Polietilen |
| **PP** | Polipropilen |
| **PCC** | Polivinil alkol / nano-karbon kolloid |
| **PAM** | Pozitif aktif materyali |
| **$H_2O$** | Saf su |
| **CCA** | Soğukta marş basma akımı |
| **$Na_2SO_4$** | Sodyum sülfat |
| **R0** | Standart reçeteli ürün |
| **VRLA** | Subap ayarlı kurşun asit akü |
| **$H_2SO_4$** | Sülfürik asit |
| **$I_{ca}$** | Şarj kabul akımı |
| **CR** | Şarj oranı |
| **SEM** | Taramalı elektronik spektroskopisi |
| **TGA** | Temel gravimetik analiz |
| **4PbO · PbSO4** | Tetrabazik kurşun sülfat |
| **TBLS** | Tetrabazik kurşun sülfat |
| **TEM** | Transmisyon elektron mikroskobu |
| **TS** | Türk Standartları |

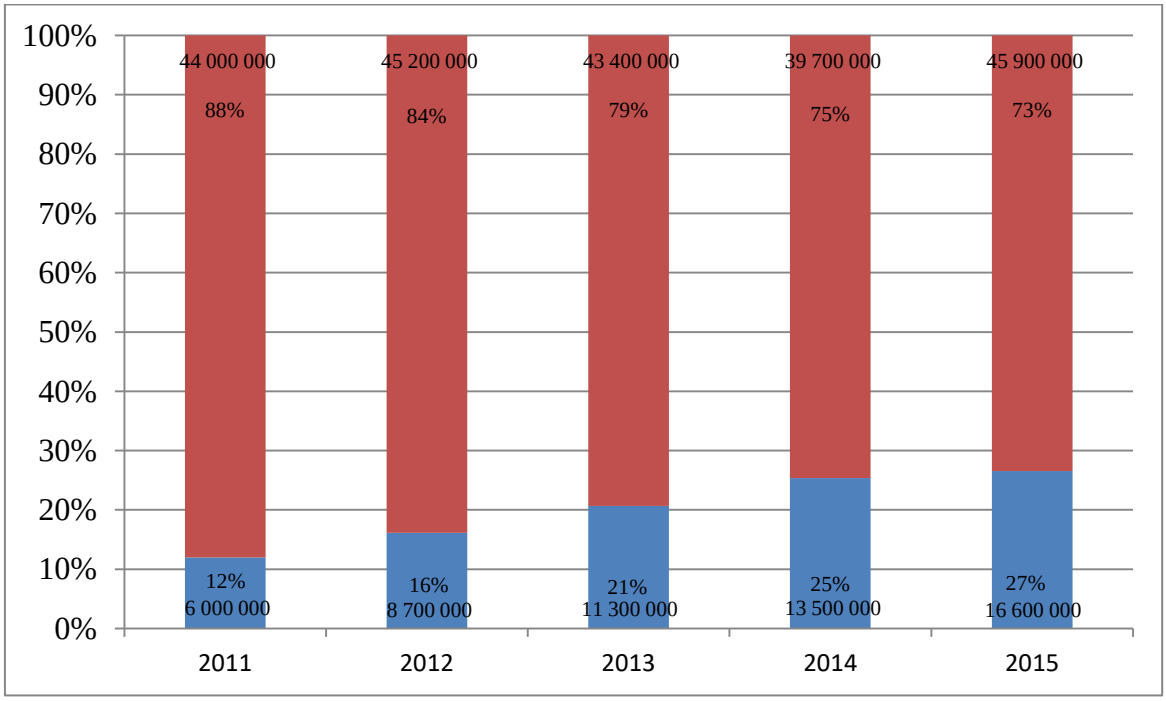
| **Kısaltmalar** | **Açıklamalar** |
|---|---|
| **TSE** | Türk Standartları Enstitüsü |
| **UV** | Ultraviyole |
| **HRPSoC** | Yüksek asitli kısmi şarj durumu |
| **XRD** | X ışını kırınımı |
| **$Sn^{2+}$** | +2 değerlikli kalay |
| **$Sb^{3+}$** | +3 değerlikli antimon |
| **R1** | 1.reçeteli ürün |
| **R2** | 2.reçeteli ürün |
| **R3** | 3.reçeteli ürün |
| **X500** | 500 kat büyütülmüş görüntü |
| **X5000** | 5000 kat büyütülmüş görüntü |

# 1. GİRİŞ

Akü elektrik enerjisini, kimyasal enerji olarak depo eden ve ihtiyaç halinde bunu elektrik enerjisi olarak veren cihaza denir. Araçlardaki ana görevi motora ilk hareketi veren marş motorunu çalıştırmaktır. Ayrıca şarj dinamosunda problem olması durumunda; ısıtıcı, klima, far, radyo gibi enerji gerektiren sistemlerin çalıştırılmasında görev alır. Araç çalışmıyorken aracın enerji gerektiren bölümlerine gerekli enerjiyi sağladığı gibi, araçtaki bilgisayar hafızalarını, far ve radyoları elektriksel dalgalanmalardan korur.

Günümüz otomotiv endüstrisinde, yakıt tasarrufu, hava kirliliği gibi etmenler yeni araç tasarım ve üretimlerini en çok etkileyen faktörlerin başlarında gelmektedir. Bu kapsamda start-stop teknolojisi yeni araçlarda kullanılmaya başlanmıştır.

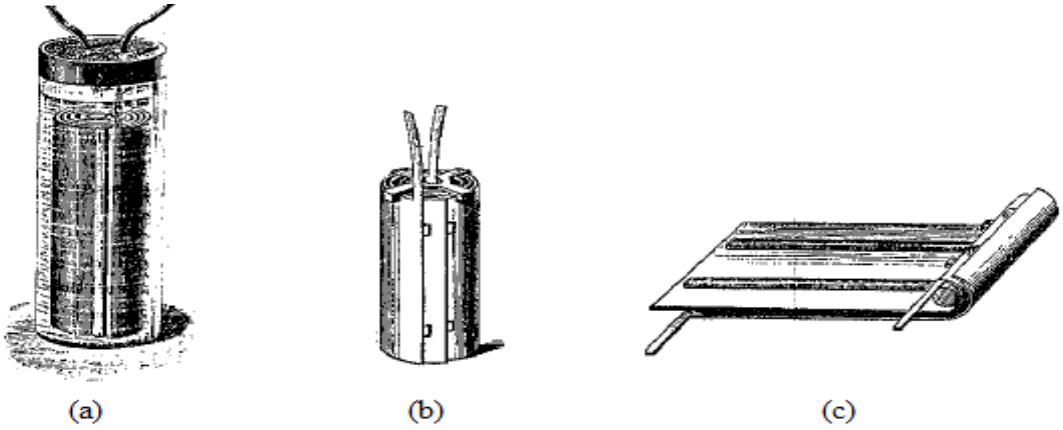
Avrupa akü üreticileri birliğinin 2016 yılında Malta'da gerçekleştirilen konferansında yayınlamış olduğu rapora göre 2011 yılında start-stop akülerin satış oranı tüm akülere göre %12 iken, 2015 yılında bu oran %27'ye çıkmıştır. Start-stop akülerin satış trendindeki artış incelendiğinde 2020 yılında start-stop akülerin toplam akü satışına oranının %40'a çıkacağı beklenmektedir. Çizelge 1.1'de 2011-2015 yılları Avrupa Birliği ülkelerinde satılan standart ve start-stop akülerin satış adetleri ve yüzdeleri verilmiştir.




Şekil 1.1. Akülerin Avrupa Birliği ülkelerindeki satış adetleri (2011-2015)

Kurşun-asit aküler, şarj edilebilir batarya sistemlerinin temelini oluşturmakta; güvenilirliği, düşük maliyeti ve ömrü ile yıllardır yeni gelişen teknoloji ve yeni batarya sistemlerine rağmen hala tercih edilen batarya olarak dünyada en yaygın sistem olarak kullanılmaktadır.

Kurşun asit akülerin temeli 1859 yılında Fransız bilim insanı Gaston Plante'nin yapmış olduğu çalışmaya dayanmaktadır. Kurşun teller arasında dokuma kumaş konularak ayrılmış ve spiral şeklinde sarılmış olarak hücre oluşturulmuştur (Şekil 1.2.).




Şekil 1.2. Gaston Plante aküsü (a) tüm hücre, (b) elektrot montajı, (c) kumaş

Yaklaşık %10'luk sülfürik asit çözeltisine batırılarak hazırladığı hücresini, bir yıl sonra Fransa Bilim Akademisi'ne dokuz hücreyi paralel bağladığı akü şeklinde tanıtmıştır. Bu şekilde belirli akım üretebilen bir enerji kaynağının temelini atarak kurşun asit akülerin ilerlemesini başlatmıştır.

Yapılan tez çalışmasında öncelikli olarak aküler hakkında genel bilgiler verildikten sonra, akü üretim proseslerinden, akü çeşitlerinden ve uygulama alanlarından bahsedilecektir.

Testlerde kullanılacak düzeneklerden bahsedilip, tasarım esaslarından bahsedildikten sonra test düzeneğinin tanıtımı yapılacaktır. Yapılan testler sonucunda akünün start-stop yapma performansının analizi yapılacaktır. Yapılan analizler sonucunda çıkartılan sonuçlardan ve önerilerden bahsedilecektir.

Bu çalışmada Start-stop akü tasarımı ile elde edilecek gelişim sonucu imal edilecek yenilikçi ürün, gelişen teknolojide kullanıma sunularak otomotiv sanayiye uluslararası tedarik yapılacak ve ülkeye katma değer sağlanacaktır.

*İkinci bölümde* konu hakkında benzer çalışmaların literatür araştırması bulunmaktadır.

*Üçüncü bölümde* akü çeşitleri tanımlanmıştır. Aküyü oluşturan bileşenler ve akü çalışma prensibi açıklanmıştır.

*Dördüncü bölümde* akünün üretim prosesleri açıklanmıştır.

*Beşinci bölümde* akü tasarımında kimyasalların etkileri açıklanmıştır ve yapılan testler hakkında bilgi verilmiştir.

*Altıncı bölümde* test sonuçlarının irdelenmesi yapılmıştır.

*Yedinci bölümde* yapılan çalışmanın sonuçları değerlendirilmiş, yapılabilecek ileri çalışmalar ve öneriler paylaşılmıştır.

# 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan çalışmaya benzer çalışmalar incelenmiştir. İncelenen benzer çalışmaların özetleri aşağıda sıralanmıştır.

Benzer bir çalışmada plaka üretiminde kullanılan hamura eklenen farklı özelliklerdeki cam elyaf örneklerinin akünün özgül enerjisini iki katına kadar çıkarabildiği belirtilmiştir. Cam elyafın hamurda kullanılması, plakadaki gözenekli yapının daha fazla olmasına katkı sağladığı hakkında bilgi verilmiştir [1].

McKinleya, Dlaskaa ve Batson tarafından hamurda kırmızı oksitin aküye olan etkileri incelenmiştir. Uygun şartlarda kırmızı oksitin sıvama işleminde küçük β-$PbO_2$ çekirdeklerine dönüştüğü ve böylece aktif malzemenin daha kısa sürede şarj edilebildiği belirtilmiştir. β-$PbO_2$ çekirdeklerinin elektrokimyasal aktivitesinin fazla olmasından kaynaklı akünün ilk kapasitesinin de arttığı bildirilmiştir. İlk kapasitelerin artmasına bağlı olarak rezerv kapasitelerin ve çevrim performansının da artmasından bahsedilmiştir [2].

Fonseca, Casanova ve Valdes tarafından start-stop sistemin $CO_2$ emisyonuna olan etkileri incelenmiştir. Aynı trafikte biri start-stop özelliği olan iki araçla test yapılmış ve buna göre start-stop özellikli olan aracın % 20 kadar daha az $CO_2$ emisyonu oluşturduğu tespit edilmiştir. Start-stop özelliğinin yakıt tasarrufuna % 5,3 katkısı olduğu belirtilmiştir [3].

Wua, Zhaoa, Zhou, Zhang ve Chen, bakır ve indirgenmiş grafen oksit sentezi yaparak kurşun asit akülerde kurşun eriyiği ile alaşım yapmış ve pozitif ızgaralardaki etkisini incelemiştir. Aküde su kaybını azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca alaşımın sertliğini arttırdığı ve ızgaraların korozyon dayanımın artmasına faydalı olduğu belirtilmiştir [4].

Karimi, Karami ve Mahdipour, negatif hamura $Na_2SO_4$ eklenmesinin akü üzerine etkilerini incelemiştir. Altı farklı yüzde oranında $Na_2SO_4$ negatif hamura eklenerek deşarj kapasitesi, çevrim ömrü ve soğuk marş gücü araştırılmıştır. Hamurdaki kurşun oksit ağırlığının %0,1 oranında $Na_2SO_4$ kullanımı; başlangıç kapasitesini %3, deşarj kapasitesini %12, soğuk marş gücünü %17 oranında arttırmıştır. En önemli artışı ise çevrim ömrünü %18 oranında arttırması sonucu belirtilmiştir. $Na_2SO_4$ negatif hamura hem çok ucuz hem de çok efektif bir katkı malzemesi olarak düşünülebileceği bildirilmiştir [5].

Boden tarafından akülerdeki aktif malzeme olan β-PbO ve kırmızı kurşun oksit aküye birçok fayda sağladığı ortaya koyulmuştur. Saf β-PbO hamur karma prosesinde üretilebilirliği arttırdığı ve kürleme prosesini kolaylaştırıldığı belirtilmiştir. Serbest kurşunun eksikliği akünün bekleme esnasında daha tekdüze şeklinde voltaj düşmesi eğilimi gösterdiğini göstermiştir. Kırmızı oksit, şarj süresinin kısalmasını, ilk kapasitenin yükselmesini ve yüksek performans vermesini sağladığı bildirilmiştir [6].

Jian Yin ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada Polivinil alkol / nano-karbon kolloid (PCC) karışımı hazırlanarak negatif elektrotunun etkileri incelenmiştir. PCC'nin kurşun asit bataryasının negatif elektrotunun elektriksel depolama kapasitesi üzerindeki olumlu etkilerini görmek için hem tamamen şarj-deşarj hem de yetersiz şarj testleri yapıldı. Test sonuçları, PCC'nin $PbSO_4$ büyümesini inhibe etme ve aşırı yüklenişini arttırma üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu makale, kurşun asit bataryanın geleneksel yapısını ve tasarımını değiştirmeden kurşun asit bataryanın performansını artırmak için yeni bir yol göstermektedir [7].

Bir çalışmada Nobumitsu Hirai ve arkadaşları lignosülfonatın (LS) kurşun elektrotun (negatif elektrotun bir modeli olarak) elektrokimyasal reaksiyonu üzerindeki etkisi, direnç voltametre kullanılarak 0, 10, 100 veya 1000$m^{-1}$ LS ile 1M, 3 M veya 7,1M $H_2SO_4$ sulu çözeltisinde araştırma yapmıştır. Direnç voltametrelerinin anodik kapasiteleri, $H_2SO_4$ konsantrasyonunun düşük olduğunda, LS ilavesiyle artmıştır. LS eklendiğinde, direnç voltametrelerinin anodik kapasiteleri genellikle daha yüksek tarama hızında daha az konsantre $H_2SO_4$ çözeltisinde artarken, anodik kapasite, 7,1M $H_2SO_4$ çözeltisinde LS ilave edilerek hafifçe azaltılmıştır. Kurşun sülfat kristalleri, LS artışıyla daha olumsuz potansiyellerde çözünmüştür. LS deşarj esnasında $H_2SO_4$ sulu çözeltisinde $Pb^{2+}$ iyonlarını vermiştir [8].

Kurşun asitli akülerin pozitif ve negatif aktif maddelerinin işlenmesi sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar, ürünün performansı ve ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. J.R. Pierson, bu kimyasal ve elektrokimyasal işlemlerin anlaşılması ve kontrolü, değişen konsantrasyonları akü gereksinimlerini ve verimi etkileyen parametreler olduğunu söylemektedir [9].

Kinon yapısı içeren veya içermeyen organik bileşiklerin eklendiği kurşun-asit akülerin, negatif macunlarının yoğunluğu ve sertliği Hirai ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. Sonuçlar, antrakinon içeren bir macunun yoğunluğunun ve sertliğinin neredeyse antrasen içeren ile aynı olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, 1,2-naftokinon-4-sülfonik asit sodyum tuzu ve 1-naftalensülfonik asit sodyum tuzu içeren macunlar için sonuçlar çok farklıdır. Kurşun-asit akülerdeki negatif plakalar için katkı maddesi olarak kullanılan ticari lignin türevleri (Vanillex N, Vanisperse A, Indulin AT) de ultraviyole (UV) spektroskopisi ile incelenmiştir. Bu lignin türevlerinin kinon yapıları içerdiği görülmüştür [10].

Yüksek asitli kısmi şarj durumu (HRPSoC) işlemi sırasında negatif plakalarda kurşun sülfatın ($PbSO_4$) aşamalı birikimini önleyip önleyemeyeceğini belirlemek için kurşun-asit pillerin negatif aktif malzemesindeki katkı maddeleri Ken Sawai ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. Bu olay, $PbSO_4$ partiküllerinin aşamalı büyümesi ve bu $PbSO_4$ partiküllerinin yakınında iletken yolların bulunmaması neden olur. HRPSoC döngü ömrü boyunca $PbSO_4$ partikül ebadını kontrol etmek için negatif aktif maddeye çeşitli ebatlardaki ve sentetik ligninli baryum sülfat ($BaSO_4$) partikülleri eklenmiştir. $PbSO_4$ parçacıklarının çevresinde iletken yollar oluşturmak için bazı türlerde karbon fiberler de eklenmiştir. Sentetik ligninin, HRPSoC döngü ömrü testlerinde pil ömrünü arttırmak için en etkili katkı maddesi olduğu bulundu, oysa $BaSO_4$ büyüklüğü veya karbon fiber gibi diğer faktörler daha az etki yarattı. Döngü başına $PbSO_4$ partiküllerinin büyüme oranı, sentetik ligninli bir hücrede, doğal ligninli bir hücreye göre çok daha düşüktür [11].

Bizmut, kurşun-asit bataryalarda zararlı bir element olarak kabul edilir, çünkü kurşundan daha fazla hidrojen oluşumuna sahiptir. Öte yandan, bizmut, negatif ya da pozitif aktif maddelerin performansını artırabilir. Bizmutun sülfürik asit çözeltisindeki performansını kurşun-asit bataryalar üzerindeki zararlı etkilerini azaltmak ve yararlı yönlerini iyi kullanmak için anlamak gerekir. Bu çalışmada bizmutun sülfürik asit çözeltisindeki elektrokimyasal davranışı, döngüsel voltammetri (CV), kronoamperometri (CA), elektrokimyasal direnç spektroskopisi (EIS), taramalı elektronik spektroskopi (SEM) ve X ışını kırınımı (XRD) ile incelenmiştir. Açık devre değerine yakın potansiyellerde, bizmut anodize olduğunda aktif olarak çözünür. Potansiyel arttıkça, iki oksidasyon tepe noktası gözlenir. İlk pik, çözülme-çöktürme mekanizmasını izleyen ve bizmut çözülmesini baskılayan bizmut sülfat oluşumuna tekabül eder. Bizmut sülfat filmi altında bizmutun sekonder oksidasyonuna bağlı ikinci pik, bizmut sülfatın çözeltiye çözülmesini, bizmut

oksitten bizmut sülfat oluşmasını ve matris bizmuttan bizmut oksidin oluşmasını içerir. Hidrojen çevrimi, kurşun sülfat indirgenmesinin tamamlandığı potansiyelin hemen ardından bizmutta gerçekleşir. Bizmut sülfat ile kaplı bizmutta oksijen oluşumu gerçekleşemez [12].

Li ve arkadaşları bizmut ağırlıkça % 0 ila % 8 olan kurşun-bizmut alaşımları hazırlamıştır. Kurşun dioksit içeren alaşımlarda oksijen evrimi reaksiyonu doğrusal voltametri, elektrokimyasal empedans spektroskopisi, taramalı elektron spektroskopisi, elektron kırınım spektroskopisi, oksijen toplama testleri kullanılarak incelenmiştir. Bizmut içeriği <% 0,1 olan alaşımlarda oksijen evrimi reaksiyonu, alaşımlardaki bizmuttan etkilenmemiştir. Bununla birlikte, alaşımlardaki bizmut içeriğinin arttırılmasıyla oksijen gelişim reaksiyonunun oranı artmıştır. Bu, bizmutun alaşımlardan çözeltiye çözülmesi ve bizmut iyonlarının çözeltiden kurşun dioksit yüzeyine adsorpsiyonu ile ilgilidir. Kurşun aksine bizmut, anodik polarizasyon altında çözelti içerisinde çözünebilir. Oksijen evrimi olmadığı potansiyellerde kurşun-bizmut alaşımları kurşun sülfat veya kurşun dioksit ile pasifleştirilir. Alaşımların üzerindeki kurşun dioksit, üzerinde oksijen oluşumu gerçekleştiğinde gözenekli hale gelir, böylece alaşımlardaki bizmut çözülür. Erimiş bizmut miktarı alaşımlardaki bizmut içeriği ile artar ve bizmut iyonlarının kurşun dioksit üzerine adsorpsiyonu, oksit yüzeyine yakın bizmut iyon konsantrasyonu yeterince yüksek olduğunda gerçekleşir. Adsorbe edilmiş bizmut iyonları içeren kurşun dioksit, oksijen oluşum reaksiyonunu hızlandırabilir ve oksijen çıkışı, adsorbe edilmiş bizmut iyonlarının miktarını artırarak artar [13].

Başka bir çalışmada N. Hirai ve arkadaşları, “Kolloidal tortunun” oluşumuyla ilgili kinon yapılarının lignin preparatları veya saf organik bileşikler içeren suya batırılmış Pb elektrotu üzerindeki etkisini araştırmıştır. Lignin preparatlarında ve saf organik bileşiklerde kinon yapılarının “koloidal birikinti” oluşumunda önemli bir rol oynadığı bulunmuştur [14].

Kurşun asitli akülerdeki kurşun negatif aktif maddeye (NAM) karbon katkı maddelerinin eklenmesinin hibrit elektrikli araç çalışma modunda akü şarj kabulünü arttırdığı tespit edilmiştir. Bu çalışma Pavlov, kurşun asit akülerinin şarj kabulünü arttırmadaki etkinliğini değerlendirmek amacıyla üç aktif karbon türü ve iki karbon siyahı türü çalışmıştır. Karbon partiküllerinin boyutunun ve bunların kurşuna yakınlıklarının önemli olduğu tespit edilmiştir. Nanoboyuttaki karbon partikülleri, NAM'ın iskelet dallarının kütlesine katılırlar

ve böylece ikincisinin ohm direncini artırabilirler. NAM'daki içerikleri ağırlıkça % 0,2-0,5'i geçmemelidir. Bu yükleme seviyesinde, karbon tanecikleri sadece NAM yüzeyinde adsorbe edilir ve spesifik yüzey alanının artmasına katkıda bulunur. Böylece şarj kabulünü arttırır. Karbon partikülleri mikron boyutlarında olduğunda, kurşun tutmaya çok yakın olduklarında, NAM'ın iskelet yapısına yapısal bir bileşen olarak entegre edilirler ve süper kapasitörler olarak görev yaparlar [15].

Başka bir çalışmada ise G. Petkova ve arkadaşları tarafından, poliaspartatın (PASP) kurşun asit akülerin negatif plakanın performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu polimer katkı maddesinin kurşun sülfatın kristalleşme işlemini kontrol ettiği ve $PbSO_4$ kristallerinin şeklini ve boyutunu değiştirdiği tespit edilmiştir. PASP'nin negatif macuna ve elektrolite eklenmesi, negatif aktif maddenin kullanımını arttırır ve negatif plakaların iç direncini azaltır. 2C deşarj akımıyla basit simüle edilmiş HRPSoC çevrim görevi altında kurşun asit akü hücrelerinin çevrimi sırasında elde edilen sonuçlar, PASP ilavesinin, negatif plakaların dönme yeteneğini geliştirdiğini ve böylece işlem sırasında eşitleme şarjının sıklığını azalttığını göstermektedir. Elektrolitte % 0,1 PASP bulunan akülerin HRPSoC döngüsü sırasında kurşun-asit akülerin performansı üzerinde olumlu bir etki gözlenmiştir. PASP ilavesi, şarj sırasında daha kolay azalan daha küçük $PbSO_4$ kristallerinin oluşumuna yol açar ve bu nedenle HRPSoC görevinde negatif plakalar üzerinde büyük kurşun sülfat kristallerinin birikmesini önler [16].

Pozitif kurşun-asit akü plakalarının kurşun dioksit aktif kütlesi, hidratlanmış jel bölgelerinin proton ve elektron iletkenliğine sahip bir jel kristal sistemidir. Bu çalışmada N. Chahmana ve arkadaşları, elektrolit oluşumuna eklenen $Sn^{2+}$, $Sb^{3+}$, $Co^{2+}$, $Mg^{2+}$ ve $Al^{3+}$ iyonlarının kurşun asit pillerin $PbO_2$ pozitif aktif materyalinin (PAM) stokiyometrisi, yapısı ve faz bileşimi üzerine etkisi incelenmiştir. Yukarıdaki metal iyonlarıyla katkılı PAM numuneleri, X-ışını kırınımı (XRD), termal gravimetrik analiz (TGA), taramalı elektron mikroskobu (SEM), endüktif olarak eşleşmiş plazma atomik emisyon spektroskopisi (ICP-AES) ve kimyasal analiz ile karakterize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, farklı metal iyonlarının $PbO_2$ parçacıklarına farklı miktarlarda dahil edildiğini göstermektedir. Katkı maddelerinin etkisi altında, kurşun dioksitin stokiyometrik katsayısı azalmış, yani katkı maddeleri $PbO_2$'nin stokiyometrisini arttırmıştır. Oluşum elektrolitindeki yabancı iyonlar, PAM'ın mikro yapısı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir ve partiküllerdeki kristal ve hidratlanmış jel bölgeleri arasındaki oranı değiştirmiştir [17].

Kurşun-asit akünün performansı iyonik sıvı (1-etil-3 metilimidazolium dietil fosfat) kullanılarak arttırılmıştır. Sonuçlar, akü elektrolitine (5,0M $H_2SO_4$ çözeltisi) iyonik sıvının eklenmesinin, hidrojen gazı oluşumunu 80 ppm'de 0,049 ml $dk^{-1}$ $cm^{-2}$'ye çok düşük oranda bastırdığını göstermektedir. Elektrokimyasal çalışmalar, kurşun elektrot yüzeyindeki iyonik sıvı moleküllerin adsorpsiyonunun, yük transfer direncindeki artışa ve çift katmanlı kapasitanstaki azalmaya yol açtığını göstermektedir. Ayrıca, iyonik sıvı bileşik varlığında, pil kapasitesinde 45 mAh $g^{-1}$ ila 83 mAh $g^{-1}$ arasında kayda değer bir gelişme olduğunu fark edilmiştir. M.A. Deyab yaptığı çalışmaları, taramalı elektron mikroskobu ve enerji dağıtıcı X-ışını analizi, akü elektrot yüzeyindeki iyonik sıvı moleküllerin adsorpsiyonu doğrulamıştır [18].

Geleneksel kurşun-asit bataryalar nispeten ağırdır ve bu nedenle düşük bir spesifik enerjiye sahiptir. Bu nedenle S.M. Tabaatabaai ve arkadaşları tarafından, çalışmalarında enerji yoğunluğunu iyileştirmek için daha hafif bir ızgara önerilmiştir. Bu çalışmada, yüksek spesifik yüzey alanına sahip negatif köpük akımı toplayıcılara sahip yeni bir kurşun-asit batarya tasarlanıp, üretilmiştir. Toplayıcılar döngüsel voltametre (CV) ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ile incelenmiştir. Köpük toplayıcılar tasarlanmış ve uygun macun bileşimi ve formasyon algoritması elde edilmiştir. Bazik hücreler üretilmiş ve performansı değerlendirilmiştir. Sonuçlar köpük ızgaralarının direncinin kurşun ızgaralara göre daha düşük olduğunu ve köpük ızgaralarının spesifik yüzey alanının kurşun ızgaralardan çok daha büyük olduğunu göstermiştir. Köpük akü, genel kurşun-asit akülere kıyasla iyi boşalma özelliklerine sahiptir. Boşalma eğrisi, hücre C5/ A (137 Ah $kg^{-1}$ negatif aktif madde) ile boşaldığında negatif kütle kullanım etkinliği %50'den yüksektir. Köpük ızgaraları, 60 Ah başlangıç aküsü, 2, 3 ve 10 Ah VRLA aküleri gibi çeşitli kurşun-asit aküler için negatif elektrot olarak kullanılmıştır. Köpük ızgaralı aküler, geleneksel kurşun-asit akülerden daha uzun çevrim ömrü göstermiştir [19].

Mukaitani ve arkadaşlarının çalışmasında, Pb, % 0,04 Ag veya % 0,03 Bi ilavesiyle ve % 0,08 Ca, % 1,5 Sn alaşımlarının çökeltilmesi rezistivite ölçümleri ve transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ile incelenmiştir. Ag veya Bi'nin Pb-Ca-Sn üçlü alaşımlarına eklenmesi süreksiz yağışları bastırır ve yüksek tutarlılık gerilimi ile sürekli çökeltilerin oluşumunu hızlandırır. Ag ilavesi, sertleşme üzerinde Bi ilavesinden daha büyük bir etkiye sahiptir. TEM-enerji dağılım spektroskopisi (EDS) analizi, Ag destekli alaşımlarda oluşan sürekli çökeltilerin Ca, Sn ve Pb elementlerine ek olarak Ag içerdiğini doğrulamıştır [20].

# 3. AKÜYE GENEL BAKIŞ

Bu bölümde, aküler hakkında genel bilgiler paylaşılarak akünün içeriğini oluşturan bileşenleri ve akülerin kullanım yerleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca çalışma prensibinden kısaca bahsedilmiştir.

## 3.1. Akü Çeşitleri ve Kullanım Alanları

Aküler, kurşun-asit, nikel-kadmiyum, gümüş-çinko gibi kullanılan metal cinslerine göre çeşitlere ayrılır. Bu çalışmada kurşun-asit aküleri temel alınmıştır.

Kurşun-asit akü tipi uzun yıllardır maliyeti ve geri dönüştürülebilmesi açısından en yaygın kullanılan akülerdir. Bu aküler temelde kuru ve sulu olmak üzere ikiye ayrılırlar.

### 3.1.1. Sulu aküler

En çok arabalarda kullanılır ve araçta ilk marş ile beraber ışıklandırma ve ateşleme sistemlerinin çalıştırılmasını sağlayan tip akülerdir. Sulu akülerin içyapılarında kurşun ve farklı kimyasal ham maddelerin katkılarıyla üretilen elektrotlar ile sülfürik asit bazlı olan elektrolit bulunmaktadır.

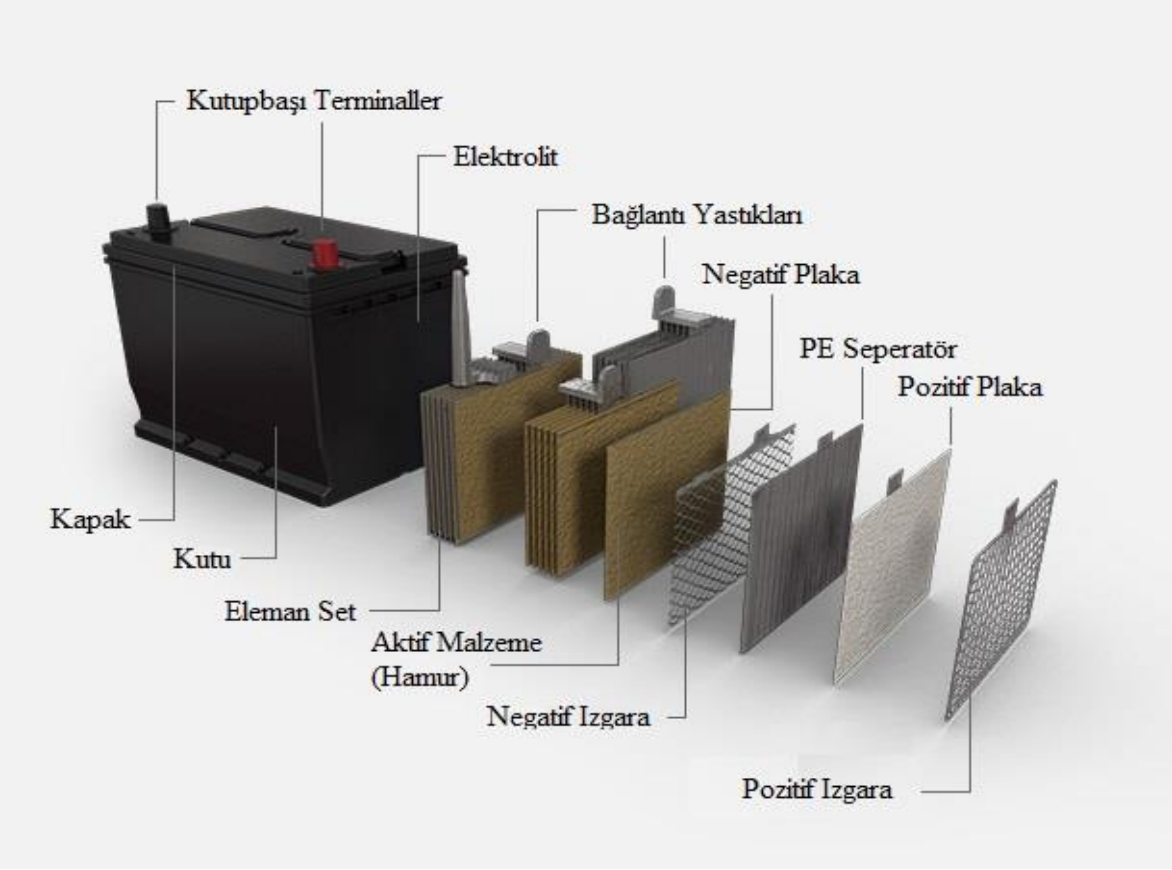
### 3.1.2. Kuru aküler

Kuru akülerin içyapısı ve teknolojisi farklıdır. Bu aküler de içyapılarına göre AGM (emici cam elyaflı) ve jelli aküler olmak üzere ikiye ayrılır. Bu akülerin temel özelliği, akünün koruyucu dış kısmı olan plastik kutunun içinde sıvı halde elektrolit yoktur. Bu sayede elektrolit taşması veya sızdırması yoktur. Akü içerisinde meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan gaz çıkışı ise minimumdur. Bu yüzden daha güvenlidir ve rafta bekleme ömürleri daha uzundur. Ayrıca titreşime karşı daha dayanıklıdır. Genel kullanım alanları arasında sabit tesisler, UPS'ler, tekneler ve santraller vardır.

## 3.2. Akü Bileşenleri

Aküler genel olarak plakalar, seperatör ve sülfürik asitten oluşan enerji depolama aracıdır. Şekil 3.1'de detaylı olarak akünün bileşenleri gösterilmiştir. Ana bileşenlerden biri olan

plakanın iskelet yapısını oluşturan ızgaranın ana alaşımı kurşundur. Teknolojisine göre içerisine farklı alaşımlar ilave edilerek güçlendirilir. Aktif madde ya da hamur ise akünün enerjisi için gerekli reaksiyonun oluşmasını sağlayan çok çeşitli kimyasalların bir araya gelmesi ile elde edilen ve ızgaraya sıvanan kısımdır. Seperatör, genellikle plastik malzemelerden oluşan ve zarf şeklinde olan bir malzemedir. Görevi, pozitif ve negatif plakanın birbirine temasını engellemektir. Elektrolit plakalar ile reaksiyona girerek elektron taşıma görevini üstlenmiştir. Kutu-kapak, plaka setinin ve elektrolitin konulduğu plastik bir malzemedir. Aküyü dış etkilerden koruyan ve akünün fiziksel şartlara karşı sağlam kalabilmesini sağlayan bileşendir.




Şekil 3.1. Akü bileşenleri

### 3.3. Akü Çalışma Prensibi

Akü, elektrik enerjisini kimyasal enerjiye çevirir ve gerektiğinde depoladığı kimyasal enerjiyi elektrik enerjisi olarak araca aktarır. Akünün temel amacı marş motorunu çalıştırmaktır. Akülerde kullanım amacı sadece marş değildir. Aynı zamanda ateşleme ve ışık sistemlerine enerji sağlamaktır.

Elektrik enerjisinin depolanması, geri alınması ve kullanılması gibi özellikler vardır. Özellikle sabit ve durağan yerlerde kullanılan akülerin içyapısında başlangıç ve marş amaçlı büyük farklılıklar vardır. Aküler kesintisiz olarak ihtiyacı giderir.

Çalışma sırasında akümülatörler dışarıdan gelen elektrik enerjisini kimyasal enerjiye çevirerek bu enerjiyi tekrar elektrik enerjisini çevirip harcar. Yani şarj-dolma ve deşarj-boşalma durumu olur. Akümülatörler şarj edildikten sonra belirli bir süre boyunca yani içerideki dönüşen enerji kadar kullanılabilir. Bu yüzden şarj bittiğinde tekrar doldurmak gerekir.

# 4. AKÜ ÜRETİM PROSESLERİ

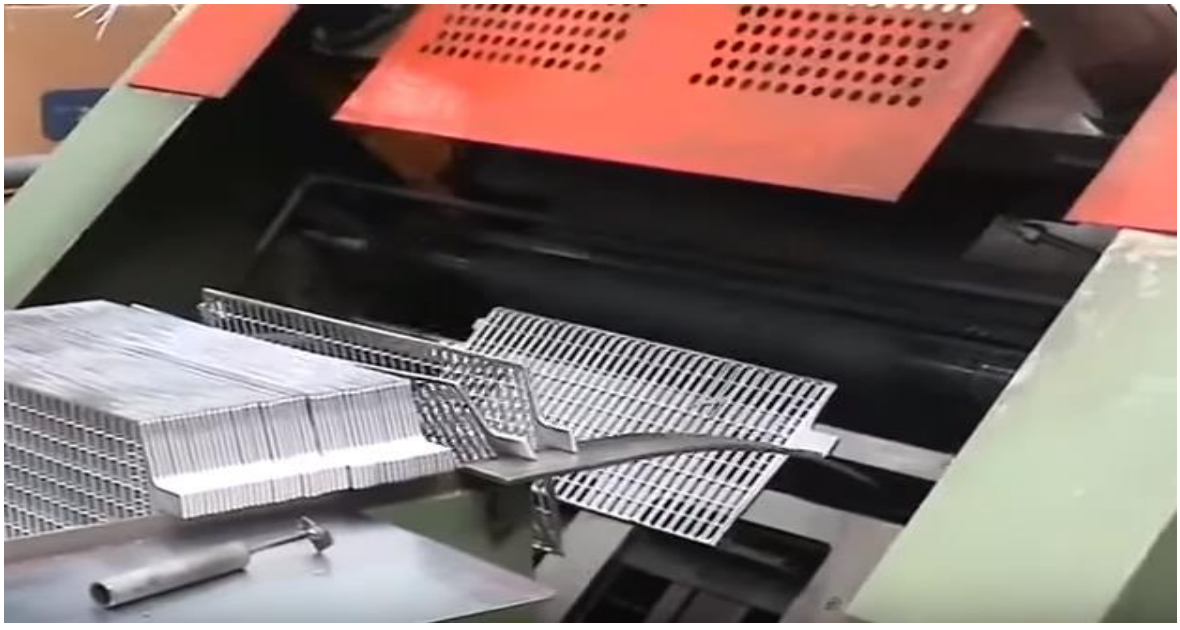
Akü üretimi, farklı süreçlerin birleşiminden oluşmaktadır. Üretim esnasında farklı üretim teknikleri kullanılmaktadır.

## 4.1. Izgara Üretimi

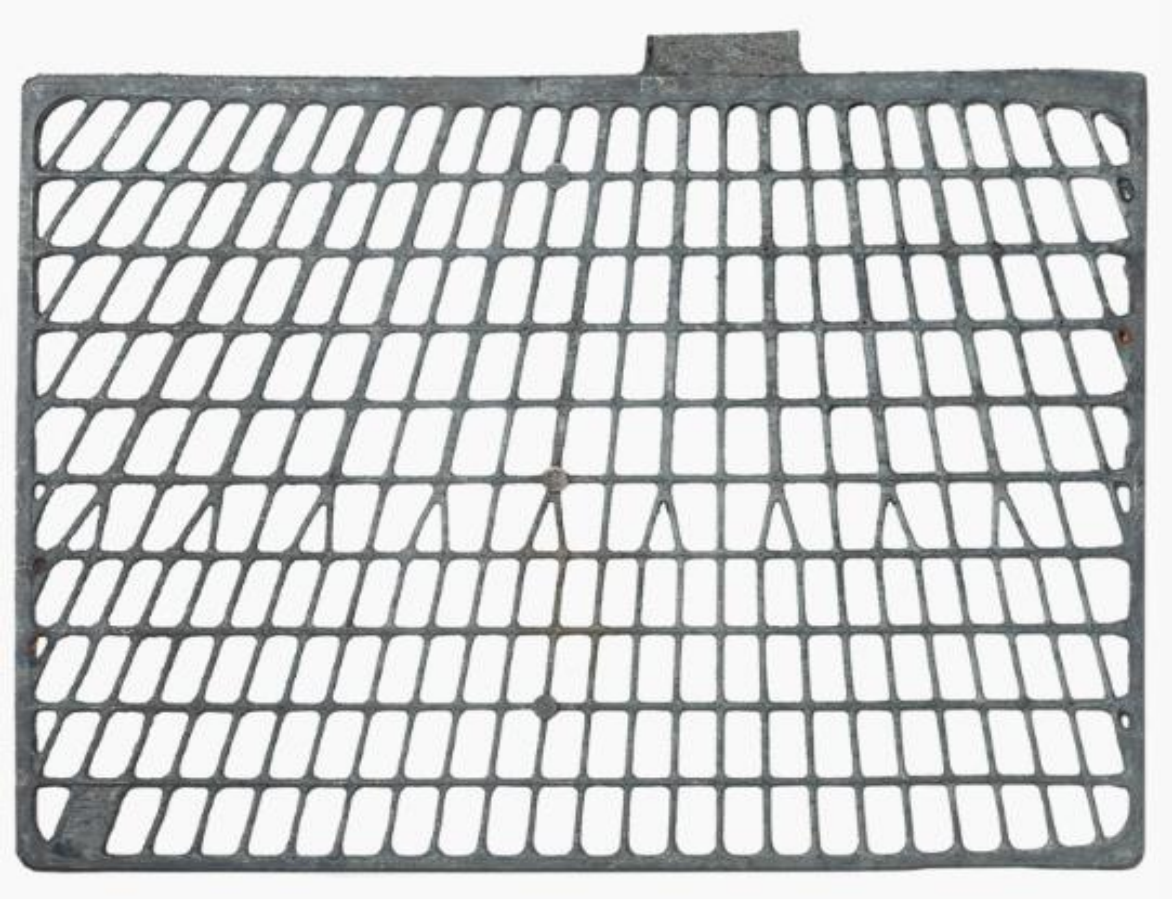
Akünün en önemli bileşeni olan plakanın iskeletini oluşturan ızgara, üzerine sıvanacak olan aktif malzemeyi tutmaya yarar. Ayrıca elektrik iletkenliğini arttırmak üzere iç yapıları tasarlanmaktadır. Izgarayı insan vücudundaki iskelet yapıya benzetebiliriz. Izgara üretimi yapılırken, kurşun farklı elementlerle tasarımı yapılan reçeteye göre alaşım yapılarak farklı bileşikler halinde üretimleri yapılmaktadır. Izgara üretiminde farklı teknolojiler kullanılmaktadır.

### 4.1.1. Döküm ızgara

Eski bir üretim teknolojisi olan döküm teknolojisi, kurşunun ergitilmesi ve içerisinde farklı elementlerin ilave edilerek alaşım yapılması sonucu, döküm makinelerinde tek tek döküm yapılarak üretim yapılır.



Resim 4.1. Izgara döküm makinesi ve döküm ızgaralar

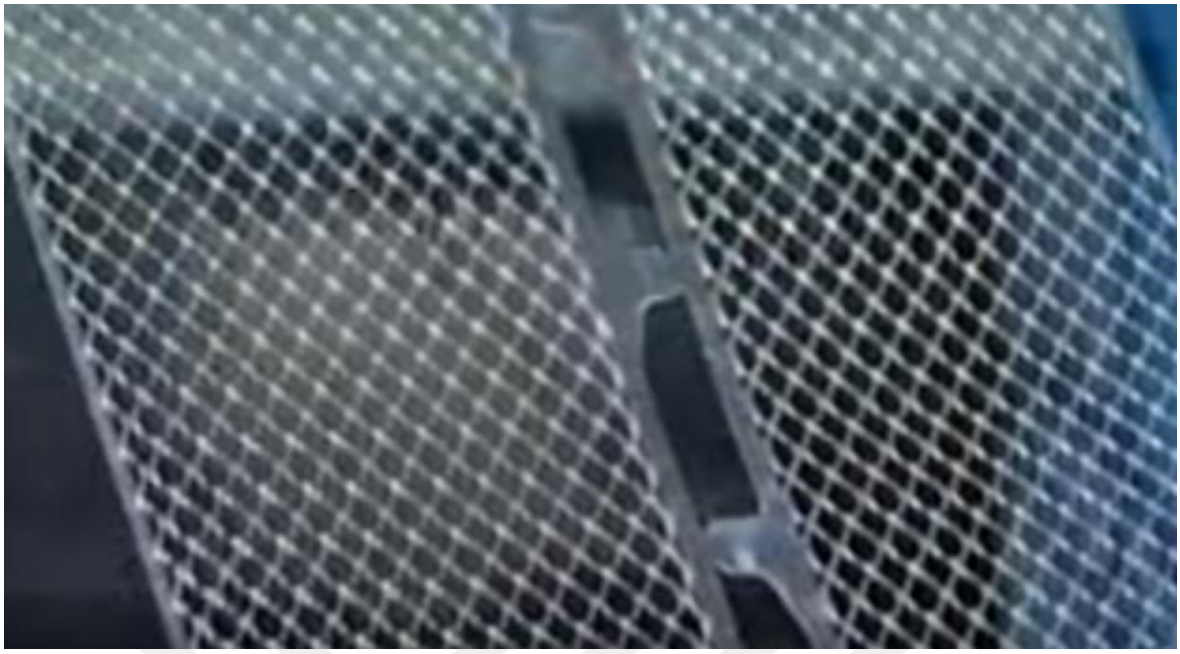


Resim 4.3. Döküm ızgara

Izgara döküm teknolojisi ile üretilen ızgaraların tanecik yapıları büyük olması ve iç boşluklarının geniş olmasından dolayı korozyona dayanımları diğer ızgaralara oranla daha düşüktür. Bu nedenle yeni üretilen akülerde tercih edilmemektedir.

### 4.1.2. Genişletilmiş metal ızgara

Farklı bir ızgara üretim tekniği olan genişletilmiş metal teknolojisinde, önce kurşun ergitilerek alaşımı yapılır ve düz ince bir kurşun şerit tabakası haddelenerek şerit haline getirilir ve bobin şeklinde sarılır. Üretilen bobin, ızgara genişletme makinesinde son halini alır. Genişletme esnasında, kurşun üzerine çentikler açılarak şeritte oluşturulan yırtık bölgelerden zincirler yardımı ile kurşun şerit genişletilir.



Resim 4.3. Genişletilmiş metal ızgara makinesi

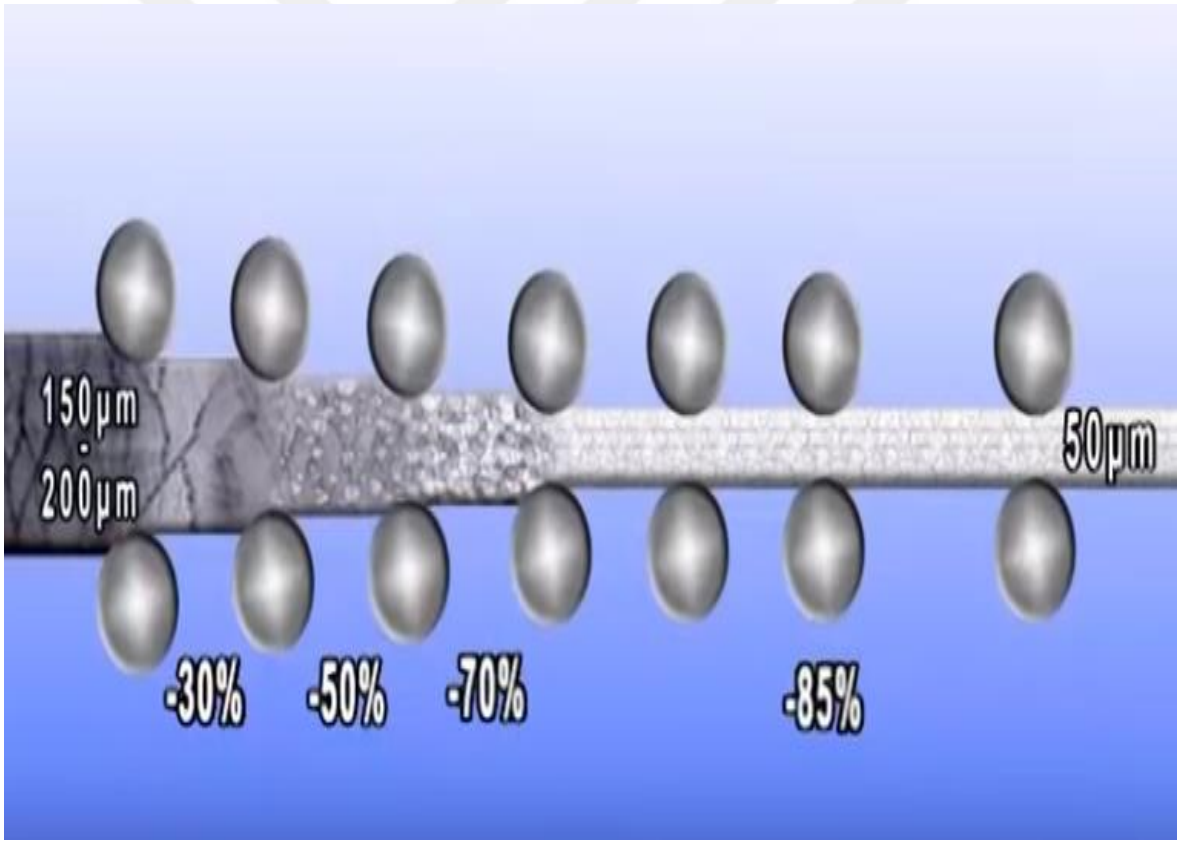
Genişletilmiş ızgara üretimi, üretim hızında döküm ızgara üretimine kıyasla iki kat hızlı olmakla birlikte, ızgaranın tanecik boyutlarının daha küçük olması nedeniyle de korozyon dayanımları daha fazladır. Ayrıca alaşımları nedeniyle akünün su kaybını azaltmaya yardımcı olur.



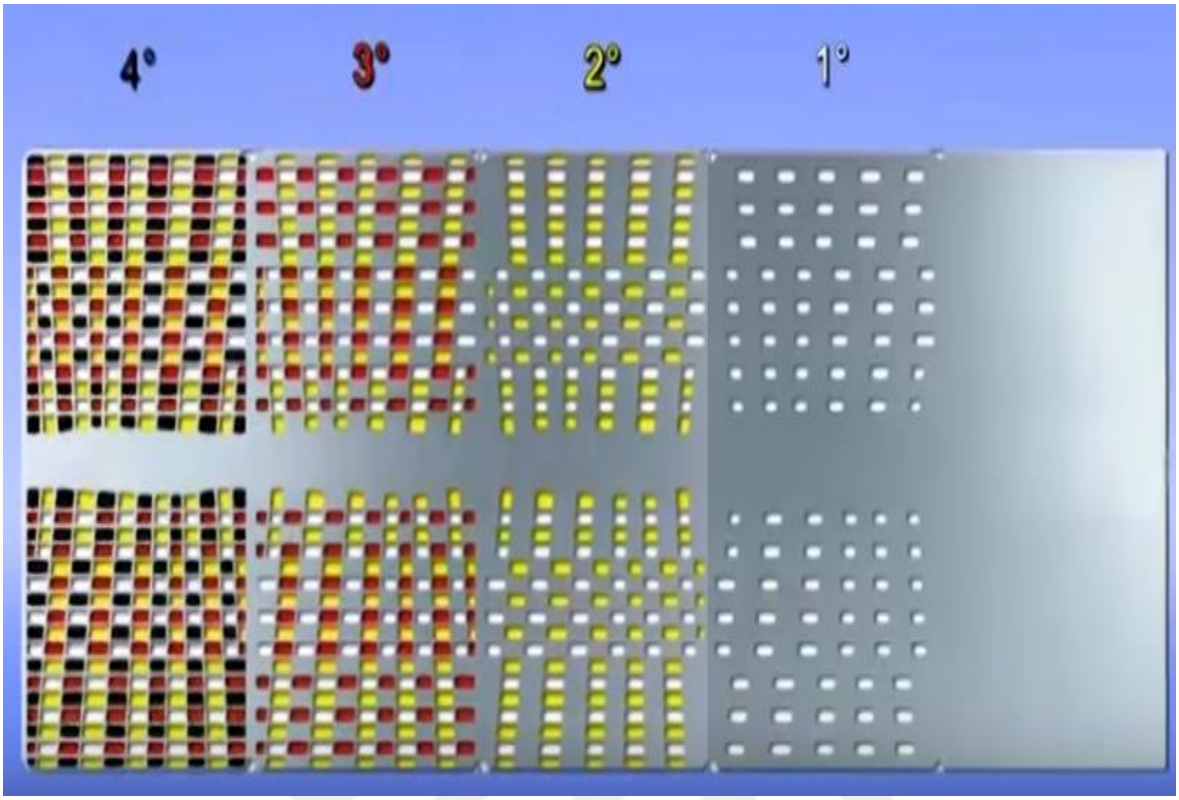
Resim 4.4. Genişletilmiş metal ızgara

### 4.1.3. Zımba pres ile delinmiş ızgara

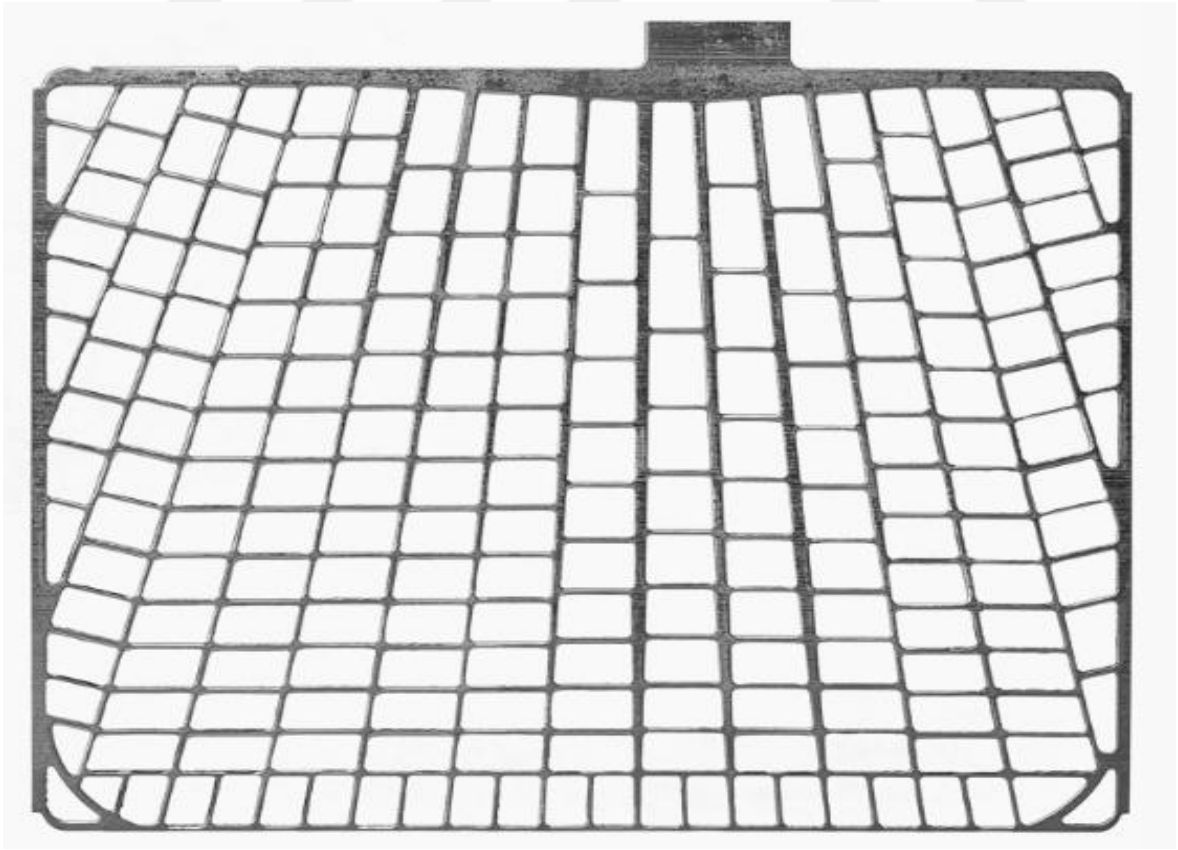
Genişletilmiş metal üretim teknolojisine benzer şekilde, zımba pres ile delinerek üretimi yapılan ızgaraların öncelikle kurşun ergitme işlemleri yapılarak farklı elementler ile alaşımları yapılır. Genişletilmiş metalin aksine daha geniş haddelerden geçirilerek geniş şerit bobinleri oluşturulur. Korozyon dayanımını arttırmak için yedi farklı haddelemeden geçirilerek kademeli şekilde tanecik boyutları küçültülmektedir. Şekil 4.1'de yedi aşamanın sonunda tanecik boyutunun %85 oranında küçültüldüğü belirtilmiştir. Bu bobinler daha sonra zımba pres yardımı ile Şekil 4.2'de gösterildiği gibi 4 adımda delinir ve ilave 4 adımla nihai haline getirilir (Bkz.Resim 4.5). Zımba pres ile delinerek oluşturulan ızgaraya panç ızgara denilmektedir.




Şekil 4.1. Haddeleme ile oluşan tanecik boyutu




Şekil 4.2. Zımba pres ile dört adımda şerit  bobinin delinmesi



Resim 4.5. Panç ızgara

## 4.2. Kurşun Oksit Üretimi

Kurşun-Oksit (PbO), aküyü oluşturan plakalara asıl gücünü veren aktif malzemenin ana hammaddesidir. PbO üretiminde kurşun külçeler kullanılmaktadır. Kurşun külçeler potada 480 ºC sıcaklıkta eritilerek 20 mm çapında ve 20 mm boyunda silindir şeklinde dökümü yapılmakta ve silolarda depolanmaktadır. Depolama esnasında silindirler sertleşmektedir. Sertleşmesi tamamlanan silindirler, bilyalı değirmen yardımı ile havadaki oksijen ile de birleşerek, mikron boyutunda PbO toz zerreciklerine dönüştürülmektedir.

$$2Pb + O_2 \xrightarrow{t^\circ} 2PbO \qquad (4.1)$$

Genelde ortamdaki toz zerreciklerini emerek temizleme görevini üstlenen Jet-Pulse toz filtreler, bu üretim aşamasında devreye girerek, bilyalı değirmen içinde oluşan PbO toz zerreciklerini emmekte ve PbO depolama silolarına aktarmaktadır. Bu sayede plakanın aktif malzemesinin hammaddesi PbO üretimi tamamlanmaktadır. PbO üretimi sırasında ısı açığa çıktığı için; üretilen PbO, silolarda bekletilerek soğutulmaktadır. PbO üretiminde tanecik yapıları çok önem teşkil etmektedir. Tanecik boyutuna bağlı olarak aktif malzemenin kimyasal ve fiziksel yapıları değişmekte olup, üretilen akülerin şarj edilmesi esnasında elektro-kimyasal tepkimelere kadar etkileri bilinmektedir.



Resim 4.6. Kurşun-oksit üretim hattı

### 4.3. Aktif Malzeme Üretimi

Aktif malzeme, ızgara yüzeyine sıvanarak ızgaranın plaka formuna dönüşmesini sağlayan kimyasal karışımdır. Akü üretiminde diğer bir deyişle hamur olarak bilinmektedir. Negatif ve pozitif aktif malzeme, ızgaralar yüzeyine uygulanarak akü içerisindeki pozitif ve negatif elektrotları oluşturmaktadır. Bu araştırmada, akünün temel yapıtaşı olan pozitif elektrot ve pozitif aktif malzeme reçeteleri üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Pozitif aktif malzemenin içeriğinin temelini kurşun oksit üretim hattının temin ettiği PbO oluşturmaktadır. Buna ilave olarak, aktif malzeme içeriğine hamurun ızgara ile hamurun kendi içerisinde tutunmasını arttırmak için polimer fiber eklenmektedir. Start-stop araçların özelliklerinin artışına yönelik olarak pozitif aktif malzeme reçetesine çekirdekleme malzemesi tetrabazik kurşun sülfat (TBLS) ilavesi farklı oranlarda yapılmıştır.

Oksit üretim hattında üretilen ve silolarda bekletilen kurşun oksit (PbO), taşıyıcı helezonlar yardımı ile aktif malzeme üretiminde kullanılan mikserlere taşınmaktadır. Resim 4.7'de gösterilmiş olan miksere boşaltılan PbO üzerine; saf su, 1,40 g/cm$^3$ yoğunluğunda sülfürik asit ($H_2SO_4$) elektroliti ve fiber eklenerek hamur karma işlemi yapılmaktadır. Plakanın ana unsuru olan aktif malzemenin kimyasal reaksiyonu ve morfolojik yapısının değişimi bu işlem esnasında başlamaktadır. Ayrıca TBLS ilavesi yapılarak bu morfolojik yapının değişimi yapılmaktadır. Üretilen aktif malzeme, taşıyıcı arabalar yardımı ile bir sonraki işlem olan hamur sıvama makinesine iletilmektedir.

Kurşunoksitin morfolojik yapısındaki değişim kürleme prosesinde devam etmekte olup yeni bir teknik ile morfolojik yapının üzerinde çeşitli proses parametrelerinin etkileri de gözlenebilmektedir.



Resim 4.7. Hamur karma hattı

### 4.4. Aktif Malzemenin Izgara Üzerine Sıvama İşlemi

Hamur karma işleminde reçetesine göre hazırlanan hamur, bir sonraki işlem olan sıvama işlemine aktarılır. Sıvama işleminde, ızgara üretiminden gelen plakanın iskeletini oluşturan ızgara yüzeyine aktif malzemenin Resim 4.8'de bulunan sıvama makinesinde bulunan hidrolik basınç ile çalışan merdaneler yardımı ile mikserden gelen hamurun ızgara üzerine sıvanması işlemi gerçekleştirilir. Sıvanan ızgaralar (Bkz. Resim 4.9), bir dilimleyici yardımı ile plakalara ayrılır ve üst üste istifleme yapılarak Resim 4.10'da görüldüğü gibi paletlere dizilir.



Resim 4.8. Hamur sıvama hattı



Resim 4.9. Aktif malzeme sıvanmış ızgara



Resim 4.10. Dilimlenen plakaların palet üzerine robotik istifleme işlemi

### 4.5. Plakaların Kürlenmesi

Sıvama hattında üretilen plakaların bir sonraki adımı kürleme işlemidir. Izgara üzerine hamur sıvanmış plakalar belli bir nem ve sıcaklık koşullarında tutulan odalara alınarak kürlenmeleri sağlanır. Buradaki temel amaçlar, hamurun ızgara üzerine tam olarak tutunmasını sağlamak ve hamurdaki morfolojik yapıların oluşumuna katkıda bulunmaktır. Hamur karma işleminde başlayan morfolojik yapı değişiminin diğer adımı kürlemede devam etmektedir. Konvansiyonel kürleme odalarında yapılabildiği gibi yeni teknolojide kaizen kürleme tünelinde de yapılabilmektedir. Bu çalışmada kürleme tüneli kullanılmıştır. Kürleme tünelinden çıkan plakalar bir sonraki işlem olan grup kaynağı ve montaj işlemine alınmak üzere depolara alınmaktadır.



Resim 4.11. Plakaların kürleme işlemine alınması sonrası depoya kaldırılması

### 4.6. Grup Kaynağı ve Montaj İşleminin Yapılması

Montaj hatları temel olarak 3 ana bölümden oluşmaktadır. Bunlardan ilki plaka zarflama bölümü olup bu bölümde plakalar polietilen (PE) seperatörler ile zarflanıp yalıtıldıktan sonra pozitif ve negatif plakalar istiflenip bir araya gelerek eleman setini oluşturmak üzere kurşun döküm kalıbına doğru ilerlerler.

İkinci bölümde kurşun döküm kalıbında pozitif ve negatif plakalar arasında bağlantıyı sağlayan griftler ve yine pozitif ve negatif kutupbaşları oluşmaktadır. Plakalar kalıptan çıktıktan sonra bu köprüler sayesinde eleman setleri haline gelerek resim 4.12'de gösterildiği gibi polipropilen (PP) kutulara yerleştirilirler.

Montajın son bölümünde akülerin tüm hücrelerindeki eleman setlerini birbirine seri bağlamak için punta kaynağı yapılır. Punta kaynağı yapılan aküler hat boyunca ilerleyerek gerekli elektriksel testlerden geçer ve kutu ile kapağın birleştiği istasyon olan montaj kapama istasyonuna ilerler. Bu istasyonda akü kutusu ile akü alt kapağı ısıtıcı kalıplar yardımı ile eritilerek birleştirilir. Sonrasında aküye kutupbaşı kaynağı ve gerekli sızdırmazlık testleri uygulandıktan sonra kuru akü hazır hale getirilir.




Resim 4.12. Plakaların grup kaynağı yapılması ve pp kutuya yerleştirilmesi

### 4.7. Elektrolit Dolumu ve Şarj İşleminin Yapılması

Montaj hattında üretilen kuru aküler formasyon (şarj) bölümüne gelerek resim 4.13'de belirtildiği şekilde toplam akü ağırlığının yaklaşık olarak üçte biri kadar elektrolit sıvısı ile doldurulur. Elektrolit, $H_2SO_4$ ve saf su $H_2O$ karışımından oluşmaktadır.

Elektrolit sıvısı ile doldurulmuş olan akü, resim 4.14'te gösterilen şarj havuzlarına ilerler ve şarj işlemi başlatılır. Kapasitelerine göre farklı şarj programlarıyla şarj uygulanan aküler elektrolit boşaltma ve tekrar dolum istasyonuna gelerek, şarj esnasında ısınmış ve yorulmuş elektrolit sıvısı boşaltıldıktan sonra taze elektrolit dolum işlemi uygulanır ve buradan son aşama olan bitirme prosesine ilerler.



Resim 4.13. Akülere elektrolit dolum işlemi



Resim 4.14. Şarj havuzlarında akülerin şarj işlemi

Montaj bölümünde pozitif ve negatif elektrotları yerleştirilen aküler, elektrolit ile tepkimeye girerek şarj ve deşarj sırasında aşağıdaki kimyasal reaksiyonları oluştururlar:

$$H_2SO_4 \leftrightarrow H^+ + HSO_4^- \quad (4.2)$$

$$Pb_{(metal)} + HSO_4^- \leftrightarrow^{discharge}_{charge} PbSO_4 + H^+ + 2e^- \quad (4.3)$$

$$PbO_2 + 3H^+ + HSO_4^- + 2e^- \leftrightarrow^{discharge}_{charge} PbSO_4 + 2H_2O \quad (4.4)$$

Genel Reaksiyon :

$$Pb_{(metal)} + PbO_2 + 2H_2SO_4 \leftrightarrow^{discharge}_{charge} 2PbSO_4 + 2H_2O \qquad (E = 2V) \quad (4.5)$$

Kurşun-asit akümülatör hücresi nominal 2V'luk bir potansiyel oluşturur. Otomobil aküleri 12V'luk bir potansiyele ihtiyaç duyar. Bunun için altı hücre seri bağlanarak gerekli potansiyel elde edilir. Akümülatörün kullanımı sırasında katı maddeler tüketildiği için voltaj biraz düşer. Sülfürik asit konsantrasyonu da bu esnada azalır.

Akümülatörün sağlayabileceği voltajdan biraz daha fazla voltta elektrik akımı elektrotlara yüklenerek akımın yönü tersine çevrilir. Bu sayede akümülatör tekrar şarj edilir. Otomobillerde bu görevi alternatör veya jeneratör sağlamaktadır.

Tekrarlanan şarj ve deşarj çevrimlerinde $PbSO_4$ (kurşun sülfat) oluşumu eşik değerini geçer ve hücre dibine çöker. Bu aşamada sülfürik asit konsantrasyonu düşüktür. Uygulanan voltaj akümülatörü tam olarak şarj edemez ve akümülatör ömrü tükenir.

### 4.8. Nihai Elektrolitin Dolumu ve Test İşlemleri

Bu bölümde şarj işlemi tamamlanmış olan aküler müşteriye gitmek için hazır hale gelirler. Montaj prosesine benzer olan bu proseste akülerin varsa ikinci (üst kapakları) ısıtıcı kalıplar yardımı ile eritilerek yapıştırılır. Tipi ve kullanım alanı gereği ikinci kapağa sahip olmayan aküler ise bu bölümde buşon ve indikatör (şarj göstergesi) montajı yapıldıktan sonra sızdırmazlık testi ve elektriksel testlere tabi tutularak sevkiyata hazır hale getirilirler.

# 5. YAPILAN ÇALIŞMALAR

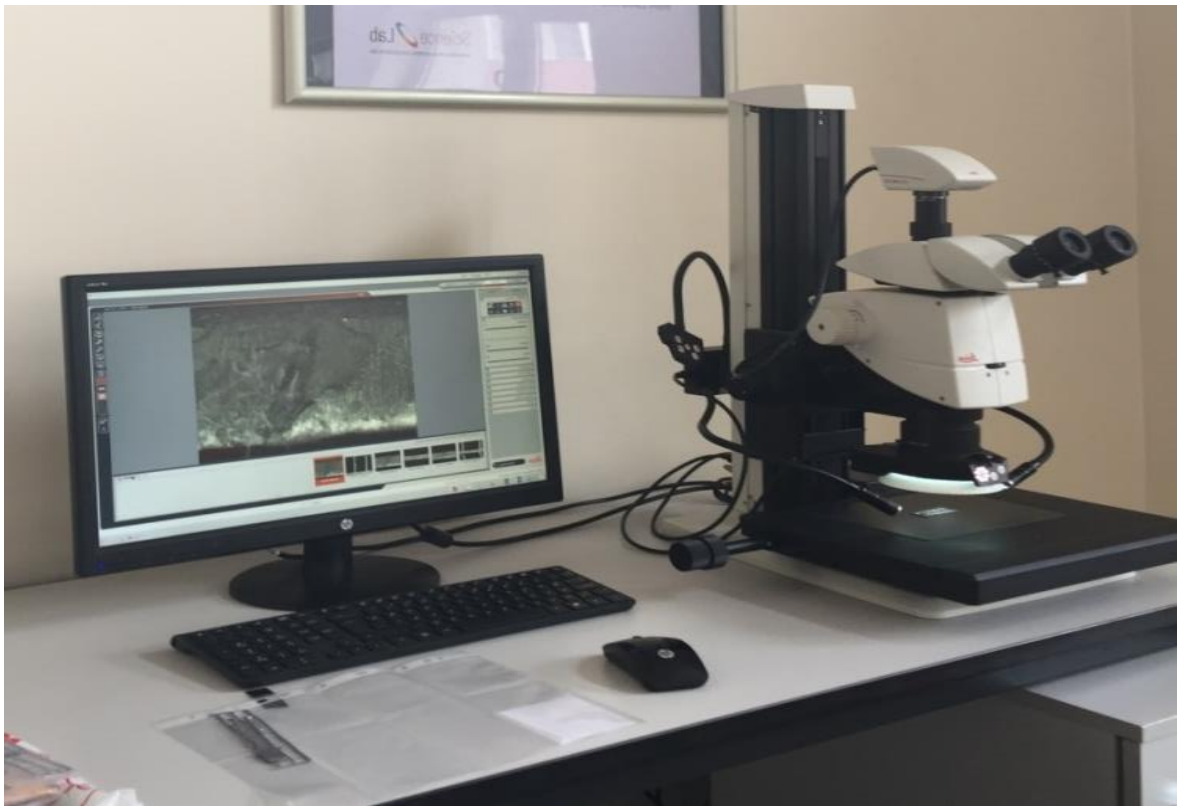
Bu bölümde, yapılan çalışmaların materyal ve metot açısından detaylı bilgileri paylaşılacaktır.

## 5.1. Materyal

Yapılan çalışmalarda kullanılan materyal hakkında bilgiler paylaşılacaktır. Yapılan testlerde kullanılan materyaller Ankara Orta Doğu Teknik Üniversitesi Metalürji Malzeme Mühendisliği, Ankara Gazi Üniversitesi Metalürji Malzeme Mühendisliği ve Çankırı Ako Akü Fabrikası Ar-Ge Laboratuvarı'nda bulunmaktadır.

### 5.1.1. Stereomikroskop

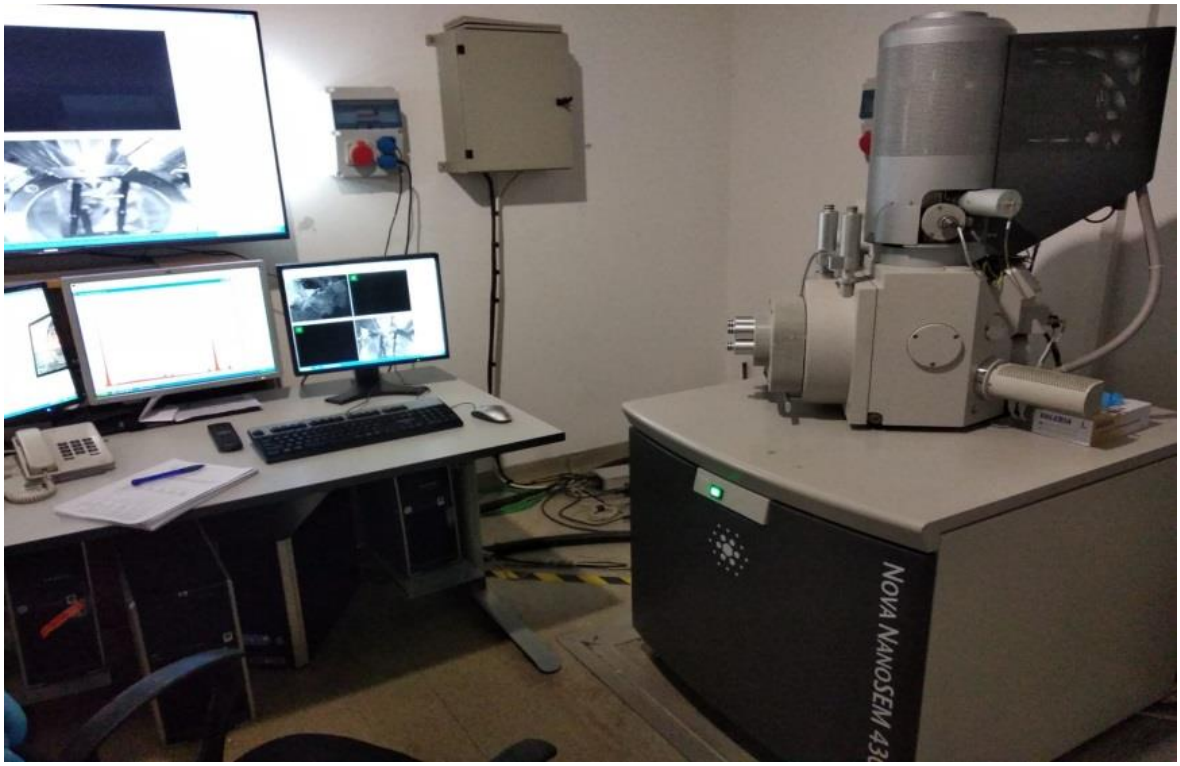
Lam ve lamel kullanmayan stereomikroskop (M205 C stereomicroscope from leica), düşük oranda büyütme yapmaktadır. Bu sayede test edilecek numunelerin yüzeylerinin derinlikli olarak araştırılmasına imkan sağlamaktadır.



Resim 5.1. Analizlerin yapıldığı stereomikroskop

### 5.1.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu'nda (SEM) (quanta 400f field emission sem) görüntüsü yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması sağlanır. Bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması, taratma sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması, bu bilgilerin sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir.




Resim 5.2. Testlerin yapıldığı SEM

### 5.1.3. Bitrode tam donanımlı akü test cihazı

Metot bölümünde detaylı olarak açıklanan, TS EN 50342-1 ve TS EN 50342-6 standartlarına uygun olarak yapılan tüm testlerin sonuçlarının alınabildiği test ekipmanıdır. Testler Bitrode VisuaLCN 5.32 programı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir.

### 5.1.4. TBLS (Tetra bazik kurşun sülfat)

Aktif malzeme üretiminde çekirdekleme kimyasalı olarak TBLS kullanılmıştır. TBLS eklenmeden önce kürleme prosesinde farklı ebatlarda ve farklı oranlarda tetrabasik yapılar oluşmaktayken, TBLS eklenmesi ile tetrabazik yapıların daha eşit ebatlarda olduğu ve daha yüksek oranda çekirdeklemenin gerçekleştiği kaydedildi.

## 5.2. Metot

Yapılan çalışmalarda nasıl bir yol izlendiği açıklanacaktır. Bu bölümde test ekipmanları ve test metotları hakkında detaylı bilgiler verilecektir.

TBLS (Tetrabazik Kurşun Sülfat) çekirdekleme kimyasalı hamur karma prosesinde pozitif aktif malzeme ürün reçetesine Çizelge 5.1'de belirtilen farklı oranlarda katılarak plakalar üretilmiştir. Hazırlanan reçetelere Çizelge 5.1'de belirtilen numaralar verilerek, üretilen numuneler R0, R1, R2 ve R3 olarak kodlanmıştır. Piyasadan iki firmadan benzer akü alınarak J1 ve K1 olarak kodlanmıştır. Hamur reçetesine farklı oranlarda TBLS eklenen plakalar ve TBLS eklenememiş standart plakalar ile 72 Ah L3 tipi aküler üretilmiştir. Plakaların morfolojik ve fiziksel yapıları SEM ve stereomikroskop ile incelenmiştir.

Çizelge 5.1. Aktif malzeme karşım oranları

| Ürün Adı | Karışım Oranı % |
|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 0 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 1 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 2 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 3 |
| Piyasadaki Benzer Ürün (J1) | |
| Piyasadaki Benzer Ürün (K1) | |

Üretilen akülere uygulanan testler, TS EN 50342-1, TS EN 50342-2 ve TS EN 50342-6 standartlarına uygun olarak kurulmuş test standında gerçekleştirilmiştir. Akünün ömür testi, kapasite testi, çevrim testi, soğuk da marş basma akımı (CCA), yol verme testi, titreşim testi, şarj alabilme kabiliyeti testi ve mikro çevrim yapabilme kabiliyeti incelenmiştir. Standarda göre testlerin gerçekleştirilebilmesi için, test yapılan ortamın iyi

havalandırılan, hava akımı olmayan, doğrudan güneş radyasyonuna maruz kalmayan şarj havuzlarının bulunduğu bir ortam olması gerekir.

Pozitif şarjlı plakalarda kurşun dioksit tayini TS EN 13086 standardına uygun şekilde yapılmıştır.

### 5.2.1. Mikroskop analizi

Mikroskop fişi ilgili bölmeden çıkarılarak prize takılır. Tülbent bezi ile oküler ve mercekler temizlenir. En küçük büyütmeli objektif hazır konuma getirilir. İncelenecek olan materyal siyah zemin üzerine konularak mikroskop tablasına yerleştirilir. Mikroskobun lamba düğmesinden ışık seviyesi ayarlanır. İncelenecek olan materyale göre gerekli büyütme objektifleri rovelver yardımı ile değiştirilir. İnceleme işlemi bittikten sonra lamba düğmesinden ışık kapatılır ve en küçük büyütmeli objektif ayarlanarak materyal tabladan alınır. Mikroskop fişi prizden çıkarılarak mikroskobun ilgili bölmesine yerleştirilir. Mikroskop koruma kılıfı ile mikroskop kapatılır.

### 5.2.2. Taramalı elektron mikroskobu analizi

Elektron örnek etkileşiminin gerçekleşmesi için SEM'de bakılacak örneklerin yanıcı ve yalıtkan olmaması gerekir. Örnekler kaplama yapılmadan hazneye yerleştirmek için hazırlanır ve hazneye yerleştirmek için bazı koşullara uygunluğu kontrol edilir. Örnekler sıvı ya da uçucu olmamalıdır. Örnekler yabancı maddelerden arındırılmış, kirlilik faktörü ortadan kaldırılmış olmalıdır. Sert bir zemin üzerine koyulan örnek, destek yüzeylerinin üst sınır hizası ile aynı seviyede olacak şekilde kesilmiştir. SEM'de uygulanan yüksek voltajın örneklerinin statik konumunu olumsuz etkilememesi sağlanmıştır.

### 5.2.3. Kapasite testi

Akü, anma değerinin ±%1'inde sabit tutulan In akımıyla, bağlantı uçları arasındaki gerilim 10,50 V ± 0,05 V'a düşene kadar deşarj edilmelidir. Bu deşarj süresi, t(h) kaydedilmelidir. Deşarjın başlangıcı, şarjın bitiş zamanından itibaren 1 saat ile 5 saatlik periyot dahilinde yer almalıdır.

$$C_e = t \times I_n \text{ (Ah)} \qquad (5.1)$$

Yukarıdaki eşitliğe göre hesaplanan ortalama kapasite değeri, akü kapasitesine (72Ah) eşit veya daha büyük olmalıdır.

$$\overline{C}_e = \frac{\sum_{i=1}^{6} C_{e_i}^{max}}{6} \quad (5.2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{6}(C_{e_i} - \overline{C_e})^2}{5}} \quad (5.3)$$

Ortalama değer ile standart sapma arasındaki farkın akü kapasitesine oranı 0,95'e eşit ya da daha büyük olmalıdır.

### 5.2.4. Yol verme testi

Akü 24 ile 72 saatlik dinlenme periyodundan sonra ortadaki hücrelerin sıcaklığı -18 ˚C ± 1 ˚C ulaşana kadar, -18 ˚C ± 1 ˚C'ta hava dolaşımlı bir soğutma odasına konulmalıdır. Genellikle soğutma odasında en az 24 saatlik periyottan sonra gereken sıcaklığa erişileceği kabul edilir. Akü soğutma periyodundan sonra 2 dk içinde, soğutma odasının içinde veya dışında, $I_{cc}$ akımıyla deşarj edilmelidir. Deşarj esnasında bu akım ± %0,5 içerisinde sabit tutulmalıdır. 10 s deşarjdan sonra, bağlantı uçları arasındaki gerilim $U_f$ kaydedilmeli ve akım kesilmelidir. $U_f$ gerilimi 7,50 V'dan daha az olmamalıdır. Teste 10 s ± 1s dinlenme süresinden sonra devam edilmelidir. Akü daha sonra 0,6 $I_{cc}$ akımıyla deşarj edilmelidir. Deşarj esnasında akım ± % 0,5 dahilinde sabit tutulmalıdır. Akü gerilimi 6 V'a ulaştığında deşarj sona erdirilmelidir. 0,6 $I_{cc}$'de 6 V'a kadar deşarj süresi ($t'_{6V}$) saniye cinsinden kaydedilmelidir. Deşarj süresi ($t'_{6V}$), ikinci aşamada soğuk yol verme kapasitesini Ah cinsinden tanımlamak için aşağıdaki eşitlikle kullanılabilir.

$$C'_{cc} = \frac{t'_{6v}}{3600} \times 0{,}6 I_{cc} \quad (5.4)$$

1.aşama ve ikinci aşamadan elde edilen toplam soğuk yol verme $C_{cc}$ aşağıdaki denklemle bulunur.

$$C_{cc} = C'_{cc} + \frac{10}{3600} \times I_{cc} \quad (5.5)$$

$$C_{cc} = \frac{I_{cc}}{3600}(10 + 0{,}6t'_{6V}) \quad (5.6)$$

$t_{6V}$, ikinci aşamanın süresi ($t'_{6V}$) artı 0,6 $I_{cc}$'de gerçekleştirilirse ilk aşamanın eşdeğer süresi olarak tanımlanır, aşağıdaki denklem bulunur.

$$t_{6V} = t'_{6V} + \frac{10}{0,6} = t'_{6V} + 17 \quad (5.7)$$

Aküler, uygulanabilirlik aşağıdaki kurallara uymalıdır.

$$t_{6V} \geq 90 \text{ s} \quad (5.8)$$

Soğuk yol verme kapasitesi $C_{cc} \geq 0,2\ C_n$ olmalıdır.

### 5.2.5. Düşük sıcaklıkta yüksek akım deşarj testi

Aküler 72 saate kadar bir dinlenme periyodundan sonra, hücrelerin sıcaklığı -18˚C ±1˚C'a ulaşana kadar, -18˚C ± 1˚C'ta hava dolaşımlı bir soğutma odasına konulmalıdır. Aküler soğutma periyodundan sonra 2 dakika içinde, soğutma odasının içinde veya dışında, 0,6 $I_{cc}$ akımıyla deşarj edilmelidir. Deşarj esnasında bu akım ± %0,5 sabit tutulmalıdır. 30s deşarjdan sonra, bağlantı uçları arasındaki gerilim $U_{30s}$ kaydedilmeli ve akım kesilmelidir. Aksi belirtilmediği sürece $U_{30s}$ voltajı 7,20V'dan düşük olmamalıdır.

### 5.2.6. Şarj kabulü testi

Aküler 25˚C ± 2˚C sıcaklıkta, 5 saat süreyle, $I_0$ akımıyla deşarj edilmelidir.

$$I_0 = C_e/10 \ (I_0=A) \quad (5.9)$$

Ce değeri, önceki deşarjların en büyük değeri olarak alınmalıdır.

Deşarjdan sonraki en fazla 10 dakikalık periyot içinde, aküler bir soğutma odasına konulmalı ve ortadaki hücrelerin sıcaklığı 0˚C ± 1˚C olana kadar soğutulmalıdır. Bu sıcaklıkta aküler, EN 50342-2'de tanımlanan boyutlara sahip aküler için 14,40 V ± 0,05 V ve $I_{max}$=50 A ve EN 50342-4'te tanımlanan boyutlara sahip aküler için $I_{max}$=100 A olacak şekilde sabit bir voltajla şarj edilmelidir. Yaklaşık 10 dk sonra şarj akımı $I_{ca}$ kaydedilmelidir.

$I_{ca} \geq 2\ I0$ (5.10)

### 5.2.7. Şarj tutma testi

Tam şarjlı bir akü, havalandırma kapakları sıkı biçimde kapalıyken ve yüzeyi temiz ve kuru olarak, 40 ˚C ± 2˚C'de 21 gün süreyle açık devre konumunda bekletilmelidir. Bağlantı uçlarına hiçbir bağlantı kelepçesi veya kablo eklenmemelidir. Bekletme periyodundan sonra akü, tekrar şarj olmadan düşük sıcaklıkta yüksek akım deşarj testine tabi tutulmalıdır.

Su tüketimi koşullarına göre;

C: $U_{30s} > 8$ V (5.11)

### 5.2.8. Çevrim testinde dayanıklılık

Testler tam şarj edilmiş aküler üzerinde gerçekleştirilmelidir. Aküler, 5.2. metod kısmında tanımlandığı gibi bir su banyosuna konulmalı ve +40 ˚C ± 2˚C'de muhafaza edilmelidir. Test edilecek akünün şarj gerilim U ve şarj oranı CR, Çizelge 5.2'ye göre kullanılacaktır.

Çizelge 5.2. Çevrim testi için parametreler

| Test Sıcaklığı | Şarj Voltajı U | Sabit Akım I | Şarj Oranı CR |
|---|---|---|---|
| +40 ˚C ± 2˚C | 15,6 V sulu | $I_n$ | 1,08 |

Aküler, bir seri test devresine bağlanacak ve bir dizi döngüye tabi tutulacaktır. Her döngü aşağıdakilerden oluşmaktadır.

1. Akü, I = 5 $l_n$'de sabit bir akım ile 2 saat boşaltılacak. Bu testin kesilme kriteri, deşarj sırasındaki voltajdır. 10,5 V'un altına düşerse test sonlandırılacaktır.

2. İlk adım da, akü sabit voltaj altında ve 5 $I_n$'de bir akım sınırlaması ile maksimum 5 saat şarj edilecektir. Şarj işlemi sırasında şarj edilmiş kapasiteyi (Ah) kaydedilecek. Bir kez şarj oranı CR, Çizelge 5.2'deki değere ulaştıktan sonra şarj işlemi durdurulur.

3. Şarj oranı CR, Çizelge 5.2'de belirtilenden daha düşük ise tamamlandıktan sonra, CR şarj oranı istenilen değere ulaşıncaya veya bu adım için maksimum 1 saate ulaşana kadar, Aküler ikinci aşamada, Çizelge 5.2'de belirtildiği gibi sabit bir akim ile şarj etmeye devam edilir.

4. Boşaltma sırasındaki gerilim sınırın üzerinde veya 360 döngü sayısına ulaşılıncaya kadar yukarıdaki adımlar uygulanır.

5. Yüksek akım deşarj testi, akümülatörün herhangi bir önceki şarjı yapılmaksızın gerçekleştirilecektir, Çizelge 5.2'ye göre kurallar belirlenir.

Kapasite testinin şartı şöyledir;

$C_e \geq 0{,}5\ C20$ (5.12)

### 5.2.9. Korozyon testi

Aküler, su banyosuna yerleştirilecek ve 60˚C ±2˚C sıcaklık muhafaza edilecektir. 60˚C ±2˚C sıcaklıkta tutulan aküler, 14,00V ± 0,10 V sabit gerilimde 13 gün süreyle şarj edilmelidir. Aküler yine 60 ˚C ± 2 ˚C sıcaklıkta, açık devre konumunda 13 günlük süreyle bekletilmelidir. Aküler, ortam sıcaklığına soğutulmalıdır. Su ilave edilmelidir, mümkünse, üreticinin önerileri doğru elektrolit seviyesini korunarak yapılmalıdır. Aküler, 6 saat boyunca yeniden şarj edilmelidir. Akümülatör, 20 saat dinlenme süresi boyunca bekletilmelidir. Aküler, 0,6 $I_{cc}$ akımla 25 ˚C ± 2 ˚C 30 saniye süreyle boşaltılmalıdır. 30 s'deki gerilim kaydedilmelidir. 7,20 V'dan düşükse, test sonlandırılmalıdır. Tüm işlemler, gerekli test birimi sayısı tamamlanıncaya veya 7 kesme kriterine ulaşılana kadar tekrar edilmelidir. Korozyon test birimlerinin sayısı dörttür.

### 5.2.10. Derin deşarj testi

Bütün test, soğukta yol verme ve son çevrim dışında +25 °C sıcaklıkta gerçekleştirilir. Akü, U <10,5 V oluncaya kadar sabit akımda deşarj edin. En fazla 48 saatlik dinlenme süresince, 168 saat ± 4 saat (7 gün) boyunca TSE EN 50342-2'ye göre 10 W (R10W) bir ampul kullanarak boşaltmaya devam edilir.

İşlem bittikten sonra ampul ayırılır ve maksimum 24 saat sonra akünün 24 saat yeniden şarj edilir. Bu şarj işlemi sırasında gerilim ve akım kaydedilebilir. Minimum 1 gün ve maksimum 4 gün dinlenme periyodu yapılır.

$C_e \geq 0{,}8\ C20$ (5.13)

U şartı $U_{10s} \geq 7{,}5\ V$ (5.14)

10 döngü ile % 50 DOD'u (deşarj derinliği) uygulanır.

Test sıcaklığı, şarj gerilimi akim sınırlamaları ve şarj faktörü Çizelge 5.2'ye göre seçilmelidir. 10 devirde boşalma gerilimi U- şartları yerine getirmelidir.

### 5.2.11. Su tutma testi

Aküler ±1 kg hassasiyetle gram cinsinden tartılmalı, temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Başlangıç ağırlığı, $W_i$ (g) olarak kaydedilir. Aküler su banyosunda 60 ˚C ±2 ˚C sıcaklıkta muhafaza edilmelidir. Aküler birkaç gün su eklemeden 14,40 V ± 0,05 V'luk sabit bir gerilimle şarj edilmelidir. Bu aşırı şarj süresinden hemen sonra aküler, ilk tartım ve aynı terazileri kullanarak aynı koşullar altında temizlenmeli, kurutulmalı ve tartılmalıdır. Testin sonucunda tartılan ağırlık $W_e$ (g) olarak kaydedilir. Ağırlık kaybı WL (g/Ah $C_e$) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$WL = \frac{W_i - W_e}{C_e^{max}} \quad (5.15)$$

### 5.2.12. Titreşime dayanıklılık testi

Tam şarj edilmiş aküler hemen 0,6 $I_{cc}$'de 25 ˚C ±2 ˚C'de akü voltajı 6,0 V'ye erişene kadar boşaltılmalıdır. 60s'de voltaj (U (60s)) ve zaman 6 V (t6v (bv)) olarak kaydedilecektir.

Koşullar, U (60s) ≥ 7,5 V ve 16 saatlik bir şarjdan sonra Aküler, 25 ˚C ±5 ˚C'lik bir sıcaklıkta en az 24 saat süreyle saklanacaktır. Hareket etmemesi için batarya, titreşim test cihazının masasına sıkı bir şekilde sabitlenmelidir. Titreşim seviyeleri V1, V2 ve V3 için, batarya, 30 Hz ± 2 Hz'lik bir sabit frekansta ve Çizelge 5.3'de gösterildiği gibi sabit bir hızlanma ile dikey bir sinüzoidal titreşime T(h) süresi boyunca tabi tutulmalıdır.

Çizelge 5.3. Titreşim dayanıklılık seviyeleri, seviye1-3

| Parametre | Gerekli Seviye | | |
|---|---|---|---|
| | V1 | V2 | V3 |
| Titreşim Periyodu, T | 2 h | 2 h | 20 h |
| Aküde maksimum hizalama, Z | 30 $ms^{-2}$ | 60 $ms^{-2}$ | 60 $ms^{-2}$ |

Titreşim seviyesi V4 için akümülatör, üç dikey yönde rastgele bir gürültü profiline tabi tutulmalıdır. Titreşim yükleri Çizelge 5.4'te gösterilmektedir. Test süresi, her yönde 5 saattir. Testler; X, Y ve Z sıralarıyla art arda gerçekleştirilecektir.

Çizelge 5.4. Titreşim dayanıklılık seviyesi, seviye 4

| | İvme spektral yoğunluğu (ASD) $g^2/Hz$ | | |
|---|---|---|---|
| Frekans f (Hz) | x-ekseni (Grms=2,41) | y-ekseni (Grms=3,00) | z-ekseni (Grms=3,49) |
| 5 | 0,005 | 0,05 | 0,05 |
| 10 | 0,05 | 0,3 | 0,5 |
| 15 | 0,2 | 0,3 | 0,5 |
| 20 | 0,2 | 0,3 | 0,5 |
| 50 | 0,06 | 0,08 | 0,05 |
| 100 | 0,005 | 0,01 | 0,01 |

Akünün sıcaklığı, titreşim testi sırasında 25 ˚C ± 5 ˚C'de muhafaza edilmelidir. Aküdeki ilk hasar oluştuğunda zamanın tespit edilmesine ihtiyaç duyulursa, aşağıdaki yöntem kullanılmalıdır.

Akü, $C_n$'nin % 2'sinden fazla olmayan aküsüne boşaltan uygun bir direnç bağlayın. 20 saatin üzerinde şarj edin ve pil voltajını izleyin. Aküdeki herhangi bir hasar, ölçülen voltajın sinyalinde bir düşüş veya bir kesinti gösterecektir. Titreşimden maksimum 5 gün sonra, akü, 25˚C + 2˚C sıcaklık ve 0,6 $I_{cc}$'lik bir sıcaklıkta 6,0 V'a kadar boşaltılır (önceden şarj edilmeden) ulaşıldı. 60 s'de (U (60s)) gerilim ve 6 V'ye (t6V (av)) voltaj kaydedilecektir. Koşullar:

$$U\ (60s) \geq 7{,}2\ V \tag{5.16}$$

$$T6V\ (av) \geq 0{,}8\ t6V\ (bv) \tag{5.17}$$

### 5.2.13. Elektrolit tutma testi

Şarj edilmiş aküler 25 ˚C + 2 ˚C sıcaklıkta 4 saat süreyle açık devre konumunda bekletilmelidir. Mümkünse, her bir hücrenin elektrolit seviyesi saf suyla en yükseğe ayarlanmalıdır. Akülerin dış yüzeyleri temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Aküler, her biri aşağıdaki gibi olmak üzere dört bir yönün her birimde 30 saniye ile 1 dakika arasında beklenmelidir.

1. Aküler düşeyden 55˚ açıya en fazla 1 saniye sürede eğilmelidir,
2. Aküler bu konumda 3 saniye süreyle muhafaza edilmelidir,
3. Aküler düşey konuma en fazla 1 saniye sürede geri getirilmelidir.

Bu adımlardan sonra aküden herhangi bir sızıntı olmamalıdır.

### 5.2.14. Mikro hibrit testi

TS EN 50342-6 standardına göre havuzda 25 ˚C + 2 ˚C'de ilk adımda nominal deşarj akımı ($I_n$) ile 3 saat deşarj edildikten sonra 48 saat dinlenmeye alınmıştır. İkinci adımda mikro çevrim testine geçilmiştir. Buna göre;

1. 10 saniye bekleme modunda dinlendirilir,
2. $1+t_{DCH}$ (s) boyunca 14V, 100A şarj yapılır,
3. $t_{DCH}$ (s) boyunca 48A deşarj yapılır,
4. 1sn 300A yüksek akımda deşarj yapılır,
5. İlk 4 adım 100 çevrim tekrarlanır,
6. 12 saat bekletme modunda dinlendirilir,
7. İlk 6 adım 80 çevrim tekrarlanır.

Böylece 8000 çevrim tamamlanmış olur.

$$t_{DCH}\ (s) = \frac{0.02\ C_n[Ah] - 0.083\ Ah}{48\ A} * 3600\ \frac{s}{h} \tag{5.18}$$

Testlerde 72Ah akü kullanıldığı için, $C_n$ değeri 72 olarak alınmış olup buna göre $t_{DCH}$ yaklaşık olarak 102 (s) olarak hesaplanmıştır.

Yukarıda belirtilen ikinci adımda ayrıca akü iç direnci $R_{dyn}$ (Ω) hesaplanmıştır.

$$R_{dyn}(\Omega) = \frac{U(EOS)_{48A}[V] - U(EOS)_{300A}[V]}{|48A - 300A|} \quad (5.19)$$

İkinci adım bitiminden sonra 60 saat içinde üçüncü adımda mikro çevrim kontrolü yapılır.

1. $I_n$ akımı ile deşarj yapılır. (alt sınır 10,5 V)
2. $5I_n$ akımı ile 24 saat şarj yapılır.
3. $I_n$ akımı ile deşarj yapılır. (alt sınır 10,5 V)
4. $5I_n$ akımı ile 24 saat şarj yapılır.

Yukarıda belirtilen üçüncü adımda akü efektif kapasiteleri $C_e$ hesaplanmıştır.

### 5.2.15. % 17,5 Deşarj derinliğindeki (DoD) çevrim testi dayanımı

Tam şarjlı durumdaki aküler 25 ˚C + 2 ˚C'de havuzda bekletilir. Sırasıyla aşağıdaki adımlar uygulanır;

1. 2,5 saat boyunca 4 $I_n$ ile deşarj yapılır,
2. 2400 saniye boyunca sabit voltajda 7 $I_n$ ile şarj yapılır.
3. 1800 saniye 7 $I_n$ ile deşarj yapılır.
4. 2. ve 3. Adımlar 85 defa tekrar edilir. Akü eğer 10 V altına düşerse işlem durdurulur.
5. 18 saat 2 $I_n$ ile şarj yapılır.
6. $I_n$ akımı ile 10,5 V'a düşene kadar akü deşarj yapılır.
7. 24 saat 5 $I_n$ ile şarj yapılır.

Akü tüm adımları tamamladıktan sonra EN 50342-1'e göre şarj edilir.

### 5.2.16. 40˚C'de % 50 Deşarj derinliğindeki (DoD) çevrim testi dayanımı

Test süresince aşağıdaki adımlar uygulanır;

1. Akü EN 50342-1'e göre şarj edilir.
2. EN 50342-1'e göre daha sonra tekrar şarj uygulanmadan kapasite testi yapılır.
3. 25 ˚C'de derin deşarj yapılır. Derin deşarj işleminde aşağıdaki adımlar uygulanır;
   3.1. Aküye 12V 10 W (R10W) ampul bağlanır.
   3.2. 168 ± 4 saat boyunca ampul ile derin deşarj yapılır.
   3.3.Ampul aküden ayrılır.
   3.4. Ampul ayrıldıktan en fazla 24 saat sonra, 24 saat boyunca 5 $I_n$ ile şarj yapılır.
4. Aküler havuzda veya ortam şartlarında minimum 1 gün ile maksimum 4 gün arasında bekletilir.
5. EN 50342-1'e göre kapasite testi yapılır.
6. EN 50342-1'e göre – 18˚C'de yol verme testi uygulanır.
7. 40 ± 2˚C'deki havuzda çevrim uygulanır. Çevrim testinde aşağıdaki adımlar uygulanır;
   7.1. Akü, 2 saat boyunca 5 $I_n$ ile deşarj uygulanır.
   7.2. Akü 14,4 V'a gelene kadar 5 $I_n$ ile şarj yapılır. (Toplam süre 5 saati geçmemelidir.) (CR≥1,08 adım durdurulur.)
   7.3. Akü 18 V'a gelene kadar 1 In ile şarj yapılır. (CR≥1,08 adım durdurulur.)
   7.4. Bu 3 adım 360 kez tekrarlanır.
8. EN 50342-1 'e göre düşük sıcaklıkta yüksek adım deşarj testi uygulanır.
9. EN 50342-1 'e göre kapasite testi uygulanır.

### 5.2.17. Pozitif şarjlı plakalarda kurşun dioksit ($PbO_2$) testi

Kurşun dioksit miktarı, potasyum iyodürün aşırısı ile tepkimeye sokulur. Açığa çıkan iyot, sodyum tiyosülfat ile titre edilir ve kurşun dioksit hesaplanır. Test aşağıdaki gibi yapılır;

Karışım çözeltisi için; 2000 ml'lik ölçülü balona sırayla, yaklaşık 1000 ml su, 65 ml asetik asit (glasial), 120 sodyum asetat trihidrat ve 5 g potasyum iyodür ilave edilir. Ölçülü balon işaret çizgisine kadar su ile tamamlanır ve iyice karıştırılır. Bu karışık çözelti taze olarak hazırlanmalıdır.

%1'lik Nişasta çözeltisi için; yaklaşık 400 ml sıcak su içerisinde 5 g çözünebilir nişasta çözülerek bir çözelti hazırlanır ve 500 ml'lik bir ölçülü balona aktarılır. İşaret çizgisine kadar saf su ile birlikte tamamlanır ve karıştırılır.

1 ml 0,1 N sodyum tiyosülfat çözeltisi 0,0011959 g $PbO_2$'ye eşdeğerdir.

1 g ± 0,01 g kurşun oksit numunesi tartılır, 250 ml'lik bir erlene aktarılır ve 60 ml karışık çözelti ilâve edilir. Erlene, 20 ml 0,1 N sodyum tiyosülfat çözeltisi konur. Gerekirse topakların dağılması için cam bir çubuk kullanılarak, numunenin tamamının tepkimeye girmesini sağlamak amacıyla karıştırılır. 60 ml karışık çözelti ve 2 ml nişasta çözeltisi ilave edilir. Açığa çıkan iyot, 0,1 N sodyum tiyosülfat çözeltisi ile mavi renk tam kaybolma noktasına kadar çabucak titre edilir. Kullanılan sodyum tiyosülfat çözeltisinin hacmi mililitre cinsinden kaydedilir. $PbO_2$ yüzdesi aşağıdaki denkleme göre tanımlanır.

$$\%PbO_2 = \frac{V.N.0,11959}{m} 100 \qquad (5.20)$$

1. V : Titrasyon hacmi
2. N : Tiyosülfatın normalitesi
3. m : Tartılan örnek miktarı

# 6. TEST VE ANALİZ SONUÇLARI

Metot bölümünde detaylı olarak açıklanan stereomikroskop ve sem ile alınan görüntülere ilave olarak belirtilen reçeteler ile üretilmiş plakalar ile üretimi yapılan akülere yapılan tüm testlerin ölçümleri üçer kez tekrar edilmiştir. Ölçüm ortalamaları ve standart sapmaları tüm testler için aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2} \tag{6.1}$$

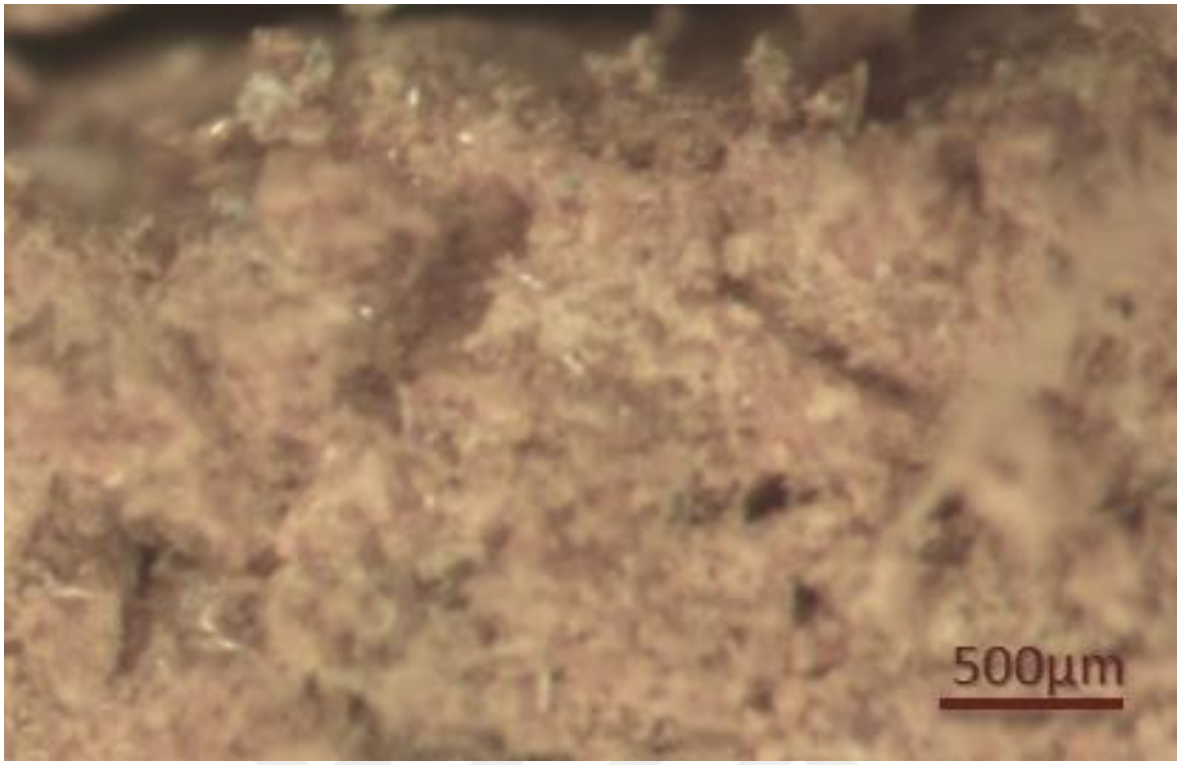
- σ : Standart Sapma
- N : Dizinin Eleman Sayısı
- $x_i$ : Dizinin x. elemanı.
- $\bar{x}$ : Dizideki Sayıların Aritmetik Ortalaması

Testlerde 3 farklı ölçüm yapıldığı için, standart sapmaların belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır:

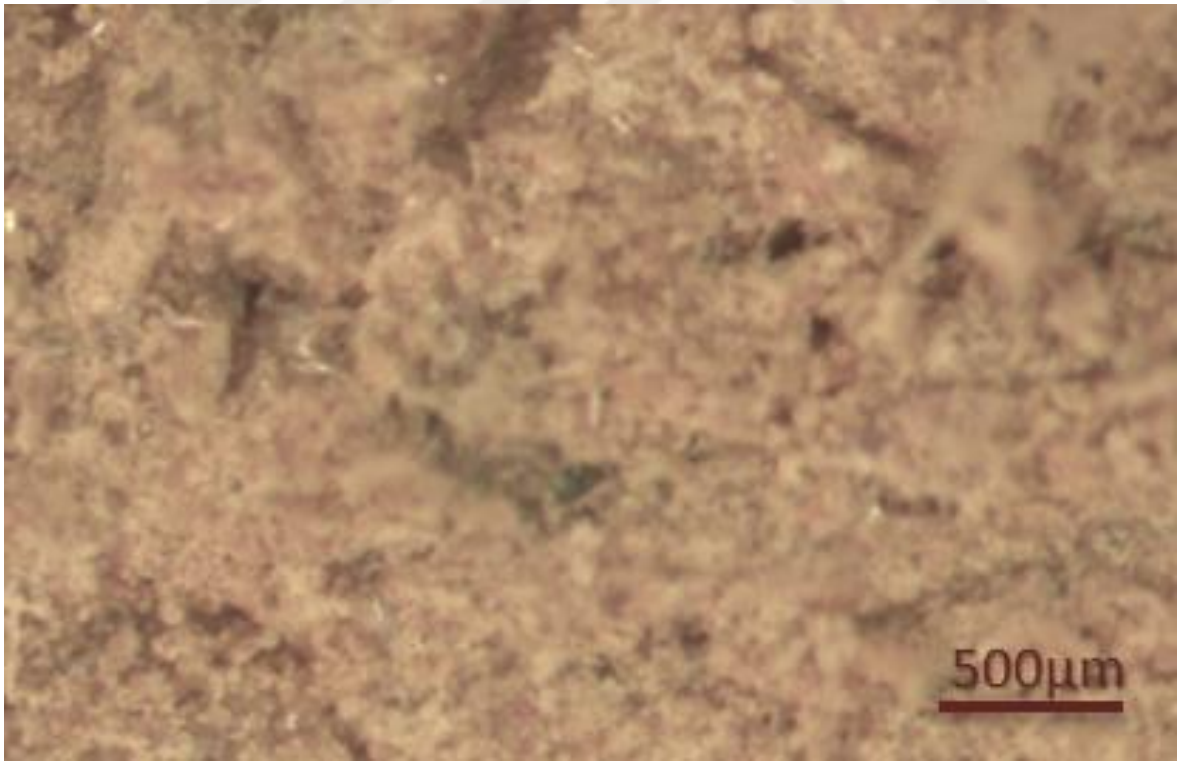
$$S = \sqrt{\frac{(x_1-\bar{x})^2+(x_2-\bar{x})^2+(x_3-\bar{x})^2}{2}} \tag{6.2}$$

## 6.1. Stereo Mikroskop Görüntüleri

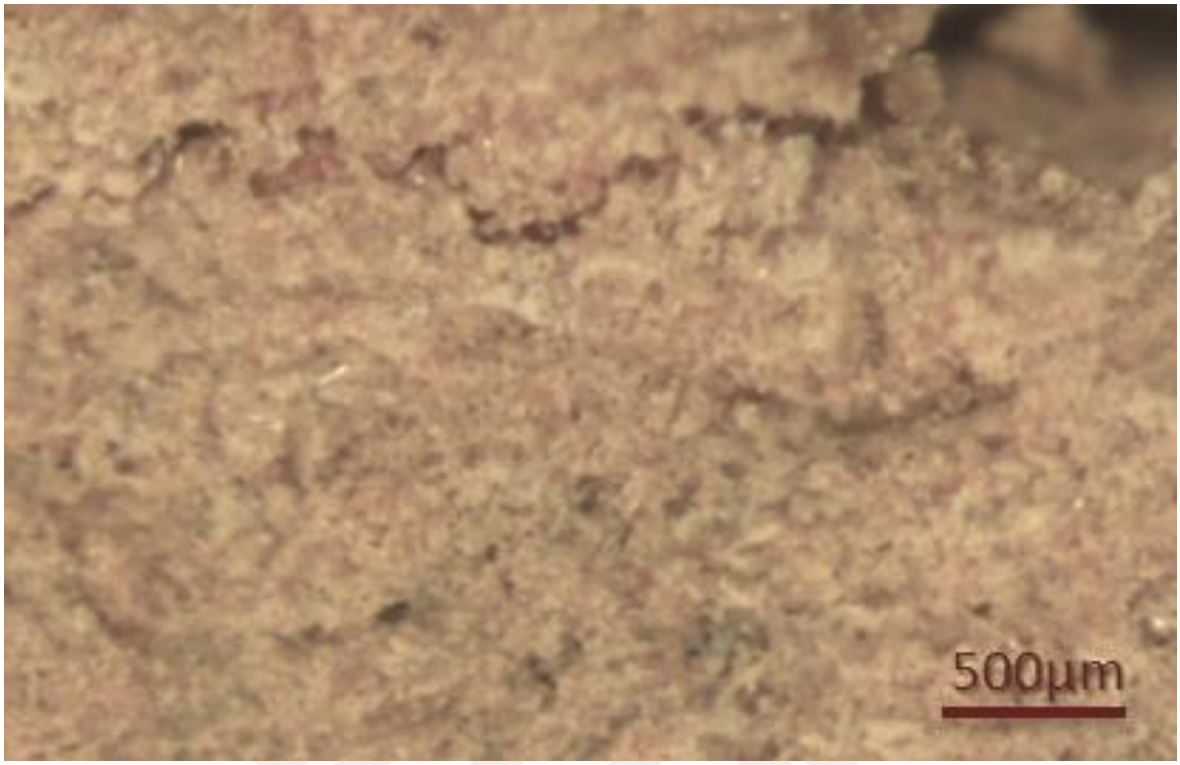
Akü hamur karma prosesine ilave edilen TBLS çekirdekleme kimyasalı sonucu elde edilen plakaların ve standart plakanın şarjlı ve şarjsız olarak stereo mikroskop görüntüleri aşağıdaki gibidir. Stereo mikroskobu ile 50 kat yaklaşarak yüzey görüntüleri incelenmiştir.



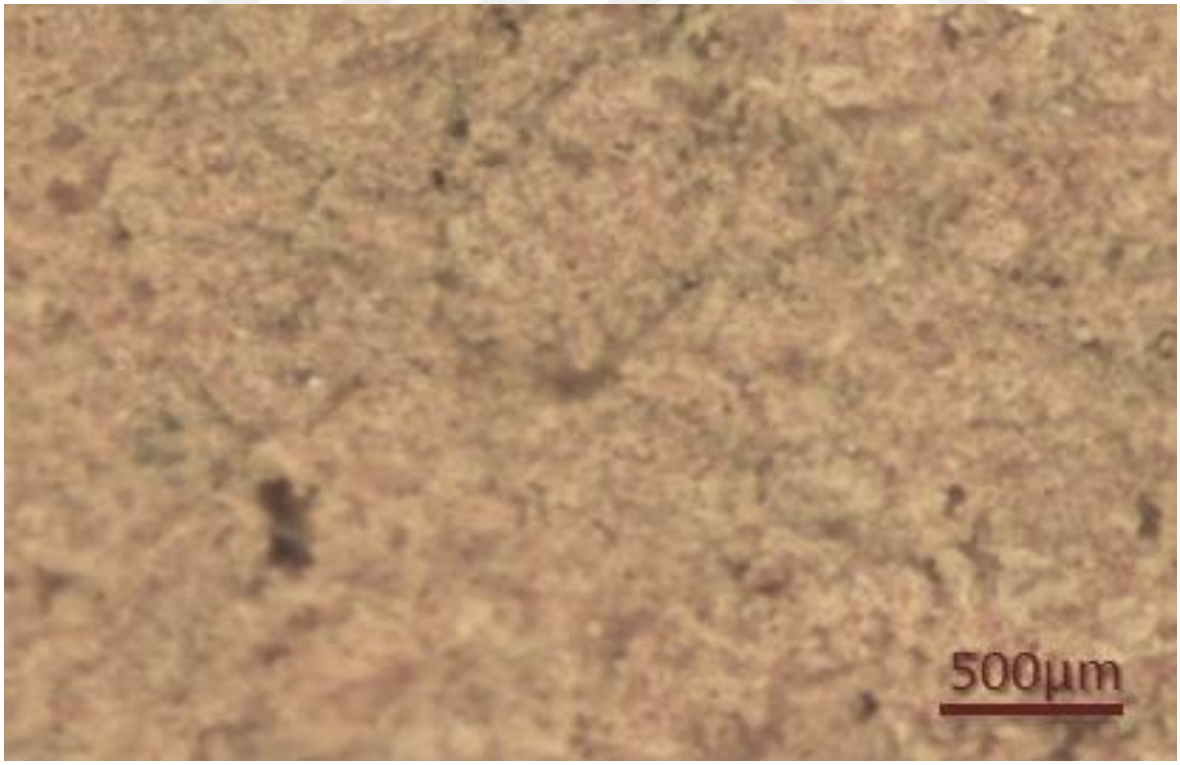

Resim 6.1. R0 reçeteli şarjsız plaka stereomikroskop görüntüsü



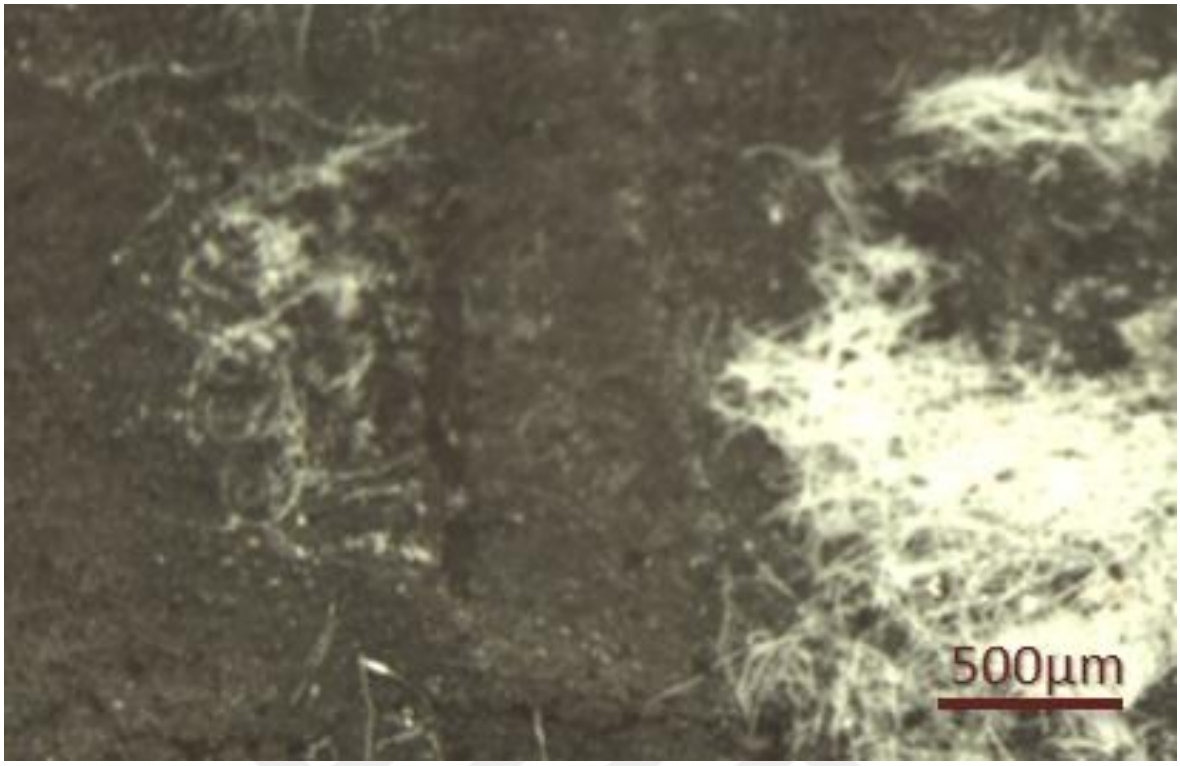

Resim 6.2. R1 reçeteli şarjsız plaka stereomikroskop görüntüsü



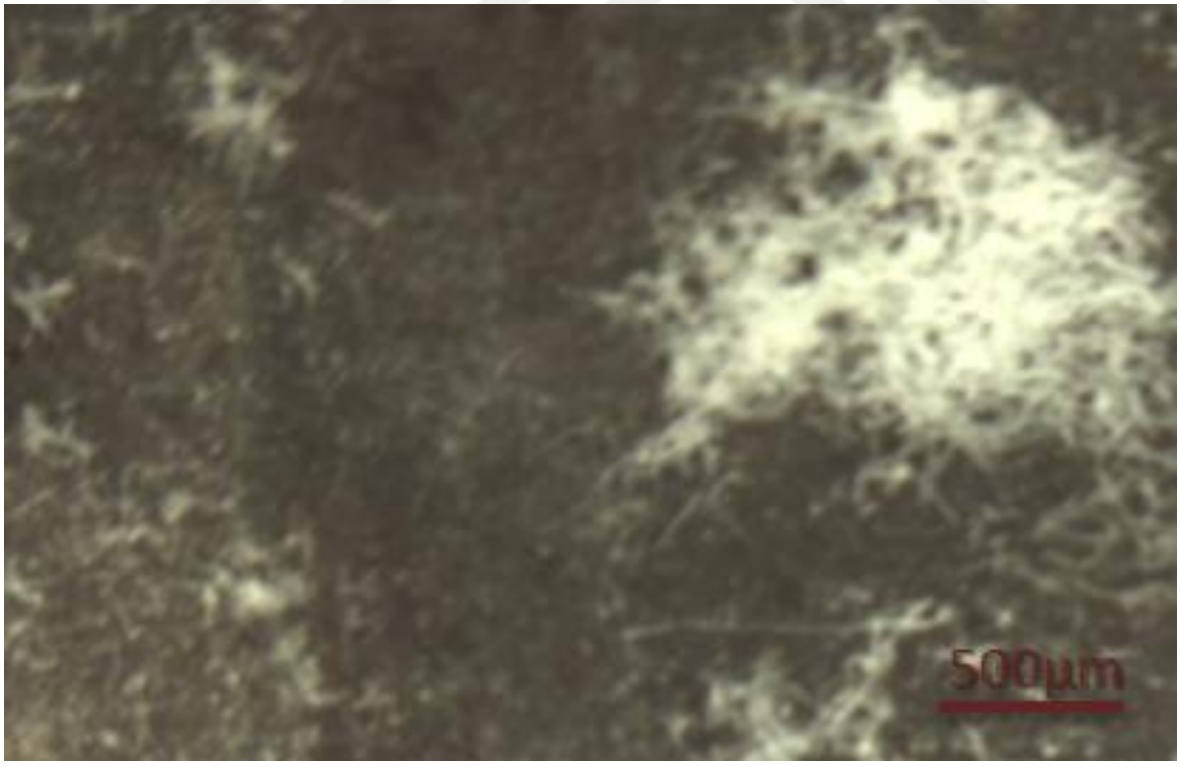

Resim 6.3. R2 reçeteli şarjsız plaka stereomikroskop görüntüsü



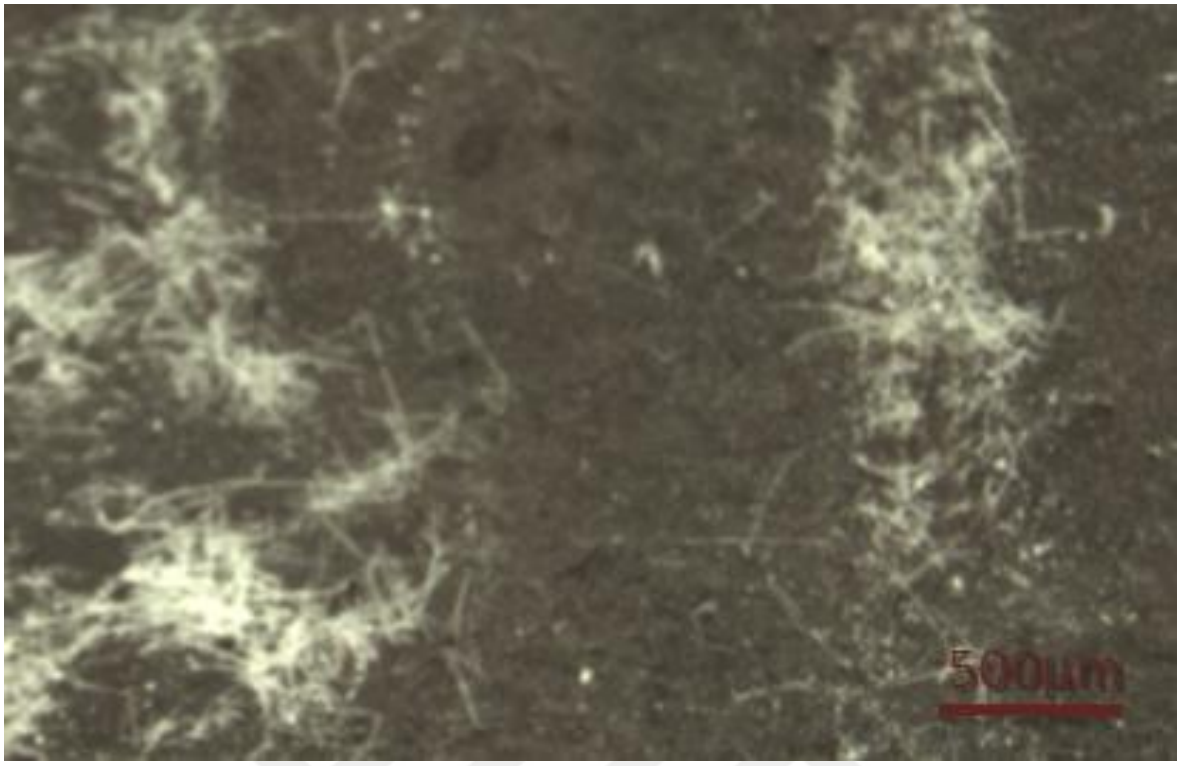

Resim 6.4. R3 reçeteli şarjsız plaka stereomikroskop görüntüsü



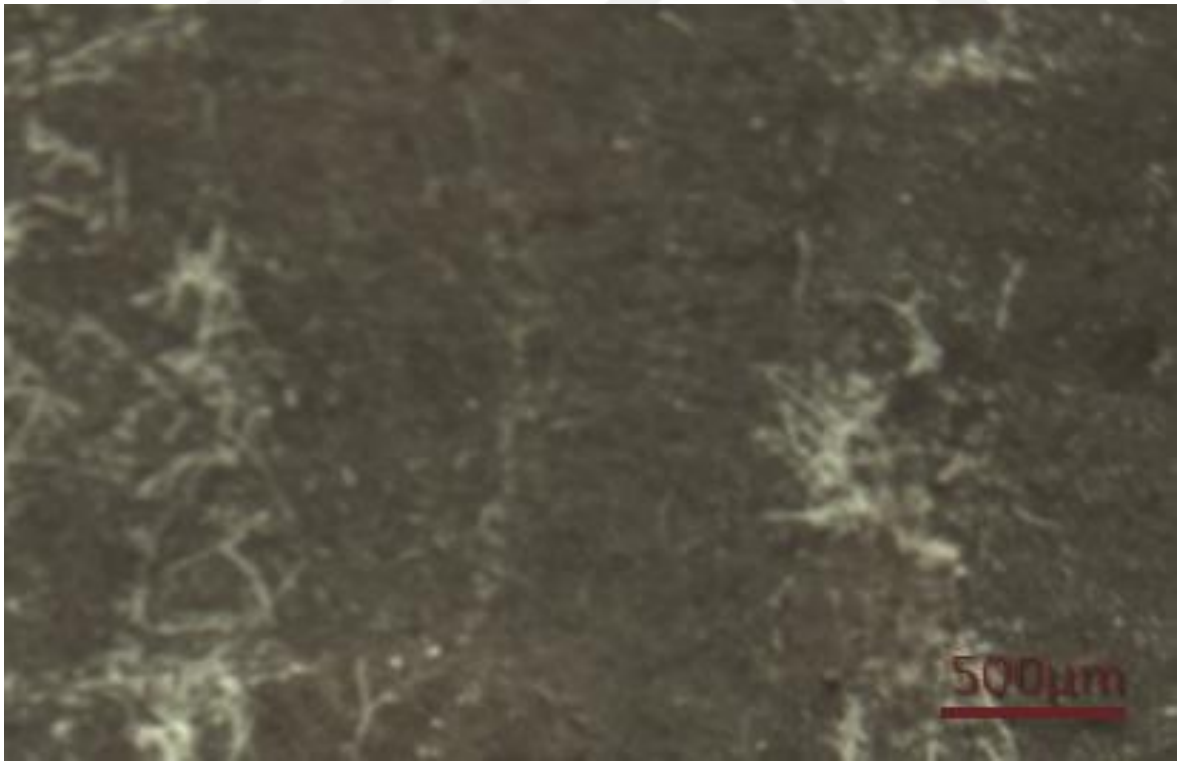

Resim 6.5. R0 reçeteli şarjlı plaka stereomikroskop görüntüsü




Resim 6.6. R1 reçeteli şarjlı plaka stereomikroskop görüntüsü




Resim 6.7. R2 reçeteli şarjlı plaka stereomikroskop görüntüsü

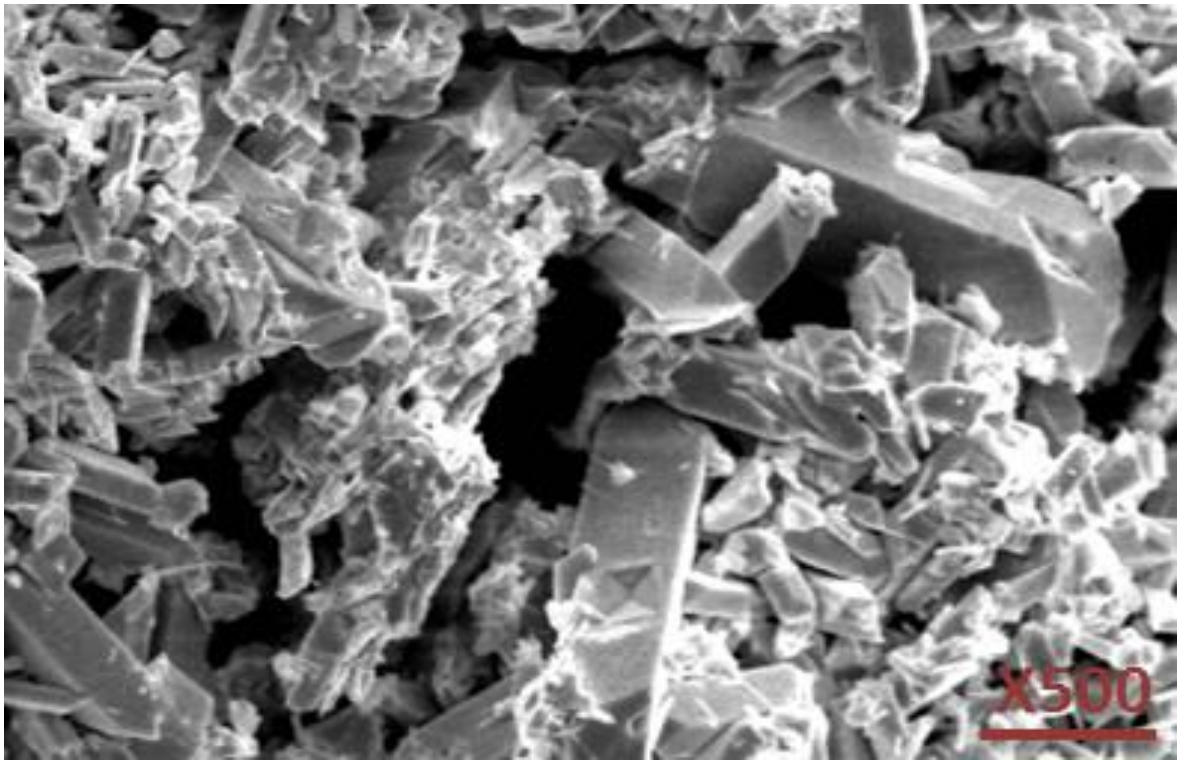



Resim 6.8. R3 reçeteli şarjlı plaka stereomikroskop görüntüsü

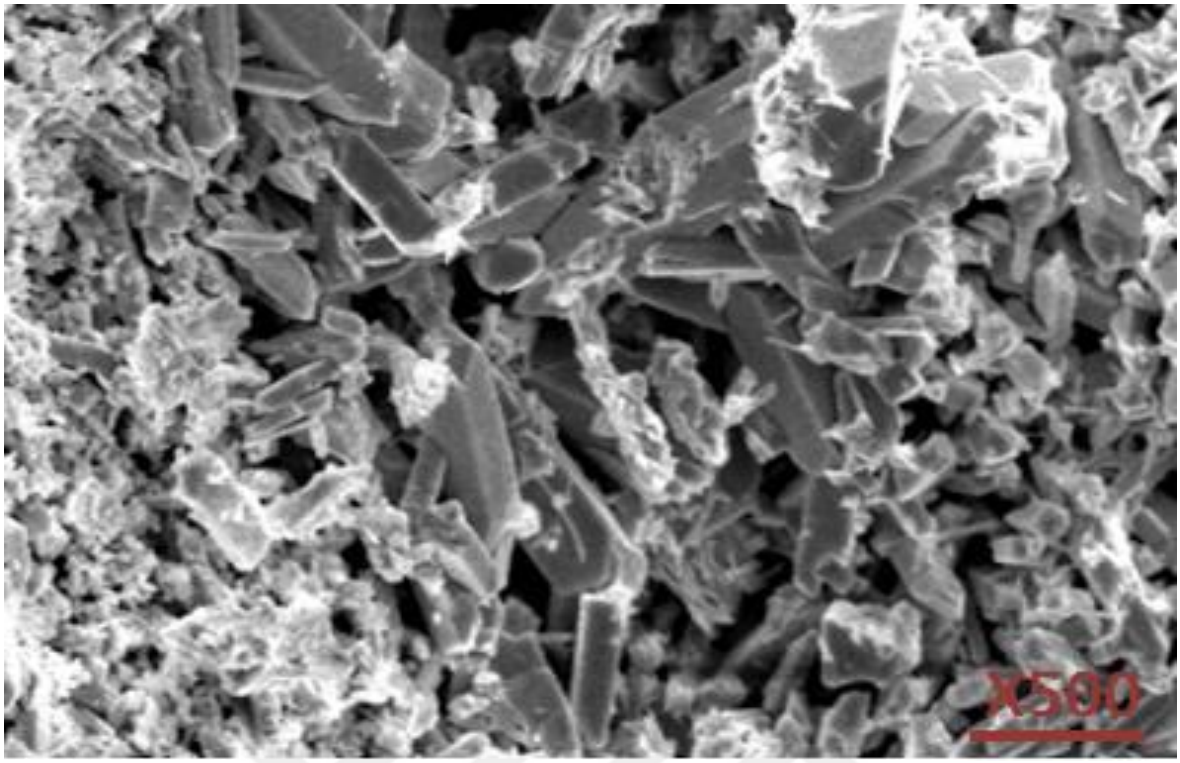
Standart ve TBLS'li plakaların stereo görüntüsü incelendiğinde, TBLS den kaynaklı bir farklılık görüntülerden tespit edilememiştir. Bu nedenle TBLS'li ve standart plakaların ayrıntılı incelmesi için SEM analizi yapılmıştır.

## 6.2. SEM Görüntüleri

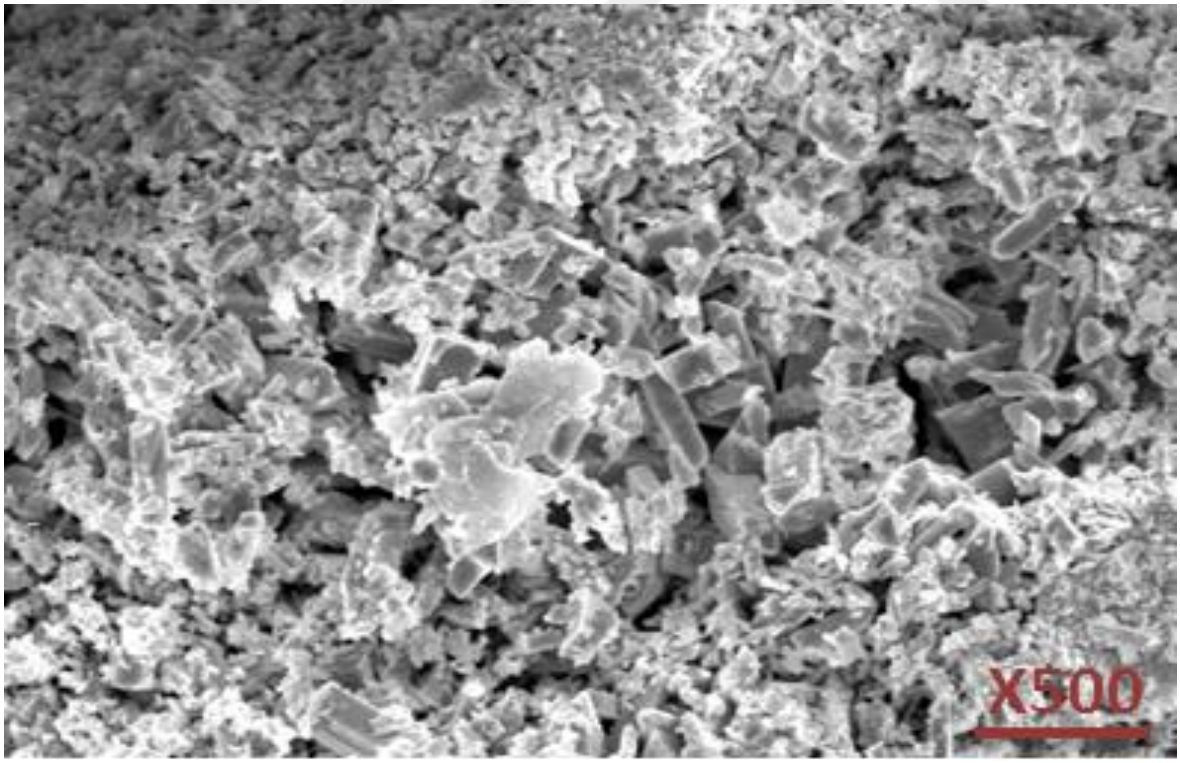
Akü hamur karma prosesine ilave edilen TBLS çekirdekleme kimyasalı sonucu elde edilen plakaların ve standart plakanın şarjlı ve şarjsız olarak SEM görüntüleri aşağıdaki gibidir.



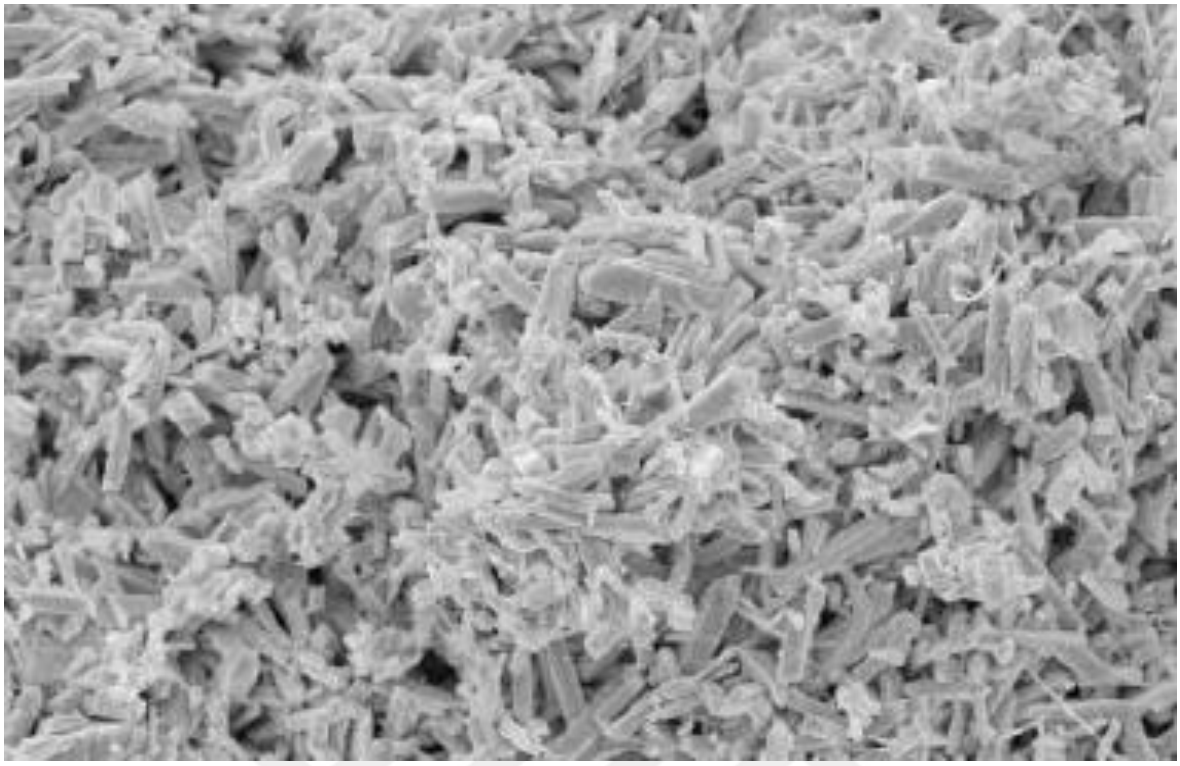

Resim 6.9. R0 reçeteli şarjsız plaka sem görüntüsü, X500



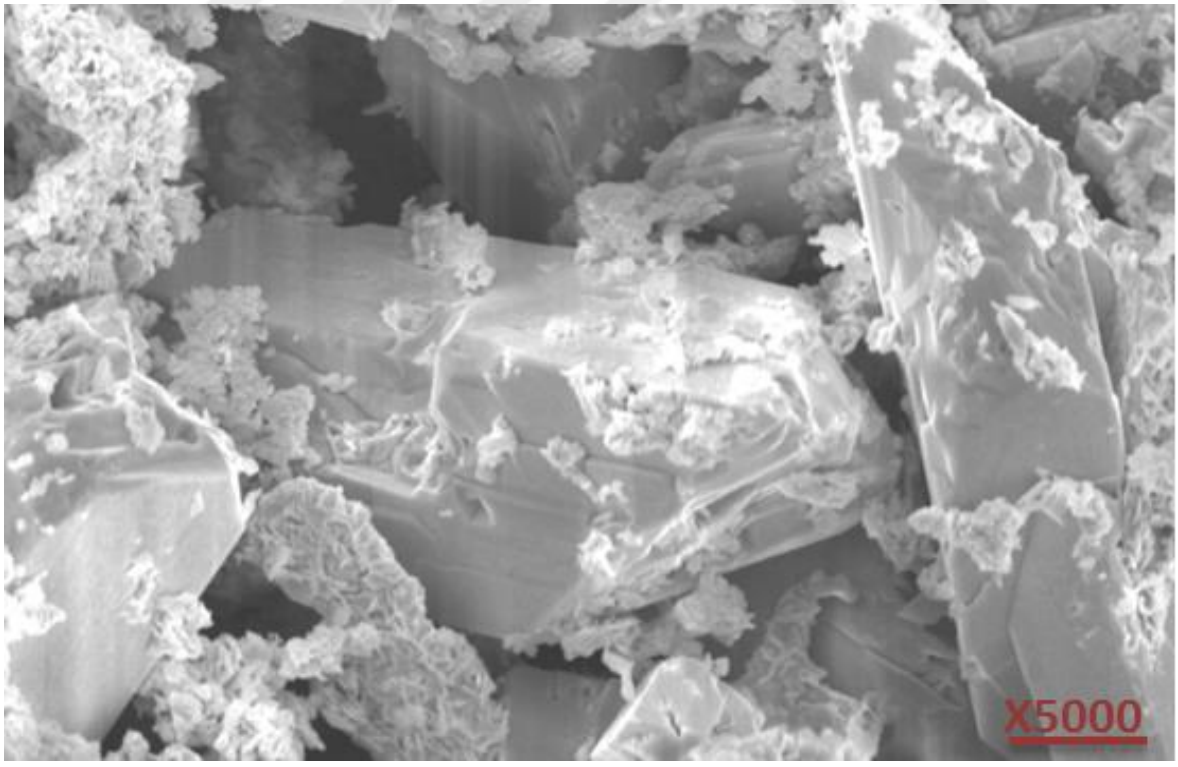

Resim 6.10. R1 reçeteli şarjsız plaka sem görüntüsü, X500



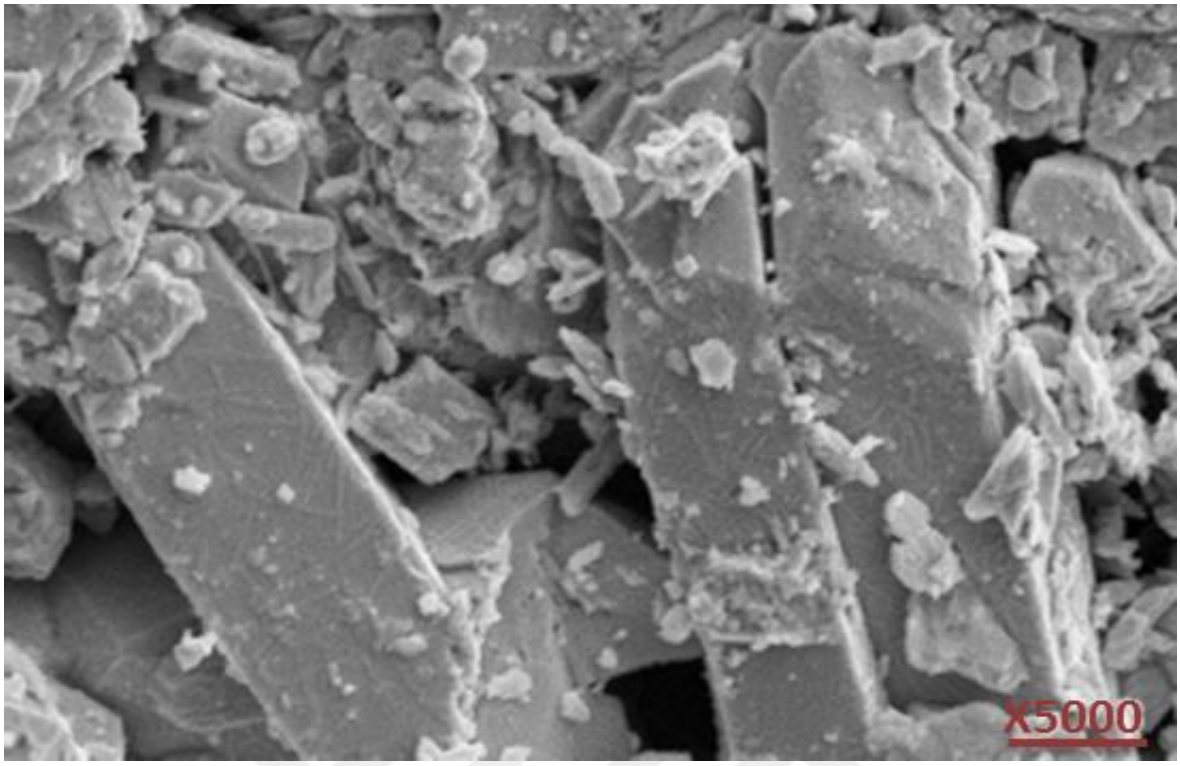

Resim 6.11. R2 reçeteli şarjsız plaka sem görüntüsü, X500



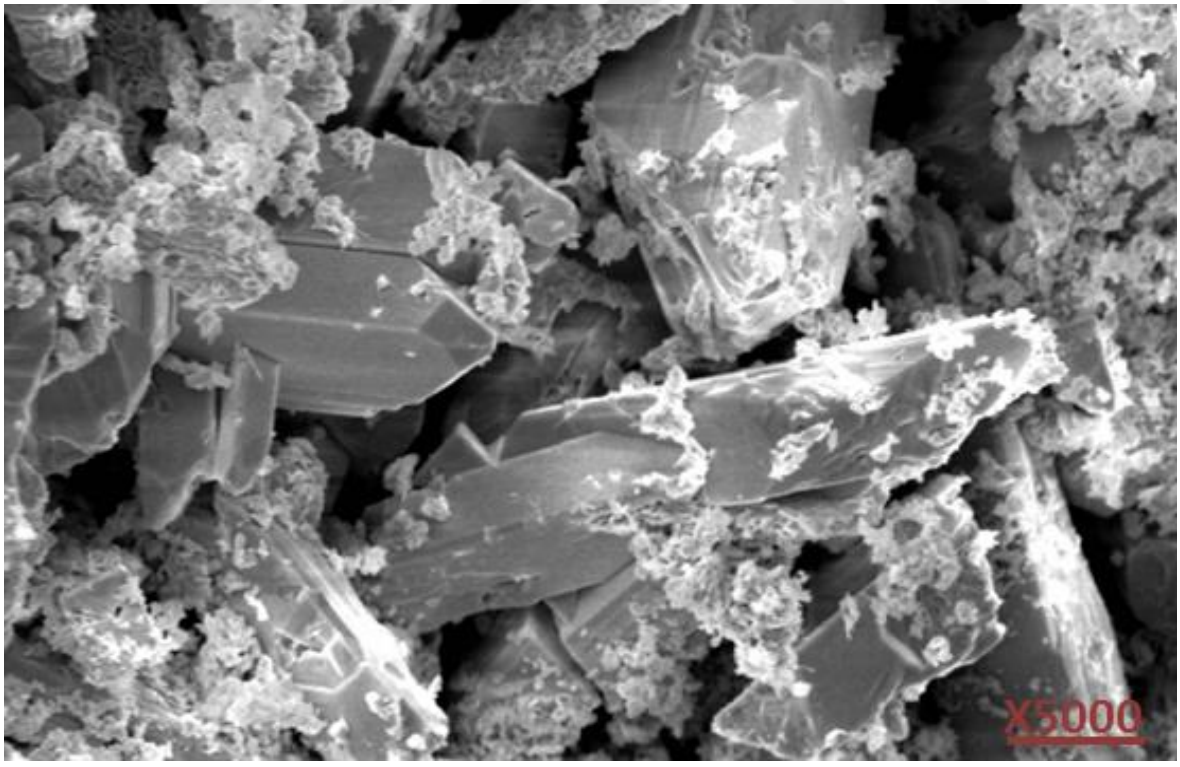
Resim 6.12. R3 reçeteli şarjsız plaka sem görüntüsü, X500



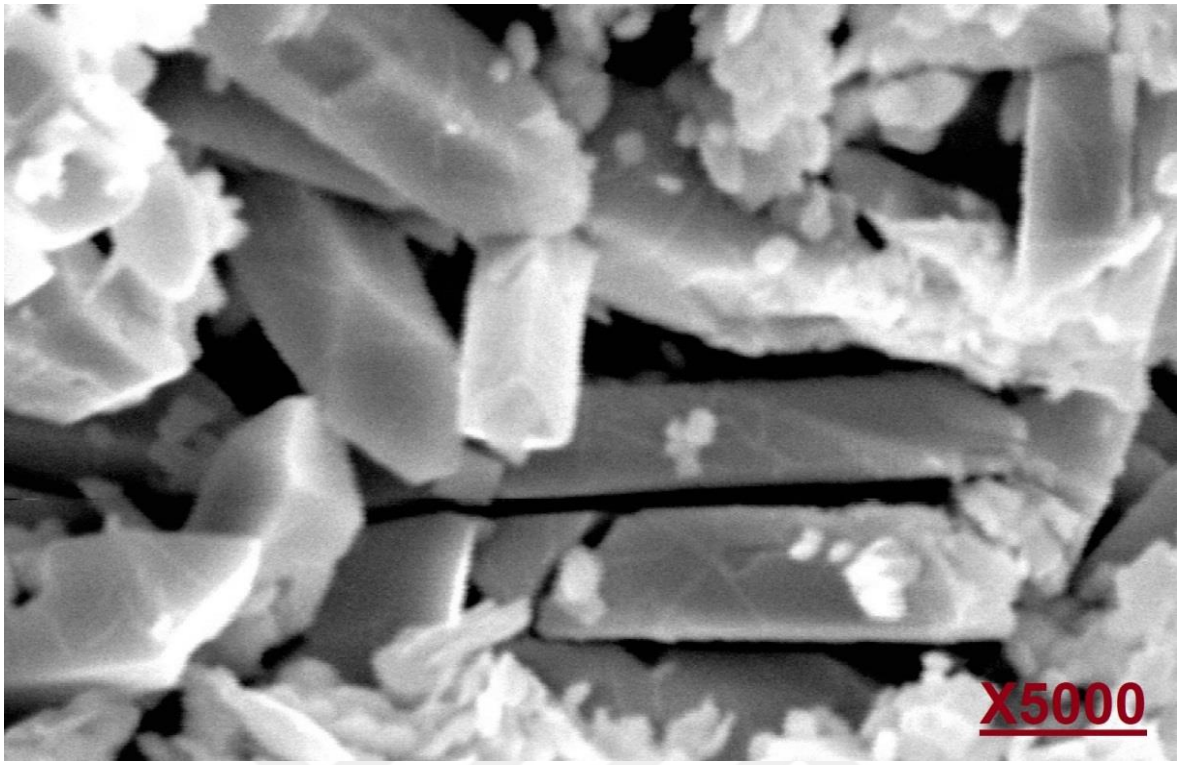

Resim 6.13. R0 reçeteli şarjlı plaka sem görüntüsü, X5000




Resim 6.14. R1 reçeteli şarjlı plaka sem görüntüsü, X5000




Resim 6.15. R2 reçeteli şarjlı plaka sem görüntüsü, X5000




Resim 6.16. R3 reçeteli şarjlı plaka sem görüntüsü, X5000

SEM görüntüleri incelendiğinde, R0 reçeteli hamur ile üretilen plakaların sadece kürleme yardımı ile morfolojik yapısının değiştirildiği için kristal yapılarının düzensiz olduğu gözlenmiştir. Kürlemede verilen nem ve sıcaklık programı yardımı ile çekirdek yapılarının istenen düzeyde olması sağlanamamıştır.

R1 reçeteli hamur ile üretilen plakaların kürleme sonucunda tetrabazik çekirdek yapılarında artışın olduğu gözlenmiştir ancak düzenli yapıda olması sağlanamamıştır.

R2 reçeteli hamur ile üretilen plakaların kürleme sonucunda tetrabazik çekirdek yapılarının R1 reçeteli plakalara oranla daha düzenli olduğu ancak istenen seviyede olmadığı belirlenmiştir.

R3 reçeteli hamur sıvanarak üretilmiş plakaların SEM görüntüleri incelendiğinde ise homojen tetrabazik yapıların dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Çekirdek yapılarında tetrabazik çekirdeklerin tüm plakada yayılım gösterdiği izlenmiştir.

Plakaların görüntülerin incelemesi tamamlandıktan sonra, Start-stop özellikli araçlar için tasarlanan L3 tipinde 72Ah kapasiteli akülerin imalatı tamamlanarak, piyasada bulunan

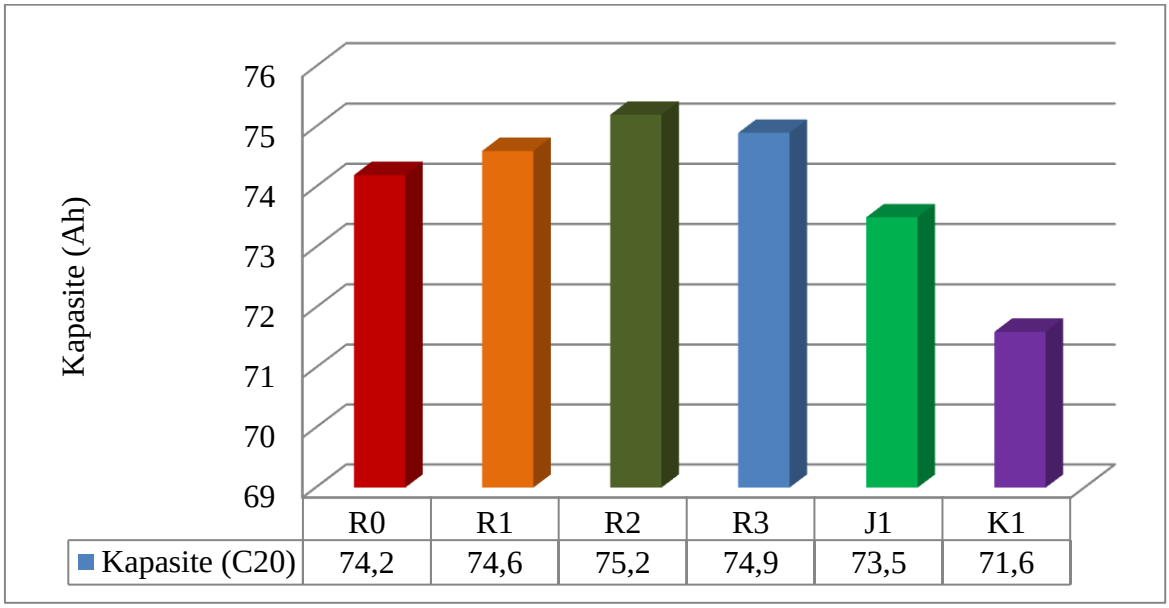
farklı iki marka start-stop aküleri ile birlikte belirtilen tüm testler yapılarak; karşılaştırmalı olarak test sonuçları irdelenmiştir. Test sonuçları tekrarlanarak ölçüm doğrulukları tespit edilmiş olup, grafik olarak da sonuçlar paylaşılmıştır.

### 6.3. Kapasite Testi

İmalatı yapılan akülerin kapasite testleri sonuçları Çizelge 6.1'de paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.1'de ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.1. Kapasite (C20) ölçüm sonuçları

| Numune Adı | Kapasite – C20 (Ah) | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 74,2 | ±2,0 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 74,6 | ±0,8 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 75,2 | ±0,5 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 74,9 | ±0,2 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 73.5 | ±2,1 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 71.6 | ±1,2 |




Şekil 6.1. Pozitif şarjlı plakalarda kurşun dioksit ($PbO_2$) ölçümleri

Kapasite testi sonuçları incelendiğinde, hamura TBLS eklenmesinin ortalama kapasite ölçümünde fark yaratmadığı tespit edilmiştir. Standart sapma sonuçlarına bakıldığında ise,

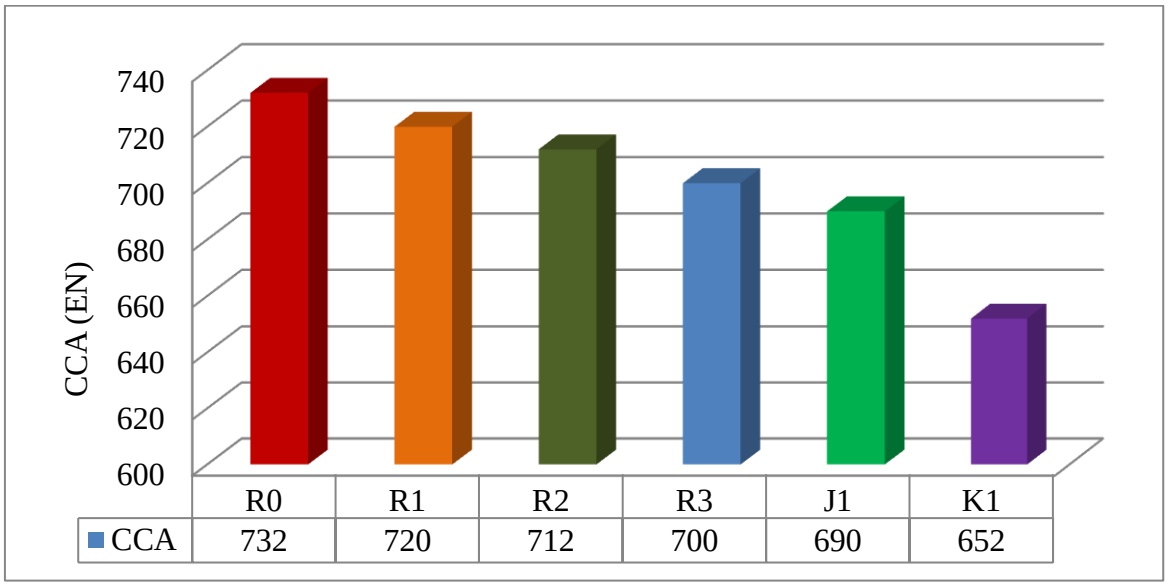
her ölçümün birbirine yakın olması yönünden R3 reçeteli ürünün tüm ölçümlerinin birbirine en yakın değerler olduğu gözlenmiştir. TBLS eklenmeyen aküye göre %90 oranında iyileşme olduğu gözlenmiştir. Kristal yapıların homojen dağılımının neticesi olarak, akülerin kapasite ölçümlerinde dalgalanma olmaması ve kapasite ölçümlerinin her aküde birbirine en yakın ölçümlerin yapılabileceği sonucu çıkarılmıştır. Bu sayede üretimi yapılan her aküden istenen sonuçların alınabilmesi sağlanmıştır.

### 6.4. Yol Verme Testi

İmalatı yapılan akülerin yol verme testleri sonuçları Çizelge 6.2'de paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.2'de ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.2. CCA ölçüm sonuçları

| Numune Adı | CCA (EN) | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 732 | ±18 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 720 | ±14 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 712 | ±11 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 700 | ±5 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 690 | ±14 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 652 | ±12 |




Şekil 6.2. CCA ölçümleri grafiği

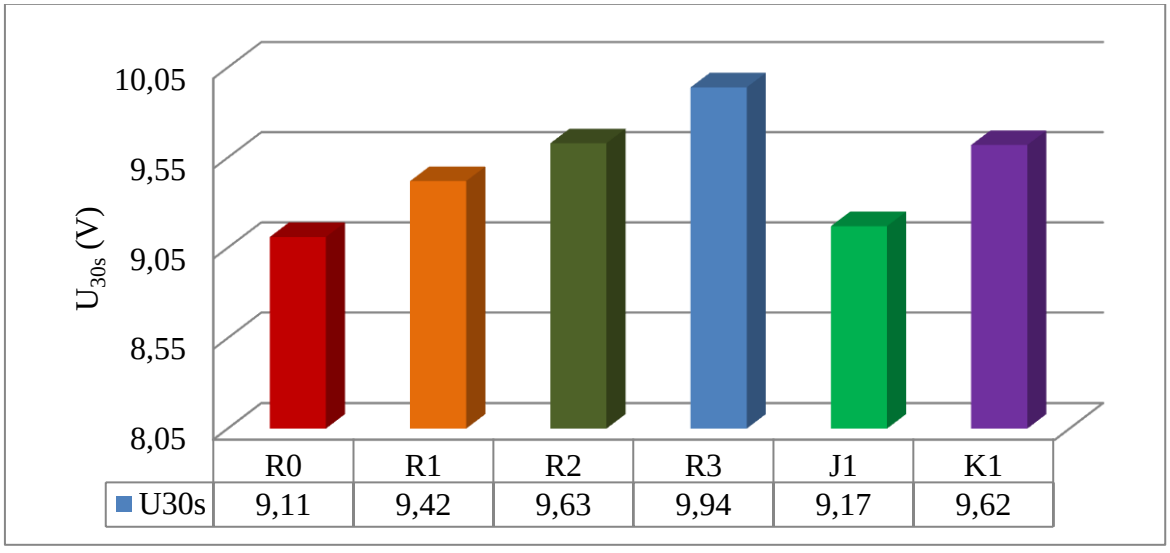
Akü soğukta marş basma değerleri irdelendiğinde, TBLS kimyasalı eklenme oranı arttıkça CCA değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Start stop akülerin ana tasarım bileşeni çevrim sayısı olarak kabul edilmektedir. Marş basma değerlerindeki düşüş görece olarak bakıldığında akünün start stop gücünü ciddi boyutta etkileyecek bir dramatik düşüş şeklinde gerçekleşmemiştir. Bu kapsamda tasarımda oluşan bu olumsuz etki, akü iç direncinin küçük artışları sonucunda halihazırda tasarımın en başında halihazırda beklenmekteydi.

### 6.5. Düşük Sıcaklıkta Yüksek Akım Deşarj Testi

İmalatı yapılan akülerin düşük sıcaklıkta yüksek akım deşarj testleri sonuçları Çizelge 6.3'de paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.3'de ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.3. Deşarj sonu voltaj ($U_{30s}$) ölçüm sonuçları

| Numune Adı | $U_{30s}$ | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 9,11 | ±0,42 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 9,42 | ±0,31 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 9,63 | ±0,15 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 9,94 | ±0,11 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 9,17 | ±0,34 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 9,62 | ±0,32 |




Şekil 6.3. Deşarj sonu voltaj ($U_{30s}$) ölçümleri grafiği

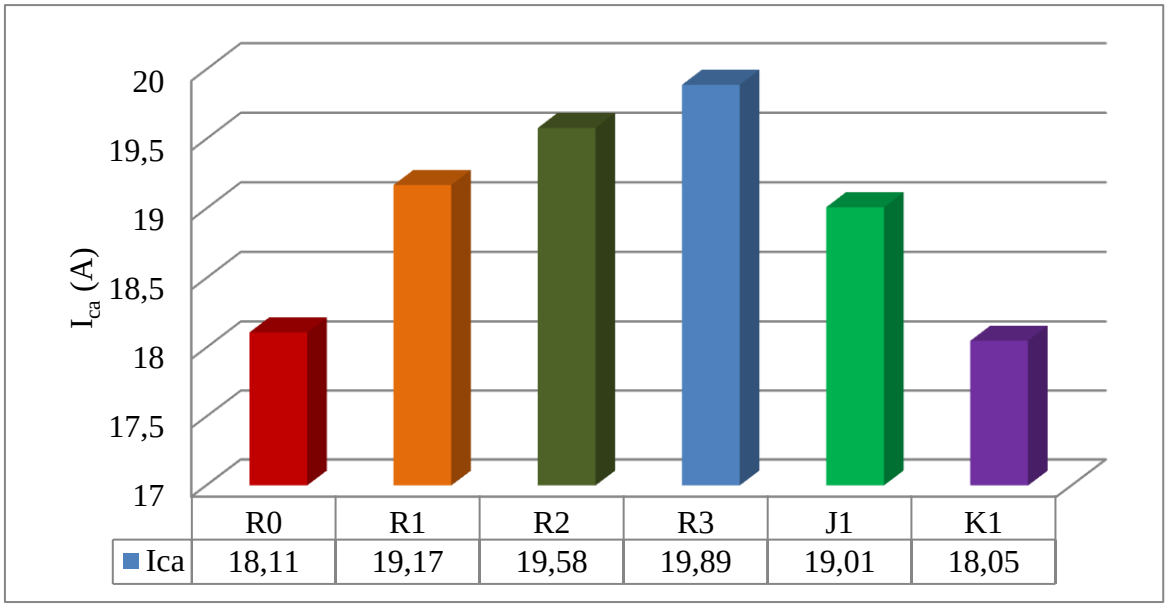
Test sonuçları incelendiğinde, düşük sıcaklıklarda dahi yüksek akım çekilerek akü zorlanmasına rağmen R3 reçeteli ürünün test sonu voltaj değeri en yüksek çıkmıştır. Start stop yapma kabiliyeti açısından bakıldığında, akü deşarj sonunda dahi yüksek voltaj verebilmektedir.

### 6.6. Şarj Kabulü Testi

İmalatı yapılan akülerin şarj kabulü testleri sonuçları Çizelge 6.4'de paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.4'de ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.4. Şarj kabulü ($I_{ca}$) ölçüm sonuçları

| Numune Adı | $I_{ca}$ | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 18,11 | ±0,23 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 19,17 | ±0,16 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 19,58 | ±0,18 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 19,89 | ±0,15 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 19,01 | ±0,21 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 18,05 | ±0,43 |




Şekil 6.4. Şarj kabulü (Ica) ölçümleri grafiği

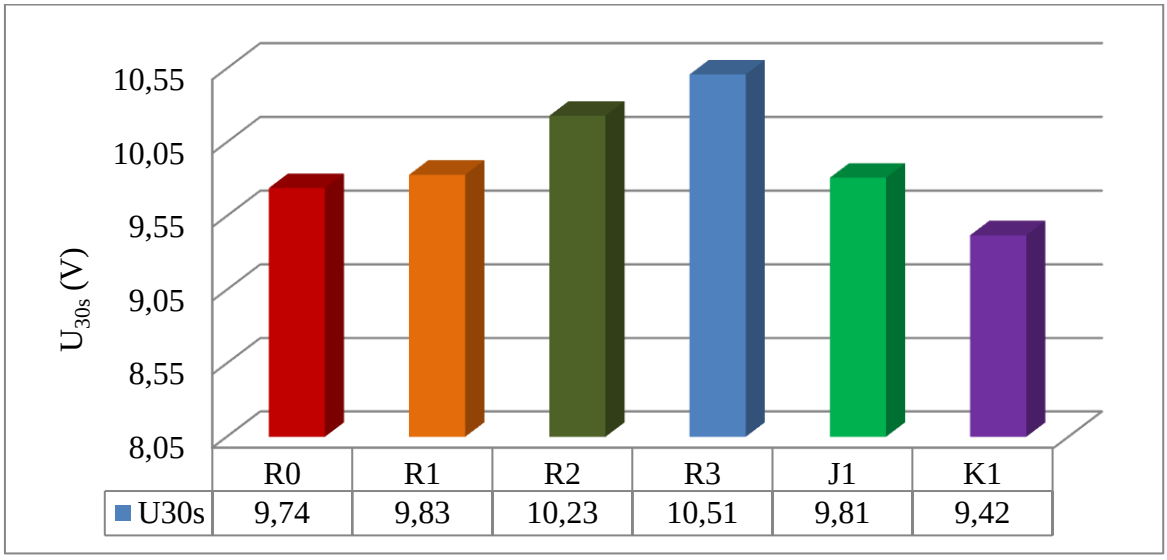
Tasarımı yapılan akülerin şarj alabilme kabiliyetleri incelendiğinde R3 reçeteli ürünün şarj alabilme kabiliyeti diğer tüm akülere göre daha fazla olup böylece araç durup kalktığında akünün tekrar şarj olabilmesi daha kolay olabilmekte ve araç tekrar geri kısa sürede duruş yaptığında akünün start-stop özelliğinin kullanımı artacaktır.

### 6.7. Şarj Tutma Testi

İmalatı yapılan akülerin şarj tutma testleri sonuçları Çizelge 6.5'de paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.5'de ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.5. Şarj tutma testi sonu voltaj ($U_{30s}$) ölçüm sonuçları

| Numune Adı | $U_{30s}$ | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 9,74 | ±0,32 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 9,83 | ±0,30 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 10,23 | ±0,26 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 10,51 | ±0,25 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 9,81 | ±0,29 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 9,42 | ±0,35 |




Şekil 6.5. Şarj tutma sonu voltaj ($U_{30s}$) ölçümleri grafiği

Yapılan çalışmada benzer şekilde R3 reçeteli ürünün şarj tutma kabiliyeti açısından incelendiğinde diğer tüm akülere kıyasla şarj tutma kabiliyeti yüksek olarak gözlenmiştir.

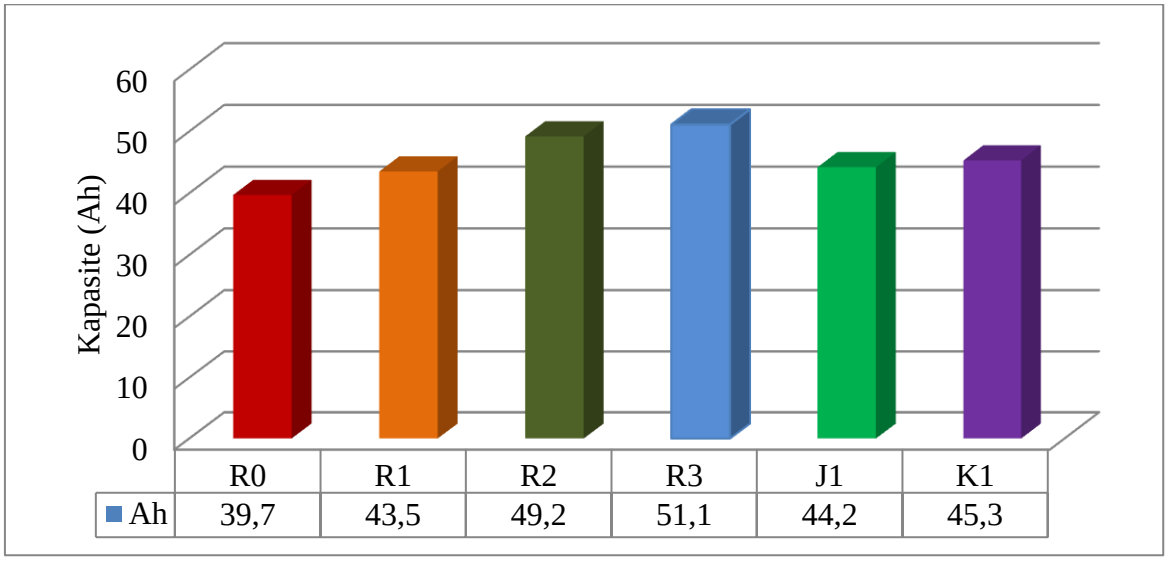
Bu sayede aracın kısa duruş kalkışlarında dahi şarjı üzerinde daha iyi tutabilmesi sağlanacak ve bu sayede aracın start stop özelliğinin daha fazla kullanım imkanı ortaya konulacaktır.

### 6.8. Çevrim Testinde Dayanıklılık

İmalatı yapılan akülerin çevrime dayanıklılık testleri sonuçları Çizelge 6.6'da paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.6'da ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.6. Çevrim dayanıklılık testi sonu kapasite (Ah) ölçüm sonuçları

| Numune Adı | Ah | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 39,7 | ±1,1 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 43,5 | ±0,9 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 49,2 | ±0,8 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 51,1 | ±0,8 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 44,2 | ±1,1 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 45,3 | ±1,2 |




Şekil 6.6. Çevrime dayanıklılık testi sonu kapasite (Ah) ölçümleri grafiği

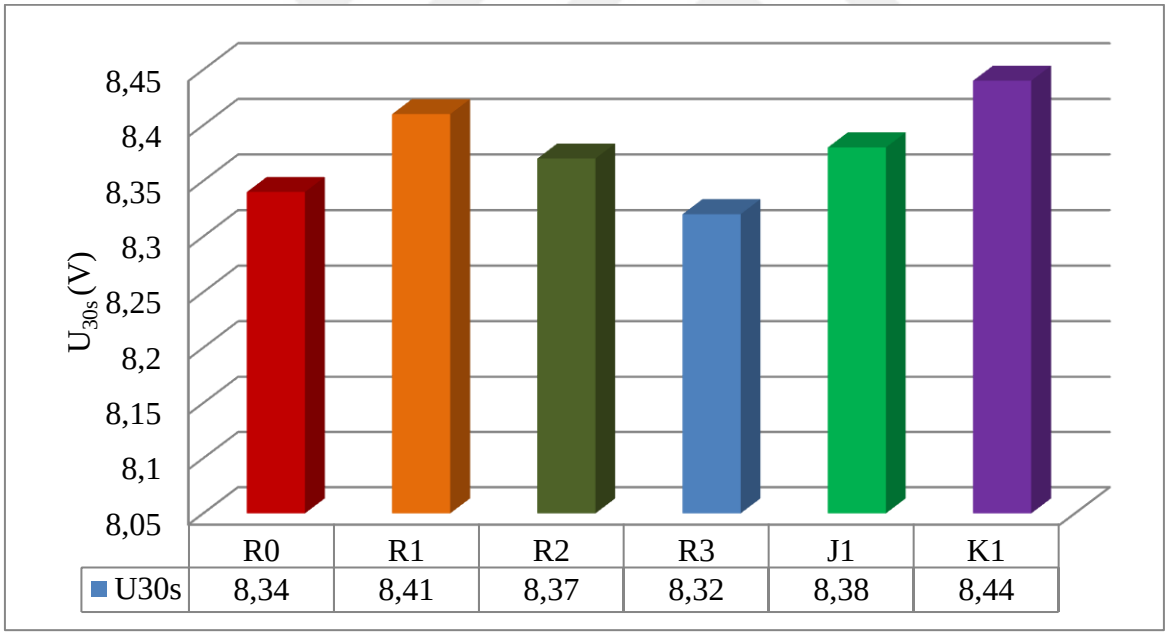
Test sonucunda R3 reçeteli ürünün çevrim testinden sonra kapasitesini en yüksek oranda korunduğu görülmüştür. Böylece start stop yapma kabiliyetinin artması sağlanmıştır.

### 6.9. Korozyon Testi

İmalatı yapılan akülerin korozyon testleri sonuçları Çizelge 6.7'de paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.7'de ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.7. Korozyon testi sonu voltaj ($U_{30s}$) ölçüm sonuçları

| Numune Adı | $U_{30s}$ | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 8,34 | ±0,31 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 8,41 | ±0,30 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 8,37 | ±0,22 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 8,32 | ±0,24 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 8,38 | ±0,32 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 8,44 | ±0,29 |




Şekil 6.7. Korozyon testi sonu voltaj ($U_{30s}$) ölçümleri grafiği

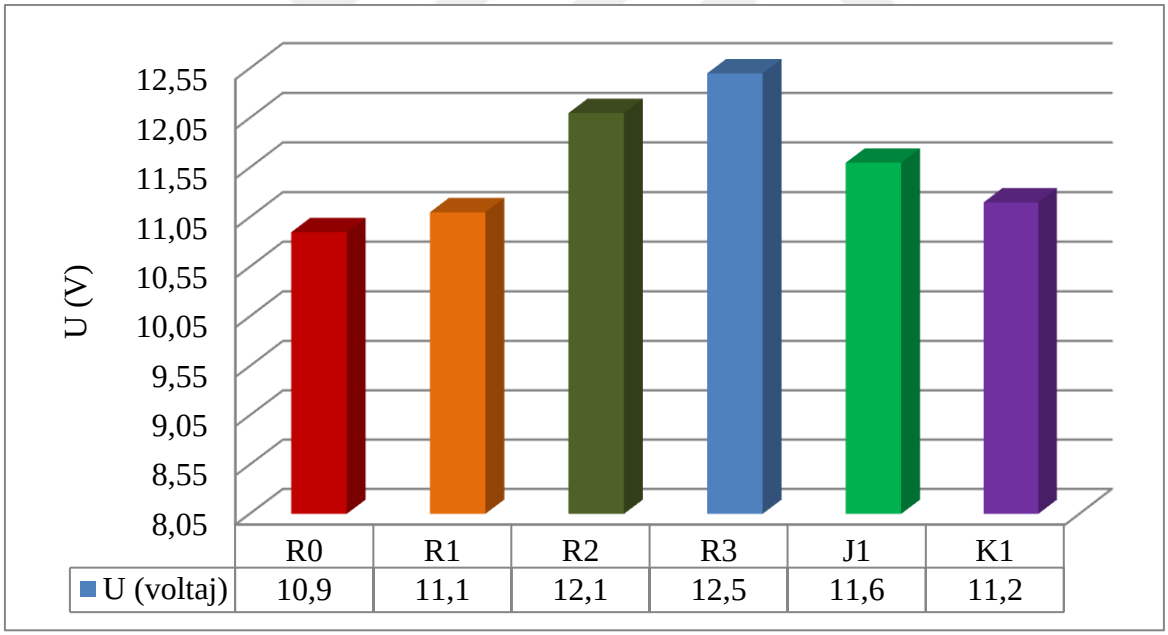
Korozyon testinde plaka üzerinde deformasyon olmaktadır. Test sonunda akülerin voltaj değerleri incelendiğinde, düşük oranda da olsa bir düşme gözlenmiştir. Ayrıca standart sapmalar incelendiğinde ölçüm belirsizliği bu oranın yaklaşık olarak on katı değerindedir. Ölçüm belirsizliğinin onda biri kadar olan voltaj değeri düşüklüğü göz ardı edilebilir.

## 6.10. Derin Deşarj Testi

İmalatı yapılan akülerin derin deşarj testleri sonuçları Çizelge 6.8'de paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.8'de ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.8. Derin deşarj testi sonu voltaj (U) ölçüm sonuçları

| Numune Adı | U | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 10,9 | ±0,74 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 11,1 | ±0,30 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 12,1 | ±0,22 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 12,5 | ±0,24 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 11,6 | ±0,32 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 11,2 | ±0,29 |




Şekil 6.8. Derin deşarj testi sonu voltaj (U) ölçümleri grafiği

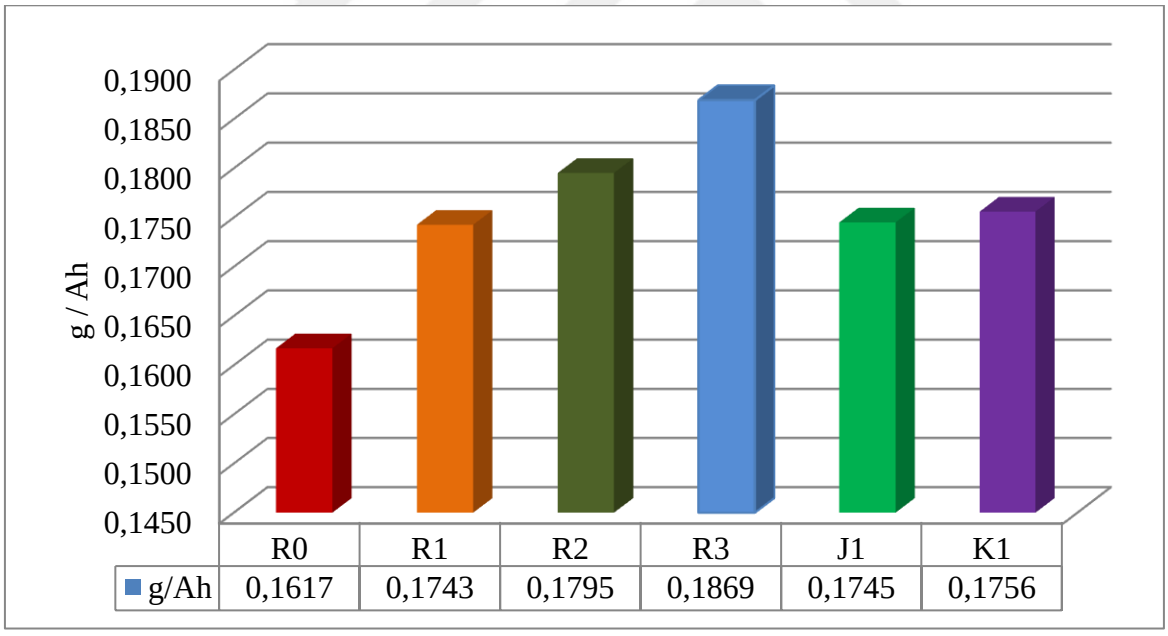
Derin deşarj testinin sonuçları incelendiğinde, R3 reçeteli ürünün derin deşarj durumunda dahi akü voltajının yüksek olması sayesinde aracı çalıştırmada sorun yaşanmaması sağlanacağı gözlenmiştir. Standart reçeteli ürünün voltajının düşük olması, derin deşarj durumunda aracın tekrar çalıştırılmasında zaman zaman sorun yaşanabileceğini göstermiştir.

### 6.11. Su Tutma Testi

İmalatı yapılan akülerin su tutma testleri sonuçları Çizelge 6.9'da paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.9'da ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.9. Su tutma testi sonu su kaybı (g/Ah) ölçüm sonuçları

| Numune Adı | g/Ah | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 0,1617 | ±0,0082 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 0,1743 | ±0,0075 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 0,1795 | ±0,0068 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 0,1869 | ±0,0070 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 0,1745 | ±0,0081 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 0,1756 | ±0,0075 |




Şekil 6.9. Su tutma testi sonu ölçümleri (g/Ah) grafiği

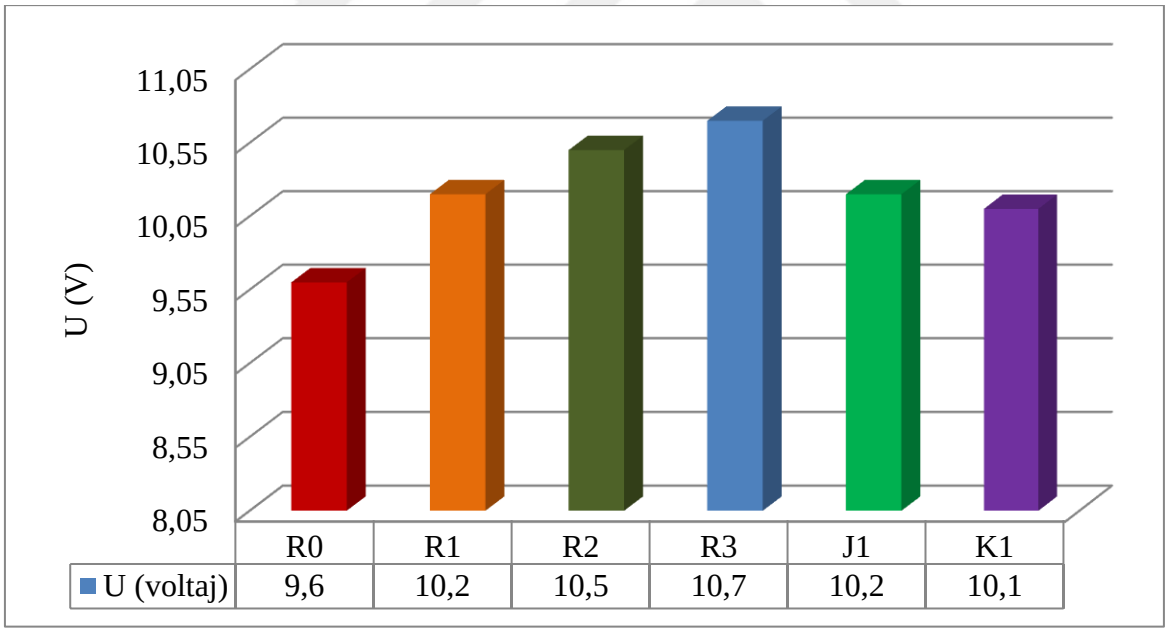
Aküde su kaybının neticesini gösteren bu test değerlendirildiğinde, R3 reçeteli ürünün diğer tüm akülerden daha az su kaybı yaşadığı tespit edilmiştir. Bu sayede akünün kimyasal reaksiyonlarını sağlayan elektrolitin daha uzun süre miktarı korunacak ve akünün start stop yapma kabiliyeti daha uzun süre korunacaktır.

## 6.12. Titreşime Dayanıklılık Testi

İmalatı yapılan akülerin titreşime dayanıklılık testleri sonuçları Çizelge 6.10'da paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.10'da ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.10. Titreşim testi sonu voltaj (U) ölçüm sonuçları

| Numune Adı | U | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 9,6 | ±0,4 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 10,2 | ±0,3 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 10,5 | ±0,2 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 10,7 | ±0,2 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 10,2 | ±0,2 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 10,1 | ±0,2 |




Şekil 6.10. Titreşime dayanıklılık testi sonu voltaj (U) ölçümleri grafiği

Akünün ömrünü etkileyen titreşim etkilerinin incelendiği testin sonuçları irdelendiğinde R3 reçeteli ürünün titreşimden sonra dahi akü voltajının en yüksek olduğu bulunmuştur. Bu durum gösteriyor ki, TBLS ve yapılan kürleme işleminin ızgara ve aktif malzemenin tutunmasını arttırdığı ve aktif malzemenin ızgara üzerinden dökülmesini daha az seviyelere indirdiğini göstermiştir. Bu sayede akünün ömrü uzamış olacaktır.

## 6.13. Elektrolit Tutma Testi

İmalatı yapılan akülerin elektrolit tutma testleri sonuçları Çizelge 6.11'de paylaşılmıştır. Hiçbir aküde sızıntı meydana gelmemiştir.

Çizelge 6.11. Elektrolit tutma testi sonuçları

| Numune Adı | Elektrolit Kaybı (Var/Yok) |
|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | Yok |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | Yok |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | Yok |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | Yok |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | Yok |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | Yok |

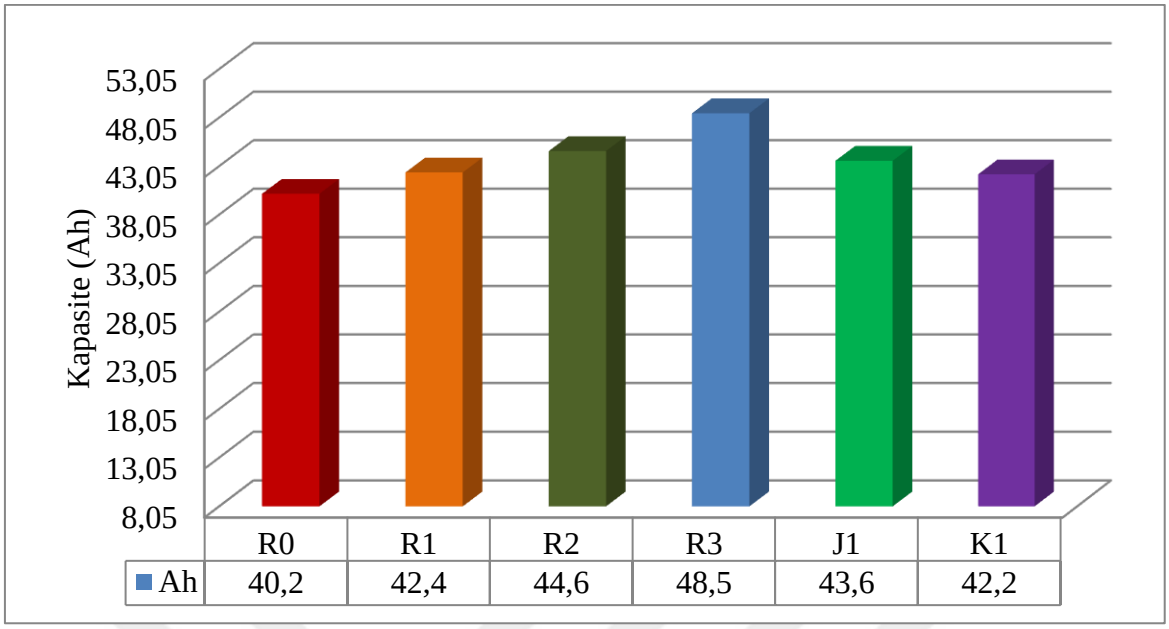
Bu testin sonucunda hiçbir aküde elektrolit sızması olmamıştır. Akü üretiminde en büyük hatalardan biri olan elektrolitin aküden sızma durumu oluşmaması hedeflenmektedir. Aküden elektrolit sızması yaşanır ise, aracın aküye yakın olan tüm aksamı sülfürik asit ile temas etmek durumunda kalacak ve korozyona uğrayacak ve ciddi sorunlara yol açabilecektir. Bu durum aküde hiçbir zaman istenmeyen bir hata durumudur.

## 6.14. Mikro Hibrit Testi

İmalatı yapılan akülerin mikro hibrit testleri sonuçları Çizelge 6.12'de paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.11'de ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.12. Mikro hibrit testi sonu kapasite (Ah) ölçüm sonuçları

| Numune Adı | Ce | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 40,2 | ±1,2 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 42,4 | ±1,1 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 44,6 | ±0,9 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 48,5 | ±0,7 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 43,6 | ±1,3 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 42,2 | ±1,1 |




Şekil 6.11. Mikrohibrit testi sonu kapasite (Ah) ölçümleri grafiği

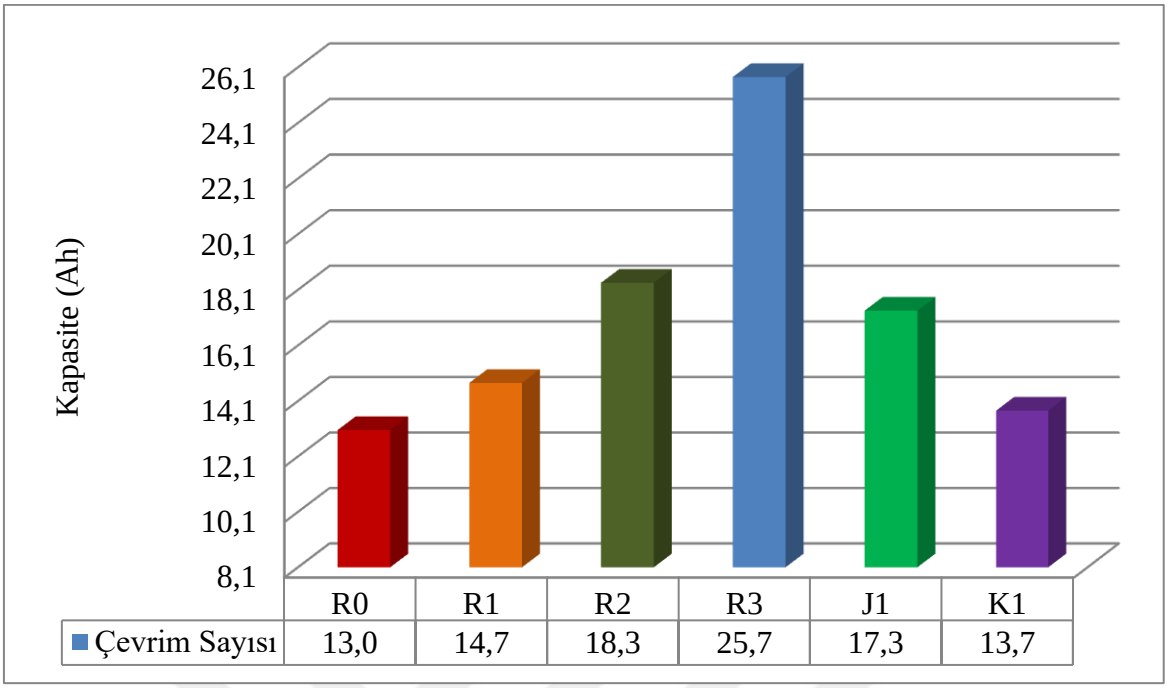
Mikrohibrit testi aküdeki çevrim testlerinden bir diğeridir. Bu test gösteriyor ki, R3 reçeteli ürün en önemli artışlarından birini çevrim testi neticelerindeki akü kapasitelerinde göstermektedir.

### 6.15. % 17,5 Deşarj Derinliğindeki (DoD) Çevrim Testi Dayanımı

İmalatı yapılan akülerin mikro hibrit testleri sonuçları Çizelge 6.13'de paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.12'de ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.13. %17,5 Deşarj derinliğindeki çevrim sayısı ölçüm sonuçları

| Numune Adı | Çevrim Sayısı | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 13,0 | ±1,0 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 14,7 | ±0,6 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 18,3 | ±1,5 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 25,7 | ±0,6 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 17,3 | ±1,2 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 13,7 | ±1,2 |




Şekil 6.12. %17,5 Deşarj derinliğindeki çevrim sayısı sonuçları grafiği

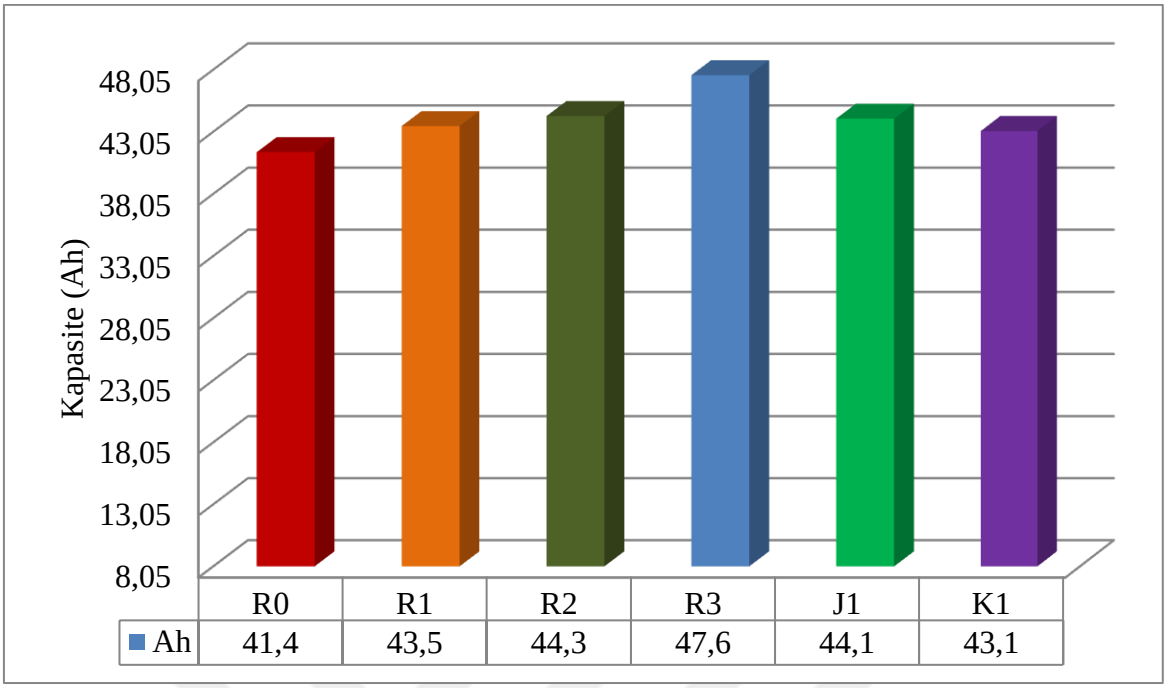
Aküdeki bir diğer çevrim testi neticesinde R3 reçeteli ürünün iki katına kadar çevrim sayısını arttırdığı gözlenmiştir. Bu sayede akünün start stop yapma kabiliyeti iki katına kadar çıkabilecektir.

### 6.16. 40˚C'de % 50 Deşarj Derinliğindeki (DoD) Çevrim Testi Dayanımı

İmalatı yapılan akülerin %50 DoD testleri sonuçları Çizelge 6.14'de paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.13'de ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.14. %50 DoD testi sonu kapasite (Ah) ölçüm sonuçları

| Numune Adı | Ce | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 41,4 | ±1,1 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 43,5 | ±0,9 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 44,3 | ±0,7 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 47,6 | ±0,6 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 44,1 | ±0,9 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 43,1 | ±0,6 |




Şekil 6.13. %50 DoD testi sonu kapasite (Ah) ölçümleri grafiği

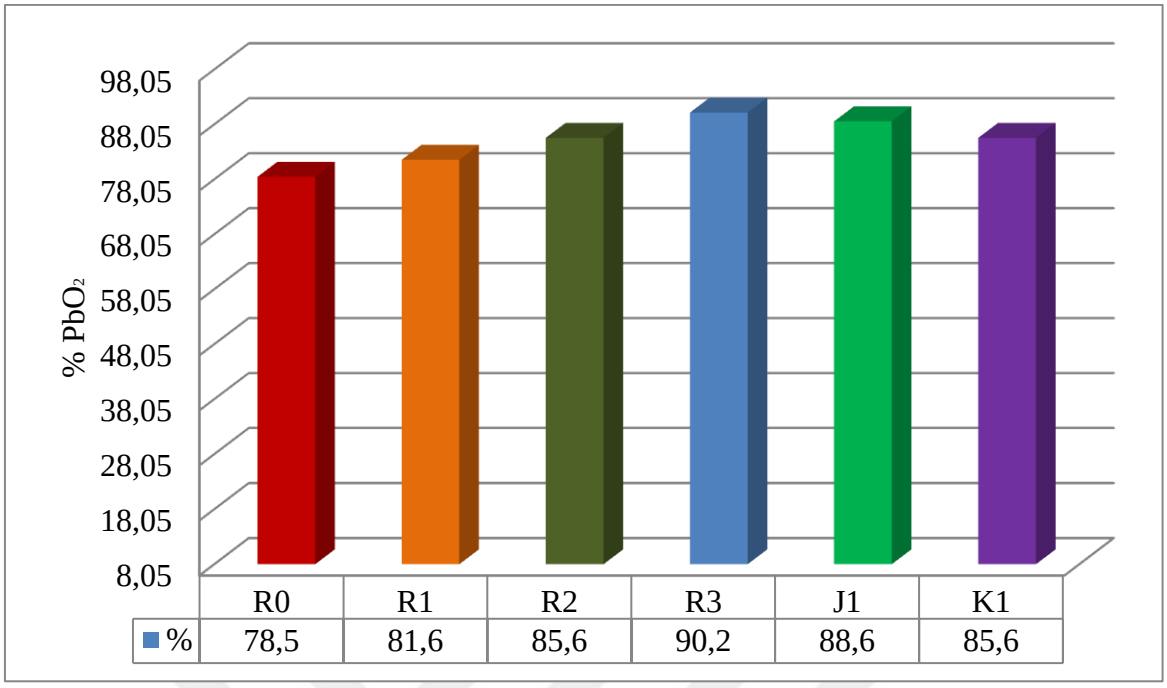
Akünün derin deşarj testlerinden diğeri olan bu test sonuçları incelendiğinde, R3 reçeteli ürünün kapasitesinin derin deşarj durumunda dahi yüksek olduğu ve bu sayede akünün ömrünün daha uzun olacağı gözlenmiştir.

### 6.17. Pozitif Şarjlı Plakalarda Kurşun Dioksit ($PbO_2$) Testi

İmalatı yapılan akülerin şarj sonu pozitif plakaların $PbO_2$ testleri sonuçları Çizelge 6.15'de paylaşılmıştır. Çizelgede ayrıca standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6.14'de ise karşılaştırmalı olarak sonuçlar grafikte sunulmuştur.

Çizelge 6.15. Pozitif şarjlı plakalarda kurşun dioksit ($PbO_2$) ölçüm sonuçları

| Numune Adı | %$PbO_2$ | Standart Sapma |
|---|---|---|
| Standart Reçeteli Ürün (R0) | 78,5 | ±2,3 |
| 1 Nolu Reçeteli Ürün (R1) | 81,6 | ±2,1 |
| 2 Nolu Reçeteli Ürün (R2) | 85,6 | ±1,9 |
| 3 Nolu Reçeteli Ürün (R3) | 90,2 | ±1,8 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (J1) | 88,6 | ±1,6 |
| Piyasada bulunan diğer marka ürün (K1) | 85,6 | ±1,4 |




Şekil 6.14. Pozitif şarjlı plakalarda kurşun dioksit ($PbO_2$) ölçümleri grafiği

Akünün şarj olma durumunu gösteren $PbO_2$ tespiti için yapılan bu test neticesinde, R3 reçeteli ürünün daha yüksek oranda şarj kabulü yaparak daha yüksek oranda şarj olduğu gözlenmiştir. Bu sayede akünün marş yapması ve start stop yapabilme kabiliyetinin artışı sağlanmıştır.

# 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kurşun asit akülerin start stop özellikli olan tipleri üzerinde durulmuştur. Aktif malzemeye çeşitli oranlarda eklenen TBLS kimyasalı ile Türk Standartları ve Avrupa Normlarına göre açıklanan çeşitli deneyler yapılarak akülere olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca piyasada bulunan start stop özellikli aküler alınarak aynı deneyler yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

Start stop özellikli araçlar ile normal araçları kıyasladığımızda en belirgin fark her araç durup tekrar kalkmasında aracın tekrar marş motorunun çalıştırılması gerekmektedir. Bu nedenle start stop araçlar için tasarlanan akülerin şarj-deşarj döngülerinin daha fazla olması gerektiğinden akülerin tasarımında bu özelliğe önem verilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda bu çalışmada aktif malzemeye eklenen TBLS kimyasalının yarattığı etkilerin en önemlisi akünün şarj döngüsüne artışı olmuştur. Standart reçete (R0) ile üretilen start stop aküler ile üç numaralı reçete (R3) ile üretilen start stop akülerin mikro hibrit test sonuçları kıyaslandığında, %20'lik çevrim artışı belirlenmiştir. Elli bin çevrim yapması için tasarlanan normal reçeteli start stop akülerin, bu sayede altmış bin çevrim yapabilmesine olanak yaratılmıştır.

Soğutma marş basma güçleri kıyaslandığında ise tersine olarak %4'lük bir düşme görülmüştür. Start stop araçlar için marş basma gücünün %4 düşmesinde herhangi bir sakınca yoktur. Zira start stop araçların marş basma gücünden ziyade marş çevrimi sayısının daha fazla olmasına ihtiyacı bulunmaktadır. Aynı kapsamda düşük sıcaklıkta yüksek akıma maruz kalma testleri irdelendiğinde, %9'luk artışın olduğu görülmüştür. Daha düşük sıcaklıklarda daha yüksek voltaj ve akım verebilmesi ve bu sayede daha fazla marş yapabilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Su kaybı konusu irdelendiğinde ise %16'lık bir iyileşme gözlenmiştir. Bu sayede aküden su kaybı azaltılması ile akünün reaksiyon vermesi ve ömründe artış sağlanmıştır.

Şarj kabulü açısından incelendiğinde %10'luk artış belirlenmiştir. Ayrıca şarjı tutma açısından incelendiğinde ise %5'lik bir artış tespit edilmiştir. Bu açıdan kıyaslandığında ise R3 reçete ile üretilen akülerin şarj olabilmesi ve bu şarjı daha uzun süre koruyabilmesi

sağlanmıştır. Bu sayede araç hareket halinde iken akünün şarj-deşarj işlemlerinin daha verimli olması ve akünün ömründe artış yapılmıştır.

Özellikle derin deşarj döngüleri açısından incelendiğinde tasarımı yapılan R3 reçeteli ürünün çevrim sayısının iki katına kadar çıktığı gözlenmiştir. Bu sayede akünün sürekli olarak şarj ve deşarj yapması halinde bile ömrünün iki katına çıkabileceği belirlenmiştir. Start stop araçların aküleri, start stop yapabilme kabiliyeti zayıfladığında aracın trafikte durduktan sonra tekrar marş yapmasını sağlayamayacağı durumlar oluşabileceği için araçlar start stop özelliğini yazılımları yolu ile kapatmaktadır. Ancak derin deşarj çevrim sayısı açısından incelendiğinde, yoğun trafikte araçların sürekli olarak dur kalk yapmaları esnasında aracın start stop özelliğinin daha uzun yıllar boyunca aynı akü ile yapabilmesi ve bu start stop özelliğinin daha uzun süreli korunabileceği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada aküdeki aktif malzemeye eklenen kimyasalın etkileri üzerine yoğunlaşılmıştır. Ayrıca Türkiye ve Avrupa'da bulunmayan yeni bir proses ile tetrabazik sülfat kristallerinin yapısı ve miktarı arttırılması imkanı bulunmuştur. Aktif malzemeye daha farklı kimyasalların etkileri üzerine daha fazla çalışmalar yapılabilir. Ayrıca üretim prosesleri ve parametrelerinde daha fazla değişiklik yapılarak yeni çalışmalar yapılabilir.

# KAYNAKLAR


1. Dayton T.C and Edwards D.B. (2000). Improving the performance of a high power, lead–acid battery with paste additives, *Journal of Power Sources*, 85, 137–144.

2. McKinleya J.P., Dlaskaa M.K. and Batson R. (2002). Red lead: understanding red lead in leadacid batteries, *Journal of Power Sources*, 107, 180–186.

3. Fonseca N., Casanova J. and Valdes M. (2011). Influence of the stop/start system on $CO_2$ emissions of a diesel vehicle in urban traffic, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(2), 194-200.

4. Wua Y., Zhaoa R., Zhou H., Zhang D., Zhaoa W. And Chen H. (2016). Synthesis and application of a novel Cu/RGO@Pb alloy for lead-acid batteries**,** *Electrochimica Acta*, 222, 116–122.

5. Karimi M.A., Karami H. and Mahdipour M. (2006). Improved oxides for production of leadracid battery plates, *Journal of Power Sources*, 160, 1414–1419.

6. Boden D.P. (1998). Sodium sulfate as an efficient additive of negative paste for lead-acid batteries, *Journal of Power Sources*, 73, 56–59.

7. Yin J., Lina Z, Liua D., Wanga C., Lina H. and Zhanga W. (2019). Effect of polyvinyl alcohol/nano-carbon colloid on the electrochemical performance of negative plates of lead acid battery, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 832, 152-157.

8. Hirai N., Kubob S. and Magara K. (2009). Combined cyclic voltammetry and in situ electrochemical atomic force microscopy on lead electrode in sulfuric acid solution with or without lignosulfonate. *Journal of Power Sources*, 191, 97–102.

9. Pierson J.R. (2006). Control of vital chemical processes in the preparation of lead-acid battery active materials. *Journal of Power Sources*, 158, 868–873.

10. Hirai N., Tanaka T., Kubob S., Ikedab T., Magara K., Banc I. and Shiota M. (2006). Density and hardness of negative pastes of lead–acid batteries containing organic additives with or without quinone structure. *Journal of Power Sources*, 158, 1106–1109.

11. Sawai K., Funato T., Watanabe M., Wada H., Nakamura K., Shiomi M. and Osumia S. (2006). Development of additives in negative active-material to suppress sulfation during high-rate partial-state-of-charge operation of lead–acid batteries. *Journal of Power Sources*, 158, 1084–1090.

12. Li W.S., Long X.M., Yan J.H., Nana J.M., Chena H.Y. and Wu Y.M. (2006). Electrochemical behaviour of bismuth in sulfuric acid solution. *Journal of Power Sources*, 158, 1096–1101.

13. Li W.S., Chen H.Y., Long X.M., Wu F.H., Wu Y.M., Yan J.H. and Zhang C.R. (2006). Oxygen evolution reaction on lead–bismuth alloys in sulfuric acid solution. *Journal of Power Sources*, 158, 902–907.

14. Hirai N., Tanaka T., Kubo S., Ikeda T. and Magara K. (2006). Fundamental study of effect of quinone structures in the lignin preparations on negative electrode of lead-acid battery. *Journal of Power Sources*, 158, 846–850.

15. Pavlov D., Nikolov P. and Rogachev T. (2011). Influence of carbons on the structure of the negative active material of lead-acid batteries and on battery performance. *Journal of Power Sources*, 196, 5155–5167.

16. Petkova G., Nikolov P. and Pavlov D. (2006). Influence of polymer additive on the performance of lead-acid battery negative plates. *Journal of Power Sources*, 158, 841–845.

17. Chahmana N., Matrakova M., Zerroual L. and Pavlov D. (2009). Influence of some metal ions on the structure and properties of doped β-$PbO_2$. *Journal of Power Sources*, 191, 51–57.

18. Deyab M.A. (2018). Ionic liquid as an electrolyte additive for high performance lead-acid batteries, *Journal of Power Sources*, 390, 176–180.

19. Tabaatabaai S.M., Rahmanifar M.S., Mousavi S.A., Shekofteh S., Khonsari J., Oweisi A., Hejabi M., Tabrizi H., Shirzadi S. and Cheraghi B. (2006). Lead-acid batteries with foam grids, *Journal of Power Sources*, 158, 879–884.

20. Mukaitani I., Tsubakino H., Liub L., Yamamoto A. and Fukumoto A. (2006). Microstructural analysis of new lead–acid electrode alloys, *Journal of Power Sources*, 158, 897–901.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler


Soyadı, adı : EYDEMİR, Yıldırım
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 07.03.1985, İdil
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (541) 284 99 00
e-mail : y.eydemir@gmail.com




## Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuniyet Tarihi |
|---|---|---|
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği | Devam ediyor |
| Lisans | ODTÜ / Makine Mühendisliği | 2010 |
| Lise | Eskişehir Fatih Fen Lisesi | 2002 |

## İş Deneyimi

| Yıl | Yer | Görev |
|---|---|---|
| 2014-Halen | Abdulkadir Özcan Otomotiv Lastik San.Tic.A.Ş | AR-GE Müdürü |
| 2013-2014 | K.K.K.lığı Lojistik K.lığı Tedarik Daire Bşk. | Dış Tedarik Sb. |
| 2008-2012 | Kazaklar Makine Sanayi | Üretim Sorumlusu |

## Yabancı Dil

İngilizce

## Yayınlar

Eydemir Y. & Özdemir M.B. (2017). *Start-stop akülerin performansının ömrü boyunca korunması.* IMSTEC'17 2nd International Conference on Material Science and Technology Sempozyumu'nda sunulmuş bildiri, Nevşehir, Türkiye.

## Hobiler

Yüzme, Seyahat



*GAZİ GELECEKTİR..*