



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**LİTYUM İYON PİLLER İÇİN AYIRICI OLARAK
MAGNEZYUM BORAT TAKVİYELİ PVDF-HFP KOMPOZİT
MEMBRANIN ELEKTRO-EĞİRME YÖNTEMİ İLE
HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU**

Yüksek Lisans Tezi

Simge KARA

Danışman
Prof. Dr. Engin BURGAZ

SAMSUN
2023

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



**LİTYUM İYON PİLLER İÇİN AYIRICI OLARAK
MAGNEZYUM BORAT TAKVİYELİ PVDF-HFP KOMPOZİT
MEMBRANIN ELEKTRO-EĞİRME YÖNTEMİ İLE
HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU**

Yüksek Lisans Tezi

Simge KARA

Danışman

Prof. Dr. Engin BURGAZ

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.MUH.1904.22.020 proje numarası ile desteklenmiştir.

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Simge KARA tarafından, **Prof. Dr. Engin BURGAZ** danışmanlığında hazırlanan “**LİTYUM İYON PİLLER İÇİN AYIRICI OLARAK MAGNEZYUM BORAT TAKVİYELİ PVDF-HFP KOMPOZİT MEMBRANIN ELEKTRO-EĞİRME YÖNTEMİ İLE HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU** ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Doç. Dr. Bekir DIZMAN Sabancı Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Nano Mühendislik	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Üyesi Ömer ANDAÇ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kimya Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Engin BURGAZ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Bilimi Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

16 /08 / 2023
Simge KARA

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı LİTYUM İYON PİLLER İÇİN AYIRICI OLARAK
MAGNEZYUM BORAT TAKVİYELİ PVDF-HFP KOMPOZİT MEMBRANIN
ELEKTRO-EĞİRME YÖNTEMİ İLE HAZIRLANMASI VE
KARAKTERİZASYONU

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından tarihinde intihal
tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 10

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

16 /08 / 2023
Prof. Dr. Engin BURGAZ

ÖZET

LİTYUM İYON PİLLER İÇİN AYIRICI OLARAK MAGNEZYUM BORAT TAKVİYELİ PVDF-HFP KOMPOZİT MEMBRANIN ELEKTRO-EĞİRME YÖNTEMİ İLE HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

Simge KARA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Haziran/2023

Danışman: Prof. Dr. Engin BURGAZ

Ülkemizdeki bor kaynaklarının etkili bir şekilde kullanılması ve üretim teknolojilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada, bor bileşikleri arasında endüstriyel alanda kullanımı giderek artmakta olan bor ve magnezyum bileşikleri fiber formunda sentezlenmiş ve kompozit malzemelerde mekanik dayanımı arttıracak ön görülerek Magnezyum Borat takviyeli nanofiber-kompozit malzeme ile PVDF-HFP birleşiminin Lityum iyon pillerin seperatör yapımında kullanılmasıyla termal ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Magnezyum Borat ve PVDF-HFP kopolimeri kullanılarak fiber oluşumu için elektro-spinning yöntemi kullanılmıştır. DMF/Aseton çözücüsü içine saf PVDF-HFP'den oluşan, %2,5 Magnezyum %97,5 PVDF-HFP, %5 Magnezyum Borat %95 PVDF-HFP içeren 3 farklı film oluşturulmuştur. Farklı oranlarda hazırlanan PVDF-HFP/Magnezyum Borat çözeltilerinin fiber yapısında mekanik, morfolojik, kristallografik yapısı ve pil yapısındaki özelliklerini incelemek için Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM), X-ışını kırınımı(XRD) ve pil testlerine tabii tutulmuştur. SEM görüntüleri sonucunda DMF/Aseton içinde ağırlıkça %5'lik bir PVDF-HFP çözeltisinin içine Magnezyum Borat katkısı lif çapında artışa sebep olmuştur. Daha fazla bir oranda boncuklu lif yapısı oluşabileceği SEM görüntüsünde de belli belirsiz görülmektedir. Çözeltideki PVDF-HFP miktarını artırarak Magnezyum Borat katkısının azaltılması (ağırlıkça %2,5) viskoziteyi azaltarak, elektroegirme jetini stabilize eder ve boncuksuz nanolif oluşumununun %5lik konsantrasyona göre daha homojen bir yapının oluşmasına sebebiyet vermiştir. Saf PVDF-HFP'nin ağırlık yüzdesinin varlığı, nanoliflerin çapını azalttığı görülmüştür. Hazırlanan piller üzerinde CV (Döngüsel voltametri) testleri yapılarak pillerin indirgenme ve yükseltgenme pikleri belirlenmiştir. Saf LFP pilinin anodik ve katodik piklerinin keskin ve anodik yükseltgenme piki potansiyeli 3.7 V ve katodik indirgenme piki 3.1 V bulunmuştur.

PVDF-HFP pilinin anodik ve katodik piklerinin Saf LFP ye göre anodik yükseltgenme piki potansiyeli 3.9 V ve katodik indirgenme piki 2.95 V bulunmuştur. PVDF-HFP-2.5% pilinin, %2.5 Mg Borat eklenmesiyle anodik ve katodik piklerinin PVDF-HFP piline göre biraz daha keskin ve anodik yükseltgenme piki potansiyeli 3.8 V ve katodik indirgenme piki 3.0 V bulunmuştur. PVDF-HFP-5% pilinin, %5 Mg Borat eklenmesiyle anodik ve katodik piklerinin PVDF-HFP-2.5% piline göre biraz daha keskin ve anodik yükseltgenme piki potansiyeli 3.7 V ve katodik indirgenme piki 3.2 V bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: Seperatör, Katı elektrolitler, Lityum-iyon pil uygulamaları, Membran, Magnezyum Borat, Elektro-eğirme, PVDF-HFP



ABSTRACT

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF PVDF-HFP COMPOSITE MEMBRANE WITH MAGNESIUM BORATE REINFORCEMENT AS A SEPARATOR FOR LITHIUM ION BATTERIES BY ELECTROSPINNING METHOD

Simge KARA

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Metallurgical and Materials Engineering Programme

Master, June/2023

Supervisor: Prof. Dr. Engin BURGAZ

The effective utilization of boron resources in our country and the development of production technologies are of great importance. In this study, boron and magnesium compounds, which are increasingly used in industrial applications, were synthesized in fiber form, and it was anticipated that they would enhance the mechanical strength in composite materials. The aim was to improve the thermal and mechanical properties through the use of Magnesium Borate-reinforced nanofiber-composite material in combination with PVDF-HFP for the production of separators in Lithium-Ion batteries. 3 Different films consisting of pure PVDF-HFP, 2.5% Magnesium 97.5% PVDF-HFP, 5% Magnesium Borate 95% PVDF-HFP were formed into DMF/Acetone solvent. Scanning Electron Microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD) and battery tests were performed to examine the mechanical, morphological, crystallographic structure of PVDF-HFP/Magnesium Borate solutions prepared in different ratios in fiber structure and their properties in battery structure. As a result of SEM images, the addition of Magnesium Borate to a 5% PVDF-HFP solution by weight in DMF/Acetone caused an increase in fiber diameter. It is also vaguely seen in the SEM image that a beaded fiber structure can be formed to a greater extent. Reducing the Magnesium Borate additive by increasing the amount of PVDF-HFP in the solution (2.5% by weight) stabilizes the electroweak jet by reducing the viscosity and has led to the formation of a more homogeneous structure compared to the 5% concentration of bead-free nanofiber formation. The presence of the weight percentage of pure PVDF-HFP has been shown to reduce the diameter of nanofibers. CV (Cyclic voltammetry) tests were performed on the prepared batteries and the reduction and oxidation peaks of the batteries were determined.

Keywords: Separator, Solid electrolytes, Lithium-ion battery applications, Membrane, Magnesium Borate, Electro-spinning, PVDF-HFP



ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu Yüksek Lisans tez çalışması, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans çalışmamın tamamlanmasında emeği geçen birçok kişiye teşekkür etmek istiyorum. İlk olarak, tez danışmanım Prof. Dr. Engin BURGAZ' a bu çalışma sürecindeki rehberlikleri, destekleri ve değerli önerileri için derin teşekkürlerimi sunarım. Sizlerin yönlendirmeleri ve deneyimleri sayesinde çalışmamın kalitesini artırma fırsatı buldum.

Ayrıca, çalışmamın hazırlanmasında kaynak sağlayan, bilgi ve deneyimlerini paylaşan Mohammed ALSAMED başta olmak üzere Ar.Gör.Eyüp AKBULUT'a ve tüm Metalurji ve Malzeme Mühendisliği akademisyenlerine ve uzmanlarına teşekkür etmek istiyorum.

Tez süreci boyunca, Annem Mehtap Demir'e erkek kardeşim Borahan KARA'ya aldığım destek ve anlayış için minnettarım. Sizlerin moral desteği ve teşvikleri, bu zorlu süreci aşmamda büyük rol oynadı.

Son olarak, bu çalışmanın tamamlanmasında her adımda bana destek olan arkadaşlarım Hatice Melis URFALILAR ve Hande KARAMİLLİ'ye teşekkür etmek istiyorum. Sizlerin yardımları ve motivasyonu, bu süreci daha keyifli hale getirdi ve başarıya ulaşmamı sağladı.

Hepinize teşekkürlerimi sunarım.

Simge KARA

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI.....	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Elektro-Eğirme İşleminin Seperatör Yapımında Kullanılması	2
1.2. Poli(vinilden florür-ko-hekzafloropropilen).....	3
1.3. Magnezyum Nitrat.....	4
1.4. Borik Asit	5
1.5. Dimetilformamid	6
1.6. Aseton.....	7
2. MATERYAL VE YÖNTEM	9
2.1. Materyal.....	9
2.2. Elektro-eğirme Prosesi	10
2.3. Elektro-eğirme Çözeltisi Hazırlama	12
2.4. Karakterizasyon	16
2.4.1. SEM analizi	16
2.4.2. Pil testleri	17
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	19
3.1. Morfolojik Özellikler.....	19
3.2. Pil Özellikleri	24
4. SONUÇ	28
KAYNAKLAR	29
ÖZGEÇMİŞ.....	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

CV	: Döngüsel Voltametri
DC	: Doğru Akım
EIS	: Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
kV	: KiloVolt
LIB	: Lityum-İyon Batarya
PVDF-HFP	: Poli(viniliden florür- <i>ko</i> -hekzafloropropilen)
rpm	: Revolutions per Minute
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
V	: Volt
XRD	: X-ışını Kırınımı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. Li-iyon pil hücresindeki pil bileşenleri	1
Şekil 1. 2. PVdF ve PVdF-HFP polimerlerinin yapısı(Zeytuni,2014).....	3
Şekil 1. 3. Magnezyum Nitrat kimyasal yapısı	4
Şekil 1. 4. Borik asit kimyasal yapısı.....	5
Şekil 1. 5. N-N Dimetilformamid kimyasal yapısı	6
Şekil 1. 6. Aseton kimyasal yapısı	7
Şekil 2. 1. PVDF-HFP'nin kimyasal yapısı.....	9
Şekil 2. 2. Elektro-Eğirme cihazı.....	10
Şekil 2. 3. Elektro-eğirme sonrası oluşan PVDF-HFP.....	11
Şekil 2. 4. %5 $Mg_3(BO_3)_2$ –PVDF-HFP, %2,5 $Mg_3(BO_3)_2$ –PVDF-HFP.....	11
Şekil 2. 5. Magnezyum nitrat ($Mg(NO_3)_2$) ile sodyum hidroksit (NaOH).....	12
Şekil 2. 6. Damıtma işlemi.....	13
Şekil 2. 7. Vakumla Filtrasyon	14
Şekil 2. 8. Kül fırını öncesi numune, kül fırını sonrası numune	14
Şekil 2. 9. %2.5 ($Mg_3(BO_3)_2$) katkılı PVDF-HFP çözeltisi	15
Şekil 2. 10. Şematik Elektro-eğirme cihazı ve kullanılan seperatör çözeltisi gösterimi	15
Şekil 2. 11. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı	16
Şekil 2. 12. Toz kristal (XRD) cihazı.....	16
Şekil 2. 13. Cv test cihazı görüntüsü.....	17
Şekil 3. 1. Magnezyum Borat sentezi sonrası SEM görüntüleri	19
Şekil 3. 2. (a) %5, (b) %2,5 ($Mg_3(BO_3)_2$)-PVDF-HFP ve (c) PVDF-HFP x5 000 büyütme	19
Şekil 3. 3. . a-%2,5Magnezyum Borat katkılı PVDF-HFP seperatörünün SEM görüntüsü b-%2,5Magnezyum Borat katkılı PVDF-HFP seperatörünün SEM görüntüsü üzerine EDS görüntüsü	20
Şekil 3. 4. %2,5Magnezyum Borat katkılı PVDF-HFP seperatörünün fazlarının analiz görüntüsü	21
Şekil 3. 5. Adsorpsiyon sonrası %2,5 katkılı seperatöre ait pikleri veren EDS grafiği	22
Şekil 3. 6. a-%5Magnezyum Borat katkılı PVDF-HFP seperatörünün SEM görüntüsü b-%5Magnezyum Borat katkılı PVDF-HFP seperatörünün SEM görüntüsü üzerine EDS görüntüsü	22
Şekil 3. 7. %5Magnezyum Borat katkılı PVDF-HFP seperatörünün fazlarının analiz görüntüsü	23
Şekil 3. 8. Adsorpsiyon sonrası %5 katkılı seperatöre ait pikleri veren EDS grafiği	24
Şekil 3. 9. (a) Saf LFP, (b) PVDF-HFP, (c) PVDF-HFP%2.5 , (d) PVDF-HFP%5 Numunelerinin CV eğrileri	25
Şekil 3. 10. (a) Saf LFP, (b) PVDF-HFP, (c) PVDF-HFP%2.5 , (d) PVDF-HFP%5.....	26
Şekil 3. 11 (a) PVDF-HFP, (b) PVDF-HFP%2.5 , (c) PVDF-HFP%5 Numunelerinin voltaj-kapasite eğrileri.....	26
Şekil 3. 12. (a) PVDF-HFP, (b) PVDF-HFP%2.5 , (c) PVDF-HFP%5 Numunelerinin kapasite-döngü sayısı eğrileri.....	27

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 2. 1. Çözelti oranları	15
Tablo 3. 1. %2,5 Magnezyum Borat Katkılı PVDF-HFP Ayırıcı EDS Sonuçları	22
Tablo 3. 2. %5 Magnezyum Borat Katkılı PVDF-HFP Ayırıcı EDS Sonuçları	24

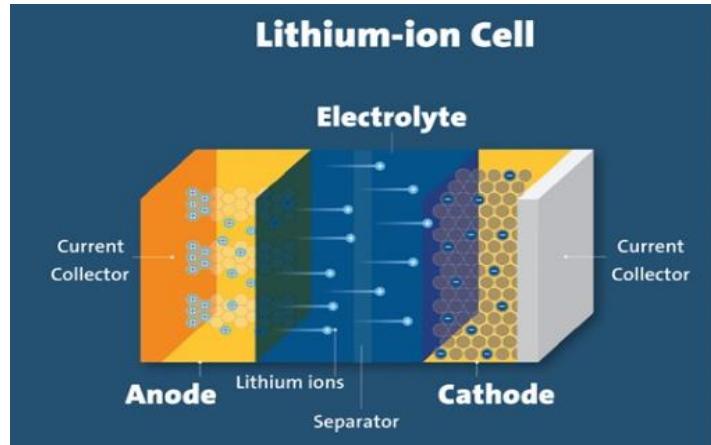


1. GİRİŞ

Lityum iyon pillerde, ayırıcı elektrokimyasal reaksiyonlarda yer almayan ancak pillerin güvenliğini ve elektrokimyasal özelliklerini doğrudan etkileyen kritik bir pil elemanıdır. Enerji yoğunluğuna yönelik daha yüksek talep ve pil sisteminin yükseltilmesiyle, ayırıcının çok fonksiyonlu hale getirilmesi, geleneksel işlevlerin gerçekleştirilmesi temelinde önemli bir gelişme sağlamaktadır. (Zhai, Liu, Shi & Yuan, 2021)

Şarj ve deşarj işlevi, elektrolit boyunca iki elektrot arasında salınan lityum iyonları tarafından sağlanır. Şarj işlemi sırasında, harici bir elektrik güç kaynağı, elektronları harici devre boyunca katottan anoda doğru bir akış izlerken, lityum iyonları elektrolit boyunca anoda geçiş sağlar. Pil boşalırken, elektronlar elektrik enerjisi üretmek için ters yönde hareket eder ve lityum iyonları anottan katoda geçişi gerçekleşir.

LIB'deki anahtar öğeler arasında katot, anot, elektrolit ve ayırıcı bulunur. Katot ve anot, pil şarjı ve deşarjı sırasında lityum iyonlarını alır ve ayırır. Bir membran ayırıcıya batırılmış elektrolit, lityum iyonlarının rezervuarı görevi görerek lityum iyonlarının iki elektrot arasında aktarılması ile gerçekleşir. Böylelikle, iki elektrot arasına yerleştirilen ayırıcı, pil reaksiyonlarında doğrudan yer almamakla birlikte, yine de pil performanslarında önemli bir rolü vardır. Bir LIB'de ayırıcı, iki temel işlev sağlar. Birinci işlevi, katot ile anot arasındaki doğrudan teması önlemektir, aksi takdirde pilde kısa devre oluşur. Çoğu ayırıcı iyonik olarak iletken değildir, bu nedenle ayırıcının ikinci işlevi, lityum iyonlarının taşınmasını sağlamak için önemli miktarda elektroliti ıslatmak ve tutmaktır. (Francis, Kyratzis & Best, 2020)



Şekil 1. 1. Li-iyon pil hücresindeki pil bileşenleri

Ayırıcılar, iyon piller gibi şarj edilebilir pillerde önemli elemanlardan biridir. Seperatörler, anot ve katotlar arasında boşluklar sağlar ve iyonların geçişine izin vererek elektronların geçişini engeller. Geleneksel olarak, iyon piller için polimer bazlı seperatörler kullanılmaktadır. Seramik polimer kompozit seperatörler, seramik ve polimer bileşenlerinin bir araya gelmesi ile oluşur. Seramik malzemele grupları, yüksek termal dayanıklılık, mekanik dayanıklılık ve kimyasal direnç gibi özellikleri barındırır. Polimer malzemeleri ise sıcaklığı, düşük ağırlığı tercih nedenlerinden büyük bir bölümünde seçim parametresi olarak öne geçmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, seramik kompozit seperatörler, hem seramiklerin hem de polimerlerin avantajlarını bir araya getirdikten sonra iyon piller için daha iyi performans sağlamaktadır.

Seramik polimer kompozit seperatörlerin elde ettiği sonuçlar:

1. Termal dayanıklılık: Seramik malzemelerin yüksek termal aşınması, iyon pillerinin yüksek oranda tüketilmesi önemli bir faktördür. Seramik polimer kompozit seperatörler, pillerin termal özelliklerini sürdürebilir ve aşırı ısınma durumlarında pilleri tamamlayıcı etki sağlayabilir.

2. Mekanik dayanıklılık: Seramik malzemelerin mekanik dayanıklılığı, seperatörlerin hasar mekanizmalarına karşı direnç sağlayacağı için pil ömrünü arttıracaktır.

3. Polimer malzemelerin çıkış iyonlarının geçişine izin vererek elektronların geçişini engelleyerek çalışma verimini arttıracaktır.

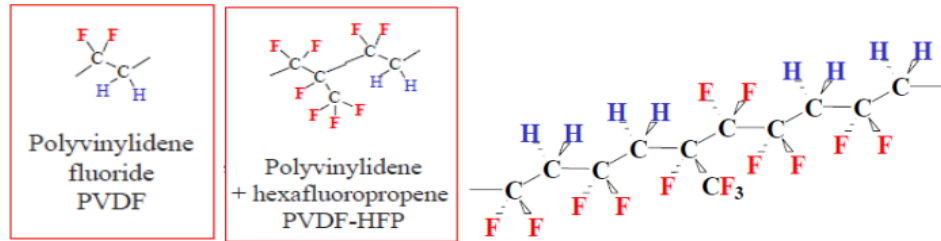
4. Elektrokimyasal performans: Seramik polimer kompozit seperatörler, çıkış iyonlarının geçişini sağlar ve pilin elektrokimyasal performansını iyileştirecek. Bu da pillerin daha yüksek enerji yoğunluğu ve daha hızlı şarj/deşarj özelliklerini arttıracaktır.

1.1. Elektro-Eğirme İşleminin Seperatör Yapımında Kullanılması

Elektro-spinning yöntemi, nanoliflerin testleri için kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde, bir polimer muhafaza veya eriyiği elektrik alan etkisi altında bir iğne ucu veya nozulden uygularken, elektrostatik kuvvetler nanoliflerin özelliklerini sağlar. Elektro-spinning yöntemi, seperatörlerin eşleştirilmesi de kullanılabilir. Elektro-spinning yöntemiyle üretilen seperatörler, nanoliflerin yüksek yüzey alanı ve gözenek yapısı sayesinde yayılan iyon pillerde iyi bir elektrokimyasal performans sağlayabilir.

Bu nanolifler, iyonların geçişini kolaylaştırırken, elektronların geçişini engelleyebilir. Ayrıca, elektro-spinning ile üretilen seperatörlerin mekanik dayanıklılığı ve termal stabilitesi de önemli avantajlardır. Elektro-spinning yöntemiyle üretilen seperatörlerin özellikleri, kullanılan polimer dağıtım seçimine, çökeltme toplama ve işleme parametrelerine bağlı olarak tanımlanır. Seperatörlerin gözenekleri, lif çapı, kalınlık ve yüzey morfolojisi gibi faktörler, elektro-spinning işlemi sırasında kontrol edilebilir. Elektro-spinning yöntemiyle üretilen seperatörlerin çıkışı iyon piller için potansiyel uygulamalar araştırılmaktadır. Bu seperatörlerin enerji tüketimini artırmak, şarj/deşarj işletme yapılandırma ve pilin çevrim ömrünü uzatma gibi uzatma özelliği bulunmaktadır. Ancak, elektro-spinning yöntemiyle üretilen seperatörlerin ticari açıdan uygulanabilirliği ve maliyet performansı gibi konuları hala araştırmak gerekiyor. Kaynaklar: Elektro-spinning yöntemiyle üretilen seperatörlerin çıkışı iyon piller için potansiyel uygulamalar araştırılmaktadır. Bu seperatörlerin enerji tüketimini artırmak, şarj/deşarj işletme yapılandırma ve pilin çevrim ömrünü uzatma gibi uzatma özelliği bulunmaktadır.

1.2. Poli(vinilden florür-ko-hekzafloropropilen)



Şekil 1. 2. PVdF ve PVdF-HFP polimerlerinin yapısı(Zeytuni,2014)

PVDF (Polyvinylidene fluoride) ve HFP (Hexafluoropropylene) polimerler, fluoropolimer ailelerine ait olan ve birçok endüstriyel yönetici kullanılan termoplastik malzemelerdir. PVDF ve HFP'nin birleşimi, çeşitli özellikler içeren bir kopolimerdir. PVDF, termal dayanıklılığa yüksek bir polimerdir. Geniş bir sıcaklık aralığı (-40 °C ila +150 °C) stabil olabilir. Ayrıca, PVDF, kimyasal direnci yüksek olan bir malzemedir. Asitlere, bazlara, organik çözücülere ve UV ışınlarına karşı dayanıklıdır. HFP, PVDF ile birleştirdiğinizde, polimerin mekanik özelliklerini taşır. HFP, PVDF'nin genişlemelerini ve sınırlarını darbeye dayanıklılığını arttırmaktadır. Ayrıca, HFP, PVDF'nin işlenebilirliğini ve dokuların daha kolay şekillendirilmesine yardımcı olmaktadır. PVDF + HFP kopolimeri, yüksek dielektrik ihtimali ve düşük dielektrik kaybı gibi havalandırma özelliğine sahiptir. Bu özelliği ile elektrik sarfiyat

ihtiyacını karşılamak için kullanılır. PVDF + HFP, yüksek yanmazlık özelliği gösterir ve düşük duman salınımı yapmaktadır. PVDF + HFP, yangın geciktirici özelliği sağlar.

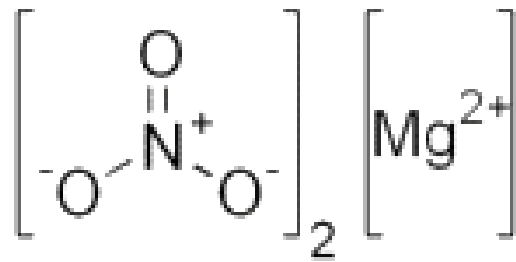
PVDF + HFP'nin genel özellikleri:

- Yüksek termal dayanıklılık
- Kimyasal direnç - Elektriksel koruma özellikleri
- İyi işlenebilirlik - Darbe dayanımı
- Yanmazlık ve düşük duman salınımı

Bu özellikler, PVDF + HFP'nin birçok endüstriyel koruma sağlar. Örneğin, elektrik kabloları, kaplamalar, membranlar, Poli(viniliden ko-hekzafloropropilen) (PVDF-HFP), lityum iyon piller de dahil olmak üzere farklı uygulamalarda kullanımı için kapsamlı ve çok yönlü bir polimerdir. PVDF-HFP, tekrarlanan CH₂-CF₂ monomer birimlerinden oluşan yarı kristalli bir polimer olup ve hekzafloropropilenin (HFP) eklenmesi durumunda, polimerde daha amorf alanlar oluşumu sergilenir. (Arsyad ve diğerleri, 2023).

PVDF-HFP, piezoelektriklik, piroelektriklik ve ferroelektriklik dahil olmak üzere yüksek esneklik ve iyi elektro-aktif tepki gibi arzu edilen özelliklere sahiptir (Arsyad ve diğerleri, 2023).

1.3. Magnezyum Nitrat



Şekil 1. 3. Magnezyum Nitrat kimyasal yapısı

Magnezyum nitrat (Mg(NO₃)₂) kimyasal bir bileşiktir ve birçok özelliği vardır:

1. Kimyasal Formül: Mg(NO₃)₂, yani bir magnezyum iyonu (Mg²⁺) ile iki nitrat iyonu (NO₃⁻) içeren bir bileşiktir.

2. Fiziksel Durum: Magnezyum nitrat, tipik olarak beyaz veya renksiz kristaller halinde bulunur. Ayrıca bu madde toz veya granül formunda da bulunabilir.

3. Çözünürlük: Magnezyum nitrat, su içinde iyi çözünür. Bu, suyla temas ettiğinde kolayca çözündüğü anlamına gelir.

4. Higroskopik Özellik: Magnezyum nitrat, nem çekme yeteneği olan higroskopik bir bileşiktir. Bu, nemli hava koşullarında su buharı çekme eğiliminde olduğu anlamına gelir.

5. Yakma Özellikleri: Magnezyum nitrat, ısıtıldığında termal ayrışma yoluyla ayrışır ve oksijen yayarak yanar. Bu özelliği, bazı piroteknik ve ateşle ilgili uygulamalarda kullanılmasına neden olur.

6. Endüstriyel Kullanım: Magnezyum nitrat, çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Örneğin, tekstil, cam ve seramik endüstrilerinde koruyucu bir madde olarak kullanılır.

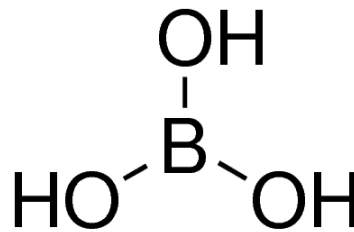
7. Gübre: Magnezyum nitrat, bitkiler için magnezyum ve nitrat iyonları sağlamak amacıyla gübre olarak kullanılabilir.

8. Kimyasal Analiz: Kimya laboratuvarlarında analitik kimya çalışmalarında ve deneylerde bir reaktif olarak kullanılır.

9. Toksisite: Magnezyum nitrat, insan sağlığına ciddi bir tehdit oluşturmaz, ancak aşırı maruz kalma veya yanlışlıkla yutma durumlarında zehirli olabilir. Bu tür durumlarla temas edildiğinde, tıbbi yardım gerekebilir.

Bu özellikler, magnezyum nitratin yaygın olarak kullanıldığı çeşitli endüstriyel, tarımsal ve laboratuvar uygulamalarını açıklar.

1.4. Borik Asit

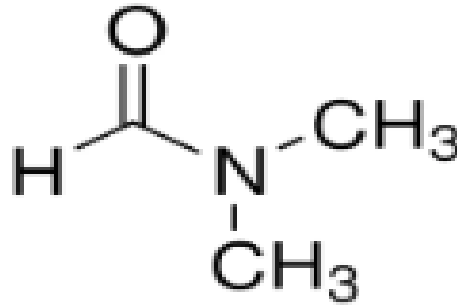


Şekil 1. 4. Borik asit kimyasal yapısı

Borik asit, borun oksijen alımının fazla olması nedeniyle borat olarak birçok bor-oksijen hücresinin temel bileşenidir (Kuru & Yarat, 2017).

Borik asit, (borasis asit ya da ortoborik asit olarak da adlandırılır) borun zayıf bir asididir. Kimyasal formülü H_3BO_3 (ya da $B(OH)_3$) şeklinde yazılır ve beyaz toz halinde suda çözünebilir formda bulunur. Borik asit kolemanit cevheri ile sülfürik asidin veya boraks ile bir mineral asidin reaksiyona girmesi ile elde edilir. Kolemanitin ($Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$) sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisinde tepkimesi sonucu borik asit (H_3BO_3) ve jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) oluşmaktadır. Jips kristalleri çöktürülür, borik asitin ise kristallendirme işlemi ile üretimi sağlanır. Borik asit yanmaya neden olan maddelerin tutuşma derecesini azaltmak için kullanılan borat bazlı alev geciktiricilerin temel formudur. Son yıllarda reçine bazlı ahşap kompozit levhalara alev geciktirici özellik kazandırmasından, kereste ve katı ahşap ürünlerde koruyucu madde olarak kullanılmasından dolayı önem kazanmaktadır. Disodyum oktaborat tetrahidratla birlikte ahşap kompozit malzemelerde, deniz, yat ve havacılık boyalarında alev geciktirici malzeme olarak kullanılabilir. Isı veya korozyona karşı direnç oluşturmak için ateş tuğlalarına ve harçlara eklenmektedir.

1.5. Dimetilformamid



Şekil 1. 5. N-N Dimetilformamid kimyasal yapısı

Dimetilformamid (DMF), kimyasal formülü $(CH_3)_2NC(O)H$ olan organik bir çözücüdür. DMF'nin çözücü özellikleri aşağıdaki gibidir:

Evrensel Çözücü: DMF, çok geniş bir yelpazedeki organik ve inorganik bileşikleri çözebilen evrensel bir çözücüdür. Organik bileşikler, tuzlar, asitler, bazlar ve metaller dahil olmak üzere birçok farklı maddeyi çözebilir.

Yüksek Çözünürlük: DMF, birçok bileşiği yüksek oranda çözebilen bir çözücüdür. Bu, çözünmesi zor olan maddelerin çözülmesini kolaylaştırır.

Polar Özellikler: DMF, polar bir çözücüdür. Yani, dipol-dipol etkileşimleri ve hidrojen bağları gibi polar etkileşimlere eğilimlidir. Bu nedenle, polar bileşikleri çözmek için iyi bir seçenektir.

İyi Karışabilirlik: DMF, birçok diğer çözücü ile iyi karışabilir. Bu, çeşitli reaksiyon ve uygulamalarda kullanılabilirliğini artırır.

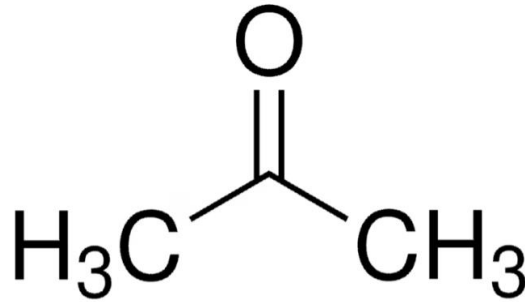
Yüksek Buhar Basıncı: DMF, yüksek buhar basıncına sahiptir, bu nedenle kapalı sistemlerde kullanırken dikkatli olunmalı ve iyi havalandırılmış alanlarda çalışılmalıdır.

Aşındırıcı Olabilir: DMF, ciltle teması tahriş edebilir ve ciltte kuruma yapabilir. Bu nedenle, DMF ile çalışırken uygun kişisel koruyucu ekipmanların kullanılması önerilir.

Yüksek Sıcaklık Stabilitesi: DMF, yüksek sıcaklıklarda kararlı bir şekilde kullanılabilir, bu da bazı yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilen bir çözücü yapar.

DMF, çeşitli kimya alanlarında, özellikle organik sentez, polimer üretimi ve farmasötik üretim gibi alanlarda kullanılır. Ancak, kullanımı sırasında güvenlik önlemlerine dikkat edilmelidir, çünkü bazı olumsuz sağlık etkilerine neden olabilir.

1.6. Aseton



Şekil 1. 6. Aseton kimyasal yapısı

Sigma-Aldrich firmasından temin edilen aseton >99,9% Saflıkta kullanılmıştır.

Aseton, kimyasal formülü CH_3COCH_3 olan bir keton türüdür ve kimyasal özellikleri aşağıda açıklanmıştır:

1. Kimyasal Formül: Aseton, karbon, hidrojen ve oksijen atomlarından oluşan CH_3COCH_3 formülüne sahiptir.

2. Polar Çözücü: Aseton, polar ve apolar bileşikleri iyi çözen bir çözücüdür. Su gibi polar maddelerle karışabilir ve organik çözücü olarak yaygın olarak kullanılır.

3. Uçuculuk: Aseton, oda sıcaklığında hızla buharlaşan uçucu bir sıvıdır. Bu özelliği, temizlik ve çözücü işlemlerinde faydalıdır.

4. Ateşleyici Özellik: Aseton, düşük yanma sıcaklığına sahiptir ve bu nedenle yanıcıdır. Bu nedenle açık alev veya ısı kaynaklarından uzakta saklanmalıdır.

5. Kararsızlık: Aseton, oksijenle temas ettiğinde yavaşça bozulabilir ve zamanla asetik aside dönüşebilir.

6. Asitlik: Aseton, hafif bir asidik karaktere sahiptir ve suyla temas ettiğinde zayıf bir asit olan hidrojen iyonları (H^+) serbest bırakabilir.

7. Kimyasal Reaktivite: Aseton, çeşitli kimyasal reaksiyonlara katılabilir. Özellikle aseton, organik sentezde, plastiklerin yapımında ve çözücü olarak kullanılır.

8. Metal İle Reaksiyonlar: Aseton, bazı metallerle temas ettiğinde oksidasyon tepkimelerine girebilir ve bazı metallerin yüzeyinde pas oluşturabilir.

9. Polymer Çözünürlüğü: Aseton, çeşitli plastiklerin (örneğin polistiren ve akrilonitril bütadien stiren) çözünmesine neden olabilir, bu nedenle bu tür plastiklerin temizliğinde ve yapımında kullanılır.

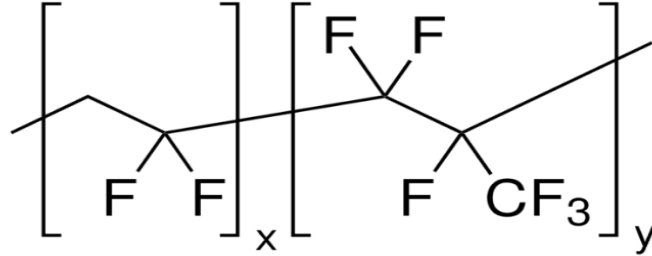
10. Kimyasal Analiz: Aseton, laboratuvarlarda analitik kimya çalışmalarında bir çözücü ve reaktif olarak kullanılır. Ayrıca birçok endüstriyel uygulamada temizleme, solvent ve reaksiyon ortamı olarak kullanılır.

%99.9 saflıkta aseton, oldukça yüksek bir saflık derecesine sahip bir aseton örneğini ifade eder. Bu, asetonun büyük ölçüde saf olduğu ve diğer türlerin veya kontaminasyonların çok az miktarda bulunduğu anlamına gelir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

PVDF-HFP (ortalama $M_n \sim 110.000$ - $M_w \sim 455.000$ gr/mol) Sigma Aldrich firması tarafından temin edildi.



Şekil 2. 1. PVDF-HFP'nin kıyasal yapısı

Magnezyum Borat laboratuvar ortamında sentezlenmiştir. Sentezlenen Magnezyum Borat damıtma işlemi ve sonrasında vakum filtrasyon yöntemiyle ayırma prosesinin prensipleri uygulanarak oluşturulmuştur.

Ticari seperatör (Celgard) olarak bilinen pil "Kontrol " olarak grafiklerde seperatör kıyaslaması performans kıyaslaması için kullanılmıştır. Ticari bir seperatör olan Celgard, lityum demir fosfat (LiFePO4 veya LFP) bataryalarında kullanılan bir bileşendir. LFP bataryaları, enerji depolama, taşınabilir elektronik cihazlar, elektrikli araçlar ve daha birçok uygulama için yaygın olarak kullanılır. Celgard gibi seperatörler, bu bataryaların performansını ve güvenliğini artırmak için kullanılır.

Celgard, ince bir polimer membran veya film olarak tasarlanmış bir malzemedir ve batarya hücrelerinde katot ve anot arasında bulunan elektriksel olarak yalıtılmış bir bölme oluşturur. Bu seperatör, lityum iyonlarının katottan anota ve tersine hareket etmesine izin verirken, elektriksel olarak bir kısa devre oluşmasını önler. Ayrıca Celgard ve benzeri seperatörler batarya içindeki elektrolitin (lityum tuz çözeltisi) dağılmasını engeller, bu da bataryanın güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar.

Celgard, yüksek termal dayanıklılık ve kimyasal dirence sahiptir, bu nedenle LFP bataryaların güvenli bir şekilde çalışmasını destekler. Bu tür seperatörler, bataryaların aşırı ısınma veya yangın gibi tehlikeli durumları önlemeye yardımcı olabilir.

Sonuç olarak, Celgard gibi ticari seperatörler, LFP bataryalarının performansını artırmak ve güvenliğini sağlamak için önemli bir bileşen olarak kullanılır. Bu seperatörler, lityum iyon bataryalarının genel olarak yaygın kullanıldığı birçok uygulamada bulunur.

Yapılan çalışmada tüm pil numunelerinde Saf LiFePO₄ katot kullanılmıştır.

2.2. Elektro-eğirme Prosesi

INOVENSO-NE200 tipi elektro-eğirme cihazı kullanıldı. Tek nozullu, laboratuvar ölçekli elektro eğirme ünitesi 0-40 kV arası DC voltaj uygulamasına sahip ve Alüminyum toparlayıcı bir silindire sahiptir.



Şekil 2. 2. Elektro-Eğirme cihazı

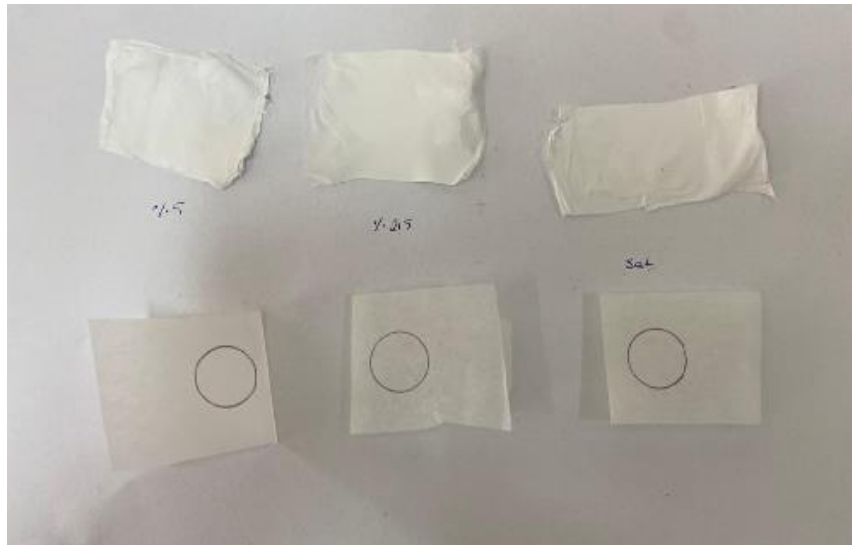
PVDF-HFP, PVDF-HFP/Magnezyum Borat numuneleri üretilirken şırıngadan sisteme 1-1,25 ml/s besleme debisinde çözeltiler aktarılmıştır. Toplayıcı silindirin yüzeyi Alüminyum folyo ile kaplanmış ve silindirin hızı 240 rpm olarak ayarlanmıştır. Polimerin püskürtüldüğü tip ve alüminyum toplayıcı levha arasındaki mesafe 15 cm olarak başlatılmış.

Magnezyum Borat miktarı arttıkça bu mesafe 12 cm'ye kadar düşürülmüştür. Potansiyel fark oluşturmak için uygulanan DC akım 15 kV ile başlatılmış Magnezyum

Borat miktarının artmasıyla birlikte 18 kV'a getirilmiştir. Lifler bittikten sonra Alüminyum folyo ile birlikte vakumlu fırına alınmış ve 12 saat bekletilmiştir.



Şekil 2. 3. Elektro-eğirme sonrası oluşan PVDF-HFP



Şekil 2. 4. %5 $Mg_3(BO_3)_2$ -PVDF-HFP, %2,5 $Mg_3(BO_3)_2$ -PVDF-HFP

Boyutlandırma işleminden sonra GloveBox içerisinde pil yapımı gerçekleşen numunelerin öncelikle SEM görüntüleri alınarak pil uygunluğu için morfolojik yapısı, takviye malzemesinin dağılımı ile ilgili gerekli bilgiler alınmıştır.

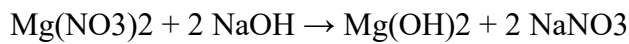
2.3. Elektro-Eğirme Çözeltisi Hazırlama

Magnezyum Borat ($Mg_3(BO_3)_2$) yapısının sentezi için, $MgNH_3$ (Magnezyum amonyak) ile NaOH (Sodyum hidroksit) 200ml içinde çözüldü.



Şekil 2. 5. Magnezyum nitrat ($Mg(NO_3)_2$) ile sodyum hidroksit (NaOH)

Magnezyum nitrat ($Mg(NO_3)_2$) ile sodyum hidroksit (NaOH) arasındaki reaksiyon aşağıdaki gibi denkleştirilebilir:

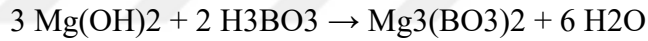


Bu denklemde, magnezyum nitrat ve sodyum hidroksit reaksiyonla magnezyum hidroksit ve sodyum nitrat oluşturur. Bu bir çift değişim reaksiyonudur ve ürünler çözünürlerdir. Magnezyum hidroksit çözeltisi genellikle beyaz bir çözelti olarak oluşur.



Şekil 2. 6. Damıtma işlemi

Borik asit (H_3BO_3) ile magnezyum nitrat ($Mg(NO_3)_2$) ve sodyum hidroksit ($NaOH$) ile oluşturulan magnezyum hidroksit ($Mg(OH)_2$) ve sodyum nitrat ($NaNO_3$) arasında bir tepkime sonucu magnezyum borat ($Mg_3(BO_3)_2$) elde edebilirsiniz. Bu tepkime şu şekilde gösterilebilir:



Bu denklemde, magnezyum hidroksit ve borik asit reaksiyonla magnezyum borat ve su oluşturur. Bu, magnezyum hidroksit ve borik asidin çözeltisini birleştirerek magnezyum boratın olduğu bir çift değişim reaksiyonudur.

Bu tepkimeyi gerçekleştirmek için, önce magnezyum nitrat ve sodyum hidroksit ile magnezyum hidroksit ve sodyum nitrat oluşturuldu. Ardından, bu çözeltiyi borik asitle karıştırarak magnezyum borat oluşumunu başlattık.



Şekil 2. 7. Vakumla Filtrasyon

Filtre kağıdında kalan ürünler yaklaşık 65 ° C'de vakum fırında kurutuldu. Kalıntılar daha sonra bir alümina potasına aktarıldı ve kül fırınında 900 ° C'de 3 saat kalsine edilir. Bu son işlem O-H bağlarını kırmak için yapıldı ve (Mg₃(BO₃)₂) yapısını elde edildi.



Şekil 2. 8. Kül fırını öncesi numune, kül fırını sonrası numune

Saf PVDF-HFP ile yapacağımız numune DMF/Aseton çözücülerinden oluşan çözelti oluşumu için eklenerek 500rpm'de manyetik karıştırıcıda 24 saat manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. PVDF-HFP , %2,5 ve %5 oranında yapacağımız (Mg₃(BO₃)₂) katkılı numune DMF/Aseton çözücülerinden oluşan çözelti oluşumu için eklenerek 500rpm'de manyetik karıştırıcıda 24 saat manyetik karıştırıcı ile karıştırılır. Sonrasında (Mg₃(BO₃)₂) katkısını PVDF-HFP ile oluşan çözeltiye eklenmeden önce ultrasonik banyoda DMF ile homojen bir dağılım sağlamak ve çözelti içerisinde bu homojenliğini devam ettirmek için 25 dakika ultrasonik banyo,

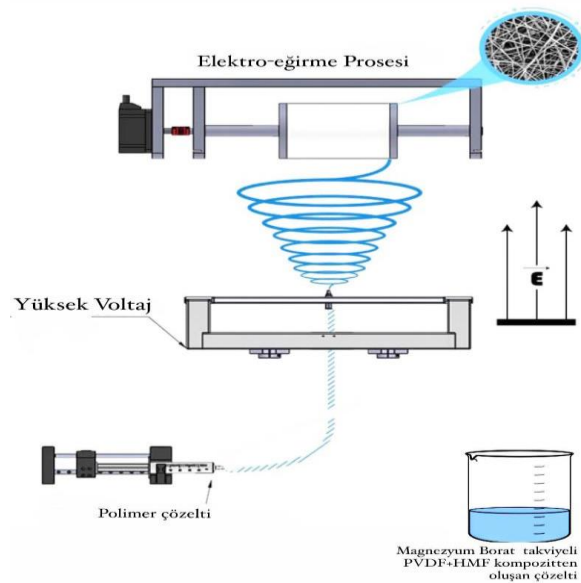
25 dakika manyetik karıştırıcı sonrası PVDF-HFP DMF/Aseton karışımına eklenip tekrar aynı işlemler birer kez tekrar edilir. Ardından manyetik karıştırıcının üzerinde yeniden 1 saat daha karıştırılarak çözünmesi sağlandı. İstenilen kalınlığa göre kullanılması gereken katı miktarı hesaplandı ve çözeltiler buna bağlı olarak Tablo 1’de belirtilen oranlarda olacak şekilde hazırlandı.



Şekil 2. 9. %2.5 ($Mg_3(BO_3)_2$) katkılı PVDF-HFP çözeltisi

Tablo 2. 1. Çözelti oranları

PVDF-HFP	%100	%97,5	%95
Magnezyum Borat	-	%2,5	%5
DMF	7ml	7ml	7ml
Aseton	3ml	3ml	3ml



Şekil 2. 10. Şematik Elektro-eğirme cihazı ve kullanılan seperatör çözeltisi gösterimi

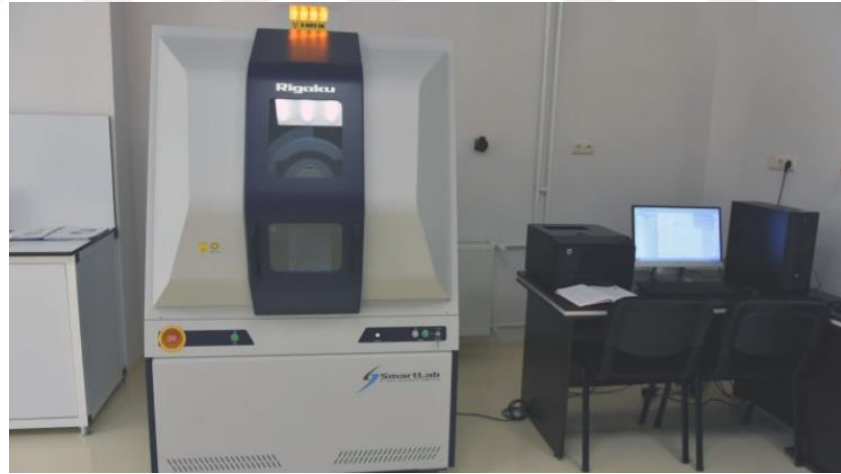
2.4. Karakterizasyon

2.4.1. SEM analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) / Enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi (EDS) SEM deneyleri, EDS ile donatılmış bir JEOL-JSM-7001F kullanılarak gerçekleştirildi. EDS Oxford Instruments ile yapılan deneylerde SE dedektörü, HV modu ve 5–15 kV hızlandırma voltajları kullanıldı.



Şekil 2. 11. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı



Şekil 2. 12. Toz kristal (XRD) cihazı

Rigaku Smart Lab X-ışını Difraktometresi çok amaçlı bölümleri ile hizmet vermektedir. Cihaz bakır hedefli X-ışını tüpüne ve tüpteki ani sıcaklık değişimlerini kontrol eden su soğutucusu bulunmaktadır. Cihazda monokromatize X-ışını elde edilmesini sağlayan yüksek çözünürlükte Grafit Monokromatör vardır. Cihazında bulunan çapraz ışın optik mekanizması (CBO) yeni bir ayar ve düzenleme yapılmaksızın odak ya da paralel ışın geometrisinde çalışabilme imkanı sağlamaktadır.

“Bragg-Brentano odak ışın geometrisi” yöntemi ile iyi kristallenmiş ve düzgün yüzeyli numunelerin oldukça güçlü kırınım bantları teminine karşın; yüzeyi pürüzlü zayıf kristallenmiş örneklerin ve özellikle ince filmlerin faz tanımlamalarında “Paralel odak ışın geometrisi” işlemektedir. Ayrıca değişik kalınlıklardaki ince filmlerden standart $\Theta/2\Theta$ ($2\Theta=2-90^\circ$ aralığında) tarama yöntemiyle genellikle zayıf bir sinyal alınmasına karşın 2Θ tarama yöntemi ve sabit bir grazing açısı (GIXD-minimum 0.1°) ile daha güçlü bir sinyal eldesi mümkündür. Yöntem ile yapmış olduğumuz filmlerin hassas ölçümleri alınmıştır.

2.4.2. Pil Testleri



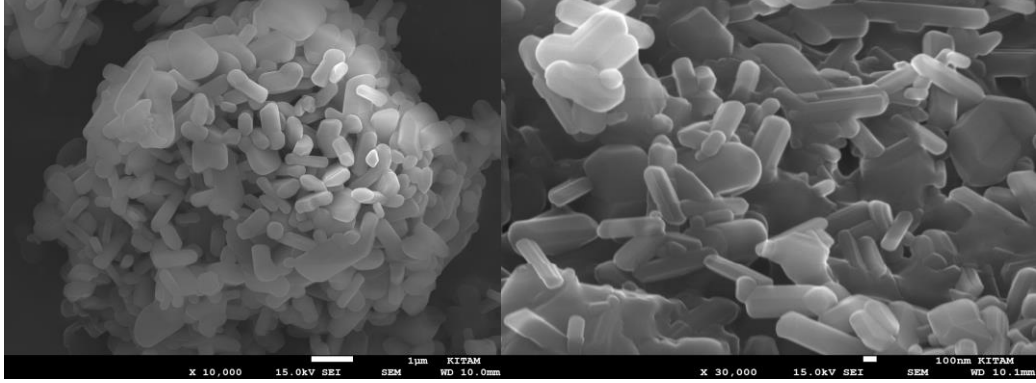
Şekil 2. 13. Cv test cihazı görüntüsü

CV (Döngüsel voltametri) cihazı, elektrokimyasal analizlerde kullanılmaktadır. Bu cihaz, elektrotlar arasında koruyucu redoks sıcaklıklarını denetleme ve elektrokimyasal özelliklerini belirlemek için kullanılır. Döngüsel voltametri, elektrotların zamana karşı geçişlerini ölçerek elektrokimyasal süreçlerin kinetiği ile ilgilenir. CV cihazı, sistem üç elektrottan ibarettir: çalışma elektrodu, referans elektrodu ve karşı elektrodu. Elektrotlar, elektrokimyasal hücre içindeki modelleri korunmasıdır amacı. Cihaz, elektrotları kontrol ederek ve akım ölçerek elektrokimyasal tepkilerin koruyucu elektrot kısımlarını gözlemler. (Hasar & Taşkan, 2021)

Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS), elektrokimyasal sistemlerin karakterizasyonunda uygulanan bir tekniktir. Bu teknik, elektrokimyasal hücrelerin empedansının frekans aralığı ölçümünü yapmaktadır. EIS, elektrokimyasal sonuçların kinetiği, elektrot yüzeylerinin özellikleri ve elektrokimyasal hücrelerin performansı gibi birçok bilgi vermektedir. EIS, küçük bir alternatif akım sinyali sinyalleri elektrokimyasal hücrelerin empedansına karşılık gelen gerilim ve akım değerleri ölçülür. Farklı frekanslarda yoğunlaşma ve elde edilen değerler, bir empedans spektrumu olarak grafiksel olarak görünür. Bu spektrum, elektrokimyasal hücrelerin empedansının frekansına bağlı olarak nasıl geleceğini gösterir. EIS, birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. EIS'nin özellikleri arasında, non-invaziv olması, hızlı ve hassas sonuç vermesi, elektrokimyasal hücrelerin gerçek cihazlarında kullanıma sunduğu özellikler ve elektrokimyasal tepkilerin kinetiği ve oranları hakkında bilgi sunucuları barındırıyor. Bu nedenle, elektrokimyasal empedans spektroskopisi, elektrokimyasal muayenelerde ve endüstriyel malzemelerde önemli bir araçtır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

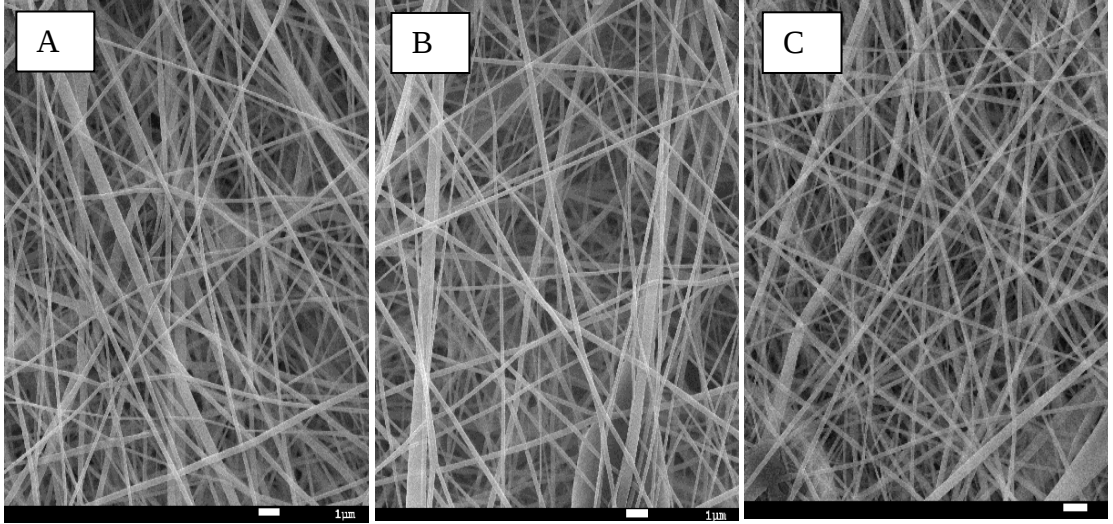
3.1. Morfolojik Özellikler



Şekil 3. 1. Magnezyum Borat sentezi sonrası SEM görüntüleri

a-X10 000 Büyütme b- X30 000 Büyütme görüntüsü

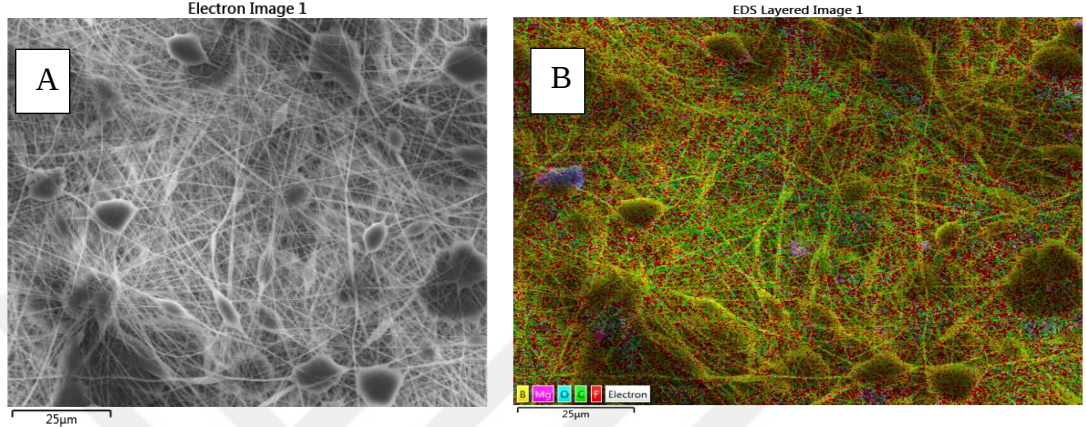
Magnezyum Borat sentezi sonrası oluşan morfolojik yapı kontrol ve dağılımı hakkında bilgi almak adına SEM görüntüleri alınmış ilgili görselleri Şekil 3-1’de verilmiştir. (X10 000 ve X30 000 büyütmedeki görüntüleri)Sentezlenen Magnezyum Borat’ın tane şekilleri, boyutları, kristal yapı ve yönelimi hakkında bilgi sahibi olabiliriz



Şekil 3. 2. (a) %5, (b) %2,5 (Mg₃(BO₃)₂)-PVDF-HFP ve (c) PVDF-HFP x5 000 büyütme

DMF/Aseton içinde ağırlıkça %5’lik bir PVDF-HFP çözeltisinin içine Magnezyum Borat katkısı lif çapında artışa sebep olmuştur. Daha fazla bir oranda boncuklu lif yapısı oluşabileceği SEM görüntüsünde de belli belirsiz görülmektedir.

Çözeltideki PVDF-HFP miktarını artırarak Magnezyum Borat katkısının azaltılması (ağırlıkça %2,5) viskoziteyi azaltarak, elektroçirme jetini stabilize eder ve boncuksuz nanolif oluşumununun %5lik konsantrasyona göre daha homojen bir yapının oluşmasına sebebiyet vermiştir. Saf PVDF-HFP'nin ağırlık yüzdesinin varlığı, nanoliflerin çapını azaltmıştır.



Şekil 3. 3. . a-%2,5Magnezyum Borat katkılı PVDF-HFP seperatörünün SEM görüntüsü b-%2,5Magnezyum Borat katkılı PVDF-HFP seperatörünün SEM görüntüsü üzerine EDS görüntüsü

SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) ve EDS (Enerji Dağılım Spektroskopisi) analizi, numunenin mikro yapısını ve bileşimini karakterize etmek için kullanılır. SEM görüntüleri, numunenin yüzey morfolojisini ve yapısal özelliklerini gösterirken, EDS sonuç grafikleri, numunenin içindeki elementlerin kimyasal bileşimini gösterir. İşte SEM EDS sonuç grafiklerinin ne anlattığına dair bilgiler:

1. Elementel Bileşim: EDS sonuçları, numune içinde hangi elementlerin bulunduğunu belirler. Her bir elementin varlığı, grafikteki zirveler veya pikler ile temsil edilir. Bu, numunenin hangi kimyasal elementlerden oluştuğunu gösterir.

2. Element Dağılımı: EDS, numune yüzeyindeki veya içindeki elementlerin dağılımını gösterir. Bu, bir numunenin farklı bölgelerinde hangi elementlerin yoğun olduğunu veya hangi bölgelerde az olduğunu belirlemenize yardımcı olur.

3. Relatif Yoğunluk: EDS grafikleri, her bir elementin varlığının veya yoğunluğunun, diğer elementlere göre ne kadar fazla veya az olduğunu gösterir. Bu, numunenin bileşimini daha ayrıntılı bir şekilde anlamaya yardımcı olabilir.

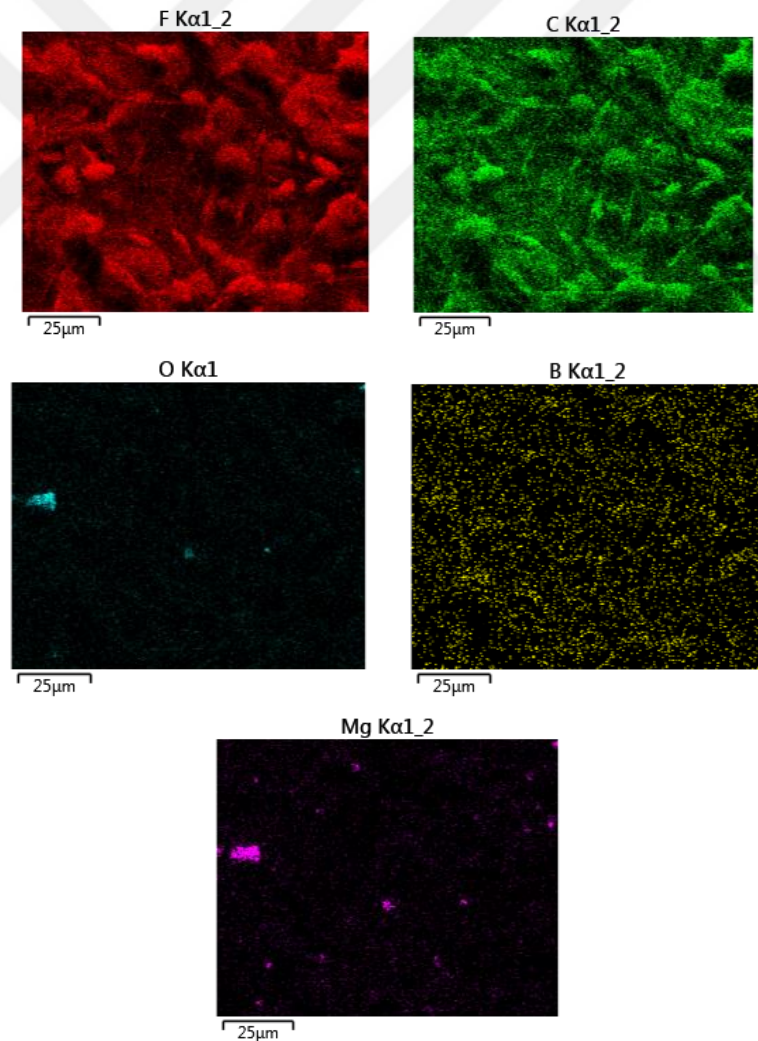
4. Kimyasal Değişiklikler: EDS analizi, kimyasal reaksiyonların veya değişikliklerin izlerini sürmenize yardımcı olabilir. Özellikle katı numunelerin yüzeylerindeki kimyasal reaksiyonlar veya kaplamaları belirlemek için kullanılır.

5. Kontaminasyon: EDS sonuçları, numunenin istenmeyen kontaminasyonlarını veya yabancı maddelerini tespit etmek için kullanılabilir. Bu, numunenin temizliği ve saflığı hakkında bilgi sağlar.

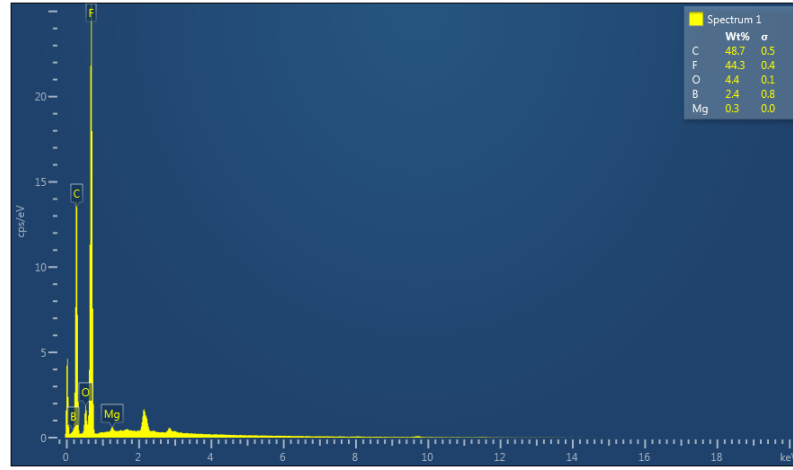
6. Mineraloji: EDS, minerallerin bileşimini ve dağılımını belirlemek için kullanılır. Jeolojik örneklerin analizinde veya malzeme bilimi uygulamalarında mineral bileşimini incelemek için kullanışlıdır.

7. Kimyasal Analiz: EDS sonuçları, kimyasal analizler için temel bilgiler sunar ve bir numunenin kimyasal bileşimini belirlemek için kullanılır.

Sonuç olarak, SEM EDS sonuç grafikleri, bir numunenin bileşimini ve elementel dağılımını karakterize etmek için önemli bir araçtır. Bu sonuçlar, birçok farklı bilim alanında ve endüstriyel uygulamada kullanılır ve numunenin özelliklerini anlamak ve değerlendirmek için kritik bir rol oynar.



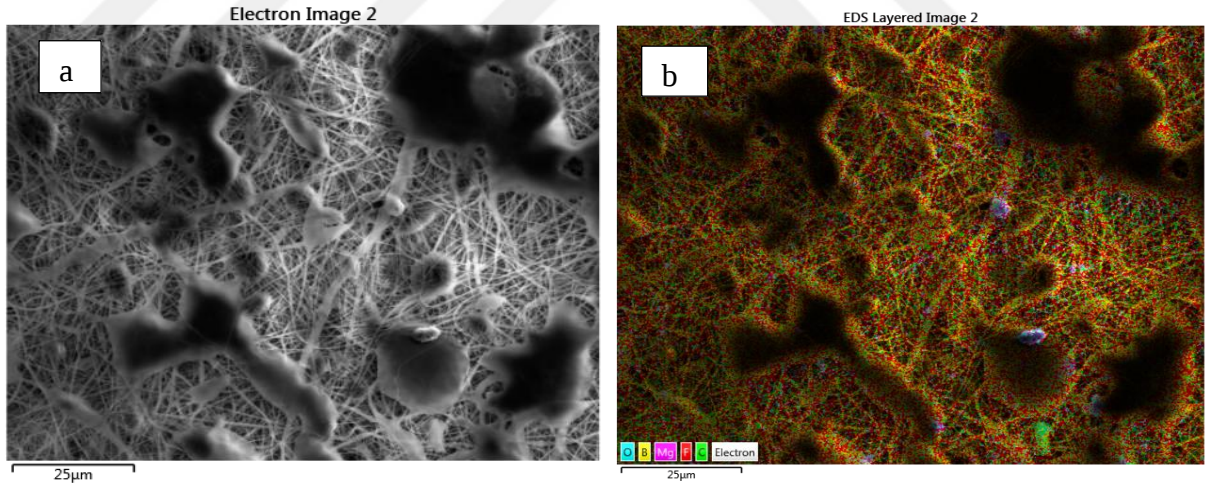
Şekil 3. 4. %2,5Magnezyum Borat katkılı PVDF-HFP seperatörünün fazlarının analiz görüntüsü



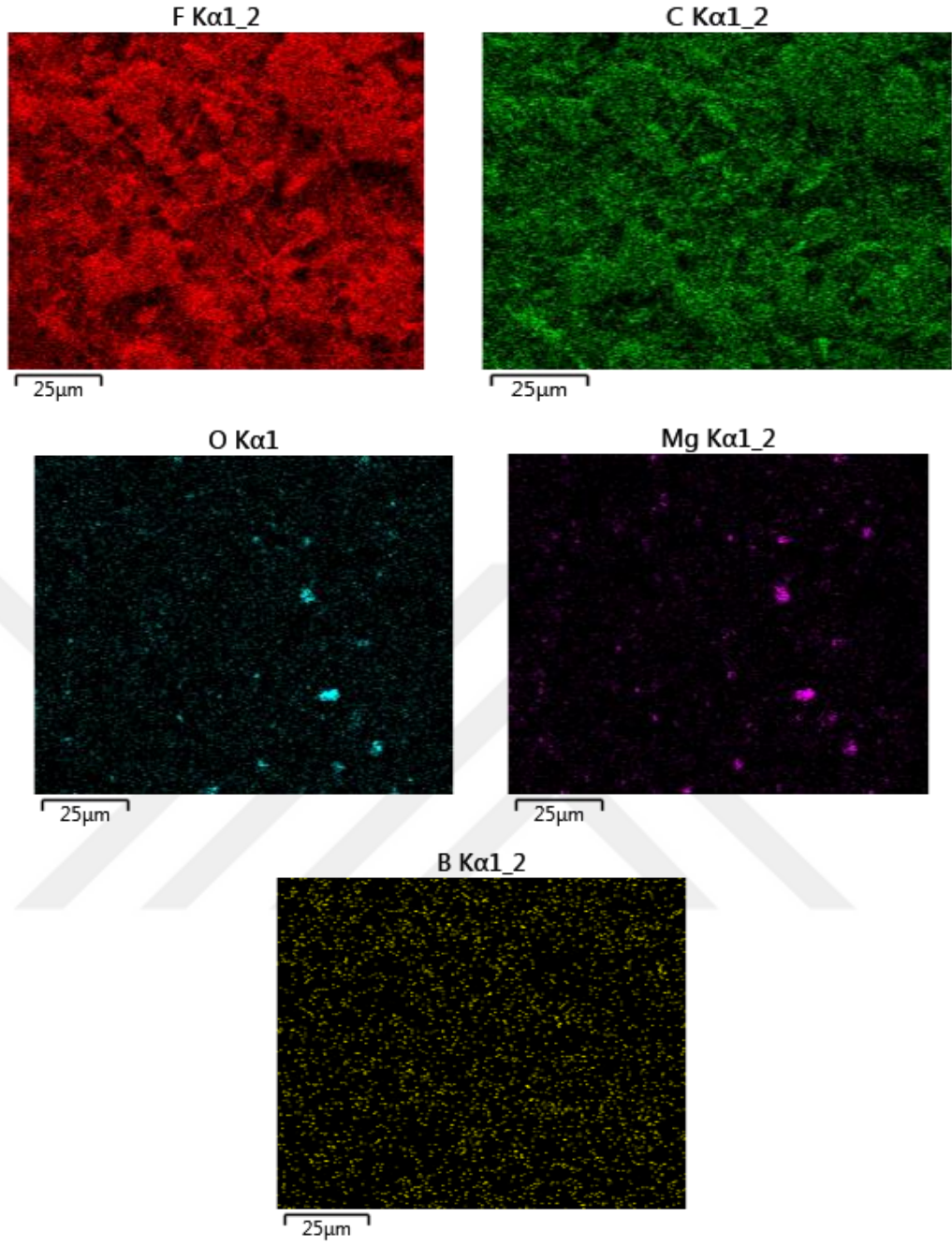
Şekil 3. 5. Adsorpsiyon sonrası %2,5 katkılı seperatöre ait pikleri veren EDS grafiği

Tablo 3. 1. %2,5 Magnezyum Borat Katkılı PVDF-HFP Ayırıcı EDS Sonuçları

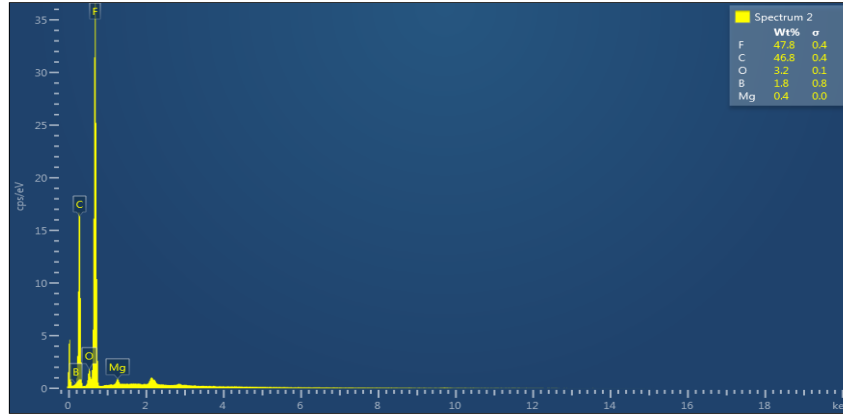
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
B	K series	0.39	0.00157	2.39	0.80	BN
C	K series	5.57	0.05573	48.69	0.46	C Vit
O	K series	1.03	0.00348	4.37	0.13	SiO2
F	K series	27.38	0.05376	44.29	0.42	CaF2
Mg	K series	0.07	0.00049	0.25	0.03	MgO
Total:				100.00		



Şekil 3. 6. a-%5Magnezyum Borat katkılı PVDF-HFP seperatörünün SEM görüntüsü
b-%5Magnezyum Borat katkılı PVDF-HFP seperatörünün SEM görüntüsü üzerine EDS görüntüsü



Şekil 3. 7. %5Magnezyum Borat katkılı PVDF-HFP seperatörünün fazlarının analiz görüntüsü



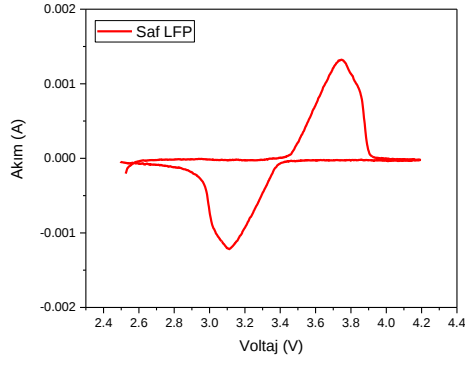
Şekil 3. 8. Adsorpsiyon sonrası %5 katkılı seperatöre ait pikleri veren EDS grafiği

Tablo 3. 2. %5 Magnezyum Borat Katkılı PVDF-HFP Ayırıcı EDS Sonuçları

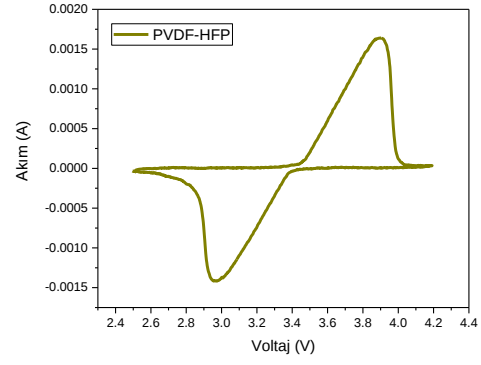
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
B	K series	0.36	0.00145	1.84	0.75	BN
C	K series	6.72	0.06718	46.77	0.42	C Vit
O	K series	0.98	0.00330	3.18	0.11	SiO2
F	K series	39.20	0.07697	47.82	0.42	CaF2
Mg	K series	0.14	0.00091	0.38	0.03	MgO
Total:				100.00		

3.2. Pil Özellikleri

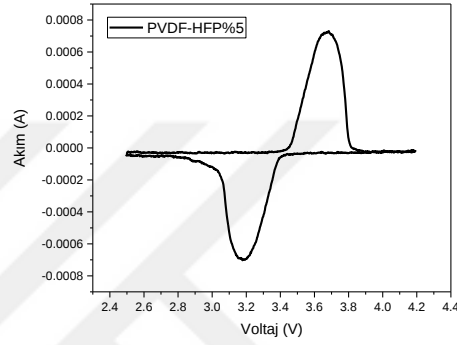
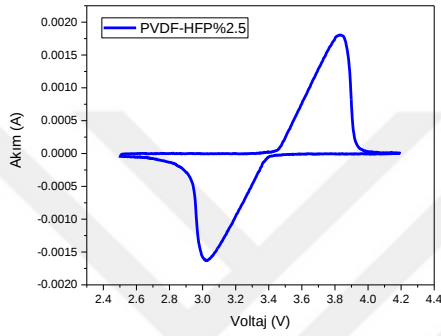
Şekil 3.9’de sırasıyla (a) Saf LFP, (b) PVDF-HFP, (c) PVDF-HFP%2.5 , (d) PVDF-HFP%5 Numunelerinin CV eğrileri gösterilmiştir. Bu CV eğrileri kendi arasında kıyaslandığı vakit katod indirgenme pik voltajı ile anot yükseltgenme pik voltajının sayısal değerinin birbirine yakın veya uzak oluşu pilin elektrokimyasal performansı hakkında bize bilgi verebilir. Burada aynı zamanda indirgenme ve yükseltgenme eğrilerinin keskin olması da aynı zamanda pil elektrokimyasal performansının ne kadar iyi olduğuna dair bize bilgi verir. Saf LFP pilinin anodik ve katodik piklerinin keskin ve anodik yükseltgenme piki potansiyeli 3.7 V ve katodik indirgenme piki 3.1 V dur. PVDF-HFP pilinin anodik ve katodik piklerinin Saf LFP ye göre biraz daha az keskin ve anodik yükseltgenme piki potansiyeli 3.9 V ve katodik indirgenme piki 2.95 V dur. PVDF-HFP-2.5% pilinin, %2.5 Mg Borat eklenmesiyle anodik ve katodik piklerinin PVDF-HFP piline göre biraz daha keskin ve anodik yükseltgenme piki potansiyeli 3.8 V ve katodik indirgenme piki 3.0 V dur. PVDF-HFP-5% pilinin, %5 Mg Borat eklenmesiyle anodik ve katodik piklerinin PVDF-HFP-2.5% piline göre biraz daha keskin ve anodik yükseltgenme piki potansiyeli 3.7 V ve katodik indirgenme piki 3.2 V dur. Bu sonuçlar göstermektedir ki , PVDF-HFP seperatör malzemesine Mg Borat eklenmesi pilin elektrokimyasal performansının etmiş olduğu görülmüştür.



(a)

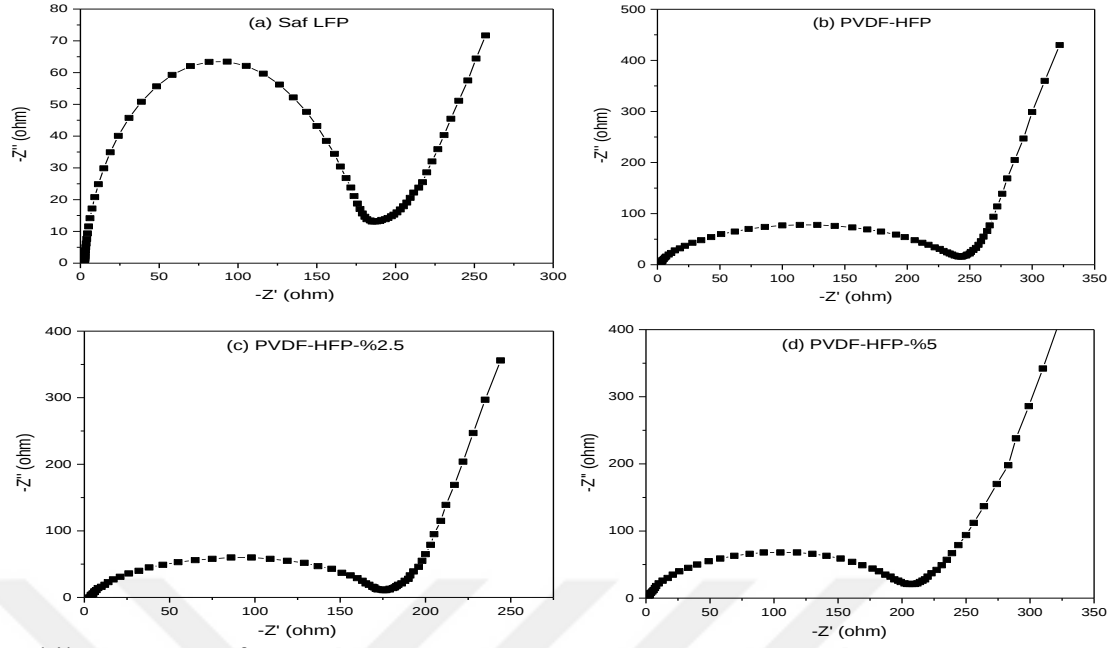


(b)



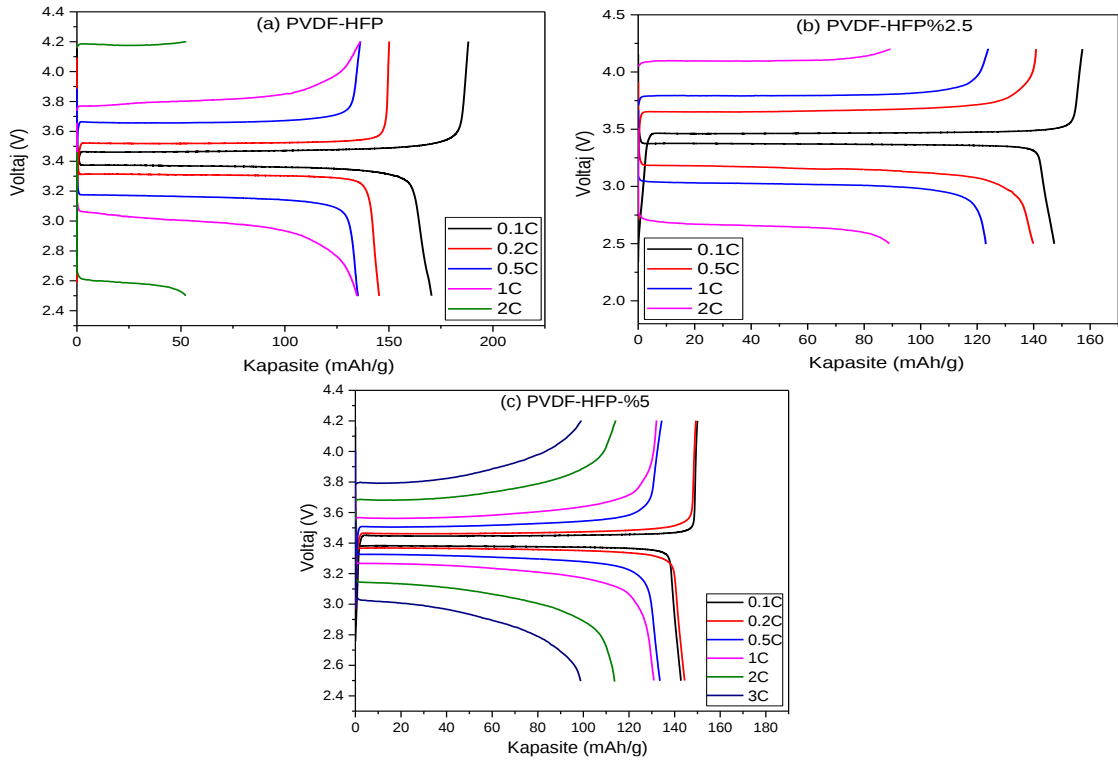
Şekil 3. 9. (a) Saf LFP, (b) PVDF-HFP, (c) PVDF-HFP%2.5 , (d) PVDF-HFP%5 Numunelerinin CV eğrileri

Şekil 3.10'da sırasıyla (a) Saf LFP, (b) PVDF-HFP, (c) PVDF-HFP%2.5 , (d) PVDF-HFP%5 Numunelerinin EIS ve Nyquist eğrileri gösterilmiştir. Bu Nyquist eğrileri kendi arasında kıyaslandığı vakit empedans değerinin büyük olması lityum iyon transferinin sistemde daha fazla dirençle karşılaştığını gösterir. Yaklaşık olarak Saf LFP, PVDF-HFP, PVDF-HFP%2.5 , PVDF-HFP%5 pillerin empedans değerleri sırasıyla 180, 250, 190 ve 210 ohmdur. Bu sonuçlar göstermektedir ki PVDF-HFP seperatör malzemesine %2.5 Mg borat katıldığında empedans değeri saf LFP değerine doğru azalmış, fakat sisteme %2.5 Mg borat katıldığında empedans değeri biraz daha artış olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç göstermektedir ki sisteme %2.5 Mg borat dan fazla miktarda katkı katıldığı zaman Mg borat nanoparçacıkları topaklanma yaparak sistemin içerisinde oluşturdukları mikron ölçekli topaklanma bölgeleri Lityum iyon difüzyonuna göre daha fazla bir bariyer etkisi göstermiştir.



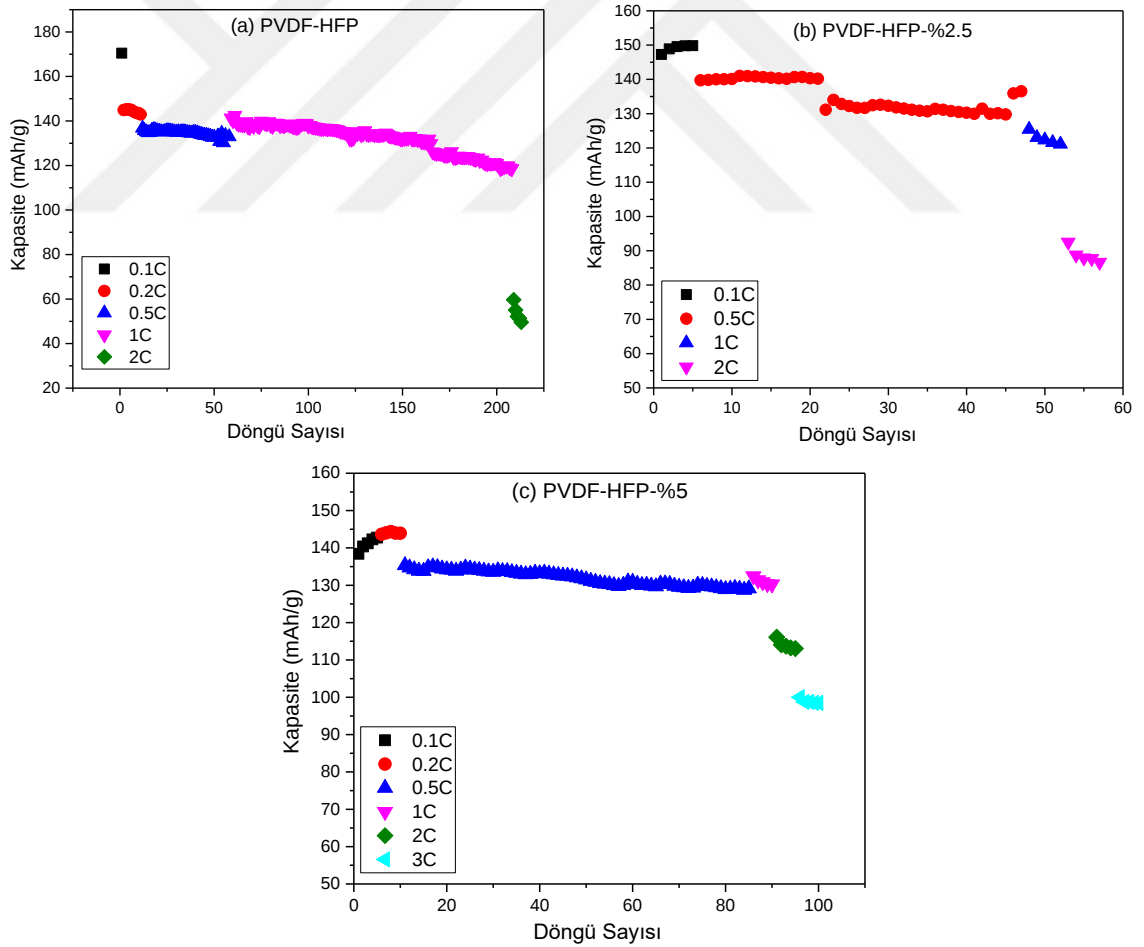
Şekil 3. 10. (a) Saf LFP, (b) PVDF-HFP, (c) PVDF-HFP%2.5 , (d) PVDF-HFP%5

Şekil 3.11’de sırasıyla (a) PVDF-HFP, (b) PVDF-HFP%2.5 , (c) PVDF-HFP%5 Numunelerinin voltaj-kapasite eğrileri verilmiştir. Voltaj-kapasite sonuçlarına göre yüksek C değerlerine çıkıldığı zaman (örneğin 2C, 3C), %5 MgBorat içeren PVDF-HFP%5 pilinin kapasite değeri açısından PVDF-HFP ve PVDF-HFP%2.5 pillerine kıyasla daha kararlı bir hal sergilediği görülmüştür.



Şekil 3. 11 (a) PVDF-HFP, (b) PVDF-HFP%2.5 , (c) PVDF-HFP%5 Numunelerinin voltaj-kapasite eğrileri

Şekil 3.12’de sırasıyla (a) PVDF-HFP, (b) PVDF-HFP%2.5 , (c) PVDF-HFP%5 Numunelerinin kapasite-döngü sayısı eğrileri verilmiştir. Kapasite-döngü sayısı sonuçlarına göre yüksek C değerlerine çıkıldığı zaman (örneğin 2C, 3C) ve yüksek döngü sayısında, %5 MgBorat içeren PVDF-HFP%5 pilinin kapasite değeri açısından PVDF-HFP ve PVDF-HFP%2.5 pillerine kıyasla daha kararlı bir hal sergilediği görülmüştür. PVDF-HFP, PVDF-HFP%2.5 ve PVDF-HFP%5 Pillerini kendi aralarında kıyaslırsak daha öznel olarak şu sonuç ortaya çıkmaktadır. Örneğin 45. Döngüde 0.5C şarj-deşarj hızında PVDF-HFP pilinin kapasitesi yaklaşık olarak 130 mAh/g, PVDF-HFP-2.5% pilinin kapasitesi yaklaşık olarak 130 mAh/g, ve PVDF-HFP-5% pilinin kapasitesi yaklaşık olarak 135 mAh/g dır. Piller 50. Döngüden sonra 2C hızında şarj-deşarj edilmiştir. Mesela PVDF-HFP pilinin kapasitesi 2C hızındakideşarj kapasitesi yaklaşık 60 mAh/g, PVDF-HFP-2.5% pilinin 2C hızındaki kapasitesi yaklaşık olarak 80 mAh/g, ve PVDF-HFP-5% pilinin 2C hızındaki kapasitesi yaklaşık olarak 110 mAh/g olarak bulunmuştur.



Şekil 3. 12. (a) PVDF-HFP, (b) PVDF-HFP%2.5 , (c) PVDF-HFP%5 Numunelerinin kapasite-döngü sayısı eğrileri

4. SONUÇ

Bu çalışmada Magnezyum Borat sentezi ile PVDF-HFP polimeriyle Lityum İyon Bataryaları için seperatör numuneleri üretmek amacıyla elektro-eğirme yöntemi kullanılmıştır. Magnezyum Borat oranlarının fiberlerin şeklini ve boyutunu önemli ölçüde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada Magnezyum Borat artışı ile mesafe azaltılıp sistemdeki akım artırılmak durumunda kalındığı için istenilen homojenlikte fiberler oluşmamıştır. Çapı büyük olan fiberlerde hacim oranı yüzey alanına kıyasla daha büyük olacağı için istenilen geçirgenliği sağlamayıp bariyer görevi görmüştür. Magnezyum Borat'ın %2,5 ve altında katkılanmasıyla daha uzun mesafe ve jetin daha fazla çekilmesiyle lifli yapının ortaya çıkması mümkündür.

HFP%5 pilinin kapasite değeri açısından PVDF-HFP ve PVDF-HFP%2.5 pillerine kıyasla daha kararlı bir hal sergilediği görülmüştür. Kapasite-döngü sayısı sonuçlarına göre yüksek C değerlerine çıkıldığı zaman ve yüksek döngü sayısında, %5 MgBorat içeren PVDF-HFP%5 pilinin kapasite değeri açısından PVDF-HFP ve PVDF-HFP%2.5 pillerine kıyasla daha kararlı bir hal sergilediği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Acikbas, G. (2021). Misvak, Borik Asit Ve Porselen Atığı Takviyeli Polyester Matrisli Kompozitler. El-Cezeri Fen Ve Mühendislik Dergisi. <https://doi.org/10.31202/ecjse.975684>
- Ahmad, A., Farooqui, U., Hamid, N. (2018). Porous (Pvdf-hfp/pani/go) Ternary Hybrid Polymer Electrolyte Membranes For Lithium-ion Batteries. RSC Adv., 45(8), 25725-25733. <https://doi.org/10.1039/c8ra03918f>
- Aksoy, K. (2023). Flame Retardant Compounds Used In Epoxy Resins: Review. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1153811>
- Akyüz, B. (2022). Az Serisi Döküm Magnezyum Alaşımlarının Termal Özellikleri. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(9), 471-478. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.1078439>
- Alkan, E., Alkan, E. (2021). Endüstride Yaygın Olarak Kullanılan Asit Çözeltileri İçinde Aa5754 Yüzeyinin Ve Korozyon Davranışının İncelenmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(8), 978-989. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.980581>
- Altın, S., Yolun, A., Oz, E., Altundağ, S. (2021). Maricite Nafepo4 Katot Malzemesinin Üretimi Ve Elektrokimyasal Özellikleri. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(11), 1970-1979. <https://doi.org/10.21597/jist.856515>
- Altuntas, E., Karaoğlu, E., Alma, M. (2017). Effect Of Boron Compounds On the Thermal And Combustion Properties Of Wood-plastic Composites. Turkish Journal of Forestry | Türkiye Ormancılık Dergisi, 3(18), 247-250. <https://doi.org/10.18182/tjf.308944>
- Arsyad, A., Saaid, F., Najihah, M., Tan, W. (2023). Ftir Studies On Interactions Among Components In Pvdf-hfp:pc:mpii Electrolytes. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 1(1151), 012060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1151/1/012060>
- Ay, N. (2022). Use Of Hexagonal Boron Nitride In Lithium Ion Battery Separators and Developments. Journal of Boron, 1(7), 440-452. <https://doi.org/10.30728/boron.1008704>
- Canikoğlu, N. (2019). The Effect Of Zno Addition On Properties Of Magnesium Aluminate Spinel. Politeknik Dergisi, 3(22), 749-754. <https://doi.org/10.2339/politeknik.439622>
- Celen, A., Kaba, M. (2021). Elektrikli Araçlarda Kullanılan Silindirik Lityum İyon Bataryaların Soğutulmasının Parametrik İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1(33), 49-61. <https://doi.org/10.35234/fumbd.728143>
- Demirkiran, A. (2019). Mose2 Tek Tabakasının Fe-mn Atomları Ve Femn Nanoatom Kümesi İle Etkileşmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C Tasarım Ve Teknoloji, 4(7), 1025-1036. <https://doi.org/10.29109/gujsc.586737>
- Doğrusöz, M., Doğrusöz, M. (2021). Piezoelektrik Malzemelerin Lityum İyon Batarya Anotlarında Katkı Olarak Kullanılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4(24), 258-270. <https://doi.org/10.17780/ksujes.672828>
- Ergün, D., Soyocak, A. (2021). Borik Asidin Fibroblast Hücrelerinde Hücre Canlılığı/sitotoksikite Etkinliğinin In Vitro Olarak Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 2(16), 390-396. <https://doi.org/10.29233/sdufeffd.915866>
- Gokdai, D., Gürü, M., Toğrul, T. (2016). Mekanokimyasal Yöntemle Bor Oksitten Elementel Bor Sentezlenmesi Ve Karakterizasyonu. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2(31). <https://doi.org/10.17341/gummfd.63858>

- Hasar, M., Taşkan, E. (2021). ÖN İş Lem Uygulanmış Alg Biyokütlesinin Mikrobiyal Yakıt Hücresinde Elektrik Üretim Performansının Araştırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2(33), 645-654. <https://doi.org/10.35234/fumbd.913078>
- Iflazoglu, S. (2022). Dy³⁺ Katkılı Bab4o7 Bileşiğinin Sentezlenmesi Ve Optiksel Özelliklerinin Araştırılması. Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering, 1(22), 33-44. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1011824>
- Kalaycı, F., Zubaroglu, E. (2017). Çift Merdaneli Sürekli Döküm Tekniği İle Üretilmiş Az Ve Am Serisi Magnezyum Alaşımlarının Korozyon Davranışlarının Karşılaştırılması. Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 391-391. <https://doi.org/10.18586/msufbd.322513>
- Kara, F., Yücedağ, İ., DOĞAN, M. (2023). Optimum Charging Strategy Based On Fuzzy Rules For Lithium-ion Batteries. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(25), 150-163. <https://doi.org/10.25092/baunfbed.1056634>
- Kelen, F. (2021). Importance and Applications Of Magnesium And Its Alloys In Automotive Industry. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(11), 548-562. <https://doi.org/10.21597/jist.789612>
- Kim, I., Kim, B., Nam, S., Lee, H., Chung, H., Cho, S., ... & Kang, C. (2018). Cross-linked Poly(vinylidene Fluoride-co-hexafluoropropene) (Pvdf-co-hfp) Gel Polymer Electrolyte For Flexible Li-ion Battery Integrated With Organic Light Emitting Diode (Oled). Materials, 4(11), 543. <https://doi.org/10.3390/ma11040543>
- Kiziltaş, H. (2020). Bor Katkılı Tio₂ Nanotüp Fotokatalizörlerinin Üretimi Ve Karakterizasyonu. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(13), 962-971. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.637208>
- Körpe, N., Kİremİtçİ, S. (2021). Borik Asit (H₃bo₃) Kullanılarak Üretilen Saf Çİnko Ve Çİnko Alaşımı (Za₂₇) Köpük Malzemelerin Basma Davranışlarının İncelenmesi. El-Cezeri Fen Ve Mühendislik Dergisi. <https://doi.org/10.31202/ecjse.991967>
- Kuru & Yarat (2017) , "Bor and a Current Assessment of Its Effects On Health," Clinical and Experimental Health Sciences (2017). doi:10.5152/clinexphealthsci.2017.314
- Kuru, R., Yarat, A. (2017). Boron and A Current Overview Of Its Effects On Health. Clin Exp Health Sci, 3(7), 107-114. <https://doi.org/10.5152/clinexphealthsci.2017.314>
- Kuru, R., Yarat, A. (2017). Boron and A Current Overview Of Its Effects On Health. Clin Exp Health Sci, 3(7), 107-114. <https://doi.org/10.5152/clinexphealthsci.2017.314>
- Liu, W., Zhang, X., Wu, F., Xiang, Y. (2017). A Study On Pvdf-hfp Gel Polymer Electrolyte For Lithium-ion Batteries. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., (213), 012036. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/213/1/012036>
- Liu, X., Liu, J., Chu, F., Chu, F., Ren, Y. (2021). Pvdf-hfp-based Composite Electrolyte Membranes Having High Conductivity and Lithium-ion Transference Number For Lithium Metal Batteries. ACS Appl. Energy Mater., 1(5), 1031-1040. <https://doi.org/10.1021/acsaem.1c03417>
- Murathan ve ark. (2018) , "Alüminyum Eloksal Atıklarının Yangın Geciktirici Olarak Değerlendirilmesi," Journal of Polytechnic (2018). doi:10.2339/politeknik.386873
- Yıldırım ve ark. (2022), "Elektrik Kablo için Halojeniz Alev Geçirici Kılıf Malzemesi Üretiminde Kullanılan Kompozit Malzemede Çİnko Borat, Alüminyum Hidroksit ve Magnezyum Hidroksit Kompozisyonunun Optimizasyonu," Journal of Polytechnic (2022). doi:10.2339/politeknik.1009770

- Zhang, J., Yue, L., Kong, Q., Liu, Z., Zhou, X., Zhang, C., ... & Chen, L. (2014). Sustainable, Heat-resistant and Flame-retardant Cellulose-based Composite Separator For High-performance Lithium Ion Battery. *Sci Rep*, 1(4). <https://doi.org/10.1038/srep03935>
- Zhang, Z., Cui, X., Guan, S., Tu, L., Tang, H., Li, Z., ... & Li, J. (2022). Understanding the Advantageous Features Of Bacterial Cellulose-based Separator In Li-s Battery. *Adv Materials Inter*, 1(10). <https://doi.org/10.1002/admi.202201730>



ÖZGEÇMİŞ

Simge KARA, Artvin Anadolu Lisesi’ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünden 01.07.2019 tarihinde mezun oldu. 2020 yılında OMÜ LEE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi. Mezuniyetinden bu yana ARSLAN METAL SAN. ve TİC. AŞ. adlı Kalite Kontrol Mühendisi olarak görev yapan Simge KARA orta derecede İngilizce bilmektedir. (15.08.2023).

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0009-0002-7484-0638

Yayınlar:

1. Simge KARA, Engin BURGAZ, Preparation and Characterization of Magnesium Borate added PVDF Composite Membrane as a Separator for Lithium-Ion Batteries by Electro-Spinning Method, Cooperation for Climate and Green Deal Symposium, 24-26 October 2022, Samsun TURKEY.