



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

POLİ(VİNİL ALKOL) ESASLI POLİMER JEL
ELEKTROLİTLERİN HAZIRLANMASI VE İYONİK İLETKENLİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Emrah DURGUN

DANIŞMAN
Prof. Dr. Selva ÇAVUŞ

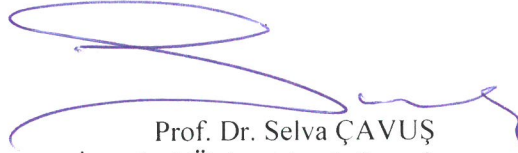
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Proses ve Reaktör Tasarımı Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 27.06.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Mühendisliğı Anabilim Dalı, Proses ve Reaktör Tasarımı Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

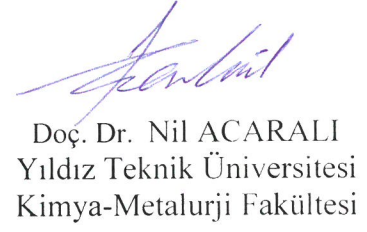
TEZ JÜRİSİ



Prof. Dr. Selva ÇAVUŞ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Serkan Naci KOÇ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Nil ACARALI
Yıldız Teknik Üniversitesi
Kimya-Metalurji Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 49553 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, 49553 numaralı BAP projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim ve tez sürecim boyunca, desteğini esirgemeyen danışmanım sayın Prof. Dr. Selva ÇAVUŞ'a sabrı ve yardımları için en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunuyorum.

Gerek akademik hayatım gerekse sosyal hayatımda desteklerini esirgemeyen Nalan Ünal ve Merve Acarlıoğlu'na teşekkür ederim.

Son olarak her zaman yanımda olan sevgili annem Reyhan, babam Ali ve abim İlkay DURGUN'a teşekkür ederim.

Haziran 2019

Emrah DURGUN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. İLETKEN POLİMERLERİN TANIMI VE KISA TARİHÇESİ	3
2.2. İLETKEN POLİMERLER.....	4
2.2.1. İletken Madde Katkılı Polimerler	6
2.2.2. İyonik İletken Polimerler.....	6
2.3. GÜNEŞ PİLLERİNİN TANIMI VE KISA TARİHÇESİ	7
2.4. BOYA İLE DUYARLILAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ PİLLERİ	8
2.5. POLİMER ELEKTROLİTLER	10
2.5.1. Katı Polimer Elektrolitler	11
2.5.2. Sıvı Elektrolitler	11
2.5.3. Polimer Jel Elektrolitler.....	11
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	14
3.1. KİMYASAL MADDELER	14
3.1.1 2-Hidroksietil Metakrilat (HEMA) Monomerinin Özellikleri	16
3.1.2 Poli(vinil alkol) (PVA)'nın Özellikleri	16
3.2. CİHAZLAR	17
3.3. DENEYSEL YÖNTEMLER	18
3.3.1 PVA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlerin Hazırlanması.....	18
3.3.1.1 Sıvı Elektrolitlerin Hazırlanması.....	18
3.3.1.2 PVA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlerin Hazırlanması	18
3.3.1.3 Nano Katkılı Polimer Jel Elektrolitlerin Hazırlanması.....	19

3.3.2 PVA/PHEMA Filmlerinin ve PVA/PHEMA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlerin Hazırlanması.....	20
3.3.2.1 PVA/PHEMA Filmlerinin Hazırlanması	20
3.3.2.2 Sıvı Elektrolitlerin Hazırlanması.....	21
3.3.2.3 PVA/PHEMA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlerin Hazırlanması.....	21
3.3.2.4 Nano Katkılı Polimer Jel Elektrolitlerin Hazırlanması.....	22
3.3.3 İyonik İletkenlik Değerinin Sıcaklıkla Değişiminin İncelenmesi	23
3.3.5. İletkenlik – Sıcaklık İlişkisinin Belirlenmesi	23
3.4. ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	23
3.4.1 Fourier Transform Infrared Spektroskopisi Analizi (FTIR)	23
3.4.2 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC)	23
3.4.3 Termal Gravimetrik Analiz (TGA)	24
3.4.4 X-Işını Kırınımı (XRD) Analizi	24
3.4.5 İyonik İletkenlik Ölçümü	24
4. BULGULAR.....	25
4.1. PVA ESASLI POLİMER JEL ELEKTROLİTLER.....	25
4.1.1. PVA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlerin Fotoğrafları.....	25
4.1.2. Tuz Konsantrasyonunun İyonik İletkenlik Üzerine Etkisi	25
4.1.3. İyonik İletkenlik - Sıcaklık İlişkisi	27
4.1.4. FTIR Analizi.....	28
4.1.5. DSC Analizi.....	30
4.1.6. TGA Analizi	31
4.1.7. XRD Analizi	33
4.2. PVA/PHEMA ESASLI POLİMER JEL ELEKTROLİTLER	34
4.2.1. PVA/PHEMA Esaslı Polimer Filmlerin Fotoğrafları.....	34
4.2.2. PVA/PHEMA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlerin Fotoğrafları.....	35
4.2.3. PVA/PHEMA Esaslı Polimer Jel Elektrolit Filmlerin Fotoğrafları	36
4.2.4. İyonik İletkenlik - Sıcaklık İlişkisi	36
4.2.5. DSC Analizi.....	38
4.2.6. TGA Analizi	40
4.2.7. XRD Analizi	42
4.3. POLİMER JEL ELEKTROLİTLERE NANO KATKI ETKİSİ.....	44
4.3.1. PVA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlere Nano Katkısının Etkisi.....	44
4.3.1.1. Nano Katkılı PVA Esaslı Polimer Jel Elektrolit Fotoğrafları	44
4.3.1.2. İyonik İletkenlik - Sıcaklık İlişkisi.....	45

4.3.2. PVA/PHEMA Esaslı PJE'lere Nano Katkısının Etkisi	48
4.3.2.1. Nano Katkılı PVA/PHEMA Esaslı Polimer Jel Elektrolit Fotoğrafları	48
4.3.2.2. İyonik İletkenlik - Sıcaklık İlişkisi	50
4.3.3. DSC Analizi	53
4.3.4. TGA Analizi	54
4.3.5. XRD Analizi	55
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	57
5.1. PVA ESASLI POLİMER JEL ELEKTROLİTLER İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR	57
5.2. PVA/PHEMA ESASLI POLİMER JEL ELEKTROLİTLER İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR	59
5.3. POLİMER JEL ELEKTROLİTLERE NANO KATKI ETKİSİ İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR	61
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Poliasetilenin cis-izomeri (a) ve trans-izomeri (b).	4
Şekil 2.2: Yalıtkan, yarıiletken, iletken maddelerde band aralığı.	5
Şekil 2.3: Basit olarak güneş pilinin çalışma prensibi.	7
Şekil 2.4: Boya ile duyarlılaştırılmış güneş pili (Boschloo ve Hagfeldt, 2009).	9
Şekil 3.1: 2-Hidroksietil Metakrilat (HEMA) monomerinin kimyasal yapısı.	16
Şekil 3.2: Poli(vinil alkol)(PVA) polimerinin kimyasal yapısı.	16
Şekil 3.3: Sıvı elektrolit hazırlanış prosesi.	18
Şekil 3.4: PVA esaslı PJE hazırlanış prosesi.	19
Şekil 3.5: PVA esaslı nano katkılı PJE hazırlanış prosesi.	20
Şekil 3.6: PVA/PHEMA filmlerinin hazırlanış prosesi.	21
Şekil 3.7: PVA/PHEMA PJE hazırlanış prosesi.	22
Şekil 4.1: a) PVA-0.2, b) PVA-0.4, c) PVA-0.6, d) PVA-0.8 e) PVA-1.0 polimer jel elektrolitlerinin görüntüleri	25
Şekil 4.2: PVA esaslı pje'lerin farklı tuz konsantrasyonlarında oda sıcaklığındaki iletkenlik değerleri.	26
Şekil 4.3: Farklı tuz konsantrasyonları ile hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin $\ln \sigma - 1/T$ grafiği.	28
Şekil 4.4: Farklı tuz konsantrasyonları ile hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin FTIR spektrumu.	30
Şekil 4.5: Farklı tuz konsantrasyonları ile hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin DSC grafikleri.	31
Şekil 4.6: Farklı tuz konsantrasyonları ile hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin TGA grafikleri.	32
Şekil 4.7: Farklı tuz konsantrasyonları ile hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin XRD grafikleri.	34

Şekil 4.8: a) PVA/PHEMA (25), b) PVA/PHEMA (50), c) PVA/PHEMA (60), d) PVA/PHEMA (80) film görüntüleri.....	35
Şekil 4.9: a) PVA/PHEMA-PJE (25), b) PVA/PHEMA-PJE (50), c) PVA/PHEMA-PJE (60), d) PVA/PHEMA -PJE (80) 0,8 M KI/0.08 I ₂ PJE görüntüleri.....	36
Şekil 4.10: a) PVA/PHEMA-PJE (25), b) PVA/PHEMA-PJE (50), c) PVA/PHEMA-PJE (60), d) PVA/PHEMA -PJE (80) PJE 0,8 M KI/0.08 I ₂ film görüntüleri.....	36
Şekil 4.11: a) PVA/PHEMA-PJE (25), b) PVA/PHEMA-PJE (50), c) PVA/PHEMA-PJE (60), d) PVA/PHEMA -PJE (80) PJE'lerin $\ln\sigma - 1/T$ grafiği.....	37
Şekil 4.12: PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimerlerin DSC grafikleri.....	39
Şekil 4.13: PVA/PHEMA-PJE(25), PVA/PHEMA-PJE(50), PVA/PHEMA-PJE(60), PVA/PHEMA-PJE(80) PJE'lerin DSC grafikleri.....	40
Şekil 4.14: PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimerlerin TGA grafikleri.....	41
Şekil 4.15: PVA/PHEMA-PJE(25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA-PJE (80) PJE'lerin TGA grafikleri.....	41
Şekil 4.16: PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimerlerin XRD grafikleri.....	43
Şekil 4.17: PVA/PHEMA-PJE(25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA-PJE (80) PJE'lerin XRD grafikleri.....	43
Şekil 4.18: a) %0.4, b) %1, c) %2 grafit katkılı 0.8M KI / 0.08M I ₂ PVA esaslı PJE görüntüleri.....	44
Şekil 4.19: a) %0.4, b) %1, c) %2 TiO ₂ katkılı 0.8M KI / 0.08M I ₂ PVA esaslı PJE görüntüleri.....	44
Şekil 4.20: a) %0.4, b) %1, c) %2 Grafit katkılı 0.8M KI / 0.08M I ₂ PVA esaslı PJE film görüntüleri.....	45
Şekil 4.21: a) %0.4, b) %1, c) %2 TiO ₂ katkılı 0.8M KI / 0.08M I ₂ PVA esaslı PJE film görüntüleri.....	45
Şekil 4.22: Farklı grafit katkılarıyla hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin $\ln\sigma - 1/T$ grafiği.....	46
Şekil 4.23: Farklı TiO ₂ nano katkılarıyla hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin $\ln\sigma - 1/T$ grafiği.....	47
Şekil 4.24: a) %0.4, b) %1, c) %2 Grafit katkılı 0.8M KI / 0.08M I ₂ PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE görüntüleri.....	49

Şekil 4.25: a) %0.4, b) %1, c) %2 Grafit katkılı 0.8M KI / 0.08M I ₂ PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE film görüntüleri.....	49
Şekil 4.26: a) %0.4, b) %1, c) %2 TiO ₂ katkılı katkılı 0.8M KI / 0.08M I ₂ PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE görüntüleri.....	49
Şekil 4.27: a) %0.4, b) %1, c) %2 TiO ₂ katkılı katkılı 0.8M KI / 0.08M I ₂ PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE film görüntüleri.....	50
Şekil 4.28: Farklı grafit nano katkılarıyla hazırlanan PVA/PHEMA-PJE (50) esaslı PJE'lerin lnσ - 1/T grafiği.....	51
Şekil 4.29: Farklı % TiO ₂ nano katkılarıyla hazırlanan PVA/PHEMA-PJE (50) esaslı PJE'lerin lnσ - 1/T grafiği.....	52
Şekil 4.30: Grafit ve TiO ₂ katkılı PVA ve PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE'lerin DSC grafiği.....	53
Şekil 4.31: Nano katkılı PVA ve PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE'lerin TGA grafiği.....	54
Şekil 4.32: Nano katkılı PVA esaslı PJE'lerin XRD grafiği.....	55
Şekil 4.33: Nano katkılı PVA/PHEMA esaslı PJE'lerin XRD grafiği.....	56

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1: Kullanılan kimyasal malzemeler ve özellikleri.....	14
Tablo 3.2: Kullanılan kimyasal maddeler ve kimyasal yapıları.....	15
Tablo 3.3: Kullanılan cihazlar ve özellikleri.....	17
Tablo 4.1: Farklı tuz konsantrasyonları ile hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin σ_{25} ve hesaplanan E_a değerleri.....	27
Tablo 4.2: Saf PVA, PVA0.6, PVA0.8 ve PVA1.0 örneklerinin ağırlıkça yüzde kayıp değerleri.....	33
Tablo 4.3: PVA/PHEMA-PJE (25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA -PJE (80) esaslı PJE'lerin σ_{25} ve hesaplanan E_a değerleri.....	38
Tablo 4.4: PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimerlerin ve PVA/PHEMA-PJE (25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA-PJE (80) örneklerinin ağırlıkça yüzde kayıp değerleri.....	42
Tablo 4.5: Farklı grafit katkılarıyla hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin σ_{25} ve hesaplanan E_a değerleri.....	47
Tablo 4.6: Farklı TiO_2 katkılarıyla hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin σ_{25} ve hesaplanan E_a değerleri.....	48
Tablo 4.7: Farklı grafit katkılarıyla hazırlanan PVA/PHEMA-PJE (50) esaslı PJE'lerin σ_{25} ve hesaplanan E_a değerleri.....	51
Tablo 4.8: Farklı TiO_2 katkılarıyla hazırlanan PVA/PHEMA-PJE (50) esaslı PJE'lerin σ_{25} ve hesaplanan E_a değerleri.....	52
Tablo 4.9: Grafit ve TiO_2 katkılı PVA ve PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE örneklerinin ağırlıkça yüzde kayıp değerleri.....	54

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
σ	: İyonik iletkenlik
σ_{25}	: 25°C'deki iyonik iletkenlik
E_a	: Kritik hacme bağlı enerji boyutu
T_0	: Camsı geçiş sıcaklığına yakın referans sıcaklığı

Kısaltmalar	Açıklama
BDGP	: Boya ile duyarlılaştırılmış güneş pili
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DSSC	: Dye-Sensitized Solar Cell
FTIR	: Fourier Transform Infrared Spektroskopisi
GBL	: γ -Butirolakton
I₂	: İyot
LiI	: Lityum iyodür
NaI	: Sodyum iyodür
NMP	: 1-Metil-2-pirolidon
PJE	: Polimer jel elektrolit
PVA	: Polivinil Alkol
PHEMA	: Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)
TGA	: Termal Gravimetrik Analizi
TiO₂	: Titanyum oksit
XRD	: X-Işını Kırınımı Analizi

ÖZET

POLİ(VİNİL ALKOL) ESASLI POLİMER JEL ELEKTROLİTLERİN HAZIRLANMASI VE İYONİK İLETKENLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emrah DURGUN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Selva ÇAVUŞ

Tez çalışması kapsamında poli(vinil alkol) (PVA) ve poli(vinil alkol)/poly(2-hidroksietil metakrilat) (PVA/PHEMA) polimer jel elektrolitleri hazırlanmıştır. Polimer jel elektrolit (PJE)'lerin hazırlanmasında 1-metil-2-pirolidon (NMP) ve γ -butirolakton (GBL) organik çözücüleri kullanılmıştır. NMP:GBL oranı hacimce 7:3 NMP:GBL olarak seçilmiştir. Potasyum iyodür/iyot (KI/I_2) redoks çifti NMP/GBL çözücü karışımında çözülmüş ve sıvı elektrolitler hazırlanmıştır. Polimer jel elektrolitlerde KI/I_2 mol oranı 10/1 olarak sabit tutulmuştur. Poli(vinil alkol) sıvı elektrolit çözeltilerine toplam ağırlığın yüzde üçü kadar ilave edilmiştir. Jel elektrolitler 110°C'de hazırlanmış ve oda sıcaklığında akamaz halde elde edilmiştir. PVA esaslı PJE'lerde alkali metal iyodür tuzunun (KI) konsantrasyonunun etkisi 0.2-1 mol/L aralığında iyonik iletkenlik (σ) açısından incelenmiş ve 0.8 mol/L KI en uygun değer olarak belirlenmiştir.

PVA/PHEMA esaslı jel elektrolitlerini hazırlamak için öncelikle PVA/PHEMA film halinde elde edilmiştir. 2-hidroksietil metakrilat (HEMA) monomeri başlatıcı olarak amonyum persülfat (APS) kullanılarak deiyonize su içinde çözündürülmüştür. Azot ortamında bulunan HEMA + su + APS karışımına daha önce hazırlanan PVA + su karışımı eklenmiş ve polimerizasyon sıcaklık kontrollü su banyosunda 70 °C’de 24 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen polimer karışımı petri kabında ortam şartlarında kurutulmuş ve PVA/PHEMA film yapılarına ulaşılmıştır. PVA/PHEMA sıvı elektrolit çözeltilerine toplam ağırlığın yüzde üçü kadar ilave edilmiştir. PVA/PHEMA esaslı jel elektrolitler 110 °C’de hazırlanmış ve oda sıcaklığında akamaz durumda olduğu gözlemlenmiştir.

İyonik iletkenliğin sıcaklık değişimi 20-70 °C arasında incelenmiş ve PVA ve PVA/PHEMA polimer jel elektrolitlere ait iletkenlik mekanizması belirlenmiştir. Hazırlanan tüm jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik-sıcaklık davranışı Arrhenius Denklemi ile uyumludur. Tüm jel elektrolitlerde sıcaklık artışı ile iyonik iletkenlik değerleri artmıştır.

Ayrıca, PVA ve PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlere nano katkı etkisi incelenmiştir. Grafit ya da TiO₂’nin PVA ve PVA/PHEMA esaslı jel elektrolit yapı içinde kolaylıkla dağıtılmış ve homojen jel elektrolitler elde edilmiştir. Grafit ve TiO₂ farklı oranlarda kullanılarak iyonik iletkenliğin sıcaklığa bağlı değişimi incelenmiştir. Nano katkı içeren jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik-sıcaklık davranışı Arrhenius Denklemi ile uyumludur. Tüm jel elektrolitlerde sıcaklık artışı ile iyonik iletkenlik değerleri artmıştır.

PVA ve PVA/PHEMA esaslı jel elektrolitler ve nano katkı içeren jel elektrolitler iyonik iletkenlik ve aktivasyon enerjisi açısından karşılaştırıldıklarında benzer davranış göstermişlerdir. Jel elektrolitlerde nano katkı varlığının viskozite üzerinde çok etkili olmamasına atfedilebilir. Bununla birlikte, jel elektrolit yapı içerisinde nano katkı bulunmasının elektriksel özellikler açısından katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Hazırlanan jel elektrolitlerin ve polimerlerin yapısal karakterizasyonunda Fourier transform infrared spektroskopisi (FTIR) ve X-ışını kırınımı analizi (XRD), termal karakterizasyonunda diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve termal gravimetrik analiz (TGA) yöntemleri kullanılmıştır.

Haziran 2019, .88 sayfa.

Anahtar kelimeler: poli(vinil alkol), poly(2-hidroksietil metakrilat), polimer jel elektrolit,
grafit, titanyum dioksit



SUMMARY

PREPARATION OF POLY(VINYL ALCOHOL) BASED POLYMER GEL ELECTROLYTES AND INVESTIGATION OF THEIR IONIC CONDUCTIVITIES

M.Sc. THESIS

Emrah DURGUN

**Istanbul University-Cerrahpasa
Institute of Graduate Studies
Department of Chemical Engineering**

Supervisor : Prof. Dr. Selva ÇAVUŞ

In this thesis study, poly (vinyl alcohol) (PVA) and poly (vinyl alcohol)/poly (2-hydroxyethyl methacrylate (PVA/PHEMA) based polymer gel electrolytes were prepared. N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) and γ -butyrolactone (GBL) were used as organic solvents during polymer gel electrolyte preparation. Volume ratio of the NMP:GBL was preferred as 7:3. Potassium iodide / Iodide (KI/I₂) redox couple was dissolved in NMP/GBL solvent mixture and liquid gel electrolytes were prepared. Mol ratio of KI/I₂ in polymer gel electrolytes was fixed as 10/1. Poly (vinyl alcohol) was added to the liquid electrolyte solutions by three percent of the total weight. Gel electrolytes were prepared at 110°C and non-flowing/immobile form obtained in room temperature. The effect of the concentration of alkali metal iodide salt (KI) on PVA-based PJE was investigated in terms of ionic conductivity (σ) in the range of 0.2-1 mol / L and 0.8 mol / L KI was determined as the most appropriate value. In order to prepare

PVA / PHEMA based gel electrolytes, PVA / PHEMA was obtained in film form. The 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) monomer was dissolved in deionized water using ammonium persulfate (APS) as the initiator. A pre-prepared mixture of PVA + water was added to the mixture of HEMA + water + APS in the nitrogen environment and the polymerization was carried out in a temperature-controlled water bath at 70 °C for 24 hours. The resulting polymer mixture was dried in petri dish under ambient conditions and PVA / PHEMA film structures were obtained. PVA / PHEMA was added to liquid electrolyte solutions up to 3 percent of the total weight. PVA / PHEMA based gel electrolytes were prepared at 110 °C and non-flowing at room temperature.

The ionic conductivity was investigated at 20-70°C and the conductivity mechanism of PVA and PVA / PHEMA polymer gel electrolytes was determined. The ionic conductivity-temperature behavior of all prepared gel electrolytes is consistent with the Arrhenius equation. In all the gel electrolytes, the temperature increase and the ionic conductivity values increased.

In addition, the effect of nano-additives on PVA and PVA / PHEMA based polymer gel electrolytes was investigated. Graphite or TiO₂ was easily dispersed in PVA and PVA/PHEMA gel electrolyte structure and homogeneous gel electrolytes were obtained.

Temperature-dependent change in ionic conductivity was investigated by using graphite and TiO₂ in different ratios. The ionic conductivity-temperature behavior of gel electrolytes with nano additive is consistent with the Arrhenius Equation. In all the gel electrolytes, the ionic conductivity values increased by the increase in temperature.

PVA and PVA / PHEMA based gel electrolytes and gel electrolytes with nano additive have similar behavior regarding ionic conductivity and activation energy. The effect of presence of nano-additive in the gel electrolytes can be attributed to not very effective on viscosity. However, it is thought that the presence of nano additive in the gel electrolyte structure will contribute to the electrical properties.

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction analysis (XRD), thermal scanning calorimeter (DSC) and thermal gravimetric analysis (TGA) were used for the structural characterization of prepared gel electrolytes and polymers.

June 2019, 88. pages.

Keywords: polyvinyl alcohol, poly (2-hydroxyethyl methacrylate, polymer gel electrolyte,
graphite, titanium dioxide



1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaşam alanı olarak doğal çevreyi kullanırken; oluşan ihtiyaçlarını da doğal kaynaklardan sağlıyordu. Fakat nüfusun artması ve gereksinimlerin de aynı hızda çoğalmasıyla insanlık yeni kaynakların arayışına girdi. Tüketilmeye başlanan ilk kaynaklar dikkate alındığında bu enerji açığa çıkartan yakıtlar oldu. Teknolojinin gelişmesi ve tüketimin hızla artmaya devam etmesi ile beraber dünyanın enerji ihtiyacı da doğru orantılı olarak arttı. Enerji talebinin gelecek 30 yıl içerisinde iki katına, 2100 yılına gelindiğinde ise üç katına çıkacağı tahmin edilmektedir (Wu ve diğ., 2008, Lewis ve Crabtree, 2005). Günümüzde kullanılan enerji yüksek oranda; kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıt kaynaklıdır. Fosil yakıtlar bitki ve hayvan kalıntılarının milyonlarca yıl boyunca çürümesi ile oluşmuştur. Yeraltında basınç ve ısı ile oluşan bu yakıtlar maalesef oluşumundan daha çabuk tüketilmektedir. Fosil yakıtların yenilenemeyen kaynaklar olarak düşünülmesinin temel sebebi oluşum sürecinin çok uzun fakat tüketiminin çok hızlı oluşudur. Günümüzde enerji üretiminde en yaygın kaynaklardan birisi olan fosil yakıt rezervleri ise hızla tükenmektedir. Yakıt rezervlerinin tahmini ömürleri, mevcut tüketim verileri kullanılarak hesaplandığında dünyada bulunan toplam petrol rezervlerin 40, kömür rezervlerinin 200, doğal gaz rezervlerinin ise 200 yıl içerisinde tükeneceği öngörülmektedir (Li ve diğ., 2006). Bu sebeple gelecekte oluşacak enerji ihtiyacını karşılamak adına çözümler aranmaktadır. Fakat insanlığı alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya iten kuvvet sadece rezervlerin tükenmesi değil bunun yanı sıra daha çevreci enerji kaynaklarına yönelme gereksinimidir. Fosil yakıtlar, iklim değişikliklerine sebebiyet veren sera gazlarını yaymakta ve insanlığın geleceğini, çevreyi kirleterek tehlikeye atmaktadır (Lewis ve Crabtree, 2005). Bütün bu sebepler değerlendirildiğinde fosil yakıtların yerini alabilecek güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç olduğu açıktır (Zhao ve diğ., 2012).

Alternatif enerji teknolojilerinin başında güneş ışınlarının enerji üretmek için kullanıldığı, göreceli olarak yüksek verimliliğe sahip güneş pilleri gelmektedir (Wu ve diğ., 2008). Güneş pilleri kullanımı sırasında açığa çıkan zararlı atık ve kirletici gaz miktarı fosil yakıtlara oranla yok denilebilecek kadar azdır. Bu tip enerji sistemlerinin kaynağı güneş olduğu için yakıt ücretsizdir ve buna ek olarak güvenli ve sessiz çalışırlar. Güneş pillerinin sunduğu avantajların yanı sıra maliyetinin yüksek olması ve amaçlanan verim değerine ulaşmak için

geniş bir alana ihtiyaç duyması ve bunun yanı sıra hava koşullarından etkilenmesi gibi dezavantajları da vardır.

Güneşten, insanlığın bir yılda ihtiyacı olan enerji miktarının 10,000 kat fazlası, yani 3×10^{24} Joule enerji sağlanmaktadır. Bir başka deyişle dünya yüzeyinin binde birlik bir kısmına, %10 verimle çalışan güneş pillerinden oluşan bir tesis kurmak dünyanın enerji ihtiyacını karşılamaya yetecektir (Grätzel, 2001). Günümüzde en çok ihtiyaç duyulan enerji türlerinin başında ısı ve elektrik enerjisi gelmektedir. Bu sebeple dünyadaki enerji kaynaklarından elde edilen tüm enerjiler, ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülür. Güneş enerjisinden yararlanmak için fotovoltaik enerji dönüşüm sistemleri ve solar termal sistemler geliştirilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı üretim sistemleri arasında ışığın elektrığe dönüşüm veriminin yüksek oluşu sebebiyle fotovoltaik piller öne çıkmaktadır (Arjunan ve Senthil, 2013).

Fotovoltaik piller güneş ışığını elektrığe dönüştürmede kullanılmaktadır. Fotovoltaik etki ilk defa 1839 yılında Henri Becquerel tarafından gözlemlenmiştir (Green, 2002). Güneş ışığı düşen katı ya da sıvı bir sistemde iki elektrot arasında elektrik geriliminin ortaya çıkması genel bir biçimde tanımlanmıştır. Pratikte tüm fotovoltaik sistemlerde uygun yapıyı içeren bir yarı iletken karşısında fotovoltaj gelişir.

Güneş pillerinin gelişim süreci göz önüne alındığında bu gelişimi üç nesile/kuşağa ayırmak mümkündür. Birinci nesil güneş hücreleri günümüzde yaygın olarak kullanılan kristal silikon esaslı güneş hücreleridir. Günümüzde kullanılan fotovoltaik pillerin 10'da 9'unu kristal silikon tabanlı güneş hücreleri oluşturmaktadır (Arjunan ve diğ., 2013).

İkinci nesil güneş hücreleri ince film yapılı hücrelerdir. İnce film yapılı hücreler amorf silikon, bakır indiyum galyum diselenyum, kadmiyum tellür ile hazırlanmaktadır (Hagfeldt ve diğ., 2010).

Üçüncü nesil güneş hücreleri ise daha düşük maliyetli güneş hücreleri oluşturma arayışında ortaya çıkmış olan boya ile duyarlılaştırılmış güneş hücreleridir (DSSC)(Wu ve diğ., 2008).

2. GENEL KISIMLAR

2.1. İLETKEN POLİMERLERİN TANIMI VE KISA TARİHÇESİ

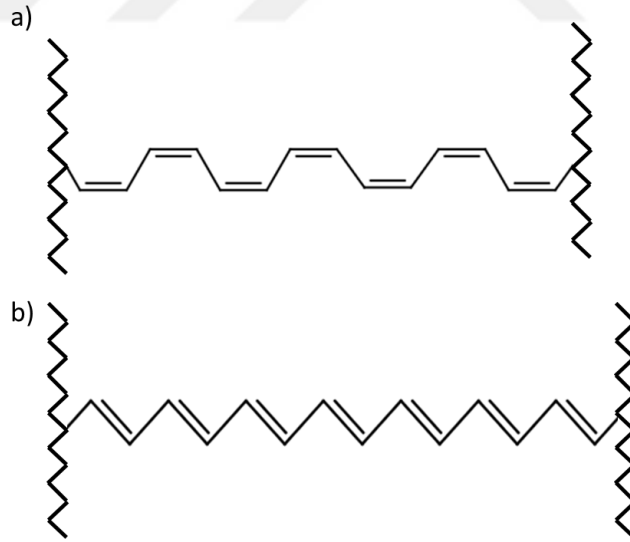
Günlük hayatımızda yaygın olarak kullanılan boyalar, plastikler ve yapıştırıcılar gibi ürünlerin üretiminde kullanılan temel malzemeler polimerlerdir. Polimerler, polimerizasyon adı verilen tepkime ile monomer adı verilen küçük moleküllerin kovalen bağlar yaparak birbirine bağlanması sonucu oluşur (Saçak, 1998). Polimerlerin molekül ağırlıkları polimer zincirinin uzunluğuna bağlıdır ve 5×10^3 ile 20×10^6 arasında değişebilmektedir. Polimer zincir uzunluğunu, polimerizasyon reaksiyonu sırasında tam olarak belirlemek imkansızdır, bu sebeple tepkime sonucunda oluşan polimerin molekül ağırlığı, raslantısal olarak seçilen avagadro sayısı kadar molekül ağırlığı, polimerin ortalama molekül ağırlığı olarak kabul edilir (Saçak, 1998). Polimerler, monomerlerin ardarda eklenmesi ve tekrar etmesi sonucu oluşur. Örneğin; $[C_2H_4]_n$ poli(etilen) ya da $[CH_2CHOH]_n$ poli(vinil alkol)'de n tekrar eden monomer sayısını gösterir. Polimerlerin yapısal özellikleri, polimer ana zincirine katılan fonksiyonel gruplar ve zincir yapısı tarafından belirlenir. Maddeler yapılarına göre ikiye ayrılırlar; kristal ve amorf yapılar. Kristal yapıda atomlar çok düzenli bir şekilde sıralanırlar, amorf yapıda ise atomlar veya moleküller çok düzensiz bir şekilde sıralanırlar.

Polimer jel kavramı ise sıvıyı, polimer matrisindeki boşluklarda hapsedebilen polimer yapılarını tanımlamak için kullanılır (Osada ve diğ., 2004). Polimer jeller sıvıyı ağ yapılarında hapsederek şiştikleri için katılar ve sıvıların arasında yer alırlar. Jellerin sınıflandırılması ağ yapısı içerisinde hapsedtikleri sıvıya göre hidrojel ve organojel; kaynaklarına göre doğal ve sentetik jel; bağ yapılarına göre ise fiziksel ve kimyasal jel olmak üzere birçok farklı kategoride sınıflandırılabilirler. Polimerlerden elektrik akımını ileten malzemeler üretmek mümkündür. Polimer jel elektrolitler, polielektrolitler, polimerik yük transfer kompleksleri bu sınıfa girmektedir (Osada ve diğ., 2004) ve ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Polimerler, iletkenlik özellikleri keşfedilmeden önce yalıtkan malzemeler olarak biliniyordu ve uygulamaları bu şekilde sınırlıydı (Chandrasekhar, 1999). Polimerler kolay işlenebilmeleri, hafiflikleri ve esneklikleri açısından değerlendirildiklerinde üstün özellikler sergilerler.

Bilinen en yaygın iletkenler olan metaller ise; elektriksek iletkenliği yüksek ve üstün mekanik dayanım özelliklerine sahiptirler. Bununla birlikte, metaller ve polimerler karşılaştırıldıklarında, metallerin şekillendirilmeleri daha zordur. Metallerin ağır ve daha pahalı olmaları da diğer dezavantajlarıdır. Polimerlerin iletkenlik özelliğini arttırmak için gerçekleştirilen ilk çalışmalarda polimerler ve metallerin üstün özelliklerini tek bir maddede bulunması hedeflenmiştir. Bu kapsamda polimerler ile metal tozları karışımlarının hazırlanmıştır. Polimer matrisi içerisinde iletken metal parçacıklarının bulunması polimerlerin iletkenlik özelliği kazanmasına katkıda bulunmuştur. Diğer bir teknikte ise polimer içerisinde uygun bir tuzun çözündürülüp, polimerin iyonik iletkenlik özelliklerinin artırılmasıdır (Saçak, 2008).

1970'li yılların sonlarına doğru poliasetilen iyot, klor ve flor buharlarına maruz bırakılarak dop edilmiştir ve bu sayede buhar ile tepkimeye girerek yükseltgenmesi sonucu iletkenliğinin yüksek oranda arttığı gözlemlenmiştir (Shirakawa ve diğ., 1977; Chiang ve diğ., 1977; Chiang ve diğ., 1978). Bu çalışmayla birlikte organik iletken malzemelerle ilgili çalışmalar ivme kazanmıştır. Şekil 2.1'de poliasetilenin cis ve trans izomerleri verilmiştir.



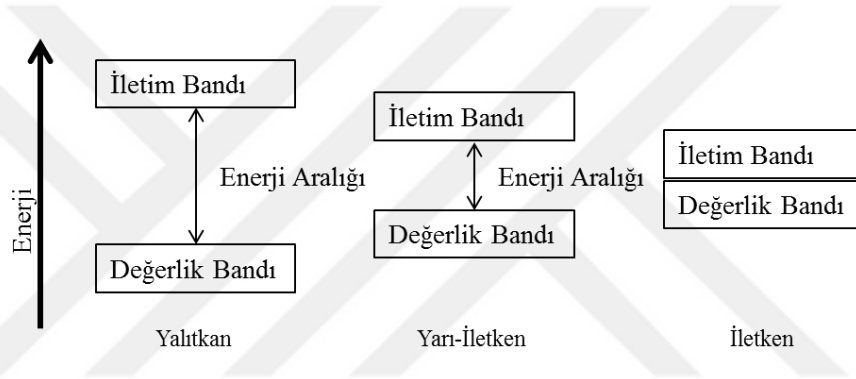
Şekil 2.1: Poliasetilenin cis-izomeri (a) ve trans-izomeri (b).

2.2. İLETKEN POLİMERLER

Bir polimerin iletken olabilmesi elektron transferine imkan sağlayacak bir mekanizmaya sahip olmasına bağlıdır. Birçok organik iletken, karbon elementinin yapısına hidrojen, oksijen, azot

gibi hetero atomların katılmasıyla hazırlanır. Polimer kimyasının temel elementi olan karbon gerçekleştirebildiği sp^1 , sp^2 , sp^3 hibritleşmeleri sonucunda meydana getirdiği doymuş ve doymamış bağ sıralaması ile moleküle konjugasyon sağlamaktadır. Ana zinciri üzerinde ard arda tek ve çift bağ sıraları içeren kojuge polimerler yarıiletkenlik gösterebilirler.

Elektriksel özellikleri bakımından ise üç ana gruba ayırabiliriz. Bunlar; iletkenler, yalıtkanlar ve yarı iletken malzemelerdir (Chandrasekhar, 1999). Genel tanımlarıyla elektrik akımını iyi ileten maddelere iletken, iletmeyen ya da çok az ileten maddelere ise yalıtkan denir. Belirli bir değere kadar elektriği iletmeyen ancak belli bir eşik değerinden sonra ileten maddelere ise yarıiletken denir.



Şekil 2.2: Yalıtkan, yarıiletken, iletken maddelerde band aralığı.

Yalıtkanlar, normal koşullar altında elektrik akımını iletmezler. Yalıtkan maddelerin son yörüngelerinde 6-8 arasında valans elektronu vardır ve serbest elektron bulundurmazlar. Bağ bandı enerji düzeyleri tamamen elektronlarca dolu olduğunda elektronların bir yöne aktarılmasını sağlamak zordur. Böyle bir yapıda ısı ya da ışık uyarısıyla serbest elektronlar oluşturulabilir ve yeterli enerji düzeyine ulaşmış elektronlar iletkenlik bandına yerleşebilirler. Fakat yalıtkanlarda band enerji aralığı bu geçişe izin vermeyecek kadar geniştir. Geleneksel birçok polimer bu yüzden yalıtkan olarak kabul edilmektedir.

İletkenler, normal koşullar altında elektrik akımını ileten maddelerdir. İletken maddelerin (metaller) çoğu tek valans (değerlik) elektronuna sahiptir. Metallerde elektron hareketine engel teşkil eden bir enerji aralığı olmadığından elektronların bir yöne aktarılması mümkündür.

Yarı iletkenler ısı veya ışık etkisi ile serbest elektronlar oluşturabilirler çünkü değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasında bulunan enerji seviyesi bunu mümkün kılacak kadar düşüktür.

Yalıtkan maddelerin aksine ısı ya da ışık ile uyarılmış serbest elektronlar düşük enerji aralığını aşarak iletkenlik bandına yerleşebilirler. İletkenlik bandına ulaşan uyarılmış elektronlar band içerisinde hareket ederek taşıyıcı işlevi yaparlar (Saçak, 2008).

2.2.1. İletken Madde Katkılı Polimerler

Polimerlere dolgu maddelerinin ya da iletken katı maddelerin ilave edilerek polimer kompozit malzemeler oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu polimer kompozit malzemeler eklenmiş katkı ya da dolgu maddeleri sayesinde iletkenlik özelliği gösterirler.

İletken madde katkı polimerler yapılarında farklı tür atomlar barındırırlar. Bu yabancı atomlara safsızlık atomları denir. Katkılama işlemi ile yarı iletken polimerin elektriksel özellikler büyük ölçüde değişmiş olan katkı yarıiletken elde edilmiş olur. Bu tip iletken madde katkı polimerler n-tipi ve p-tipi yarıiletkenler olarak ikiye ayrılır. Ekstrüzyon ve sıcak baskılama gibi çok çeşitli yöntemlere polimer kompozit malzeme oluşturulabilir (Dai, 2004).

2.2.2. İyonik İletken Polimerler

Polimer matrisinde çözülmüş halde tuz bulunduran polimer sistemleri iyonik iletken polimerler olarak tanımlanır. (Riess, 2000). İyonik iletken polimerlerde iletkenlik özellikleri tuz ile sağlanırken, polimer ise çözülmüş haldeki tuzun hapsedilmesi için gerekli olan ağ yapısını sağlar (Agrawal ve diğ., 1994)

İyonik iletken polimerler polimer jel elektrolitler ve polimer elektrolitler olarak ikiye ayrılabilir. Polimer jel elektrolitler polimer, tuz ve çözücü grubundan oluşan sistemlerdir (Sekhon ve diğ., 2003). Polimer jel elektrolitlerde iletkenlik genellikle çözücü (içerisinde tuz çözülmüş olarak bulunur) üzerinden gerçekleşir (Lan ve diğ., 2007). Tuzu içeren çözücünün polimer matrisi içerisinde hapsedilmesi ile jel elektrolit elde edilmektedir. Bu sistemde iletkenlik tuz çözeltisi tarafından sağlanırken, polimer sıvı elektroliti tutan/absorplayan yapı görevindedir. İyonik iletkenlik özelliği, çözücü içerisinde bulunan tuz iyonları sayesinde gerçekleşmektedir (Sekhon ve diğ., 2003).

Polimer elektrolitler ise katı kompleks yapılardır. Bir koordinasyon polimerinde iletkenlik özellikleri sağlayacak olan tuzun polimer yapı içerisinde çözünmesi ile elde edilebilir. Polimerin segmental hareketliliği iletkenlik ile ilişkilidir (De Freitas ve diğ., 2008).

İyonik iletkenlik – sıcaklık ilişkisi değerlendirilirken genelde uygulanabilecek olan iki denklem mevcuttur. Bunlar Arrhenius ve Vogel-Tamman-Fulcher denklemleridir. $1/T$ ile $\ln\sigma$ verileri ile oluşturulan grafiklerin doğrusal ya da eğri şeklinde olması hangi denklemin kullanılacağını tespit etmekte kullanılmaktadır.

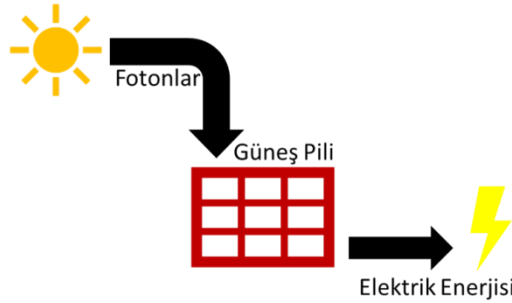
İyonik iletkenliğin sıcaklık ile ilişkisini gösteren grafik doğrusal ise Denklem 2.1’de verilen Arrhenius, eğri ise Denklem 2.2’de verilen Vogel-Tamman-Fulcher denklemine uygunluğu araştırılır (Wu ve diğ., 2007a; Lan ve diğ., 2006).

$$\sigma = A \exp(-E_a/RT) \quad (2.1)$$

$$\sigma(T) = AT^{-1/2} \exp[-E_a(T-T_o)] \quad (2.2)$$

2.3. GÜNEŞ PİLLERİNİN TANIMI VE KISA TARİHÇESİ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneş pilleri gelmektedir. Güneş pilleri, ışığı doğrudan elektrik akımına çevirebilen fotovoltaik hücrelerdir. Fotovoltaik hücreler çevreye zarar vermeyen sistemlerdir. Fotovoltaik etki Becquerel adındaki Fransız fizikçi tarafından keşfedilmiştir (Becquerel, 1839).



Şekil 2.3: Basit olarak güneş pilinin çalışma prensibi.

Fotovoltaik hücrelerin tarihsel ilerleyişi aşağıdaki gibidir (Kim, 2014, Bahrami ve diğ., 2012, Spanggaard, 2004).

1839: H. Becquerel fotovoltaik etkiyi keşfetti.

1883: C. Fritts selenyumdan yapılmış ilk güneş pilini yaptı.

1941: R. Ohl p-n eklemleri keşfederek, fotovoltaik hücrede %1’lik verime ulaşmıştır.

1954: D. Chapin ve C. Fuller ilk kez %4,5 verimle çalışan, arsenik ve bor ile p-n eklemli silisyum güneş hücrelerini ürettiler.

1974: A.Heeger, A.McDiarmid, H.Shirkawa ilk kez yarı iletken polimerleri keşfederek, fotovoltaik hücre araştırmaları yeni bir boyut kazanmıştır.

1986: Tang, iki katlı organik fotovoltaik hücreyi oluşturmuştur.

1991: O' Regan ve Gratzel ilk kez boya duyarlı güneş hücrelerini ürettiler.

1993: N.S. Sarıçiftçi, ilk polimer/ C60 organik güneş pilini yaptı.

1994: G. Yu, ilk yağın polimer/ C60hetero eklem organik güneş pilini yaptı.

1995: G. Yu ve Hall, ilk yağın polimer/ polimer hetero eklem güneş pilini yaptı.

2000: Peters/ van Hal oligomer/ C60'ı aktif tabaka olarak kullandılar.

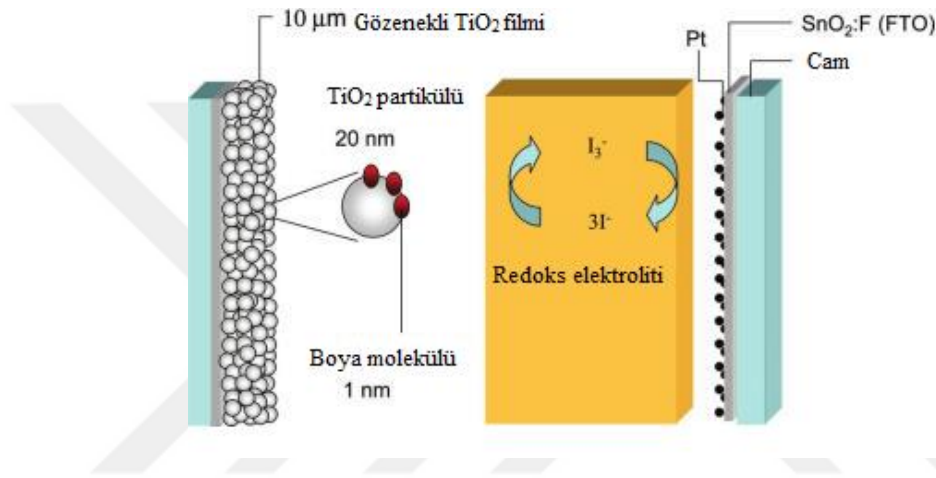
2.4. BOYA İLE DUYARLILAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ PİLLERİ

Boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinin ilk örnekleri Graetzel ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Graetzel ve O'Regan, nano-kristal TiO₂ filmini boyalar ile görünür bölgede duyarlaştırarak ilk boya ile duyarlılaştırılmış güneş pilini oluşturmuşlardır (Graetzel ve O'Regan, 1991). Bu hücreler düşük maliyetli olmaları sebebiyle gelenksel güneş pillerine bir alternatif olabilmişlerdir.

Günel pilleri alanında boya ile duyarlılaştırılmış (DSSC) güneş pilleri üzerine çalışmaların yaygınlaşmasında en büyük etkenlerden birisi de montajının kolay oluşu ve maliyet penceresinde diğer nesillere göre daha ekonomik oluşudur (Graetzel, 2001; Graetzel ve O'Regan, 1991). Boya ile duyarlılaştırılmış güneş pilleri üzerine yapılmış olan çalışmalar sırasında kaydedilmiş olan en yüksek verimlilik değeri %13'tür (Mathew ve diğ., 2014). Bununla bu sistemler için birlikte verim artışı üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

Gelenksel boya ile duyarlılaştırılmış güneş pilleri boya emdirilmiş gözenekli TiO₂ elektrotu ve platin karşıt elektrot arasında I⁻/I₃⁻ redoks çiftini içeren elektrolitten oluşur (Lee ve Yang, 2011). Boya ile duyarlılaştırılmış güneş pili, doğrudan güneş ışığına maruz kaldığında boya

molekölü fotonu absorblayarak uyarılmış hale geçer. Uyarılmış boya molekülleri uyarılmış elektronu TiO_2 katmanına ileterek kollektöre ulaşmalarını sağlayarak, dış devreye ulaşmasını sağlar. Elektron kaybederek iyonize olmuş olan boya molekülleri elektrolit çözeltisinde bulunan iyodür ile indirgenir ve bu süreç sonucunda triiyodür iyonları oluşur. Triiyodür iyonları katotta dış devreden gelen elektronlar ile iyodür iyonlarına indirgenir. Bu proses hücre ışığa maruz kaldığı sürece devam eder (Calogero ve Marco, 2008; Aziz ve diğ. 2015).



Şekil 2.4: Boya ile duyarlılaştırılmış güneş pili (Boschloo ve Hagfeldt, 2009).

Boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinin çalışma mekanizmasını açıklayarak fotoelektrik süreci gösteren denklemlerde D (dye), boya; D^* ; uyarılmış boya molekülünü simgelemektedir. Anot ve katot kısımlarında gerçekleşen adımlar aşağıda açıklanmıştır (Arjunan ve Senthil, 2013; Narayan M.R., 2012).

Anot;

Adım 1 – Işığın boya(D) tarafından absorpsiyonu;



Adım 2 – Uyarılmış molekülün TiO_2 iletkenlik bandına elektron vermesi;



Adım 3 – Rejenerasyon



Katot;

Adım 4 – İndirgenme



Hücre reaksiyonu toplam olarak aşağıdaki şekildedir;



Elektrolitler boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinin verim ve etkinliğini doğrudan etkileyen en önemli bileşendir (Wang, 2009). Güneş pillerinde kullanılan elektrolitler sıvı, katı ve jel olmak üzere üçe ayrılıp incelenirler (Wu ve diğ., 2008).

2.5. POLİMER ELEKTROLİTLER

Tüm elektrolitler pozitif ve negatif yüklü iyonları taşıyan maddelerdir. Negatif yüklü iyonlara anyon, pozitif yüklü iyonlara ise katyon denir. Katyon ve anyonlar uygun çözücü içerisinde disosiyasyon olduğunda oluşan çözelti elektrik akımını iletme özelliği kazanır ve elektrolit olarak adlandırılır.

Elektrolitler güneş pili performansını doğrudan etkileyen malzemelerdir, aynı zamanda pilin güvenilirliğini, akım yoğunluğunu, döngü performansını etkiler. Bir elektrolitin sahip olması istenilen temel özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Tarascon and Armand, 2001, Armand and Tarascon, 2008, Xu, 2004).

1. Geniş sıcaklık bandında yüksek iletkenlik değeri
2. Yüksek termal dayanıklılık
3. Geniş elektrokimyasal pencere: elektrot ve elektrolit arasındaki yan reaksiyonlara izin vermemeli
4. Düşük maliyet
5. Güvenli olmalı, yüksek parlama noktasına sahip olmalı
6. Zehirli olmamalı ve çevre dostu olmalı.

Elektrolitleri fiziksel durumuna göre üç ana başlıkta sınıflandırabiliriz: sıvı elektrolit, katı elektrolit, jel elektrolit.

Sıvı elektrolitler yerine polimer kullanmak hücre konfigürasyonu kısıtlamasının üstesinden geldiği ve ince film oluşturma işlemlerini kolaylaştırdığı için daha verimlidir. Katı

elektrolitlerde tuz polimer membran içerisine hapsedilir. Hem katı hem de jel elektrolitlerde host olarak polimer yapı kullanılır, fakat aralarındaki fark çözücü varlığıdır. Jel elektrolitler sıvı elektrolitin polimer matriksi içerisine hapsedilmesi ile hazırlanır, katı elektrolitlerde ise çözücü yoktur (Zhang, 2013).

2.5.1. Katı Polimer Elektrolitler

Katı polimer elektrolitler sıvı/jel elektrolitlerle kıyaslandığında, katı polimer elektrolitler, içerisinde solvent bulunmadığı için alev alma tehlikesini ortadan kaldırmış olur.

Poli(etilen oksit) katı polimer elektrolitlerde kullanılan polimerlere örnek verilebilir. Katı polimer elektrolitlerin ilk örneklerinden olan poli(etilen oksit) esaslı sistemler oda sıcaklığında düşük iletkenlik değerleri göstermiştir (Fenton and Parker, 1973).

2.5.2. Sıvı Elektrolitler

Sıvı elektrolitler katı ve jel elektrolitlere göre yüksek iletkenlik değerleri gösterirler fakat bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar; düşük sıcaklıklarda elektrolitin donması ve elektrik üretiminin durmasına sebep olması, yüksek sıcaklıklarda ise elektrolitin genişleyerek sızıntı problemlerine sebep olmasıdır.

2.5.3. Polimer Jel Elektrolitler

Jeller özel koşullarda bulunurlar, ne sıvı, ne katı, ne de gaz formundadırlar. Şişmiş jeller, yani yüksek miktarda çözücü absorblamış jeller ne katı ne de sıvı formdadırlar. Jel elektrolitler hem viskoz sıvıların hem de katıların özelliklerine sahip olabilirler.

Polimer jeller ağ yapısı ve çözücünden oluşurlar. Polimer jeller çözücüyü ağ yapısında hapsederler yani solventin ortamdaki uzaklaşmasını önleyen bir yapı görevi görür. Bu sayede polimer jel yapısı hem katı hem de sıvı özelliklerini barındırabilir.

Polimer jeller absorbladıkları solvente göre örneğin absorblanan solvent su ise hidrojel, alkol ise alkoljel vb. şeklinde isimlendirilebilirler. Absorblanan solvent yerine elektrolit çözeltisi kullanılırsa, polimer jel polimer jel elektrolit olarak isimlendirilir.

Polimer jel elektrolitler, tuz-çözücü-polimer içeren sistemlerdir. Öncelikle uygun tuz yapısı ve çözücü belirlenir ve sıvı elektrolit hazırlanır. Daha sonra uygun polimer yapısı içerisine sıvı

elektrolitnin absorpsiyonu ile jel elektrolit hazırlanırlar. Polimer jel elektrolitler oda sıcaklığında yüksek iletkenlik değerleri, uygun yapışma özelliği, istenilen özelliklerde hazırlanabilmesi, film oluşturmaya uygun olması sebebiyle güneş pillerindei yakıt hücrelerinde, süperkapasitörlerde vb. gibi uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar (Abraham and Alamgir, 1994).

Polimer jel elektrolitlerde tuz genellikle, iletim prosesinde rol alan mobil iyon kaynağıdır, çözücü ise hem tuzun çözünmesinde hem de jel elektrolitinin viskozitesini arttırarak mekanik dayanıklılık sağlar. Kullanılan tuz genellikle büyük anyonlara ve düşük disosiyasyon enerjisine sahip olmalıdır, bu sayede çözücü içerisinde kolayca disosiyasyon olabilir. Ayrıca kullanılan çözücünün de yüksek dielektrik sabitine sahip olması düşük viskoziteli ve yüksek kaynama noktasına sahip olması aranan özellikler arasındadır.

Jel elektrolitler katı ve sıvı elektrolitlerle kıyaslandığında bazı avantajlara sahiptir, şekil kısıtlaması yoktur, yüksek güç yoğunlukları ve hızlı şarj/deşarj özellikleri vardır (Armand and Tarascon, 2008, Manuel, 2006, Song and Wang, 1999).

Genel olarak boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinde sıvı elektrolitlerin kullanılması kararlılık problemlerinden dolayı uzun ömürlü olmamaktadır. Bu dezavantajın önüne geçebilmek için polimer jel elektrolitler kullanılmaktadır (Aziz ve diğ. 2015). Boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinin uzun vade etkinliklerinin arttırılabilmesi için bir çok polimer matriksi kullanılmıştır. Bunların bazıları; polimetilmetakrilat (PMMA) (Dissanayake ve diğ., 2014), poliakrilonitril (PAN) (Mohan ve diğ., 2013), poli(viniliden florür-heksafloropropilen)/poli(vinil alkol) (PVDF-HFP/PVA)'dır (Tiautit ve diğ., 2014).

Tez çalışması kapsamında, poli(vinil alkol) (PVA) polimer matriksi olarak polimer jel elektrolit hazırlanmasında kullanılacaktır. Poli(vinil alkol), zincir yapısında hidroksil grubu içerir (Bhargav ve diğ., 2009). Poli(vinil alkol) zincir yapısında bulunan O-H bağları polimere kompleks ağ yapıları oluşturma imkanı sağlamaktadır (Aziz ve diğ. 2015). PVA'nın diğer avantajları yüksek mekanik dayanım, yüksek iyonik iletkenlik, toksik olmayışı, biyoyumlu olması, biyobozunur olması ve kolay hazırlanabilir oluşudur (Jia ve diğ.,2007; Rajendran ve diğ, 2004).

Poli(vinil alkol) yüksek hidrofilik özellikleri sebebiyle 1950'li yıllardan beri yaygın olarak kullanılmaktadır (Zheng ve diğ, 2001). Poli(vinil alkol) hidrofilitesi uygulama alanında avantaj sağlasa da, PVA moleküllerinin polihidroksi grupları hidrojen bağı ile kümelenmesine sebep olduğundan dolayı uygulamalarda sınırlayıcı bir faktör olabilmektedir (Coleman ve Painter, 1995).

Poli(vinil alkol)'ün polimer matrisi içerisinde çözücü tutma performansının iyi oluşu ve geniş sıcaklık aralığında iletken olabilmesi gibi özellikleri de diğer avantajlarından bazılarıdır (Every ve diğ., 1994). Poli(vinil alkol)'ün, polimer matrisine tuz eklenmesi ile polimer elektrolit film oluşturulması mümkündür (Kulshrestha ve diğ., 2014). Yukarıda bahsedilen özelliklerin tamamı göz önüne alındığında, PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinde kullanıma uygunluğunun araştırılması önem taşımaktadır. Bu amaçla, öncelikle PVA esaslı jel elektrolitlerin uygun tuz ve çözücü varlığında hazırlanması, iyonik iletkenlik özelliklerinin incelenmesi ve karakterizasyon çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tez çalışması kapsamında PVA esaslı jel elektrolitler nano katkısız ve katkılı olarak hazırlanmış, uygun tuz yapısı ve çözücü karışımı kullanılarak iyonik iletkenlik özellikleri belirlenmiş ve ayrıntılı karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. KİMYASAL MADDELER

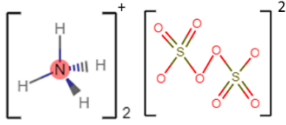
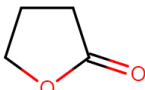
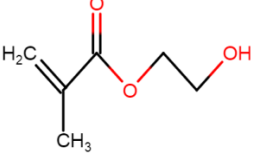

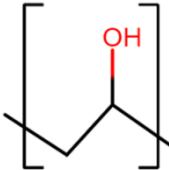
Tez çalışması kapsamında kullanılmış olan kimyasal maddelerin özellikleri ve temin edildikleri firmaların isimleri ve kökenleri Tablo 3.1’de verilmektedir. Kullanılan kimyasalların tamamı herhangi bir saflaştırma işlemine tabii tutulmadan kullanılmıştır.

Tablo 3.1: Kullanılan kimyasal malzemeler ve özellikleri.

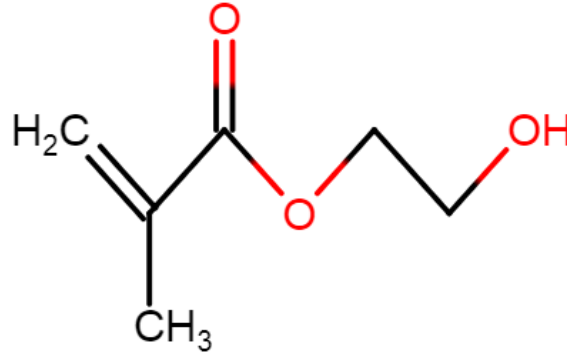
Kimyasal Madde	Firma, Şehir/Ülke	Genel Özellikleri
Amonyum persülfat	Merck, Darmstadt/Almanya	Ekstra saflıkta Molekül ağırlığı: 228.19 g/mol
γ -Butirolakton	Aldrich, Steinheim/Almanya	%99 saflıkta Molekül ağırlığı: 86.09 g/mol
Karbon Nanopowder	Aldrich	Mesoporous, graphitized, <500 Nm (DLS), >99.95% trace metals
2- Hidroksietil metakrilat	Merck, Schuchardt Hohenbrunn, Almanya	≥ 97.0 saflıkta Molekül ağırlığı: 130.14 g/mol
İyot	Riedel-de Haën, Seelze-Almanya	%99.8 saflıkta Molekül ağırlığı: 253.81 g/mol
1-metil-2-pirolidon	Sigma-Aldrich (Steinheim) Almanya	%99 saflıkta Molekül ağırlığı: 99.13 g/mol
Potasyum iyodür	Merck, Darmstadt, KGAA/Almanya	Sentez saflığında Molekül ağırlığı: 166 g/mol
Poli(vinil alkol)	Merck, Schuchardt OHG Hohenbrunn, Almanya	Molekül Ağırlığı: 72000 g/mol
Titanyum(IV) oksit	Sigma-Aldrich, GmbH	Nanopowder, 21nm particle size (TEM), $\geq 99.5\%$ trace metals basis

Tez çalışması kapsamında kullanılmış olan kimyasal maddelerin yapıları Tablo 3.2’de gösterilmektedir.

Tablo 3.2: Kullanılan kimyasal maddeler ve kimyasal yapıları.

Kimyasal maddeler	Kimyasal Yapıları
Amonyum persülfat (APS)	
γ -Butirolakton (GBL)	
Karbon Nanopowder	C
2- Hidroksietil metakrilat	
İyot	I ₂
1-metil-2-pirolidon (NMP)	
Potasyum iyodür	KI
Poli(vinil alkol)	
Titanyum(IV) oksit	TiO ₂

3.1.1 2-Hidroksietil Metakrilat (HEMA) Monomerinin Özellikleri

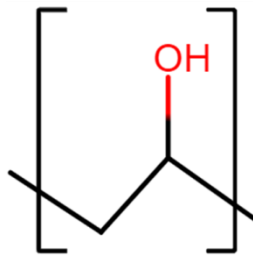


Şekil 3.1: 2-Hidroksietil Metakrilat (HEMA) monomerinin kimyasal yapısı.

2-Hidroksietil Metakrilat (HEMA) açık gösterimi Şekil 3.1’de verilmiştir. Kapalı formülü $C_6H_{10}O_3$ ($CH_2=C(CH_3)COOCH_2CH_2OH$) olan sıvı monomerin molekül ağırlığı 130.14 g/mol’dür. 2-hidroksietil metakrilat (HEMA) monomeri berrak bir görüntüye sahip renksiz bir sıvıdır.

2-hidroksietil metakrilat (HEMA) monomeri bir çok organik çözücüde çözünebilir ve su ile karışabilir bir yapıdadır (Lewis, 1993).

3.1.2 Poli(vinil alkol) (PVA)’nın Özellikleri



Şekil 3.2: Poli(vinil alkol) (PVA) polimerinin kimyasal yapısı.

Poli(vinil alkol)’ün açık gösterimi Şekil 3.1’de verilmiştir. Poli(vinil alkol), poli(vinil asetat)’ın sabunlaşma reaksiyonu sonucunda elde edilir (Pal ve diğ., 2007; Zainuddin ve diğ., 2001) ve uzun yıllardır film oluşturma özellikleri sebebi ile diğer polimer karışımlarında kullanılır (Horii ve diğ., 1992; Albdiry ve Yousif, 2013).

Poli(vinil alkol) molekül ağırlığı 20000-400000 arasında, vinil asetat polimerinin uzunluğuna, asetat gruplarını elimine etmek için alkali ya da asidik koşullarda oluşan hidroliz seviyesine bağlı olarak değişebilir (Demerlis ve Schoneker 2003).

Poli(vinil alkol) zincir yapısında OH molekülü bulundurması sayesinde kompleks ağ yapıları oluşturmaya elverişlidir.(Aziz ve diğ. 2015). Yüksek mekanik dayanımlı, suda çözünebilen, geniş sıcaklık değerlerinde iyonik iletkenlik özelliğini koruyabilen, biyouyumlu ve polimer matrisi içerisinde çözücü hapsedme oranı yüksek bir polimerdir (Every ve diğ., 1994; Jia ve diğ.,2007; Rajendran ve diğ, 2004).

3.2. CİHAZLAR

Tez kapsamında kullanılan cihazlar ve bunların özellikleri Tablo 3.3’de verilmektedir.

Tablo 3.3: Kullanılan cihazlar ve özellikleri.

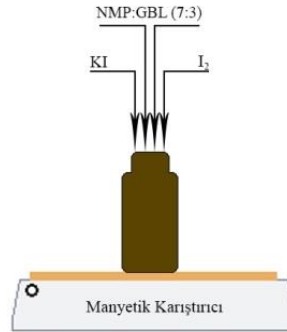
Cihaz	Model ve Özellik
Fourier Transform Infrared Spektroskopisi (FTIR)	Perkin Elmer Precisely Spectrum One
Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)	DSC-60 SHIMADZU
Termal Gravimetrik Analiz (TGA)	DTG-60 Simultaneous DTA-TGA Apparatus SHIMADZU
X-Işını Kırınımı Analizi (XRD)	Rigaku D/Max-2200/PC
İyonik İletkenlik Ölçer	JENCO 3173 Masa Tipi
Hassas Terazî	Radwag AS 220/C/2 (0.1mg hassasiyet)
Vakum Etüvü	NÜVE EV018
Su Banyosu	BÜCHI Heating Bath B-490 ve Polyscience
Deiyonize Su Cihazı	MILLIPORE Direct-Q 3UV with Pump
Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı	WiseStir MSH-20D
Vorteks Tüp Karıştırıcı	WiseMix VM-10

3.3. DENEYSEL YÖNTEMLER

3.3.1 PVA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlerin Hazırlanması

3.3.1.1 Sıvı Elektrolitlerin Hazırlanması

Sıvı elektrolitlerin hazırlanmasında, alkali metal iyodür tuzu olarak potasyum iyodür (KI) kullanılmıştır. Alkali metal iyodür tuzu ile redoks çifti oluşturmak için hazırlanan elektrolite iyot (I_2) ilave edilmiştir. Organik çözücü olarak 1-metil-2-pirolidon (NMP) ile γ -butirolakton (GBL) çözücüleri kullanılmıştır. Hazırlanan çözücü 7:3 oranında 1-metil-2-pirolidon: γ -butirolakton (NMP:GBL) içermektedir. Hazırlanan tüm sıvı elektrolitlerde iyodür tuzu/iyot mol oranı 10/1 oranında sabit tutulmuştur. Alkali metal iyodür tuzu miktarının iyonik iletkenlik üzerine etkisinin araştırılabilmesi için, 0.2M, 0.4M, 0.6M, 0.8M ve 1.0M olmak üzere beş farklı sıvı elektrolit hazırlanmıştır. Hazırlanan tüm sıvı elektrolitler koyu renkli cam şişeler içerisinde muhafaza edilmiş olup, her örnek için taze olarak hazırlanmıştır. Genel deney düzeneği Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Sıvı elektrolit hazırlanış prosesi.

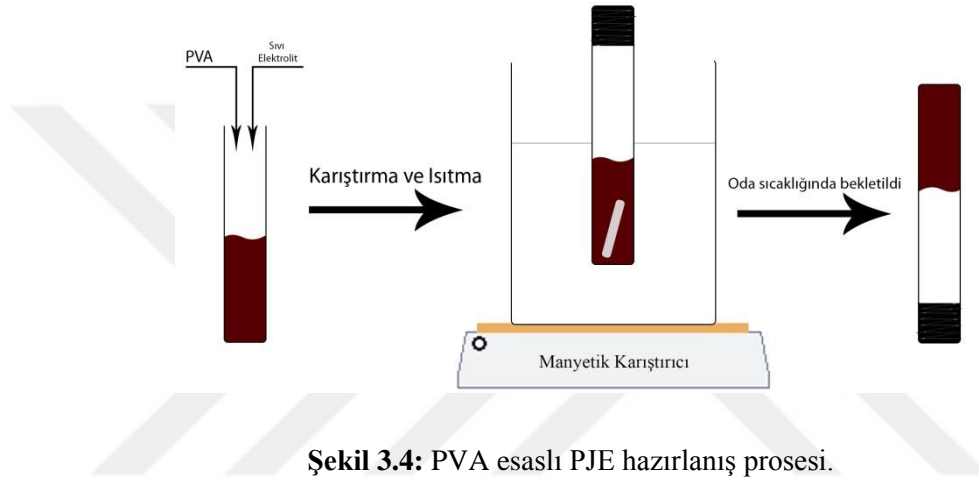
3.3.1.2 PVA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlerin Hazırlanması

Poli(vinil alkol) sıvı elektrolit çözeltilerine toplam ağırlığın yüzde üçü kadar ilave edilmiştir. Örnekler yağ banyosunda $110^{\circ}C$ 'de bir saat boyunca manyetik karıştırıcılı ısıtıcı ile karıştırılarak hazırlanmıştır. Daha sonra örnekler oda sıcaklığında akamaz hale gelene kadar bekletilmiştir. Hazırlanmış olan polimer jel elektrolitlerin (PJE) sistematik isimlendirilmesi aşağıda belirtilen şekilde gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında yapılan sistematik isimlendirmeler ile 7:3 NMP:GBL organik çözücüsü ve potasyum iyodür (KI) tuzu / iyot (I_2)

ile hazırlanmış olan polimer jel elektrolitler ifade edilmektedir. Hazırlanan tüm sıvı elektrolitlerde iyodür tuzu/iyot mol oranı 10/1 oranında sabit tutulmuştur. Genel deney düzeneği ve işlem akışı Şekil 3.4’te verilmiştir.

PVA-x için: x: Sıvı elektrolit içerisindeki KI konsantrasyonu

Örneğin; PVA-0.8 kodu polimer jel elektrolitin 0.8M KI 0.08M I₂ konsantrasyonuna sahip sıvı elektrolit ile hazırlandığını göstermektedir.



Şekil 3.4: PVA esaslı PJE hazırlanış prosesi.

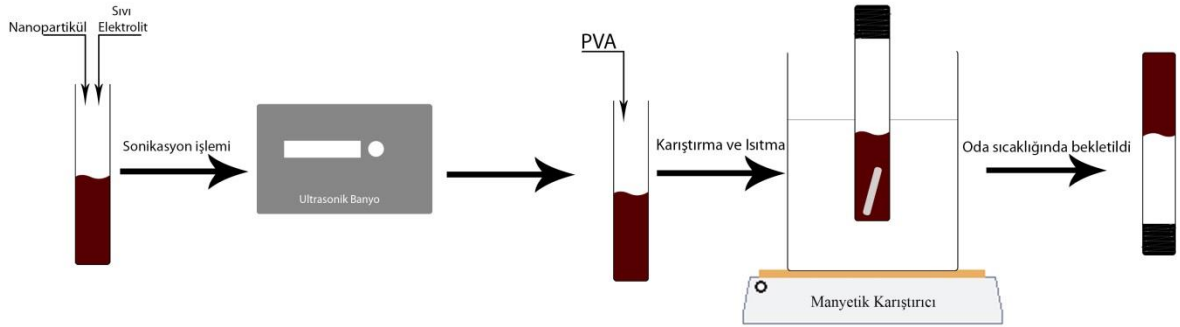
3.3.1.3 Nano Katkılı Polimer Jel Elektrolitlerin Hazırlanması

Grafit ve TiO₂ katkı polimer jel elektrolitlerin hazırlanırken öncelikle sıvı elektrolit ve gerekli miktardaki nano katkı bir tüpü içerisine eklendikten sonra ultrasonik banyoda 30 dk boyunca bekletilmiştir. Ultrasonik banyoda nano katkının sıvı elektrolit içerisinde dağıtılması gerçekleştirildikten sonra poli(vinil alkol), nano katkı sıvı elektrolit çözeltilerine toplam ağırlığın (nano katkı ağırlığı hariç) yüzde üçü kadar ilave edilmiştir. Örnekler yağ banyosunda 110 °C’de bir saat boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak hazırlanmıştır. Daha sonra örnekler oda sıcaklığında akmaz hale gelene kadar bekletilmiştir. Hazırlanmış olan polimer jel elektrolitlerin (PJE) sistematik isimlendirilmesi aşağıda belirtilen şekilde gerçekleştirilmiştir. Genel deney düzeneği ve işlem akışı Şekil 3.5’de verilmiştir.

PVA-x-y için; x: nano katkı adı,

y: PVA ağırlığına göre eklenmiş nano yüzdesi

Örneğin: PVA-Grafit-0.4 kodu; 0.8M KI/0.08M I₂ içeren elektrolit çözeltilisine PVA ağırlığının %0.4’ü kadar Grafit eklendiğini ifade etmektedir.

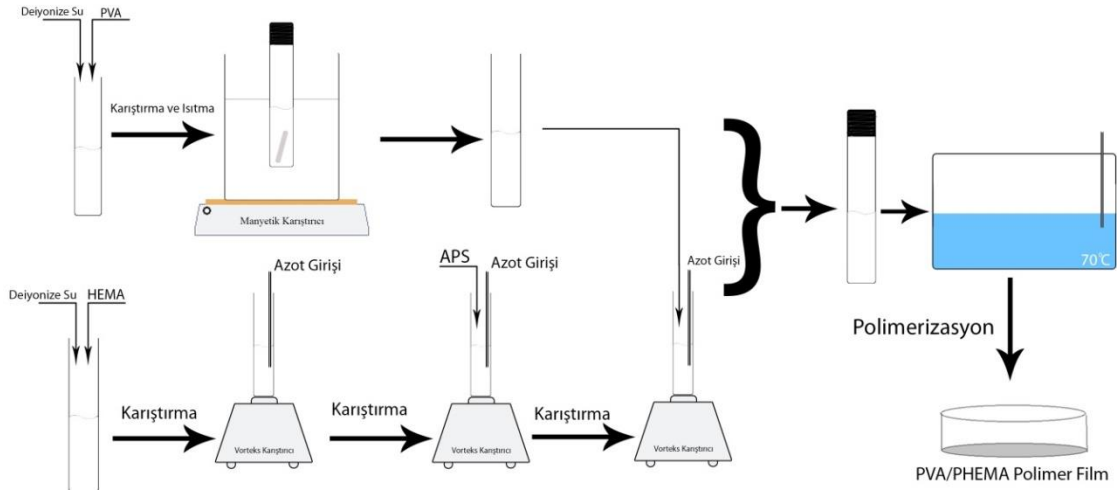


Şekil 3.5: PVA esaslı nano katkılı PJE hazırlanış prosesi.

3.3.2 PVA/PHEMA Filmlerinin ve PVA/PHEMA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlerin Hazırlanması

3.3.2.1 PVA/PHEMA Filmlerinin Hazırlanması

PVA/PHEMA polimer karışımı 1.3 cm çapıda ve 15 cm uzunluğunda deney tüplerinde gerçekleştirilmiştir. 2-hidroksietil metakrilat (HEMA) monomerinin homopolimeri (PHEMA) başlatıcı olarak amonyum persülfat (APS) kullanılarak deiyonize su içinde hazırlanmıştır. Öncelikle gerekli miktarda PVA deney tüpü içerisinde yeterli miktarda deiyonize su içinde çözünmesi sağlanmıştır. Daha sonra gerekli miktarda HEMA deney tüpüne eklenerek üzerine belirlenen miktarda deiyonize su ilave edilmiştir. Elde edilen deiyonize su HEMA karışımı vorteks karıştırıcıda azot ortamında karıştırıldıktan sonra HEMA monomerinin ağırlıkça %1'i kadar başlatıcı (APS) eklenmiştir. HEMA + su + APS karışımı bir süre daha azot ortamında karıştırıldıktan sonra, karışımın üzerine daha önce hazırlanan PVA + su karışımı eklenerek azot ortamında karıştırma işlemine devam edilmiştir. Polimerizasyon işlemi sıcaklık kontrollü su banyosunda 70 °C'de 24 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen polimer karışımı petri kabına dökülerek oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Genel deney düzeneği ve işlem akışı Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6: PVA/PHEMA filmlerinin hazırlanış prosesi.

Hazırlanmış olan PVA/PHEMA için sistematik isimlendirme aşağıda belirtilen şekilde gerçekleştirilmiştir.

PVA/PHEMA(x) için: x: Polimer karışımındaki ağırlıkça PVA yüzdesi

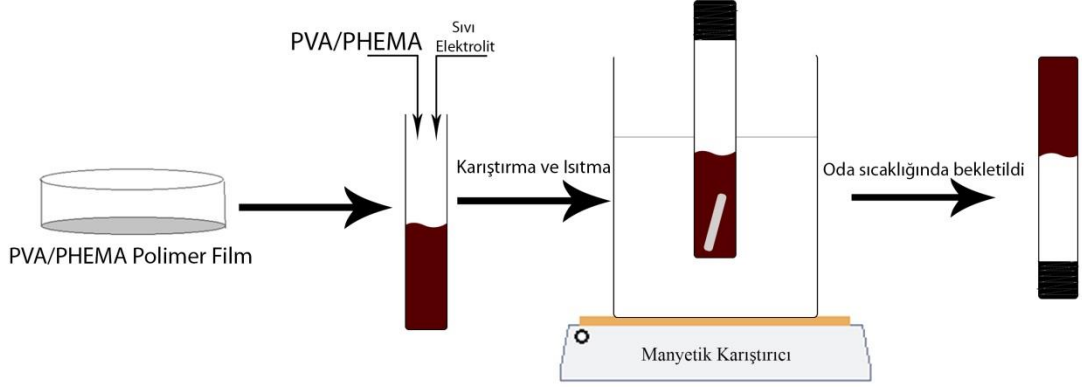
Örneğin; PVA/PHEMA(25) kodu PVA:PHEMA oranının 25:75 olduğunu göstermektedir.

3.3.2.2 Sıvı Elektrolitlerin Hazırlanması

Tez çalışmasının bu kısmında yapılan deneylerde, 0.8M KI/0.08M I₂ oranında sıvı elektrolit kullanılmıştır. Hazırlanan çözücü 7:3 oranında 1-metil-2-pirolidon:γ-butirolakton (NMP:GBL) içermektedir. Hazırlanan tüm sıvı elektrolitlerde iyodür tuzu/iyot mol oranı 10/1 oranında sabit tutulmuştur.

3.3.2.3 PVA/PHEMA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlerin Hazırlanması

Oda sıcaklığında kurutularak sabit tartıma gelen kuru PVA/PHEMA sıvı elektrolit çözeltilerine toplam ağırlığın yüzde üçü kadar ilave edilmiştir. Örnekler yağ banyosunda 110 °C’de bir saat boyunca manyetik karıştırıcılı ısıtıcı ile karıştırılarak hazırlanmıştır. Daha sonra örnekler oda sıcaklığında akma hale gelene kadar bekletilmiştir. Genel deney düzeneği ve işlem akışı Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7: PVA/PHEMA PJE hazırlanış prosesi.

Hazırlanmış olan polimer jel elektrolitlerin (PJE) sistematik isimlendirilmesi aşağıda belirtilen şekilde gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında sistematik isimlendirmeler ile 7:3 NMP:GBL organik çözücüsü ve potasyum iyodür (KI) tuzu / iyot (I_2) ile hazırlanmış olan polimer jel elektrolitler ifade edilmektedir.

PVA/PHEMA-PJE(x) için: x: PVA yüzdesi

Örneğin; PVA/PHEMA-PJE(25) kodu polimer jel elektrolitin PVA:PHEMA oranının 25:75 olduğunu göstermektedir.

3.3.2.4 Nano Katkılı Polimer Jel Elektrolitlerin Hazırlanması

Grafit ve TiO_2 katkı polimer jel elektrolitlerin hazırlanırken öncelikle sıvı elektrolit ve gerekli miktardaki nano bir deney tüpüne eklendikten sonra ultrasonik banyoda 30 dk boyunca bekletilmiştir. Daha sonra oda sıcaklığında kurutularak sabit tartıma gelen kuru PVA/PHEMA nano katkı sıvı elektrolit çözeltisine toplam ağırlığın (nano katkı ağırlığı hariç) yüzde üçü kadar ilave edilmiştir. Örnekler yağ banyosunda $110\text{ }^\circ\text{C}$ 'de bir saat boyunca manyetik karıştırıcılı ısıtıcı ile karıştırılarak hazırlanmıştır. Daha sonra örnekler oda sıcaklığında akmaz hale gelene kadar beklenmiştir.

Hazırlanmış olan polimer jel elektrolitlerin (PJE) sistematik isimlendirilmesi aşağıda belirtilen şekilde gerçekleştirilmiştir.

PVA/PHEMA-PJE(x)-y-z için: x: ağırlıkça PVA yüzdesi

y: Nano katkı

z: PVA/PHEMA ağırlığına göre eklenmiş nano yüzdesi

Örneğin; PVA/PHEMA-PJE(25)-grafit-0.4 kodu polimer jel elektrolitin PVA:PHEMA oranının 25:75 olduğunu ve polimer jel elektrolit hazırlanırken kullanılan sıvı elektrolit içerisinde PVA/PHEMA ağırlığının %0.4'ü kadar grafit bulunduğunu göstermektedir.

3.3.3 İyonik İletkenlik Değerinin Sıcaklıkla Değişiminin İncelenmesi

Hazırlanmış olan polimer jel elektrolitlerin ve nano katkı polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik ölçümleri, JENCO marka 3173 model iletkenlik ölçüm cihazı kullanılarak 20-70 °C aralığında gerçekleştirilmiştir.

3.3.5. İletkenlik – Sıcaklık İlişkisinin Belirlenmesi

Polimer jel elektrolitlerin kinetik davranışlarını incelemek ve sıcaklık-iletkenlik arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla, iyonik iletkenlik ölçümü sırasında elde edilen veriler kullanılarak $\ln\sigma-1/T$ grafiği çizilmiş ve grafiğin doğrusallığı değerlendirilmiştir. $\ln\sigma$ ile $1/T$ arasında çizilen grafiğin regresyon katsayısı hesaplanarak kinetik verilerin Vogel-Tamman-Fulcher ya da Arrhenius Denklemi'ne uygunluğu incelenmiştir.

3.4. ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.4.1 Fourier Transform Infrared Spektroskopisi Analizi (FTIR)

PVA, PVA/PHEMA, PVA ve PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitler, grafit katkı ve TiO_2 katkı polimer jel elektrolitler FTIR ile yapısal açıdan karakterize edilmiştir. IR bölgesi ışınlarını absorblayan KBr analizlerde kullanılmıştır. Analiz edilecek olan örnek ağırlıkça %1 KBr ise ağırlıkça %99 olacak şekilde 200 bar basınç uygulanarak tablet oluşturulmuştur. Hazırlanmış olan örnek tabletler Perkin Elmer marka Precisely Spectrum One model FTIR cihazında analiz edilmiştir.

3.4.2 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC)

Polimerlerin (PVA ve PVA/PHEMA) ve polimer jel elektrolitlerin (PVA esaslı jel elektrolitler, PVA/PHEMA jel elektrolitler, grafit katkı jel elektrolitlerin ve TiO_2 katkı jel elektrolitler) termal analizleri SHIMADZU marka DSC-60 DSC cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde azot atmosferi 20mL/dk'lık akış kullanılarak oluşturulmuş ve

ısıtma hızı 10°C/dk olacak şekilde sabit tutulmuştur. Analizler sırasında alüminyum kroseler kullanılmış olup, örnekler -40°C ile 400°C aralığında analiz edilmiştir.

3.4.3 Termal Gravimetrik Analiz (TGA)

Polimerlerin (PVA ve PVA/PHEMA) ve polimer jel elektrolitlerin (PVA esaslı jel elektrolitler, PVA/PHEMA jel elektrolitler, grafit katkılı jel elektrolitlerin ve TiO₂ katkılı jel elektrolitler) termal analizleri SHIMADZU marka DTG-60 model TGA cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde azot atmosferi 20mL/dk'lık akış kullanılarak oluşturulmuş ve ısıtma hızı 10°C/dk olacak şekilde sabit tutulmuştur. Analizler sırasında alüminyum kroseler kullanılmış olup, örnekler 30°C ile 500°C aralığında analiz edilmiştir.

3.4.4 X-Işını Kırınımı (XRD) Analizi

Polimerlerin (PVA ve PVA/PHEMA) ve polimer jel elektrolitlerin (PVA esaslı jel elektrolitler, PVA/PHEMA jel elektrolitler, grafit katkılı jel elektrolitlerin ve TiO₂ katkılı jel elektrolitler) X-Işını kırınımı analizi Rigaku marka D/Max-2200/PC model XRD cihazı ile 10–90° aralığında (Cu K α 1 radiation, $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$) gerçekleştirilmiştir.

3.4.5 İyonik İletkenlik Ölçümü

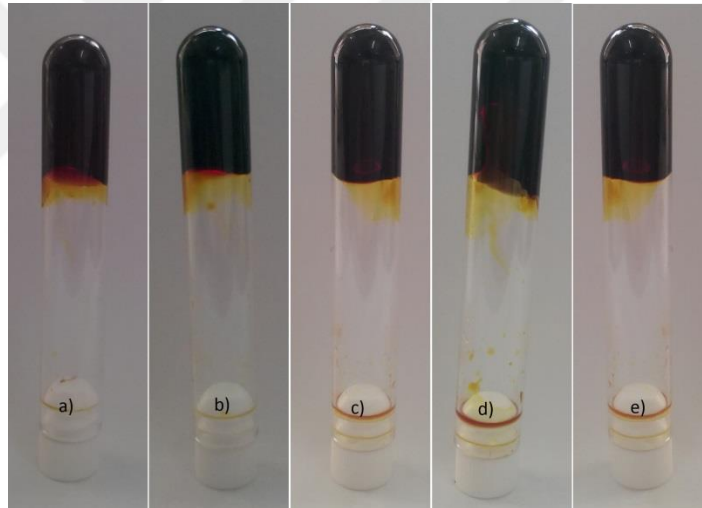
PVA esaslı hazırlanan polimer jel elektrolitlerin, PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin, grafit katkılı polimer jel elektrolitlerin ve TiO₂ katkılı polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik değerleri JENCO marka 3173 model iletkenlik cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Her analiz öncesinde kullanılan cihaz 0,1M KCl çözeltisi ile kalibre edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. PVA ESASLI POLİMER JEL ELEKTROLİTLER

4.1.1. PVA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlerin Fotoğrafları

Şekil 4.1’de PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin farklı tuz konsantrasyonlarında hazırlanmış örneklerinin deney tüpü içerisinde görüntüleri verilmektedir. Polimer jel elektrolitler, 1-metil-2-pirolidon: γ -butirolakton (NMP:GBL) organik çözücü karışımının hacimce 7:3 oranında ve alkali metal iyodür tuzu olarak potasyum iyodür (KI) kullanılarak hazırlanmıştır. Alkali metal iyodür tuzu ile redoks çifti oluşturmak için hazırlanan elektrolite iyot (I_2) ilave edilmiştir. Hazırlanan sıvı elektrolitlerde iyodür tuzu/iyot mol oranı 10/1 oranında sabit tutulmuştur



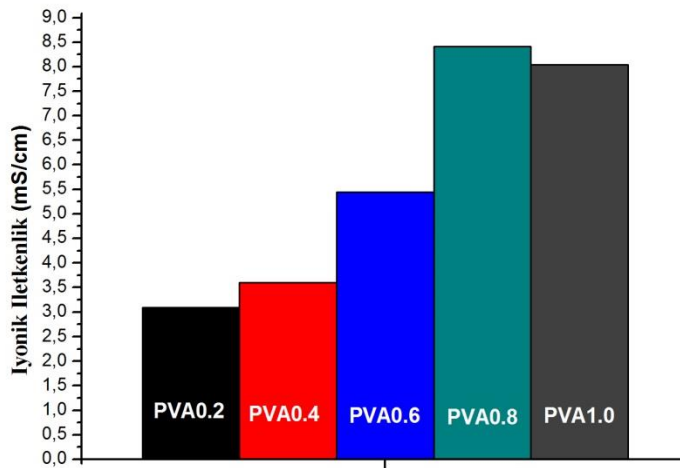
Şekil 4.1: a) PVA-0.2, b) PVA-0.4, c) PVA-0.6, d) PVA-0.8 e) PVA-1.0 polimer jel elektrolitlerinin görüntüleri

4.1.2. Tuz Konsantrasyonunun İyonik İletkenlik Üzerine Etkisi

Polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik değeri (σ), polimer yapısında bulunan alkali iyodür tuzunun konsantrasyonu ile doğrudan ilişkilidir. Polimer jel elektrolit içerisinde bulunan iyodür/iyot redoks çifti polimer matrisi ve organik çözücünün etkisiyle iyodür/triyodür (I^-/I_3^-) iyonlarını oluşturmaktadır (Wu ve diğ., 2007a). Boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinde, güneş pilinin performansı I^- ve I_3^- iyonlarının taşınımı önemli rol oynar (Lee ve diğ., 2010). PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin hazırlandığı bu çalışmada, tuz konsantrasyonunun iyonik

iletkenlik üzerinde etkin olduğu gözlemlenmiştir ve elde edilen iyonik iletkenlik değerlerine göre optimum konsantrasyonun 0.8M KI/0.08M I₂ olduğu belirlenmiştir.

Hacimce 7:3 oranında hazırlanan 1-metil-2-pirolidon (NMP): γ -butirolakton (GBL) organik çözücü karışımı içerisinde farklı potasyum iyodür/iyot (KI/I₂) konsantrasyonları kullanılarak elektrolit çözeltileri hazırlanmıştır. Sıvı elektrolitlerde KI konsantrasyonu 0,2-1 mol/L (M) aralığında değişmektedir. PVA0.2, PVA0.4, PVA0.6, PVA0.8, PVA1.0 polimer jel elektrolitlerinin hazırlanması için PVA üzerine (ağırlıkça %3) üzerine, belirlenen konsantrasyonda taze hazırlanmış elektrolit çözeltilerinden ilave edilmiştir. Bu karışım önceden 110 °C'ye ısıtılmış yağ banyosunda belirlenen süre bekletilmiştir. Daha sonra oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiştir. Elde edilen homojen formda ve akamaz özellik gösteren polimer jel elektrolitlerin 25°C'deki iyonik iletkenlik değerleri Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2: PVA esaslı pje'lerin farklı tuz konsantrasyonlarında oda sıcaklığındaki iletkenlik değerleri

Tablo 4.1'de 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, ve 1.0 mol/L tuz konsantrasyonuna sahip PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin 25 °C'deki iletkenlik değeri (σ_{25}) ve Arrhenius Denklemi'ne göre hesaplanan aktivasyon enerjileri (E_a) verilmiştir. Hazırlanan polimer jel elektrolitlerde KI/I₂ oranı 10/1 olarak sabit tutulmuş olup hacimce 7:3 oranında 1-metil-2-pirolidon: σ -butirolakton (NMP:GBL) organik çözücü karışımı kullanılmıştır.

Tablo 4.1: Farklı tuz konsantrasyonları ile hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin σ_{25} ve hesaplanan E_a değerleri.

Polimer Jel Elektrolit	KI	σ_{25}^*	E_a
Kodu	[mol/L]	[mS/cm, RT]	[kJ mol⁻¹]
PVA0.2	0,2	3,09	11.90
PVA0.4	0,4	3,60	13.12
PVA0.6	0,6	5,44	13.29
PVA0.8	0,8	8,41	13.80
PVA1.0	1,0	8,04	14.63

*: RT: Oda Sıcaklığı (25 °C)

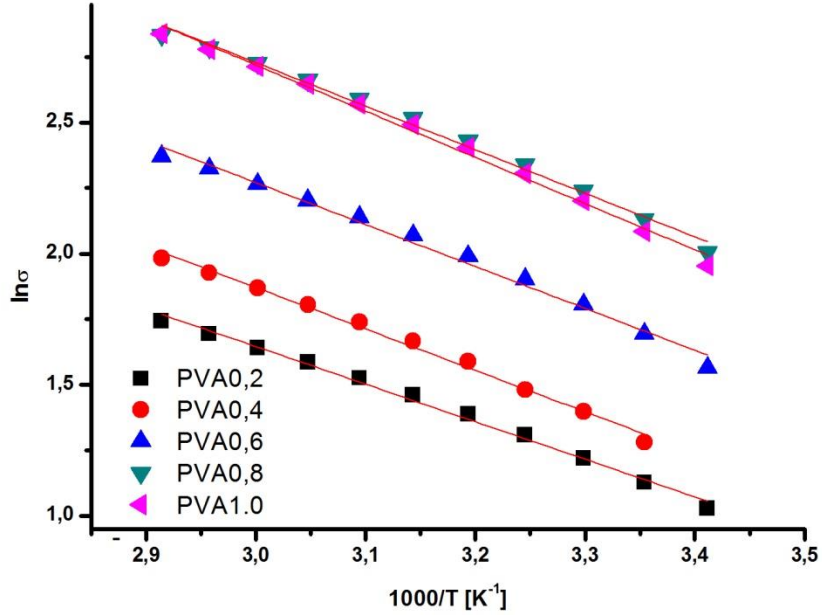
Şekil 4.2 ve Tablo 4.1'de PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik değerleri (σ) incelendiğinde, 0.8M KI / 0.08M I₂ konsantrasyonuna kadar artış gösterdiğini ve bu değerden sonra düşüş gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu bulgu literatür ile karşılaştırıldığında literatürle benzer özellik göstermektedir. Polimer jel elektrolit örneğindeki tuz miktarı arttıkça buna bağlı olarak örnek içerisindeki serbest iyon miktarında artmaktadır (Aziz ve diğ., 2014). Bu durum iyonik iletkenliği, PVA0.8'e kadar Şekil 4.2'de görüldüğü gibi arttırmaktadır. En yüksek tuz konsantrasyonunda gerçekleşen düşüş ise, tuz konsantrasyonundaki artış ile dağılmış olan serbest iyonların birbirlerine çok yaklaşması sonucu bağlı iyon çifti oluşturması ile açıklanabilir. Oluşan bu bağlı iyon çiftleri iyonik iletkenliğe katkı sağlamadığı için iyonik iletkenlik değeri, diğer tuz konsantrasyonuna sahip polimer jel elektrolitlere göre düşmektedir (Noor ve diğ., 2011). Serbest iyonların aralarındaki mesafenin azalması ve buna bağlı olarak iyonların nötral iyon çiftleri oluşturması Coulomb kuvvetleri ile açıklanabilir (Aziz ve diğ., 2014).

4.1.3. İyonik İletkenlik - Sıcaklık İlişkisi

Polimer jel elektrolit örneklerinin iyonik iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişimi, 20-70 °C aralığında incelenmiştir. Polimer jel elektrolitlerinin iyonik iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişimini karakterize edebilmek için 1/T ile $\ln\sigma$ arasında çizilen grafikler incelenmiştir. Deneyle sonuçunda elde edilen veriler ile çizilen grafiklerin doğrusallığı polimer jel

elektrolitlerin iyonik taşınım mekanizması hakkında bilgi vermektedir. Eğer elde edilen grafik eğri şeklinde ise Vogel-Tamman-Fulcher Denklemi'ne; doğrusal ise Arrhenius Denklemi'ne uyumludur (Deepa ve diğ., 2002, Wu ve diğ., 2007a).

Şekil 4.3'de 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, ve 1.0 mol/L (M) tuz konsantrasyonuna sahip PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin $\ln\sigma$ - $1/T$ grafiği verilmiştir. Hazırlanan polimer jel elektrolitlerde KI/I₂ oranı 10/1 olarak sabit tutulmuş olup hacimce 7:3 oranında 1-metil-2-pirolidon: σ -butirolakton (NMP:GBL) organik çözücü karışımı kullanılmıştır.



Şekil 4.3: Farklı tuz konsantrasyonları ile hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin $\ln\sigma$ - $1/T$ grafiği.

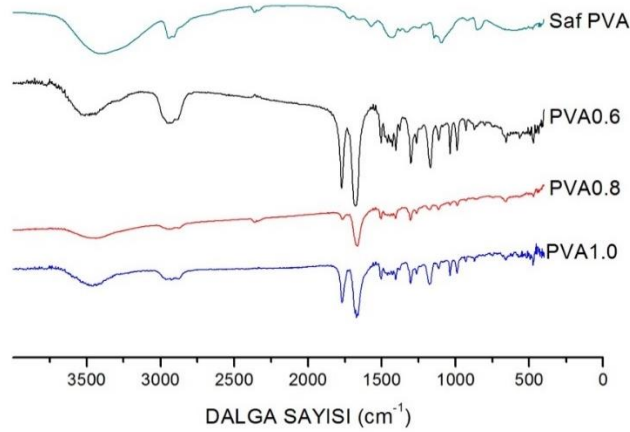
Şekil 4.3'de görüldüğü üzere polimer jel elektrolit örneklerinin iyonik iletkenlikleri sıcaklıkla birlikte artmıştır. Polimer matrisi amorf bir yapıdır ve yüksek oranda serbest hacim içerir. Sıcaklığın artması polimer yapısındaki serbest hacim miktarını arttırmaktadır (Miyamoto ve Shibayama, 1973, Li ve diğ., 2009). Bu durum serbest iyonların hareketini kolaylaştırmakta ve Şekil 4.3'de karşılaşılan iletkenlik artışına sebep olmaktadır.

4.1.4. FTIR Analizi

FTIR, bağ yapılarının ve farklı fonksiyonel grupların varlığının, moleküllerin titreşim enerji seviyelerinin gözlenerek belirlendiği bir analiz yöntemidir.

Polimer ve polimer jel elektrolitlerin yapısal karakterizasyonu FTIR analizi ile gerçekleştirilmiştir. 400-4000 cm^{-1} frekans aralığında alınan FTIR analizi sonuçları Şekil 4.4’de görülmektedir.

FTIR analizi PVA ile sıvı elektrolit arasındaki etkileşimi belirlemek için kullanılmıştır. Saf PVA’nın FTIR spektrumu Şekil 4.4’de verilmiştir. Saf PVA spektrumunda 3000-3600 cm^{-1} aralığında gözlemlenen pik O-H bağı gerilmesinden kaynaklanmaktadır (Bhavani ve diğ., 2013). Pik şiddeti ve konumundaki değişiklikler alkali tuz ve polimer arasındaki kompleks oluşumlarını belirlemekte önemlidir. PVA spektrumu ile polimer jel elektrolit spektrumları arasında O-H bağının gerilme ve eğilme titreşiminde değişiklikler gözlenmektedir. Polimer jel elektrolitler göz önüne alındığında, O-H bağının gerilme ve eğilme titreşimlerinin şiddetinin azaldığı ifade edilebilir. O-H band şiddetindeki azalma iyonik iletkenlik ölçünlerinde en yüksek iletkenlik değerini göstermiş olan PVA0.8’de daha belirgindir. Şekil 4.4’te saf PVA’da gözlenen 3000-3600 cm^{-1} bant aralığı PVA’da bulunan moleküler arası güçlü hidrojen bağları sebebiyle, O-H gerilmesi ile ilişkilendirilmiştir (Bhavani ve diğ., 2013; Nguyen ve Liu, 2013). 1429 cm^{-1} frekansında gözlenen band PVA’da bulunan O-H bağlarının eğilme titreşimine aittir. 1096 cm^{-1} frekansında gözlenen absorpsiyon bandı PVA yapısındaki asetil grubunun CO gerilmesinden kaynaklıdır (Meikhail ve diğ., 2014; Nguyen ve Liu, 2013). Pik yoğunluğu ve piklerdeki kayma göz önüne alındığında alkali tuz ile polimer arasında kompleks oluştuğu gözlenmektedir. Polimer jel elektrolitler incelendiğinde O-H bağlarında gözlenen gerilme ve eğilme titreşimi azaldığı gözlemlenmiştir. Hidroksil bandındaki kayma ve şiddetindeki değişiklik tüm polimer jel elektrolitler karşılaştırıldığında PVA0.8 kodlu örnekte en belirgindir. Polimer jel elektrolitlerin FTIR analizi sonucunun iyonik iletkenlik sonuçlarını doğruladığı görülmektedir.



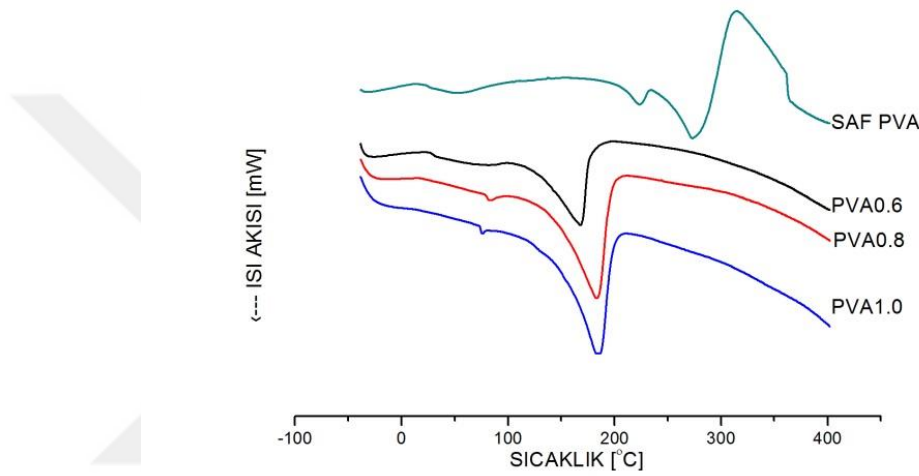
Şekil 4.4: Farklı tuz konsantrasyonları ile hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin FTIR spektrumu.

4.1.5. DSC Analizi

Polimerik malzemeler yapısında hem amorf hem de kristal yapılar içerebilmektedirler. Polimerlerin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan önemli faktörlerden bir tanesi de polimer yapısında bulunan amorf ve kristal yapıların belirlenmesidir (Patel ve diğ., 2007). DSC polimer jel elektrolitlerin termal özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir yöntemdir. Polimer jel elektrolitlerin boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinde kullanımının araştırılması için termal kararlılık, camı geçiş sıcaklığı (T_g) ve erime sıcaklığı (T_m) önemli özelliklerdendir (Saikia ve diğ., 2008). Tez çalışmasında poli(vinil alkol) (PVA)'nın poli(vinil alkol) (PVA) esaslı polimer jel elektrolitlerin termal özellikleri sıvı elektrolit konsantrasyonuna göre incelenmiştir. Sıvı elektrolitin polimer jel elektrolit üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla saf PVA da analiz edilmiştir. Tüm örnekler belli ağırlıkta tartılıp alüminyum kroze koyularak cihaza yerleştirilmiştir. DSC analizleri $-40/400$ °C sıcaklık aralığında 10 °C/dk ısıtma hızı kullanılarak, azot atmosferi (20 mL/dk) altında gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.5'de Saf PVA, PVA0.6, PVA0.8 ve PVA1.0 örneklerinin DSC grafikleri verilmiştir. Polimer jel elektrolitlerin DSC analizi sonuçları saf PVA sonuçları ile karşılaştırıldığında, endotermik yanıtın düşük sıcaklıklara doğru kaydığını ve pik alanının genişlediği gözlemlenmiştir. Saf PVA'nın erime noktası (T_m) 222 °C ($\Delta H_m = 24$ Jg⁻¹) ve camı geçiş sıcaklığı (T_g) 34 °C olarak belirlenmiştir. Belirlenmiş olan erime noktası (T_m) literatürle benzerlik göstermektedir (Mondal ve diğ., 2013) fakat camı geçiş sıcaklığının literatüre göre düşük olduğu belirlenmiştir. Literatürde saf PVA için verilen camı geçit sıcaklığı değeri 80

°C'dir (Liew ve diğ., 2013). Literatür ile oluşan farklılığı, kullanılan PVA'ların molekül ağırlıklarının farklı olmasından kaynaklı olabileceği sonucu çıkarılmıştır. Saf PVA ile polimer jel elektrolitlerin DSC termogramları karşılaştırıldığında erime noktasının düşmesi ve camı geçiş sıcaklığı bölgesinin değişmesi kristalinitenin azaldığını göstermektedir. Polimer jel elektrolit yapısındaki amorf bölgenin artması yüksek iyonik iletkenlik değerine ulaşılmasına katkı sağlamaktadır (Bhavani ve diğ., 2013).

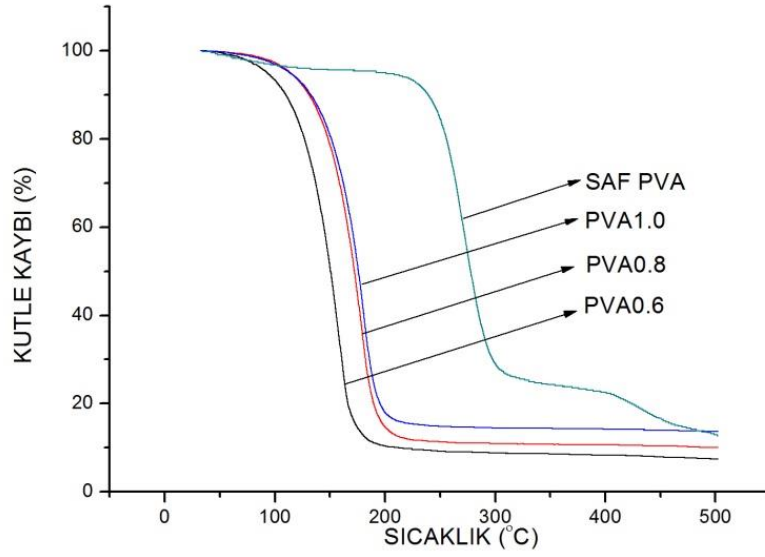


Şekil 4.5: Farklı tuz konsantrasyonları ile hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin DSC grafikleri.

4.1.6. TGA Analizi

Saf poli(vinil alkol) (PVA) ve hazırlanan polimer jel elektrolitlerin (PJE) boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinde kullanıma uygun olabilmesi için belirli termal özelliklere sahip olması gerekmektedir. Wu ve arkadaşlarının 2006 yılında yaptığı çalışmada belirttiği üzere örneğin; polimer jel elektrolitlerin güneş pillerinde kullanımı için yapısında bulunan organik çözücünün buharlaşmaması pilin uzun süreli kullanımı için gerekli olan şartların öncelikli olanıdır. TGA analizi, saf PVA, PVA0.6, PVA0.8 ve PVA1.0 örneklerinden belli ağırlıklarda tartılarak alüminyum krozelere koyularak TGA cihazına yerleştirilmiştir. TGA analizi 30-500 °C sıcaklık aralığında 10°C/dk ısıtma hızı ile, azot atmosferi (20 mL/dk) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.6'da saf PVA, PVA0.6, PVA0.8 ve PVA1.0 örneklerinin termogravimetrik eğrileri verilmektedir.

Şekil 4.6’da görüldüğü üzere saf poli(vinil alkol) (PVA)’nın bozunmaya başladığı sıcaklık polimer jel elektrolitlerin (PJE) bozunmaya başladığı sıcaklıktan daha yüksektir. Bu durum, PVA zincirinde bulunan OH gruplarının sıvı elektrolit içerisinde bulunan tuz katyonu ile kompleks oluşturması sebebiyle gözlemlenmektedir (Saroj ve diğ. 2012). Bu çalışmada gözlenen bozunmaya başlama sıcaklığındaki düşüş tuz katyonu ile -OH grubu arasında güçlü bir etkileşim olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.6: Farklı tuz konsantrasyonları ile hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin TGA grafikleri.

Ortalama molekül ağırlığı 72.000 olan PVA'nın ağırlık kaybının başladığı sıcaklık 255 °C civarındadır ve PVA'nın termogramında iki adım bulunmaktadır. Ağırlık kayıpları PVA0.6, PVA0.8 ve PVA1.0 için sırasıyla yaklaşık 126 °C, 147 °C ve 150 °C civarında başlamıştır ve grafikten tek adımda bozunmanın tamamlandığı gözlemlenmektedir.

TGA analizi sonucunda 100 °C'ye kadar oluşan kayıplar ortamdaki nemin uzaklaşmasına atfedilebilir (Çavuş, 2010). Saf PVA, PVA0.6, PVA0.8 ve PVA1.0 örneklerinin 100 °C'ye kadar gerçekleşen kayıpları sırasıyla; %3,22, %6,74, %2,70 ve %3,08'dir.

Saf PVA, PVA0.6, PVA0.8 ve PVA1.0 örneklerinin ağırlıkça yüzde kayıp değerleri Tablo 4.2'de özetlenmiştir.

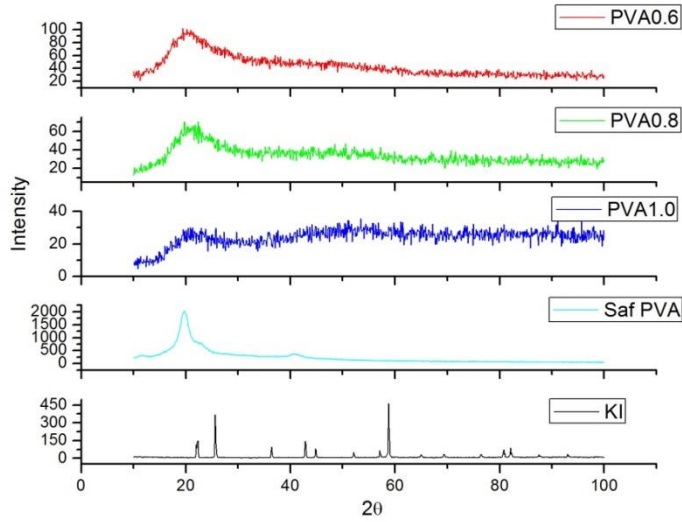
Tablo 4.2: Saf PVA, PVA0.6, PVA0.8 ve PVA1.0 örneklerinin ağırlıkça yüzde kayıp değerleri.

Polimer	50°C	100°C	150°C	250°C	350°C
Saf PVA	%1.00	%3.20	%4.50	%15.40	%75.80
PVA0.6	%0.50	%6.80	%48.80	%90.80	%91.50
PVA0.8	%0.30	%2.70	%21.30	%88.80	%89.20
PVA1.0	%0.30	%3.10	%19.10	%85.20	%85.70

Tablo 4.2’de görüldüğü gibi jel elektrolitlerde 150 °C’de meydana gelen ağırlık kaybı polimere (PVA) kıyasla çok daha yüksektir. Bu sonuç jel elektrolit yapısında bulunan organik çözücülerin buharlaşmasına atfedilmiştir. NMP ve GBL için kaynama noktaları sırasıyla 203 ve 204 °C olmasına rağmen, bu tip organik çözücülerin daha düşük sıcaklıkta buharlaştıkları bilinmektedir (Wu ve diğ., 2007, Çavuş and Yıldırım, 2016).

4.1.7. XRD Analizi

Saf PVA, potasyum iyodür (KI), PVA0.6, PVA0.8 ve PVA1.0 örneklerinin yapıları XRD yöntemi ile incelenmiştir. Şekil 4.7’de Saf PVA, potasyum iyodür (KI), PVA0.6, PVA0.8 ve PVA1.0 örneklerinin XRD grafikleri verilmiştir. İyonların elektrolit içerisinde kolay taşınabilmesi ve iyonik iletkenlik özelliklerinin geliştirilmesi için polimerin amorf yapıda olması/özelliğ göstermesi önem taşımaktadır. Saf poli(vinil alkol) semi-kristalin yapı göstermektedir ($2\theta=19.8^\circ$) (Saroj ve diğ., 2012, Sa’adu ve diğ., 2014). XRD grafiklerinden gözlemlenebileceği üzere KI+I₂ eklenmesi jel elektrolitin amorf yapısına, KI konsantrasyonuna bağlı olarak katkı sağlamaktadır. XRD analizi verileri ile oluşturulmuş grafiklerde keskin piklerin olmaması yapının amorf yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Bhad ve diğ., 2013).

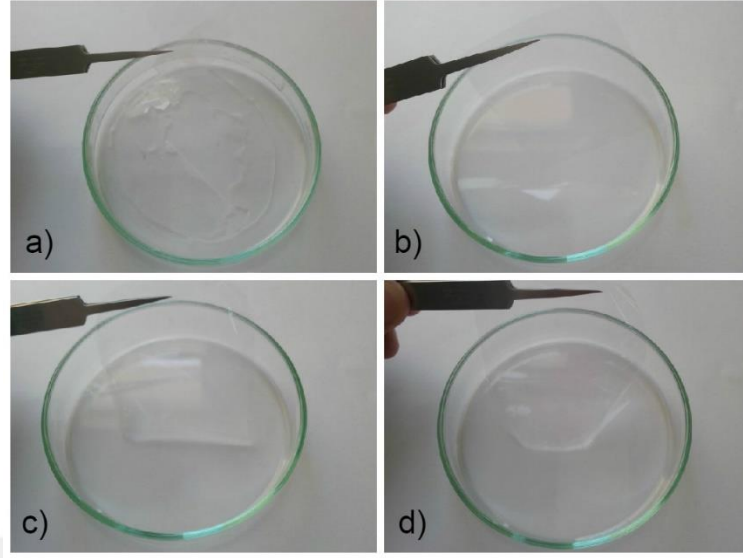


Şekil 4.7: Farklı tuz konsantrasyonları ile hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin XRD grafikleri. KI tuzu için gerçekleştirilen XRD analizinde gözlemlenen keskin piklerin polimer jel elektrolitler üzerinde yapılan XRD analizinde gözlemlenmemiştir. Bu farklılık kullanılan tuzun polimer jel elektrolit içerisinde tamamen çözündüğünü göstermektedir (Shen ve diğ., 2008).

4.2. PVA/PHEMA ESASLI POLİMER JEL ELEKTROLİTLER

4.2.1. PVA/PHEMA Esaslı Polimer Filmlerin Fotoğrafları

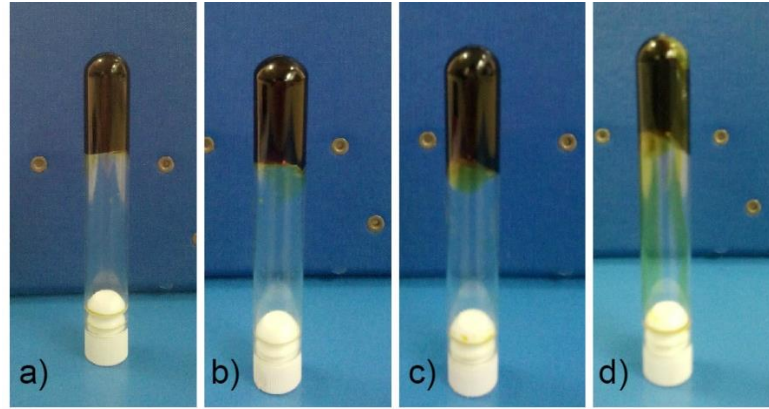
Şekil 4.8'de PVA/PHEMA esaslı polimerlerin petri kaplarında hazırlanmış filmlere ait görüntüler verilmiştir. PVA/PHEMA ağırlıkça %25/75, %50/50, %60/40 ve %80/20 PVA/PHEMA oranlarında hazırlanmıştır ve polimerizasyon işleminin eksiksiz tamamlanması için karışım 24 saat boyunca 70 °C'de sıcaklık kontrollü su banyosunda bekletildikten sonra petri kabına dökülmüş ve ortam şartlarında kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 4.8: a) PVA/PHEMA (25), b) PVA/PHEMA (50), c) PVA/PHEMA (60), d) PVA/PHEMA (80) film görüntüleri.

4.2.2. PVA/PHEMA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlerin Fotoğrafları

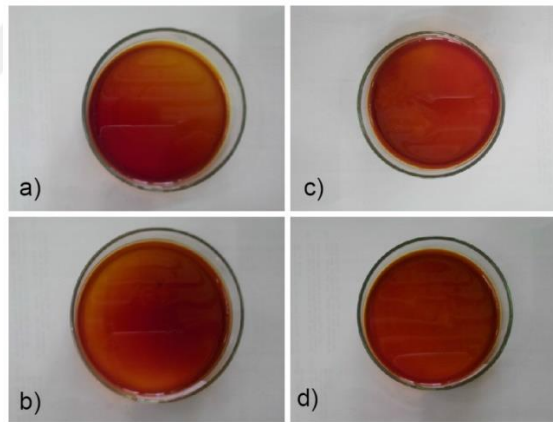
Şekil 4.9’de %25/75, %50/50, %60/40 ve %80/20 PVA/PHEMA oranlarında hazırlanmış ve kurutulmuş olan polimer filmler kullanılarak, 0,8 M KI/0.08 I₂ (KI/I₂ : 10/1) hazırlanmış polimer jel elektrolitlerin görüntüleri verilmiştir. Polimer jel elektrolitler, 1-metil-2-pirolidon:γ-butirolakton (NMP:GBL) organik çözücü karışımının hacimce 7:3 oranında kullanılmasıyla hazırlanmıştır. Polimer jel elektrolitler oda sıcaklığında akamaz durumda olduğu Şekil 4.9’de görülmektedir.



Şekil 4.9: a) PVA/PHEMA-PJE (25), b) PVA/PHEMA-PJE (50), c) PVA/PHEMA-PJE (60), d) PVA/PHEMA -PJE (80) 0,8 M KI/0.08 I₂ PJE görüntüleri.

4.2.3. PVA/PHEMA Esash Polimer Jel Elektrolit Filmlerin Fotoğrafları

Polimer jel elektrolitler petri kabına dökülerek ortam şartlarında ve karanlık ortamda kurumaya bırakılmıştır. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi polimer jel elektrolitlerden çıkılarak film şeklinde de yapı elde edilebilmektedirler.

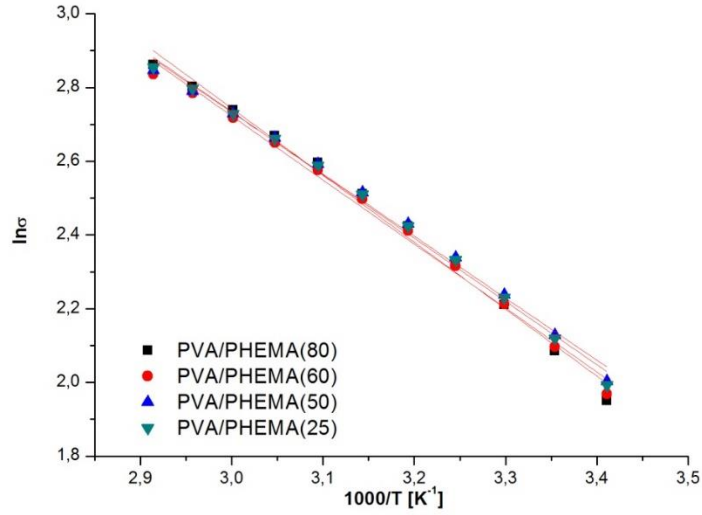


Şekil 4.10: a) PVA/PHEMA-PJE (25), b) PVA/PHEMA-PJE (50), c) PVA/PHEMA-PJE (60), d) PVA/PHEMA -PJE (80) PJE 0,8 M KI/0.08 I₂ film görüntüleri.

4.2.4. İyonik İletkenlik - Sıcaklık İlişkisi

Şekil 4.11'de PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimer jel elektrolitlerin $\ln \sigma - 1/T$ grafiği verilmiştir. Hazırlanan polimer jel elektrolitlerde KI/I₂ oranı 10/1 olarak sabit tutulmuş olup hacimce 7:3 oranında 1-metil-2-pirolidon: σ -butirolakton (NMP:GBL) organik çözücü karışımı kullanılmıştır. PVA/PHEMA PJE'inin sergilediği iyonik iletkenlik – sıcaklık ilişkisi göz önüne alındığında PHEMA katkısının iletkenlik üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığı gözlemlenmektedir. Tüm PVA/PHEMA jel

elektrolitleri birbirine yakın davranış göstermiştir. Bununla birlikte, PVA (0.8M KI) ve PVA/PHEMA jel elektrolitleri benzer davranış göstermiştir.



Şekil 4.11: a) PVA/PHEMA-PJE (25), b) PVA/PHEMA-PJE (50), c) PVA/PHEMA-PJE (60), d) PVA/PHEMA -PJE (80) PJE'lerin $\ln\sigma - 1/T$ grafiği.

Tablo 4.3'de 0.8 mol/L tuz konsantrasyonuna sahip PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin 25 °C'deki iletkenlik değeri (σ_{25}) ve Arrhenius Denklemi'ne göre hesaplanan aktivasyon enerjileri (E_a) verilmiştir. PVA/PHEMA(50) en yüksek iyonik iletkenlik değeri ve en düşük aktivasyon enerjisine sahiptir. Bu sonucun PVA0.8 jel elektroliti için elde edilen değerler ile çok benzer olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3: PVA/PHEMA-PJE (25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA-PJE (80) esaslı PJE'lerin σ_{25} ve hesaplanan E_a değerleri.

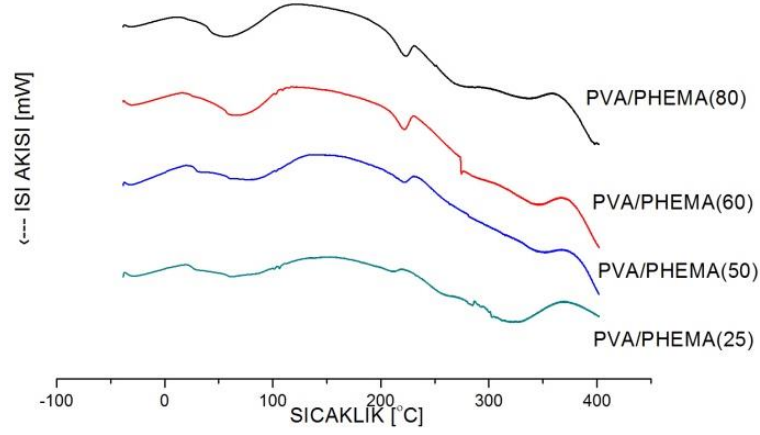
PJE Kodu	KI [mol/L]	σ_{25}^* [mS/cm, RT]	E_a [kJ mol ⁻¹]
PVA/PHEMA(25)	0,8	8,32	14,26
PVA/PHEMA(50)	0,8	8,40	13,98
PVA/PHEMA(60)	0,8	8,14	14,43
PVA/PHEMA(80)	0,8	8,05	15,11

*: RT: Oda Sıcaklığı (25 °C)

PVA jel elektrolitlerinde gözlemlendiği gibi, sıcaklık artışı PJE örneklerinin iyonik iletkenliklerinin artışına neden olmuştur (Şekil 4.11). Amorf yapıdaki polimerler yüksek oranda serbest hacim içerir (Miyamoto ve Shibayama, 1973, Li ve diğ., 2009, Çavuş and Yıldırım, 2016). Serbest hacim sıcaklık ile birlikte artış gösterdiğinden iyonların taşınımı daha kolay olmaktadır (Çavuş and Yıldırım, 2016).

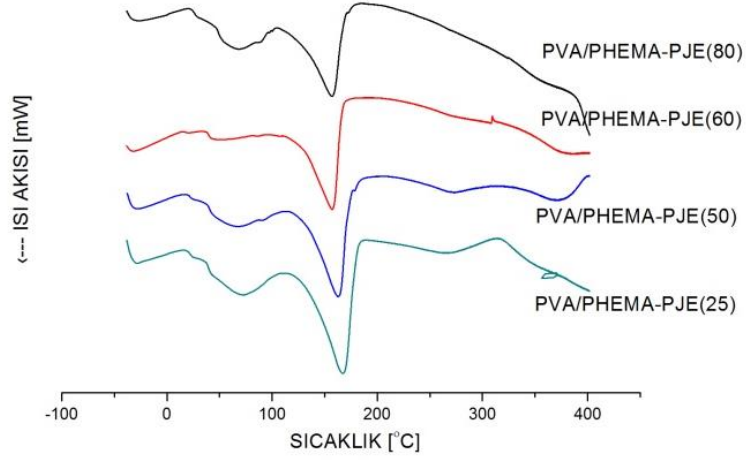
4.2.5. DSC Analizi

Şekil 4.12'de PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimerlerinin ve Şekil 4.13'de PVA/PHEMA-PJE(25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA-PJE(80) polimer jel elektrolitlerinin DSC analizi sonucunda elde edilen grafikler verilmiştir.



Şekil 4.12: PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimerlerin DSC grafikleri.

Polimer jel elektrolitlerin DSC analizleri karşılaştırıldığında endotermik cevabın yakın/aynı sıcaklık aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Farklı oranlarda hazırlanmış olan PVA/PHEMA jel elektrolitlerin DSC analiz sonuçları Şekil 4.5’de verilmiş saf PVA’nın DSC grafiği ile karşılaştırıldığında erime noktasının ve camsı geçiş sıcaklığının daha düşük sıcaklıklara doğru kaymış olması polimer jel elektrolit yapısında kristalinitenin azaldığını ve amorf yapının arttığını göstermektedir. Amorf bölgenin artışı iyonik iletkenlik artışında önemli rol oynamaktadır (Bhavani ve diğ., 2013). PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin endotermik yanıtı PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin endotermik yanıtı ile hemen hemen aynıdır. Bununla birlikte, camsı geçiş sıcaklığı bölgesinde değişim gözlemlenmiştir. Bu kapsamda PHEMA varlığının iyonik iletkenlik üzerinde olumlu katkıları olacağı düşünülmektedir.



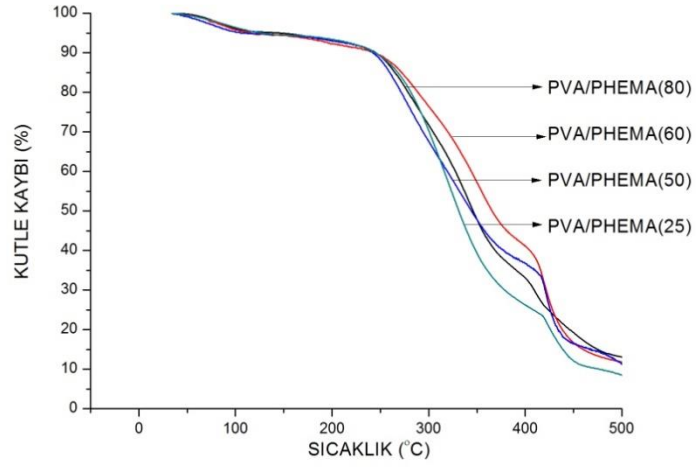
Şekil 4.13: PVA/PHEMA-PJE(25), PVA/PHEMA-PJE(50), PVA/PHEMA-PJE(60), PVA/PHEMA-PJE(80) PJE'lerin DSC grafikleri

4.2.6. TGA Analizi

Şekil 4.14'de PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimerlerinin ve Şekil 4.15'te PVA/PHEMA-PJE(25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA-PJE(80) polimer jel elektrolitlerinin TGA grafikleri verilmiştir.

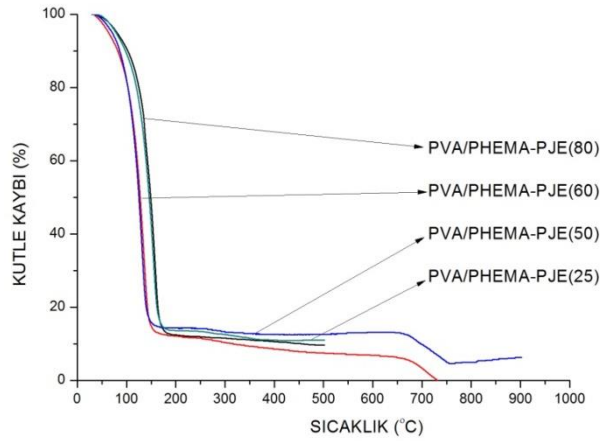
Şekil 4.15'de verilmiş olan PVA/PHEMA-PJE TGA grafiği daha önceki bölümde verilen saf poli(vinil alkol) (PVA) TGA grafiği (Şekil 4.6) ile karşılaştırıldığında polimer jel elektrolitlerin ağırlık kaybının gözlemlendiği sıcaklığın daha düşük sıcaklığa kaydığı görülmüştür. Bu durum PVA ve PHEMA zincirlerinde bulunan hidroksil gruplarının, tuz kasyonu ile kompleks oluşturması sebebiyle gözlemlenmektedir (Saroj ve diğ. 2012). PVA/PHEMA jel elektrolitlerinde gözlenen ağırlık kaybı başlama sıcaklığındaki düşüş tuz kasyonu ile hidroksil grubu arasında güçlü bir etkileşim olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.14'te verilmiş olan PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimerlerin TGA grafiği, Şekil 4.15'de verilmiş olan PVA/PHEMA-PJE TGA grafiği ile incelendiğinde ağırlık kaybının gözlemlendiği sıcaklığın daha düşük sıcaklığa kaydığı görülmüştür.



Şekil 4.14: PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimerlerin TGA grafikleri.

PVA/PHEMA-PJE(25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA-PJE (80) örneklerinin tamamında tek basamakta bozunma gözlemlenmektedir. PVA/PHEMA-PJE(25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA-PJE (80) örneklerinin ağırlıkça yüzde kayıp değerleri Tablo 4.3’de özetlenmiştir.



Şekil 4.15: PVA/PHEMA-PJE(25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA-PJE (80) PJE’lerin TGA grafikleri

Tablo 4.4: PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimerlerin ve PVA/PHEMA-PJE (25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA-PJE (80) örneklerinin ağırlıkça yüzde kayıp değerleri.

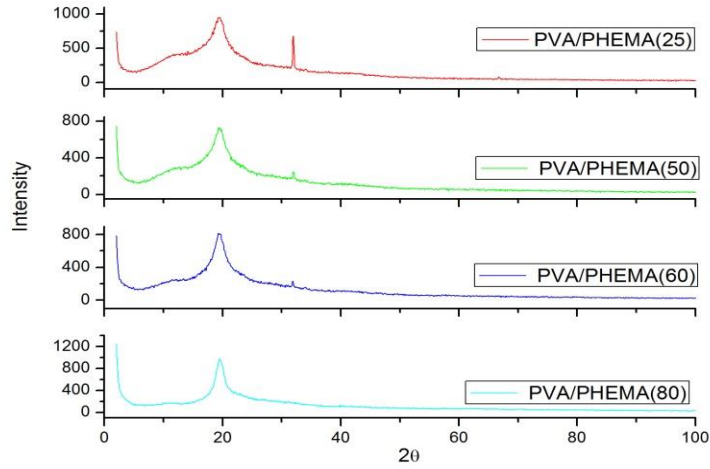
Polimer	50°C	100°C	150°C	250°C	350°C
PVA/PHEMA(25)	%0.25	%3.85	%5.10	%10.90	%52.15
PVA/PHEMA(50)	%0.35	%4.20	%5.65	%10.65	%42.75
PVA/PHEMA(60)	%0.90	%4.80	%5.55	%11.85	%52.12
PVA/PHEMA(80)	%0.45	%3.55	%5.50	%10.90	%60.65
PVA/PHEMA-PJE(25)	%0.60	%10.80	%57.50	%86.70	%88.50
PVA/PHEMA-PJE(50)	%1.40	%17.95	%84.20	%85.90	%87.20
PVA/PHEMA-PJE(60)	%2.40	%18.20	%85.10	%88.50	%90.70
PVA/PHEMA-PJE(80)	%0.80	%9.40	%51.80	%88.20	%88,90

Tablo 4.4'te görüldüğü gibi jel elektrolitlerde 150 °C'de meydana gelen ağırlık kaybı polimer karışımına (PVA/PHEMA) kıyasla çok daha yüksektir. Bu sonuç jel elektrolit yapısında bulunan organik çözücülerin buharlaşmasına atfedilmiştir. NMP ve GBL için kaynama noktaları sırasıyla 203 ve 204 °C olmasına rağmen, bu tip organik çözücülerin daha düşük sıcaklıkta buharlaştıkları bilinmektedir (Wu ve diğ., 2007, Çavuş and Yıldırım, 2016).

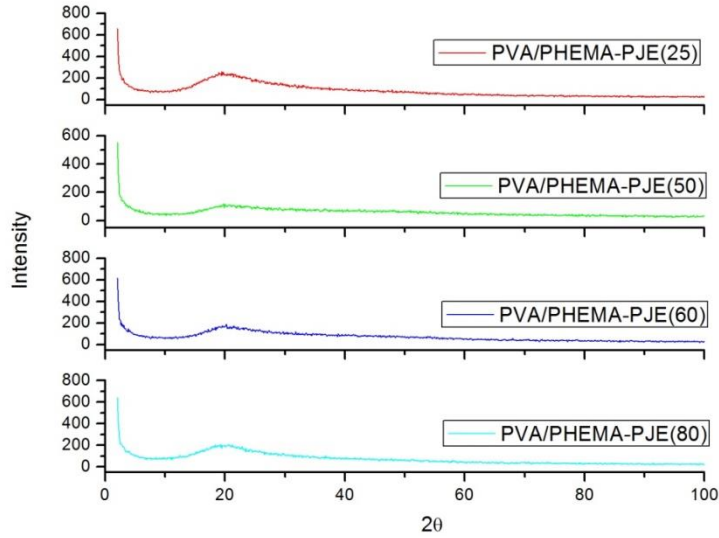
4.2.7. XRD Analizi

PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimer örneklerinin ve PVA/PHEMA-PJE(25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA-PJE (80) yapıları XRD yöntemi ile incelenmiştir. Şekil 4.16'de PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimer örneklerinin ve Şekil 4.17'de PVA/PHEMA-PJE(25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA-PJE (80) polimer jel elektrolit örneklerinin XRD grafikleri verilmiştir.

İyonların elektrolit içerisinde kolay taşınabilmesi ve iyonik iletkenlik özelliklerinin geliştirilmesi için polimerin amorf yapıda olması çok önemlidir. (Saroj ve diğ., 2012, Sa'adu ve diğ., 2014). XRD analizi verileri ile oluşturulmuş grafiklerde keskin piklerin olmaması yapının amorf yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Bhad ve diğ., 2013). Polimer ve polimer jel elektrolitler XRD grafikleri açısından karşılaştırdıklarında, jel elektrolitlerdeki amorf özelliğindeki artış net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.16: PVA/PHEMA(25), PVA/PHEMA(50), PVA/PHEMA(60), PVA/PHEMA(80) polimerlerin XRD grafikleri.



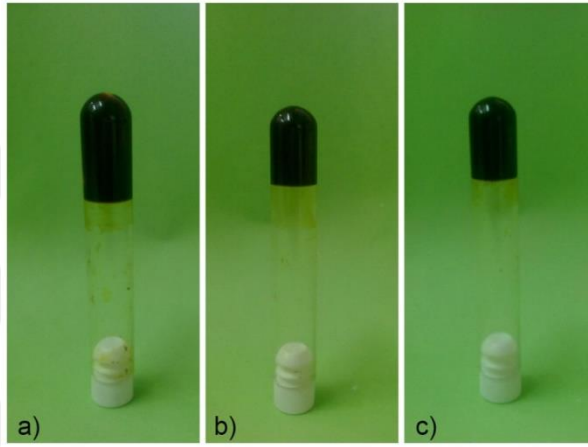
Şekil 4.17: PVA/PHEMA-PJE(25), PVA/PHEMA-PJE (50), PVA/PHEMA-PJE (60), PVA/PHEMA-PJE (80) PJE'lerin XRD grafikleri.

4.3. POLİMER JEL ELEKTROLİTLERE NANO KATKI ETKİSİ

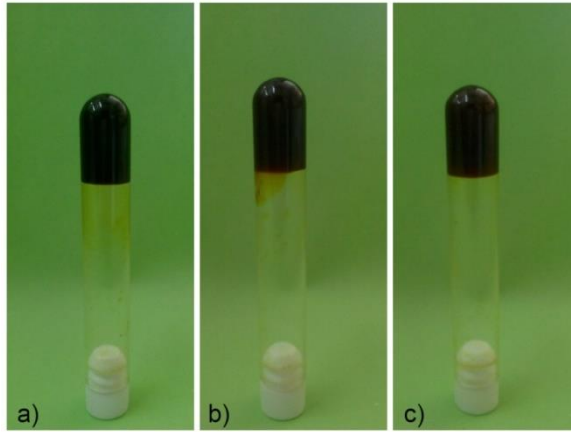
4.3.1. PVA Esaslı Polimer Jel Elektrolitlere Nano Katkısının Etkisi

4.3.1.1. Nano Katkılı PVA Esaslı Polimer Jel Elektrolit Fotoğrafları

Şekil 4.18’de %0.4, %1 ve %2 grafit katkısı ile, Şekil 4.19’da ise %0.4, %1 ve %2 TiO₂ katkısı ile hazırlanmış PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin görselleri verilmektedir. Nano katkılı poli(vinil alkol) esaslı polimer jel elektrolitler çalışmada tespit edilmiş en yüksek iyonik iletkenlik sonuçları göstermiş olan 0.8M KI / 0.08M I₂ ile hazırlanmıştır.

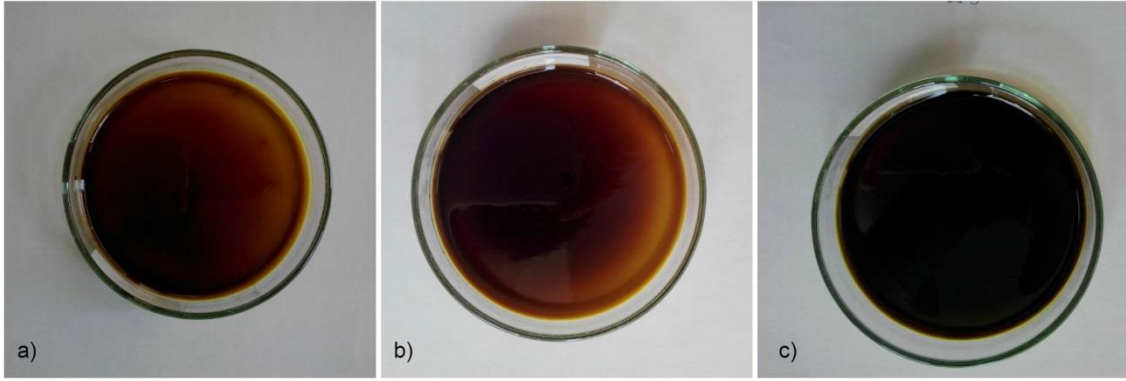


Şekil 4.18: a) %0.4, b) %1, c) %2 grafit katkılı 0.8M KI / 0.08M I₂ PVA esaslı PJE görüntüleri.

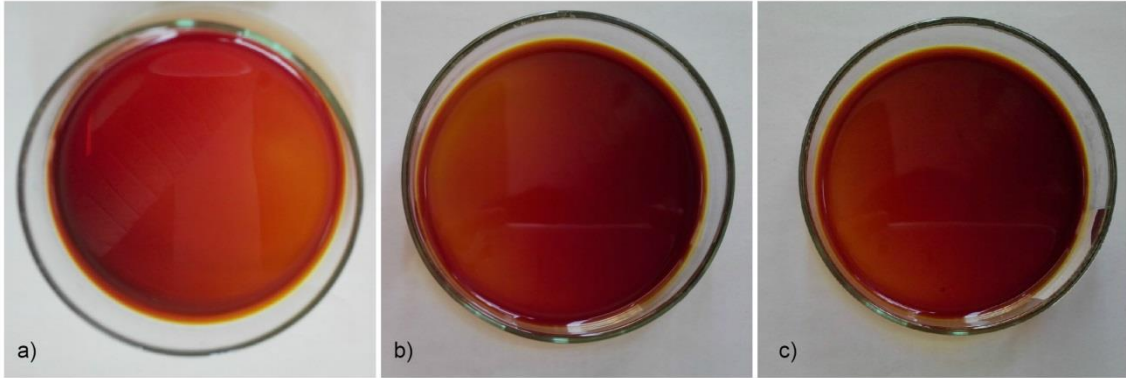


Şekil 4.19: a) %0.4, b) %1, c) %2 TiO₂ katkılı 0.8M KI / 0.08M I₂ PVA esaslı PJE görüntüleri.

Aynı koşullarda hazırlanmış olan ikinci set polimer jel elektrolitler standart petri kabına koyularak doğal yollarla karanlık ortamda kurumaya bırakılmış grafit ve TiO_2 katkılı PJE filminin görselleri Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilmektedir.



Şekil 4.20: a) %0.4, b) %1, c) %2 Grafit katkılı 0.8M KI / 0.08M I_2 PVA esaslı PJE film görüntüleri.



Şekil 4.21: a) %0.4, b) %1, c) %2 TiO_2 katkılı 0.8M KI / 0.08M I_2 PVA esaslı PJE film görüntüleri.

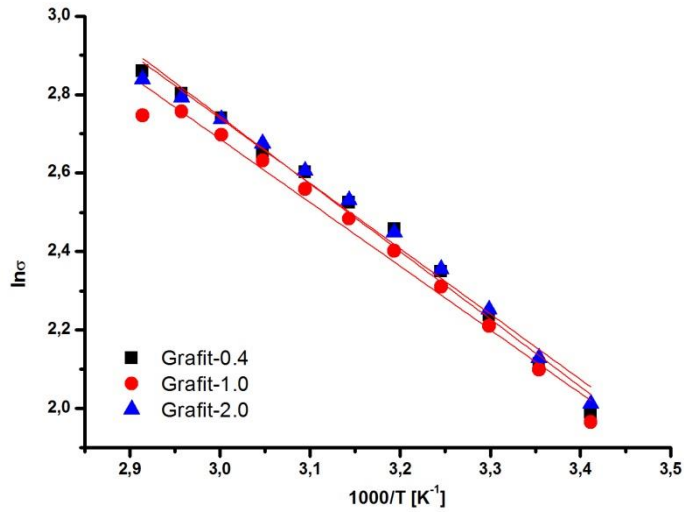
Nano katkı varlığında da jel elektrolitler homojen bir şekilde hazırlanabilmektedir. Şekil 4.20 ve 4.21 karşılaştırıldığında TiO_2 içeren filmlerin daha homojen ve açık renkli olduğu görülmektedir. Grafit ve TiO_2 katkısının elektriksel özellikleri pozitif yönde etkilemesinden fotoelektrik dönüşüm etkinliğini arttırmasından dolayı dolayı (Huo ve diğ., 2007), uygulamalar açısından önem taşıyacağı açıktır.

4.3.1.2. İyonik İletkenlik - Sıcaklık İlişkisi

Şekil 4.22’de nano boyutta grafit katkılı ve Şekil 4.23’de nano boyutta TiO_2 katkılı PVA esaslı 0,8M KI/ I_2 elektroliti ile hazırlanmış olan polimer jel elektrolitlerin $\ln\sigma - 1/T$ grafiği verilmiştir. Hazırlanan polimer jel elektrolitlerde KI/ I_2 oranı 10/1 olarak sabit tutulmuş olup

hacimce 7:3 oranında 1-metil-2-pirolidon: σ -butirolakton (NMP:GBL) organik çözücü karışımı kullanılmıştır.

Grafit katkılı PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin $\ln\sigma - 1/T$ grafiği incelendiğinde sıcaklık artışı ile iyonik iletkenliğin doğrusal olarak artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Nano katkılı PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik değerleri katkısız PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenlikleri ile karşılaştırıldığında nano katkısının iyonik iletkenlik üzerinde net bir etkisi gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.22: Farklı grafit katkılarıyla hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin $\ln\sigma - 1/T$ grafiği.

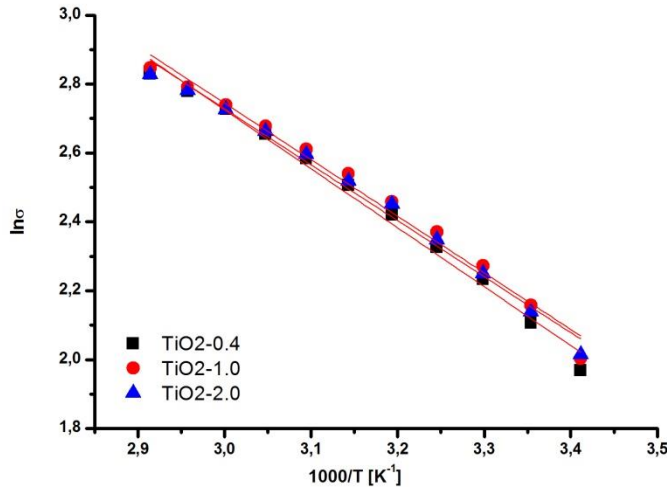
Tablo 4.5'de 0.8 mol/L tuz konsantrasyonuna sahip grafit içeren PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin 25 °C'deki iletkenlik değeri (σ_{25}) ve Arrhenius Denklemi'ne göre hesaplanan aktivasyon enerjileri (E_a) verilmiştir. PVA-Grafit-2,0 en yüksek iyonik iletkenlik değerini gösterirken, PVA-Grafit-1 en düşük aktivasyon enerjisine sahiptir. PVA-Grafit-2,0 için elde edilen sonuçlar sonucun PVA0.8 jel elektroliti için elde edilen değerler ile çok benzer olduğu görülmektedir.

Tablo 4.5: Farklı grafit katkılarıyla hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin σ_{25} ve hesaplanan E_a değerleri.

PJE Kodu	KI [mol/L]	σ_{25}^* [mS/cm, RT]	E_a [kJ mol ⁻¹]
PVA-Grafit-0,4	0,8	8,28	14,32
PVA-Grafit-1,0	0,8	8,16	13,48
PVA-Grafit-2,0	0,8	8,40	13,84

*: RT: Oda Sıcaklığı (25 °C)

TiO₂ nano katkılı PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin $\ln\sigma - 1/T$ grafiği incelendiğinde sıcaklık artışı ile iyonik iletkenliğin doğrusal olarak artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Nano katkılı PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik değerleri katkısız PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenlikleri ile karşılaştırıldığında nano katkısının iyonik iletkenlik üzerinde net bir etkisi gözlemlenmemiştir.

**Şekil 4.23:** Farklı TiO₂ nano katkılarıyla hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin $\ln\sigma - 1/T$ grafiği.

Tablo 4.6'da 0.8 mol/L tuz konsantrasyonuna sahip TiO₂ içeren PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin 25 °C'deki iletkenlik değeri (σ_{25}) ve Arrhenius Denklemi'ne göre hesaplanan aktivasyon enerjileri (E_a) verilmiştir. PVA- TiO₂-1,0 en yüksek iyonik iletkenlik değerini gösterirken, PVA- TiO₂-2,0 en düşük aktivasyon enerjisine sahiptir.

PVA esaslı nano katkı içeren jel elektrolitler iyonik iletkenlik ve aktivasyon enerjisi açısından karşılaştırıldıklarında benzer davranış sergiledikleri görülmektedir. Bu sonuç nano katkı varlığının viskozite üzerinde çok etkili olmamasına atfedilebilir. Bununla birlikte, grafit ya da TiO₂'nin jel elektrolit yapı içinde kolaylıkla dağıtılması ve homojen jel elektrolitlerin elde edilmesi önem taşımaktadır. Jel elektrolitlerde nano katkı içeriğinin bulunmasının özellikle boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinde enerji verimliliği ve elektriksel özellikler açısından katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Tablo 4.6: Farklı TiO₂ katkılarıyla hazırlanan PVA esaslı PJE'lerin σ_{25} ve hesaplanan E_a değerleri.

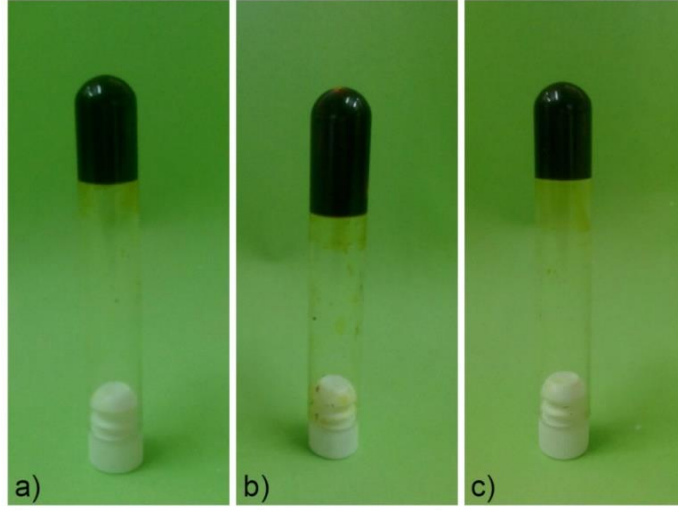
PJE Kodu	KI [mol/L]	σ_{25}^* [mS/cm, RT]	E_a [kJ mol ⁻¹]
PVA-TiO ₂ -0,4	0,8	8,22	14,22
PVA- TiO ₂ -1,0	0,8	8,65	13,65
PVA- TiO ₂ -2,0	0,8	8,49	13,51

*: RT: Oda Sıcaklığı (25 °C)

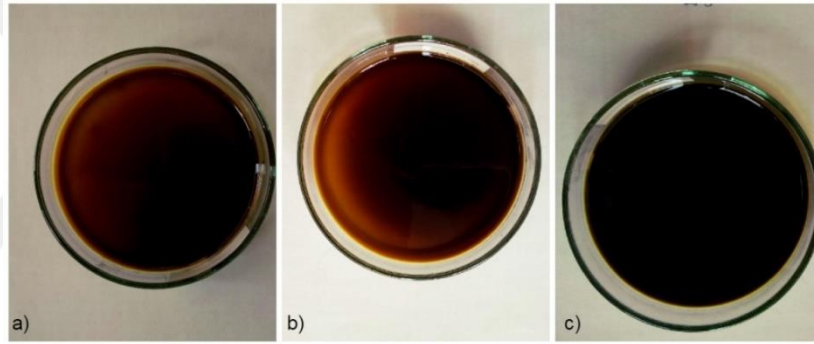
4.3.2. PVA/PHEMA Esaslı PJE'lere Nano Katkısının Etkisi

4.3.2.1. Nano Katkılı PVA/PHEMA Esaslı Polimer Jel Elektrolit Fotoğrafları

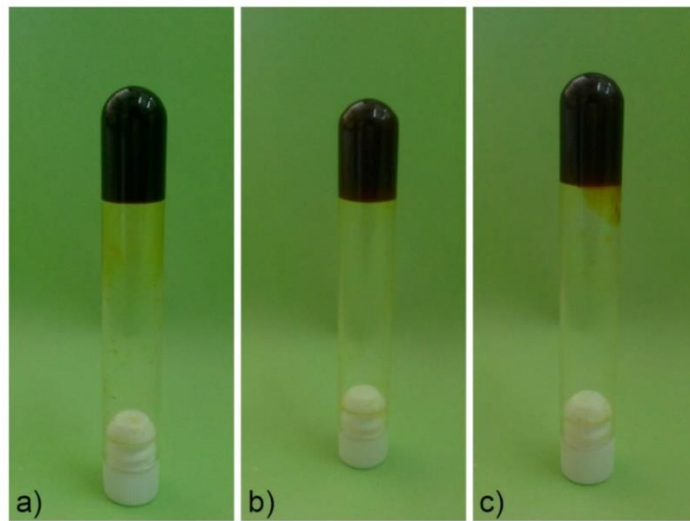
Şekil 4.24'de ağırlıkça %0.4, %1 ve %2 grafit katkısı ile, Şekil 4.63'da ise ağırlıkça %0.4, %1 ve %2 TiO₂ katkısı ile hazırlanmış PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin resimleri verilmiştir. Şekil 4.25'de %0.4, %1 ve %2 grafit katkısı ile, Şekil 4.27'de ise %0.4, %1 ve %2 TiO₂ katkısı ile hazırlanmış polimer jel elektrolitlerin petri kabında elde edilmiş film görüntüleri verilmiştir. Nano katlılı poli(vinil alkol) esaslı polimer jel elektrolitler tez kapsamında en yüksek iyonik iletkenlik sonuçları elde edilmiş olan 0.8M KI / 0.08M I₂ ile hazırlanmıştır.



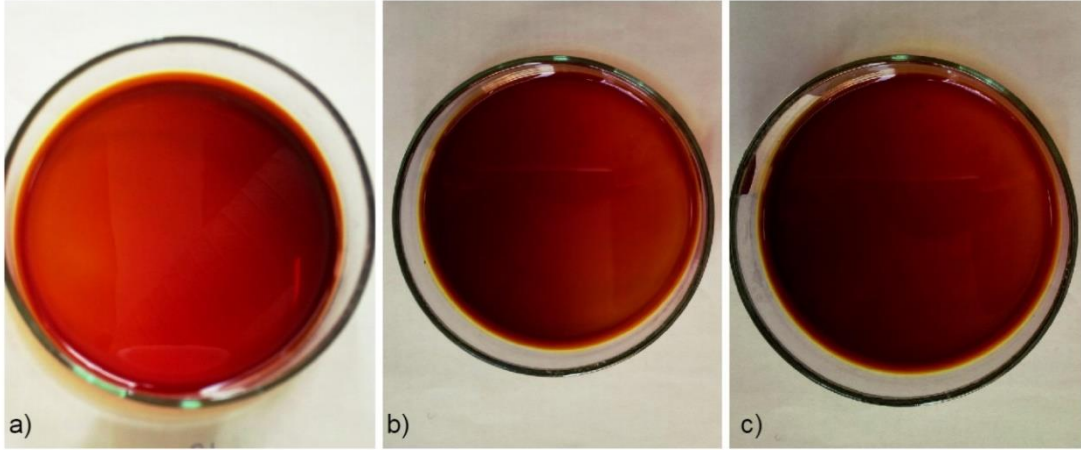
Şekil 4.24: a) %0.4, b) %1, c) %2 Grafit katkılı 0.8M KI / 0.08M I₂ PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE görüntüleri.



Şekil 4.25: a) %0.4, b) %1, c) %2 Grafit katkılı 0.8M KI / 0.08M I₂ PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE film görüntüleri.



Şekil 4.26: a) %0.4, b) %1, c) %2 TiO₂ katkılı katkılı 0.8M KI / 0.08M I₂ PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE görüntüleri.

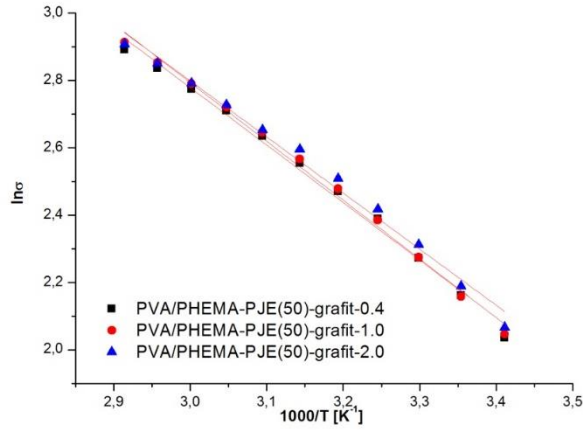


Şekil 4.27: a) %0.4, b) %1, c) %2 TiO_2 katkılı katkı 0.8M KI / 0.08M I_2 PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE film görüntüleri.

Polimer jel elektrolitlerin hazırlanmasında grafit ve TiO_2 kullanımı ile düzgün film yapılar hazırlanabilmiştir. Jel elektrolitlerde grafit içeriğinin artışı ile rengin koyulaştığı gözlemlenirken, TiO_2 kullanımında daha homojen ve açık renkli filmler elde edilmiştir.

4.3.2.2. İyonik İletkenlik - Sıcaklık İlişkisi

Şekil 4.28'de nano boyutta grafit katlı ve Şekil 4.29'da nano boyutta TiO_2 katkılı 0.8M KI / 0.08M I_2 sıvı elektrolit kullanılarak hazırlanmış olan PVA/PHEMA-PJE(50) jel elektrolitlerin $\ln \sigma - 1/T$ grafiği verilmiştir. Hazırlanan polimer jel elektrolitlerde KI/ I_2 oranı 10/1 olarak sabit tutulmuş olup hacimce 7:3 oranında 1-metil-2-pirolidon: σ -butirolakton (NMP:GBL) organik çözücü karışımı kullanılmıştır.



Şekil 4.28: Farklı grafit nano katkılarıyla hazırlanan PVA/PHEMA-PJE (50) esaslı PJE'lerin $\ln\sigma - 1/T$ grafiği.

Tablo 4.7'de 0.8 mol/L tuz konsantrasyonuna sahip grafit içeren PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin 25 °C'deki iletkenlik değeri (σ_{25}) ve Arrhenius Denklemi'ne göre hesaplanan aktivasyon enerjileri (E_a) verilmiştir. PVA/PHEMA -Grafit-2,0 en yüksek iyonik iletkenlik değerine ve en düşük aktivasyon enerjisine sahiptir.

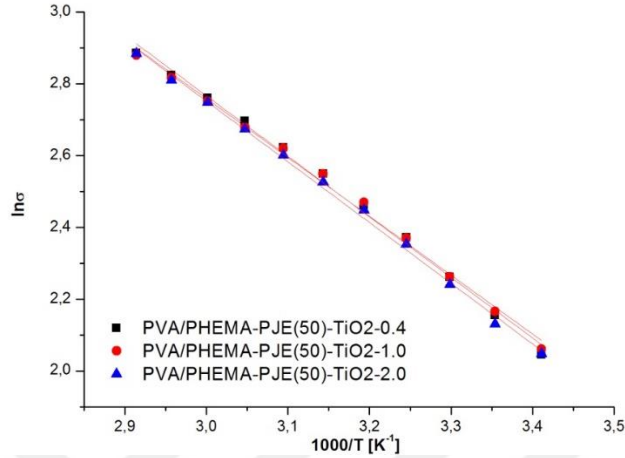
Tablo 4.7: Farklı grafit katkılarıyla hazırlanan PVA/PHEMA-PJE (50) esaslı PJE'lerin σ_{25} ve hesaplanan E_a değerleri.

PJE Kodu	KI [mol/L]	σ_{25}^* [mS/cm, RT]	E_a [kJ mol ⁻¹]
PVA/PHEMA-Grafit-0,4	0,8	8,68	14,19
PVA/PHEMA -Grafit-1,0	0,8	8,65	14,52
PVA/PHEMA -Grafit-2,0	0,8	8,92	13,84

*: RT: Oda Sıcaklığı (25 °C)

Şekil 4.28'de ve Şekil 4.29'da görüldüğü üzere sıcaklık artışı ile polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenliklerinin arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Serbest hacim sıcaklık ile birlikte artış gösterdiğinden Şekil 4.28'de ve Şekil 4.29'da gözlemlenen iletkenlik artışı oluşmaktadır. Fakat grafit ve TiO₂ nano katkı ile hazırlanmış olan PVA/PHEMA jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik – sıcaklık ilişkileri katkısız hazırlanmış örneklerin iyonik

iletkenlik – sıcaklık ilişkisini gösteren Şekil 4.11’de verilmiş grafik ile karşılaştırıldığında grafit katkısının iyonik iletkenlik üzerinde doğrudan etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.29: Farklı % TiO₂ nano katkılarıyla hazırlanan PVA/PHEMA-PJE (50) esaslı PJE'lerin $\ln\sigma$ - $1/T$ grafiği.

Tablo 4.8’de 0.8 mol/L tuz konsantrasyonuna sahip TiO₂ içeren PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin 25 °C’deki iletkenlik değeri (σ_{25}) ve Arrhenius Denklemi’ne göre hesaplanan aktivasyon enerjileri (E_a) verilmiştir. PVA/PHEMA - TiO₂-1,0 en yüksek iyonik iletkenlik değerine ve en düşük aktivasyon enerjisine sahiptir.

Tablo 4.8: Farklı TiO₂ katkılarıyla hazırlanan PVA/PHEMA-PJE (50) esaslı PJE'lerin σ_{25} ve hesaplanan E_a değerleri.

PJE Kodu	KI [mol/L]	σ_{25}^* [mS/cm, RT]	E_a [kJ mol ⁻¹]
PVA/PHEMA - TiO ₂ -0,4	0,8	8,63	14,02
PVA/PHEMA - TiO ₂ -1,0	0,8	8,72	13,64
PVA/PHEMA - TiO ₂ -2,0	0,8	8,42	14,06

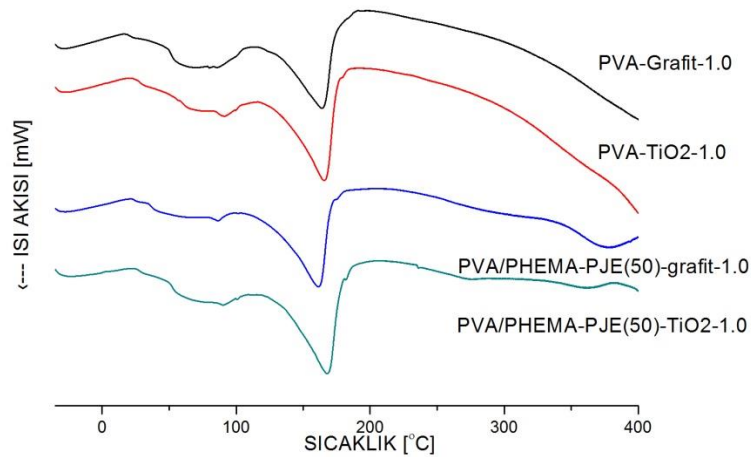
*: RT: Oda Sıcaklığı (25 °C)

PVA/PHEMA esaslı nano katkı içeren jel elektrolitler iyonik iletkenlik ve aktivasyon enerjisi açısından karşılaştırıldıklarında benzer davranış göstermişlerdir. Bu sonuç PVA esaslı jel

elektrolitlerde olduğu gibi nano katkı varlığının viskozite üzerinde çok etkili olmamasına atfedilebilir. Bununla birlikte, grafit ya da TiO_2 'nin PVA/PHEMA esaslı jel elektrolit yapı içinde kolaylıkla dağıtılmış ve homojen jel elektrolitler elde edilmiştir. Önceki bölümde belirtildiği gibi jel elektrolitlerde nano katkı içeriğinin bulunmasının gibi boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinde enerji verimliliği ve elektriksel özellikler açısından katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

4.3.3. DSC Analizi

Şekil 4.30'da %1 grafit katkılı PVA ve PVA/PHEMA-PJE(50), %1 TiO_2 katkılı PVA ve PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı jel elektrolitlerin DSC analiz grafikleri verilmiştir.



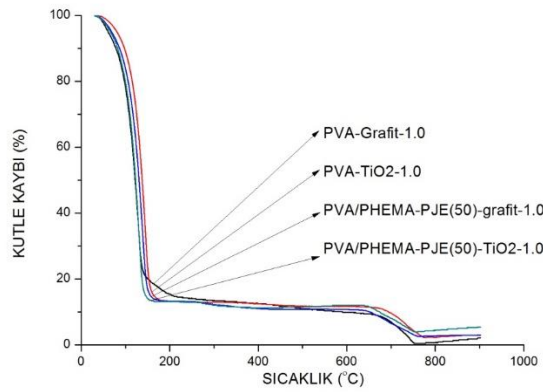
Şekil 4.30: Grafit ve TiO_2 katkılı PVA ve PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE'lerin DSC grafiği
Nano katkılı polimer jel elektrolitlerin DSC termogramları karşılaştırıldığında endotermik yanıtın etkilenmediği gözlemlenmiştir.

Farklı oranlarda hazırlanmış olan PVA ve PVA/PHEMA jel elektrolitlerin Şekil 4.15'te verilmiş DSC grafikleri nano katkı içeren polimer jel elektrolitlerin Şekil 4.30'da verilmiş grafiği ile karşılaştırıldığında, kristalinitenin azaltıldığı, iyonik iletkenliği olumlu yönde etkileyecek bulgular elde edilmiştir.

Şekil 4.30 ile Şekil 4.5 ve Şekil 4.13’de verilmiş grafikler karşılaştırıldığında nano katkının PVA esaslı polimer jel elektrolitlerde camsı geçiş sıcaklığında düşüşe sebep olduğu fakat PVA/PHEMA-PJE(50) örneğinde bariz bir değişikliğe sebep olmadığı gözlemlenmiştir.

4.3.4. TGA Analizi

Şekil 4.31’de %1 grafit katkılı ve %1 TiO₂ katkılı PVA esaslı ve PVA/PHEMA-PJE (50) esaslı jel elektrolitlerin TGA grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.31: Nano katkılı PVA ve PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE’lerin TGA grafiği

Tablo 4.9: Grafit ve TiO₂ katkılı PVA ve PVA/PHEMA-PJE(50) esaslı PJE örneklerinin ağırlıkça yüzde kayıp değerleri.

Polimer	50°C	100°C	150°C	250°C	350°C
PVA-Grafit-1,0	%2,30	%22,10	%80,00	%85,75	%86,90
PVA-TiO ₂ -1,0	%0,65	%11,05	%76,60	%86,95	%87,25
PVA/PHEMA-PJE(50) - Grafit-1,0	%1,50	%16,25	%83,05	%86,90	%88,40
PVA/PHEMA-PJE(50) - TiO ₂ -1,0	%1,93	%20,50	%85,90	%87,05	%88,40

Şekil 4.31’de verilmiş olan grafitve TiO₂ katkılı PVA ve PVA/PHEMA esaslı jel elektrolitlerin TGA grafiği saf poli(vinil alkol) TGA grafiği (Şekil 4.6) ile karşılaştırıldığında ağırlık kaybının başladığı sıcaklıkta düşüş meydana gelmiştir. Bu durum daha önceki

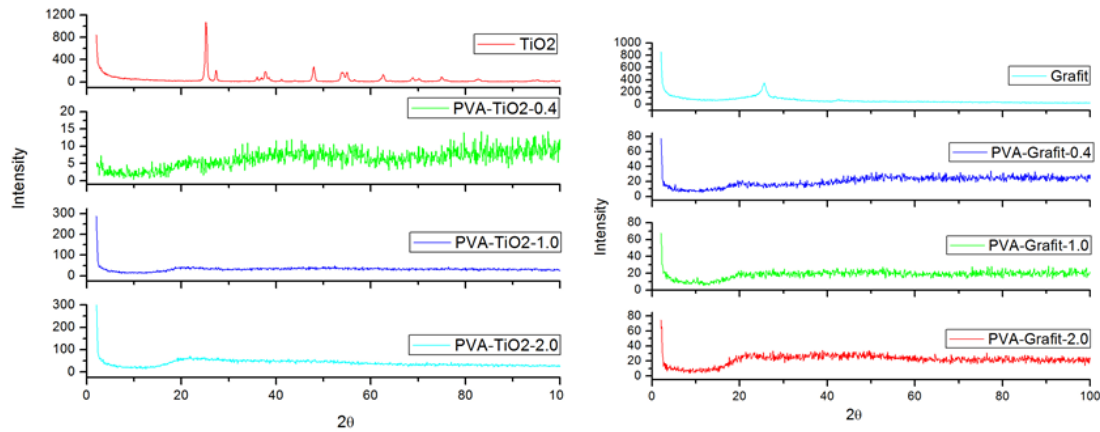
bölümlerde bahsedildiği üzere PVA ve PHEMA zincirlerinde bulunan –OH grupları ile tuz katyonu etkileşimi sonucu kompleks oluşturması sebebiyle gözlemlenmektedir (Saroj ve diğ. 2012).

Tablo 4.9’te görüldüğü gibi jel elektrolitlerde 150 °C’de meydana gelen ağırlık kaybı polimere (PVA ve PVA/PHEMA) kıyasla çok daha yüksektir. Bu sonuç jel elektrolit yapısında bulunan organik çözücülerin buharlaşmasına atfedilmiştir. NMP ve GBL için kaynama noktaları sırasıyla 203 ve 204 °C olmasına rağmen, bu tip organik çözücülerin daha düşük sıcaklıkta buharlaştıkları bilinmektedir (Wu ve diğ., 2007, Çavuş and Yıldırım, 2016).

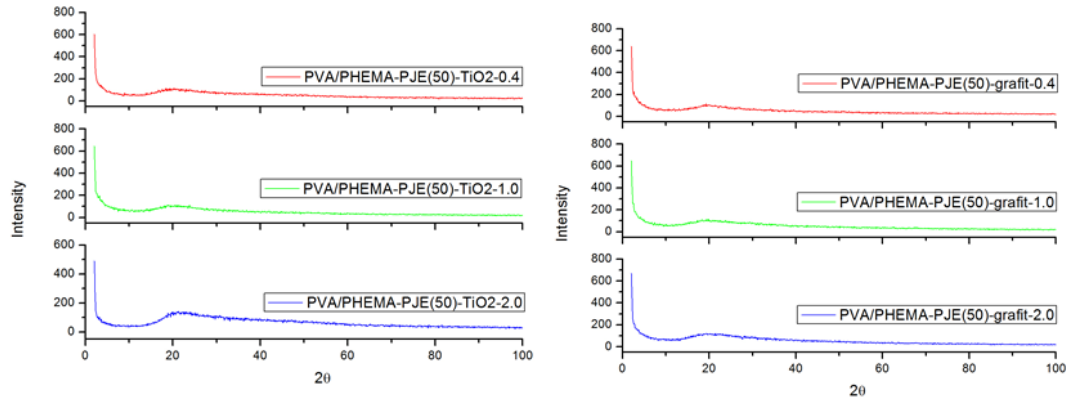
4.3.5. XRD Analizi

%0.4, %1 ve %2 grafit ve %0.4, %1 ve %2 TiO₂ katkısı ile hazırlanmış PVA ve PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin yapıları XRD yöntemi ile incelenmiştir. Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’da nano katlılı polimer jel elektrolitlerin XRD grafikleri verilmiştir.

TiO₂ ve Grafit XRD analizlerinde gözlemlenen piklerin polimer jel elektrolitlerde gözlemlenmemektedir. Polimer jel elektrolit analizlerinde nano katkısı ile amorf yapının bozulmadığı gözlemlenmiştir. XRD sonuçlarında keskin piklerin olmaması yapının amorf yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Bhad ve diğ., 2013).



Şekil 4.32: Nano katlılı PVA esaslı PJE’lerin XRD grafiği



Şekil 4.33: Nano katkılı PVA/PHEMA esaslı PJE'lerin XRD grafiği



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. PVA ESASLI POLİMER JEL ELEKTROLİTLER İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Tez çalışmasının ilk kısmında PVA esaslı polimer jel elektrolitler farklı KI/I₂ konsantrasyonlarında hazırlanmıştır. Poli(vinil alkol) zincir yapısında OH molekülü bulundurması sayesinde kompleks ağ yapıları oluşturmaya elverişli oluşu, toksik olmayışı, suda çözünebilir oluşu ve polimer matrisi içerisinde çözücü hapsedme oranı yüksek olan bir polimer olması sebebiyle tercih edilmiştir. Farklı KI/I₂ konsantrasyonlarında hazırlanan polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik, DSC, TGA, XRD ve FTIR analiz sonuçları incelenmiştir. Polimer jel elektrolitler hazırlanmasında çözücü olarak NMP:GBL organik çözücü karışımı kullanılmıştır. NMP:GBL çözücü karışımı hacimce 7:3 oranında hazırlanmış olup, karışımda NMP'un yanında dielektrik sabiti NMP'dan daha yüksek olması sebebiyle GBL kullanılmıştır. Dielektrik sabitinin yüksek oluşu alkali iyodür tuzlarının çözünmesinde olumlu katkı sağlamaktadır.

PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenliklerinin, tuz konsantrasyonu ile ilişkisini gözlemleyebilmek adına NMP:GBL organik çözücü karışımı 0.2M, 0.4M, 0.6M, 0.8M, 1.0M KI ve I₂'de 1 oranında I₂ içerecek şekilde hazırlanmış olup, karışıma ağırlıkça yüzde üç oranında PVA ilave edilmiştir. Farklı tuz konsantrasyonlarında hazırlanan polimer jel elektrolitlerin 20-70°C sıcaklık aralığında iyonik iletkenlik değerleri incelenmiştir. İncelemeler sonrasında oda sıcaklığındaki iyonik iletkenlik değerleri karşılaştırıldığında 0,8M/0,08M KI/I₂ konsantrasyonuna kadar iyonik iletkenliğin arttığı ve daha sonra düşüş gerçekleştiği tespit edilmiştir. 0,8M KI konsantrasyonunda maksimum nokta gözlemlenmiş olup tuz konsantrasyonunun daha fazla yükselmesi iyonik iletkenliği negatif yönde etkilemiştir. Tuz konsantrasyonunun yükseltilmesi ile dağılmış serbest iyonların birbirlerine çok yaklaşmasına kaynaklı bağlı iyon çifti oluşturması ile açıklanmıştır.

İyonik iletkenlik sonuçlarından yola çıkarak oluşturulan $\ln\sigma - 1/T$ kinetik grafikleri incelenerek Vogel-Tamman-Fulcher ya da Arrhenius Denklemi'ne uygunluğu incelenmiştir. Grafiğin lineer oluşu polimer jel elektrolitlerin Arrhenius Denklemi'ne uygun davranış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Farklı KI/I₂ konsantrasyonlarında hazırlanmış olan PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin ve saf PVA'nın yapısal karakterizasyonu FTIR analizi ile gerçekleştirilmiştir. Saf PVA'nın FTIR spektrumunda 3000-3600 cm⁻¹ aralığında gözlemlenen pik O-H bağı gerilmesinden kaynaklı olup, PVA spektrumu ile polimer jel elektrolit spektrumları arasında O-H bağının gerilme ve eğilme titreşiminde farklılıklar gözlenmiştir. O-H band şiddetindeki azalma, iyonik iletkenlik değeri en yüksek değeri göstermiş olan PVA0,8 örneğinde en belirgindir.

Farklı tuz konsantrasyonlarında hazırlanmış olan PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin amorf ve kristal yapılarının değerlendirilmesi için DSC analizi uygulanmıştır. Bu çalışmada saf PVA ve PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin örnekleri belirli ağırlıklarda tartılarak -40/400°C sıcaklık aralığında 10°C/dk ısıtma hızında ve 20 mL/dk azot atmosferi altında analiz edilmiştir.

DSC analizi sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin endotermik yanıtının saf PVA'ya göre daha düşük sıcaklıklara doğru kaydığı ve pik alanının genişlediği gözlemlenmiştir. Endotermik yanıtın daha düşük sıcaklıklara düşmesi amorf yapının arttığını göstermektedir. Amorf yapının artması polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik değerinin artmasında olumlu rol oynamıştır.

Farklı KI/I₂ konsantrasyonlarında hazırlanmış olan PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinde kullanıma uygun olup olmadığının incelenmesi için TGA analizi uygulanmıştır. Polimer jel elektrolitlerin boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinde kullanılabilmesi için polimer matrisi içerisinde hapsedilmiş olan organik çözücünün uçmaması gereklidir. Pilin uzun süreli aktif olarak çalışabilmesi için çözücünün polimer matrisi içerisinde hapsedilmiş olması gereklidir. Bu çalışmada saf PVA, PVA0.6, PVA0.8 ve PVA1.0 örneklerinden belli ağırlıklarda tartılarak alüminyum krozelere koyulup 30-500°C sıcaklık aralığında 10°C/dk ısıtma hızında ve 20 mL/dk azot atmosferi altında analiz gerçekleştirilmiştir.

Yapılan TGA analizi sonucunda PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin bozulmaya başladığı sıcaklığın saf PVA'ya göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum PVA zincir yapısında bulunan -OH gruplarının tuz katyonu ile kompleks oluşturması sebebiyle olduğu ve çözücünün ortamdan uzaklaştığı şeklinde yorumlanmıştır.

Farklı KI/I₂ konsantrasyonlarında hazırlanmış olan PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin kristaliniteleri XRD yöntemi ile incelenmiştir. İyonik iletkenlik özelliklerinin iyileşmesi iyonların elektrolit içerisinde kolay taşınabilmesine bağlıdır ve polimerin amorf yapıda olması bu koşulun sağlanması için çok önemlidir.

XRD analiz sonuçları incelendiğinde PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin yapısına KI/I₂ eklenmesi KI konsantrasyonuna bağlı olarak amorf yapıya katkı sağlamaktadır. XRD grafikleri incelendiğinde keskin pikler gözlemlenmemiştir, bu durum polimer jel elektrolitlerin amorf yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Ek olarak KI tuzu için gerçekleştirilen XRD analizi verilerine göre oluşturulan grafikte gözlemlenen keskin piklerin, polimer jel elektrolit yapılarında gözlemlenmemiş oluşu tuzun polimer jel elektrolit içerisinde tamamen çözüldüğü şeklinde yorumlanmıştır.

5.2. PVA/PHEMA ESASLI POLİMER JEL ELEKTROLİTLER İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Tez çalışmasının ikinci kısmında PVA/PHEMA polimer karışımında kullanılan PVA:PHEMA oranının polimer jel elektrolitler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. PVA/PHEMA polimer karışımları ağırlıkça %25/75, %50/50, %60/40 ve %80/20 PVA/PHEMA oranlarında hazırlanmıştır. HEMA monomeri, başlatıcı olarak APS kullanılarak deiyonize su içinde çözüldürülmüş olup azot ortamında bulunan HEMA + su + APS karışımına daha önce hazırlanan PVA + su karışımı eklenmiş ve polimerizasyon sıcaklık kontrollü su banyosunda 70 °C’de 24 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Polimerizasyon prosesinin tamamlanması için 24 saat boyunca 70°C’ye ayarlanmış sıcak su banyosunda bekletildikten sonra standart büyüklükte petri kabına dökülmüş ve doğal olarak kurumaya bırakılmıştır. Çalışmaya bir önceki kısımda en yüksek iyonik iletkenlik sonucu veren 0,8M/0,08M KI/I₂ konsantrasyonu ile devam edilmiştir.

PVA/PHEMA karışımları %25/75, %50/50, %60/40 ve %80/20 PVA/PHEMA oranlarında hazırlanmış olan PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenlikleri 20-70 °C arasında ölçülmüş olan iyonik iletkenlik değerleri ile $\ln\sigma-1/T$ grafiği oluşturulmuştur. Grafiğin lineer oluşu, polimer jel elektrolitlerin Arrhenius Denklemi’ne uygun davranış gösterdiği göstermektedir. İyonik iletkenlik değerleri bir önceki kısımda elde edilen PVA esaslı polimer

jel elektrolitler ile kıyaslanmış olup, PHEMA katkısının iletkenlik üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Tüm PVA/PHEMA jel elektrolitleri birbirine yakın davranış göstermiş olup, PVA (0.8M KI) ve PVA/PHEMA jel elektrolitleri benzer davranış göstermiştir. PVA/PHEMA örneklerinin iyonik iletkenlikleri ve Arrhenius Denklemi'ne göre hesaplanan aktivasyon enerjileri (E_a) incelendiğinde PVA/PHEMA(50) en yüksek iyonik iletkenlik değeri ve en düşük aktivasyon enerjisine sahiptir. Bu sonucun PVA0.8 jel elektroliti için elde edilen değerler ile çok benzer olduğu görülmektedir.

Farklı oranlarda hazırlanmış olan PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin amorf ve kristal yapılarının değerlendirilmesi için DSC analizi uygulanmıştır. Bu çalışmada PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin örnekleri belirli ağırlıklarda tartılarak -40/400°C sıcaklık aralığında 10°C/dk ısıtma hızında ve 20 mL/dk azot atmosferi altında analiz edilmiştir.

Yapılan analiz sonucunda PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin endotermik yanıtının saf PVA'ya göre daha düşük sıcaklıklara doğru kaydığı gözlemlenmiştir. Ek olarak PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin endotermik yanıtı PVA esaslı polimer jel elektrolitleri endotermik yanıtı kıyaslandığında camısı geçiş sıcaklığının daha düşük sıcaklığa kaydığı gözlemlenmiştir. Camısı geçiş sıcaklığının daha düşük sıcaklıklara düşmesi amorf yapının artışı olarak değerlendirilmiştir. Amorf yapının artması polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik değerinin artmasında olumlu rol oynamıştır.

PVA/PHEMA %25/75, %50/50, %60/40 ve %80/20 PVA/PHEMA oranlarında hazırlanmış olan PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinde kullanıma uygun olup olmadığının incelenmesi için TGA analizi uygulanmıştır. Bu çalışmada örnekler belli ağırlıklarda tartılarak alüminyum krozelere koyulup 30-500°C sıcaklık aralığında 10°C/dk ısıtma hızında ve 20 mL/dk azot atmosferi altında analiz gerçekleştirilmiştir.

Yapılan analiz sonucunda PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin bozulmaya başladığı sıcaklığın saf PVA'ya göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum poli(vinil alkol) ve PHEMA zincir yapısında bulunan -OH gruplarının tuz katyonu ile kompleks oluşturması sebebiyle olduğu şeklinde yorumlanmıştır. PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin 100°C'de oluşan toplam kütle kaybı PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitler ile kıyaslandığında

PVA/PHEMA'nın PVA'ya göre daha fazla kütle kaybettiği tespit edilmiştir. Bu durum PVA esaslı polimer jel elektrolitlerin güneş pili uygulamalarında PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlere göre daha uygun bir alternatif olduğu şeklinde yorumlanabilir.

PVA/PHEMA %25/75, %50/50, %60/40 ve %80/20 PVA/PHEMA oranlarında hazırlanmış olan PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin kristaliniteleri XRD yöntemi ile incelenmiştir. PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin kristaliniteleri saf PVA ile karşılaştırıldığında PVA esaslı polimer jel elektrolitler ile aynı yapıyı göstermektedir. XRD grafiklerinde keskin pikler gözlemlenmemiştir, bu durum polimer jel elektrolitlerin amorf yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Ek olarak KI tuzu için gerçekleştirilen XRD analizi verilerine göre oluşturulan grafikte gözlemlenen keskin piklerin, polimer jel elektrolit yapılarında gözlemlenmemiş oluşu tuzun polimer jel elektrolit içerisinde tamamen çözüldüğü şeklinde yorumlanmıştır.

5.3. POLİMER JEL ELEKTROLİTLERE NANO KATKI ETKİSİ İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Tez çalışmasının üçüncü kısmında PVA ve PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitler içerisinde kullanılan nano katkılarının etkileri incelenmiştir. PVA/PHEMA için %50/%50 PVA/PHEMA oranı tercih edilmiştir. Hem PVA hem de PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlere %0.4, %1 ve %2 oranlarında ayrı ayrı Grafit ve TiO_2 nano katkıları eklenmiştir. Nano katkılı PVA ve PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitler, çalışmanın birinci kısmında tespit edilmiş yüksek iyonik iletkenlik sonuçları göstermiş olan 0,8M KI/I₂ ile hazırlanmıştır.

PVA ve PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin %0.4, %1 ve %2 oranlarında ayrı ayrı Grafit ve TiO_2 nano katkılı örneklerinin iyonik iletkenlikleri 20-70 °C arasında ölçülmüş olan iyonik iletkenlik değerleri ile $\ln\sigma-1/T$ grafiği oluşturulmuştur. Grafiğin lineer oluşu polimer jel elektrolitlerin Arrhenius Denklemi'ne uygun davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. İyonik iletkenlik değerleri bir önceki kısımda elde edilen PVA ve PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitler ile kıyaslanmış olup, nano katkının hiçbir oranda kayda değer bir değişim oluşturmadığı gözlemlenmemiştir. PVA-Grafit-2,0 en yüksek iyonik iletkenlik değerini gösterirken, PVA-Grafit-1 en düşük aktivasyon enerjisine sahiptir. PVA-Grafit-2,0 için elde edilen sonuçlar sonucun PVA0.8 jel elektroliti için elde edilen değerler ile çok benzer olduğu görülmektedir.

PVA ve PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin %0.4, %1 ve %2 oranlarında ayrı ayrı Grafit ve TiO₂ nano katkılı örneklerinin amorf ve kristal yapılarının değerlendirilmesi için DSC analizi uygulanmıştır. Bu çalışmada PVA ve PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin %0.4, %1 ve %2 oranlarında ayrı ayrı Grafit ve TiO₂ nano katkılı örnekleri belirli ağırlıklarda tartılarak -40/400°C sıcaklık aralığında 10°C/dk ısıtma hızında ve 20 mL/dk azot atmosferi altında analiz edilmiştir.

Yapılan analiz sonucunda PVA ve PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin %0.4, %1 ve %2 oranlarında ayrı ayrı Grafit ve TiO₂ nano katkılı örneklerinin tamamı katkısız olarak hazırlanmış örnekler ile aynı karakteristikte sonuç göstermiştir.

PVA esaslı nano katkı içeren jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik ve hesaplanmış aktivasyon enerjileri incelendiğinde farklı nano katkılı örneklerin benzer davranış gösterdikleri görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar nano katkının viskozite üzerinde etkili olmadığı şeklinde yorumlanabilir. Bu durum ile nano katkının polimer jel elektrolit matrisi içerisinde homojen bir şekilde dağıldığını göstermektedir. Jel elektrolitlerde nano katkı içeriğinin bulunmasının özellikle boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinde enerji verimliliği ve elektriksel özellikler açısından katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Farklı nano katkı içeren PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin iyonik iletkenlik ve hesaplanmış aktivasyon enerjileri açısından karşılaştırıldığında benzer davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuç PVA esaslı polimer jel elektrolitlerde olduğu gibi nano katkının viskozite üzerinde etkili olmadığı şeklinde yorumlanmıştır.

PVA ve PVA/PHEMA esaslı %0.4, %1 ve %2 oranlarında ayrı ayrı Grafit ve TiO₂ nano katkılı polimer jel elektrolitlerin boya ile duyarlılaştırılmış güneş pillerinde kullanıma uygun olup olmadığının incelenmesi için TGA analizi uygulanmıştır. Bu çalışmada örnekler belli ağırlıklarda tartılarak alüminyum krozelere koyulup 30-500°C sıcaklık aralığında 10°C/dk ısıtma hızında ve 20 mL/dk azot atmosferi altında analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda PVA ve PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin %0.4, %1 ve %2 oranlarında ayrı ayrı grafit ve TiO₂ nano katkılı örneklerinin tamamı katkısız olarak hazırlanmış örnekler ile aynı karakteristikte sonuç göstermiştir.

PVA ve PVA/PHEMA esaslı polimer jel elektrolitlerin %0.4, %1 ve %2 oranlarında ayrı ayrı Grafit ve TiO₂ nano katkılı örneklerinin kristaliniteleri XRD yöntemi ile incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda nano katkılı jel elektrolitlerin yapıları ile katkısız olarak hazırlanmış jel elektrolitlerin yapılarının birbirine birbirine benzer olduğu belirlenmiştir.



KAYNAKLAR

- Abraham, K.M., Alamgir M., 1994, *Room temperature polymer electrolytes and batteries based on them*, Solid State Ionic, 70–71 (1), 20-26.
- Agrawal, A., Grimes, F.R., Allemand, P.M., Trosky, M., 1994, *Ion Conducting Polymers*, United States Patent, Patent Numarası:5.300.374, Patent Tarihi: 5 Nisan 1994.
- Arjunan, T.V., Senthil, T.S., 2013, *Review: Dye sensitized solar cells*, Materials Technology, 28 (1-2), 9-14.
- Albdiry, M.T., Yousif, B.F., 2013, *Morphological structures and tribological performance of unsaturated polyester based untreated/silane-treated halloysite nanotubes*, Materials and Design, 48, 68-76.
- Armand, M., Tarascon J.M., 2008, *Building better batteries*, Nature, 451, 652–657.
- Awadhia, A., Agrawal, S.L., 2007, *Structural, thermal and electrical characterizations of PVA:DMSO:NH₄SCN gel electrolytes*, Solid State Ionics, 178 (13–14), 951-958.
- Aziz, M.F., Noor, I.M., Sahroai, B., Arof, A.K., 2014, *Dye-sensitized solar cells with PVA–KI–EC–PC gel electrolytes*, Optical and Quantum Electronics, 46 (1), 133–141.
- Aziz, M.F., Buraidah, M., Careem, M., Arof, A., 2015, *PVA Based Gel Polymer Electrolytes With Mixed Iodide Salts (K⁺I⁻ And Bu₄n⁺I⁻) For Dye-Sensitized Solar Cell Application*, Electrochimica Acta, 182, Pages 217-223.
- Bahrami, A., Mohammednejad, S., Soleimaninezhad S., 2012, *Photovoltaic cellstecnology: principles and recent developments*, Optical and Quantum Electronics, 45 (2), 161–197.
- Bhad, S.N., Sangawar, V.S., Maldhure, A.K., Tayade, D.P. Yerawar, G.R., 2013, *Study of Proton Conducting PVA Based Gel Electrolyte*, International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology, 2 (11).
- Bhargav, P.B., Mohan, V.M., Sharma, A.K., Rao V.V.R.N., 2009, *Investigations on electrical properties of (PVA:NaF) polymer electrolytes for electrochemical cell applications*, Current Applied Physics, 9 (1), 165-171.
- Bhavani, S., Pavani, Y., Ravi, M., Kumar, K.K., Rao, V.V.R.N., 2013, *Structural and Electrical Properties of Pure and NiCl₂ Doped PVA Polymer Electrolytes*, American Journal of Polymer Science, 3(3), 56-62.
- Boschloo, G., Hagfeldt, A., 2009, *Characteristics of the Iodide/Triiodide Redox Mediator in Dye-Sensitized Solar Cells*, Accounts of Chemical Research, 42 (11), 1819-1826.

- Calogero, G., Marco G.D., 2008, *Red Sicilian Orange And Purple Eggplant Fruits As Natural Sensitizers For Dye-Sensitized Solar Cells*, Solar Energy Materials and Solar Cells, 92 (11), 1341-1346.
- Chiang, C.K., Drury, M.A., Gau S.C., Heeger, A.J., Louis, E.J., Macdiarmid, A.G., Park, Y.W., Shirakawa, H., 1978, *Synthesis of Highly Conducting Films of Derivatives of Polyacetylene, (CH)_x*, J. Am. Chem. Soc., 100(3), 1013-15.
- Chiang, C.K., Fincher, J., Park Y.W., Heeger, A.J., Shirakawa, H., Louis, E.J., Gau S.C., Macdiarmid, A.G., 1977, *Electrical-Conductivity in Doped Polyacetylene*, Phys. Rev. Lett., 39(17), 1098-1101.
- Çavuş, S., 2010, *Poly(methacrylamide-co-2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid) Hydrogels: Investigation of pH- and Temperature-Dependent Swelling Characteristics and Their Characterization*, Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics, 48, 2497–2508.
- Çavuş, S., Yıldırım M., 2016, *Poly(ethylene glycol)/poly(2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid) gel electrolytes: a detailed investigation of their conductivity and characterization*, Ionics, 22 (7), 1059–1073.
- Coleman, M.M., Painter, P.C., 1995, *Hydrogen bonded polymer blends*, Progress in Polymer Science, 20 (1), 1-59.
- Dai, L., 2004, *Conducting Polymers*, Intelligent Macromolecules for Smart Devices, Springer, England, 41-81.
- Deepa, M., Sharma, N., Agnihotry, S.A., Singh, S., Lal, T., Chandra, R., 2002, *Conductivity and viscosity of liquid and gel electrolytes based on LiClO₄, LiN(CF₃SO₂)₂ and PMMA*, Solid State Ionics, 152-153, 253-258.
- De Freitas, J.N., De Souza Gonçalves, A., De Paoli, M.-A., Durrant, J.R., Nogueira, A.F., 2008, *The role of gel electrolyte composition in the kinetics and performance of dye-sensitized solar cells*, Electrochimica Acta, 53 (24), 7166-7172.
- Demerlis, C.C., Schoneker, D.R., 2003, *Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA)*, Food and Chemical Toxicology, 41 (3), 319–326.
- Dissanayake, M.A.K.L., Jayathissa, R., Seneviratne, V.A., Thotawatthage, C.A., Senadeera, G.K.R., Mellander, B.E., 2014, *Polymethylmethacrylate (PMMA) Based Quasi-Solid Electrolyte With Binary Iodide Salt For Efficiency Enhancement In TiO₂ Based Dye Sensitized Solar Cells*, Solid State Ionics, 265 (1), 85-91.
- Every, H.A., Zhou, F., Forsyth, M., Macfarlane, D.R., 1998, *Lithium ion mobility in poly(vinyl alcohol) based polymer electrolytes as determined by ⁷Li NMR spectroscopy*, Electrochimica acta, 43 (10-11), 1465-1469,
- Fenton, D.E., Parker J.M., Wright P.V., 1973, *Complexes of alkali metal ions with poly(ethylene oxide)*, Polymer, 14, 589.

- Graetzel, M., 2001, *Photoelectrochemical Cells*, Nature, 414, 338-344.
- Graetzel, M., O'Regan, B., 1991, *A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye sensitized colloidal TiO₂ films*, Nature, 353, 737-740.
- Green, M.A., 2002, *Photovoltaic principles*, Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, 14 (1-2), 11-17.
- Hagfeldt, A., Boschloo, G., Sun, L., Kloo, L., Pettersson, H., 2010, *Dye-Sensitized Solar Cells*, Chemical Reviews, 110 (11), 6595-6663.
- Horii, F., Hu, S., Ito, T., Odani, H., Kitamaru, R., Matsuzawa, S., Yamaura, K., 1992, *Cross polarization/magic angle spinning ¹³C-NMR study of solid structure and hydrogen bonding of poly (vinyl alcohol) films with different tacticities*, Polymer, 33 (11), 2299–2306.
- Huo, Z., Dai, S., Wang, K., Kong, F., Zhang, C., Pan, X., Fang, X., 2007, *Nanocomposite gel electrolyte with large enhanced charge transport properties of an I₃⁻/I redox couple for quasi-solid-state dye-sensitized solar cells*, Solar Energy Materials and Solar Cells, 91 (20), 1959–1965.
- Jia, Y.T., Gong, J., Gu, X.H., Kim, H.Y., Dong, J., Shen, X.Y., 2007, *Fabrication and characterization of poly (vinyl alcohol)/chitosan blend nanofibers produced by electrospinning method*, Carbohydrate Polymers, 67 (3), 403-409.
- Kim, H., Nam, S., Jeong, J., Lee, S., Seo, J., Han, H., Kim, Y., 2014, *Organic solar cells based on conjugated polymers: history and recent advances*, Korean Journal of Chemical Engineering. 31(7), 1095-1104.
- Kulshrestha, N., Chatterjee, B., Gupta, P.N., 2014, *Characterization and electrical properties of polyvinylalcohol based polymer electrolyte films doped with ammonium thiocyanate*, Materials Science and Engineering: B, 184, 49–57.
- Lan, Z., Wu, J., Lin, J., Huang, M., 2007, *Quasi-solid-state dye-sensitized solar cells with a novel efficient absorbent for liquid electrolyte based on PAA-PEG hybrid*, Journal of Power Sources, 164 (2), 921-925.
- Lee, J., Yang, M., 2011, *Progress in light harvesting and charge injection of dye-sensitized solar cells*, Materials Science and Engineering B, 176 (15), 1142-1160.
- Lewis, N.S.(Editor), Crabtree, G.(Editor), 2005, *Basic Research Needs for Solar Energy Utilization*, Report of the Basic Energy Sciences Workshop on Solar Energy Utilization, Office of Science, U.S. Department of Energy, Washington, DC.
- Lewis, R.J.Sr(Ed.), 1993, *Hawley's Condensed Chemical Dictionary*, 12th ed. New York, NY, Van Nostrand Rheinhold Co., 622.

- Liew, C-W., Ramesh, S., Arof, A.K., 2014, *Good prospect of ionic liquid based-poly(vinyl alcohol) polymer electrolytes for supercapacitors with excellent electrical, electrochemical and thermal properties*, International Journal of Hydrogen Energy 39 (14), 2953-2963.
- Li, B., Wang, L., Kang, B., Wang, P., Qiu, Y., 2006, *Review of recent progress in solid-state dye-sensitized solar cells*, Solar Energy Materials and Solar Cells, 90 (5), 549-573.
- Li, Q., Wu, J., Tang, Q., Lan, Z., Li, P., Zhang, T., 2008, *Application of Polymer Gel Electrolytes with Graphite Powder in Quasi-Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells*, Polymer Composites, 1687-1692.
- Manuel, A.S., 2006, *Review on gel polymer electrolytes for lithium batteries*, European Polymer Journal, 42 (1), 21-42.
- Mathew, S., Yella, A., Gao, P., Humphry-Baker, R., Curchod, B., Ashari-Astani, N., Tavernelli, I., Rothlisberger, U., Nazeeruddin, K., Graetzel, M., 2014, *Dye-sensitized solar cells with 13% efficiency achieved through the molecular engineering of porphyrin sensitizers*, Nature Chemistry, 6, 242-247.
- Meikhail, M.S., Oraby, A.H., Farea, M.O., Abdelghany, A.M., 2014, *Spectroscopic Studies of PVA/PEO Hydrogel Filled With Cesium Chloride*, Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 5(6), 976-983.
- Miyamoto, T., Shibayama, K., 1973, *Free-volume model for ionic conductivity in polymers*, Journal of Applied Physics, 44, 5372.
- Mohan, V.M., Murakami, K., Kono, A., Shimomura, M., 2013, *Poly(acrylonitrile)/activated carbon composite polymer gel electrolyte for high efficiency dye sensitized solar cells*, Journal of Materials Chemistry A, 25, 7399-7407.
- Mondal, D., Mollick, M.R., Bhowmick, B., Maity, D., Bain, M.K., Rana, D., Mukhopadhyay, A., Dana, K., Chattopadhyay, D., 2013, *Effect of poly(vinyl pyrrolidone) on the morphology and physical properties of poly(vinyl alcohol)/sodium montmorillonite nanocomposite films*, Progress in Natural Science: Materials International, 26(6), 579-587.
- Narayan, M.R., 2012, *Review: Dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (1), 208-215.
- Nguyen, N.T., Liu, J., 2013, *Fabrication and characterization of poly(vinyl alcohol)/chitosan hydrogel thin films via UV irradiation*, European Polymer Journal, 49 (12), 4201-4211.
- Noor, M.M., Buraidah, M.H., Yusuf, S.N.F., Careem, M.A., Majid, S.R., Arof, A.K., 2011, *Performance of Dye-Sensitized Solar Cells with (PVDF-HFP)-KI-EC-PC Electrolyte and Different Dye Materials*, International Journal of Photoenergy, 2011, 5.
- Osada, Y., Gong, J.P., Tanaka, Y., 2004, *Polymer gels*, Journal of Macromolecular Science-Part C: Polymer Reviews, 44 (1), 87-112.

- Pal, K., Banthia, A.K., Majumdar, D.K., 2007, *Preparation and characterization of polyvinyl alcohol-gelatin hydrogel membranes for biomedical applications*, An Official Journal of the American Association of Pharmaceutical Scientists, 8 (1), 142-146.
- Patel, S.K., Patel, R.B., Awadhia, A., Chand, N., Agrawal, S.L., 2007, *Role of polyvinyl alcohol in the conductivity behavior of polyethylene glycol-based composite gel electrolytes*, Pramana journal of physics, 69 (3), 467-475.
- Rajendran, S., Sivakumar, M., Subadevi R., 2004, *Li-ion conduction of plasticized PVA solid polymer electrolytes complexed with various lithium salts*, Solid State Ionics, 167 (3-4), 335-339.
- Riess, I., 2000, *Polymeric mixed ionic electronic conductors*, Solid State Ionics, 136-137 (2), 1119-1130.
- Sa'adu, L., Hashim, M.A., Baharuddin, M., 2014, *Conductivity Studies and Characterization of PVA-Orthophosphoric Electrolytes*, Journal of Material Science Research, 3 (3), 48-58.
- Saçak, M., 1998, *Giriş, Polimer Kimyasına Giriş*, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi Yayinlari, Ankara, 1-23.
- Saçak, M., 2008, *İletken Polimerler*, Polimer Kimyasi, Gazi Kitabevi, Ankara, 423-433.
- Saroj, A.L., Singh, R.K., 2012, *Thermal dielectric and conductivity studies on PVA/Ionic liquid [EMIM][EtSO₄] based polymer electrolytes*, Journal of Physics and Chemistry of Solids, 73 (2), 162-168.
- Saikia, D., Han, C.C., Chen-Yang, Y.W., 2008, *Influence of polymer concentration and dyes on photovoltaic performance of dye-sensitized solar cell with P(VdF-HFP)-based gel polymer electrolyte*, Journal of Power Sources, 185 (1), 570-576.
- Sekhon, S.S., 2003, *Conductivity behaviour of polymer gel electrolytes: Role of polymer*, Bulletin of Materials Science, 26 (3), 321-328.
- Sekhon, S.S., Arora, N., Singh, H.P., 2003, *Effect of donor number of solvent on the conductivity behaviour of nonaqueous proton-conducting polymer gel electrolytes*, Solid State Ionics, 160 (3-4), 301 – 307.
- Shen, X., Xu, W., Xu, J., Liang, G., Yang, H., Yao, M., 2008, *Quasi-solid-state dye-sensitized solar cells based on gel electrolyte containing different alkali metal iodide salts*, Solid State Ionics, 179 (35-36), 2027-2030.
- Shirakawa, H., Louis, E.J., Macdiarmid, A.G., Chiang, C.K., Heeger, A.J., 1977, *Synthesis of Electrically Conducting Organic Polymers: Halogen Derivatives of Polyacetylene, (CH)_x*, Journal of the Chemical Society, Chemical Communications, 16, 578-580.

- Song, J., Wang, Y., Wan, C., 1999, *Review of gel-type polymer electrolytes for lithium-ion batteries*, Journal of Power Sources, 77 (2), 183-197.
- Spanggaard, H., Krebs C.F., 2004, *A brief history of the development of organic and polymeric photovoltaics*, Solar Energy Materials and Solar Cells, 83 (2-3), 125-146.
- Tarascon, J. M., Armand M., 2001, *Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries*, Nature, 414, 359-367.
- Tiautit, N., Puratane, C., Panpinit, S., Saengsuwan S., 2014, *Effect of SiO₂ and TiO₂ Nanoparticles on the Performance of Dye-Sensitized Solar Cells Using PVDF-HFP/PVA Gel Electrolytes*, Energy Procedia, 56, 378-385.
- Wang, Y., 2009, *Recent research progress on polymer electrolytes for dye-sensitized solar cells*, Solar Energy Materials and Solar Cells, 93 (8), 1167-1175.
- Wu, J., Lan, Z., Wang, D., Hao, S., Lin, J., Wei, Y., Yin, S., Sato, T., 2006, *Quasi-solid state dye-sensitized solar cells-based on gel polymer electrolytes with poly(acrylamide)-poly(ethylene glycol) composite*, Journal of Photochemistry and Photobiology A:Chemistry, 181 (2-3), 333-337.
- Wu, J., Hao, S., Lan, Z., Lin, J., Huang, M., Huang, Y., Fang, L., Yin, S., Sato, T., 2007, *A Thermoplastic Gel Electrolyte for Stable Quasi-Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells*, Advanced Functional Materials, 17 (15), 2645-2652.
- Wu, J., Lan, Z., Lin, J., Huang, M., Li, P., 2007 *Effect of solvents in liquid electrolyte on the photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells*, Journal of Power Sources, 173 (1), 585-591.
- Wu, J., Lan, Z., Hao, S., Li, P., Lin, J., Huang, M., Fang, L., Huang, Y., 2008, *Progress on the electrolytes for dye-sensitized solar cells*, Pure and Applied Chemistry, 80 (11), 2241-2258.
- Xu, K., 2004, *Nonaqueous liquid electrolytes for lithium-based rechargeable batteries*, Chemical Reviews, 104 (10), 4303-4418.
- Zainuddin, Hill, D.J., Le, T.T., 2001, *An ESR study on γ -irradiated poly (vinyl alcohol)*, Radiation Physics and Chemistry, 62 (2-3), 283-291.
- Zhang, R., 2013, *Advanced gel polymer electrolyte for lithium-ion polymer batteries*, Iowa State University Capstones, Theses and Dissertations.
- Zhao, Y., Zhang, Y., Gosselink, D., Doan, T.N.L., Sadhu, M., Cheang, H.J., Chen, P., 2012, *Polymer Electrolytes for Lithium/Sulfur Batteries*, Membranes, 2 (3), 553-564.
- Zheng, H., Du, Y.M., Yu, J.H., Huang, R.H., Zhang, L.N., 2001, *Preparation and characterization of chitosan/poly(vinyl alcohol) blend fibers*, Journal of Applied Polymer Science, 80(13), 2558-2565.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Emrah DURGUN
Doğum Yeri	Eminönü
Doğum Tarihi	29.09.1989
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	5309563824
E-Posta Adresi	durgun.e@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Selçuk Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Kimya Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Proses ve Reaktör Tasarımı

Makale ve Bildiriler	
1-) Poly(vinyl alcohol) Based Polymer Gel Electrolytes: Investigation on Their Conductivity and Characterization. Acta Physica Polonica A, 129(4), 621-624 (2016).	
2-) Poly(Vinyl Alcohol) Based Polymer Gel Electrolytes: Investigation On Their Ionic Conductivity And Characterization ", 5th APMAS2015 (5th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress and Exhibition) , MUĞLA, TÜRKİYE, 16-19 Nisan 2015, pp.251-251.	
3-) Gel Electrolytes Based on Poly(vinyl alcohol)/Poly(2-hydroxyethyl methacrylate): Application in Dye-Sensitized Solar Cells", 3rd International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials (3rd ENEFM2015), MUĞLA, TÜRKİYE, 19-23 Ekim 2015, pp.306-306.	