



T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**RF DÖNEN PLAZMA YÖNTEMİ İLE HİBRİT
MALZEME ELDESİ VE ELEKTROKROMİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Abdulkerim YILDIZ

BURDUR, 2019

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**RF DÖNEN PLAZMA YÖNTEMİ İLE HİBRİT
MALZEME ELDESİ VE ELEKTROKROMİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Abdulkerim YILDIZ

Danışman: Prof. Dr. Songül ŞEN GÜR SOY

BURDUR, 2019

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Abdulkerim YILDIZ tarafından **Prof. Dr. Songül ŞEN GÜRSOY** yönetiminde hazırlanan “**RF Dönen Plazma Yöntemi ile Hibrit Malzeme eldesi ve Elektrokromik Özelliklerinin İncelenmesi**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 13/03/2019

Prof. Dr. Ayşegül UYGUN ÖKSÜZ (Başkan)

Süleyman Demirel Üniversitesi

Prof. Dr. Songül ŞEN GÜRSOY (Danışman)

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Doç. Dr. Sadık ÇOĞAL (Jüri Üyesi)

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

ONAY

Bu Tez, Enstitü Yönetim Kurulu'nun _____ Tarih ve _____ Sayılı Kararı ile Kabul Edilmiştir.

(İmza)

.....
Prof. Dr. Ayşe Gül MUTLU GÜLMEMİŞ

Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“RF Dönen Plazma Yöntemi ile Hibrit Malzeme Eldesi ve Elektrokromik Özelliklerinin İncelenmesi”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

06/03/2019

Abdulkerim YILDIZ

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmalarım boyunca, değerli tecrübe ve destekleriyle bana yol gösteren, çalışmalarım sırasında kıymetli bilgi ve katkılarıyla her zaman beni destekleyen ve yönlendiren, aynı zamanda lisansüstü eğitim yapmamı teşvik eden değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Songül Şen GÜRSOY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca bana deneyimlerini aktararak yardımlarını ve desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen sayın hocam Prof. Dr. Ayşegül UYGUN ÖKSÜZ'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Öğr. Gör. Dr. Esin EREN'e teşekkürlerimi sunarım. Sağladığı laboratuvar imkânlarıyla tez çalışmalarımın ilerlemesinde katkıda bulunan sayın Prof. Dr. Lütfi ÖKSÜZ'e çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince birlikte çalıştığım hocalarım Doç. Dr. Sadık ÇOĞAL ve doktora programı devam eden Gamze ÇELİK ÇOĞAL, arkadaşlarım Barış BALIKÇI, Sinan ÖZKAN, Derya KILIÇ, Ceyda ALVER, Ferhat BOZDUMAN ve bu aşamaya kadar her türlü desteğini benden esirgemeyen yakın arkadaşlarıma da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

2017-YL-413 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

114M877 numaralı TÜBİTAK-COST projesine tezimin gerçekleşmesinde sağladığı maddi imkânlardan dolayı teşekkür ederim.

Bütün eğitim-öğretim hayatım boyunca bana maddi ve manevi her türlü desteği veren ve sonsuz güvenen, sabrı ve sevgileriyle her an yanımda olan sevgili aileme sonsuz kez teşekkür ederim.

Mart, 2019

Abdulkerim YILDIZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGE DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Kromizm	5
2.1.1. Fotokromizm	6
2.1.2. Solvatokromizm	6
2.1.3. Termokromizm.....	6
2.1.4. İyonokromizm	6
2.1.5. Elektrokromizm.....	6
2.1.5.1. Elektrokromik Hücreler	7
2.1.5.2. Elektrokrom Tipleri	7
2.1.5.3. Elektrokromizm uygulamaları	8
2.2. Elektrokromik Cihazlar (ECD).....	8
2.2.1. Elektrokromik cihazların karakteristikleri	10
2.2.1.1. Optiksel geçirgenlik (ΔT).....	10
2.2.1.2. Renk verimi (η , CE).....	11
2.2.1.3. Anahtarlama (Switching) Hızı	11
2.2.1.4. Kararlılık.....	12
2.2.1.5. Optik Hafıza	12
2.2.1.6. Optiksel Yoğunluk (OD)	13
2.3. Elektrokromik Malzemeler	13
2.3.1. Geçiş Metal Oksitler	13
2.3.2. Polimer Malzemeler	15
2.3.3. Hibrit Malzemeler	17
3. MATERYAL VE METOT	19
3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasal ve Saf Malzemeler	19
3.2. Elektrokimyasal Deneylerde Kullanılan Yöntemler	20
3.2.1. Dönüşümlü Voltametri (CV)	20
3.2.2. Kronoampermetri (CA).....	22
3.2.3. Optik Geçirgenlik (Tranmitans).....	22
3.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	23
3.2.5. X-ışınları Difraktometrei (XRD).....	24
3.2.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi.....	26
3.2.7. Hibridizasyon Yöntemi (RF Dönerli Plazma Sistemi).....	26
3.2.8. İnce Film Hazırlama Yöntemi (Elektron Demeti ile Buharlaştırma Sistemi)..	28
3.3. Deneysel Çalışmalar	29
3.3.1. Hibrit Toz Malzemelerin Sentezi	29
3.3.2. İnce Film Hazırlama Yöntemi.....	30

3.3.2.1. Elektron Demeti ile Buharlaştırma Yöntemiyle İletken PET Elektrot Üzerine V_2O_5 Kaplanması.....	30
3.3.2.2. Elektron Demeti ile Buharlaştırma Yöntemiyle İletken PET Elektrot Üzerine V_2O_5 -PFu Kaplanması	30
3.3.3. Elektrokromik Cihazlarda Kullanılan Jel Elektrolitin Hazırlanması	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	32
4.1. V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu Malzemelerin Karakterizasyon Sonuçları	32
4.1.1. FTIR Sonuçları.....	32
4.1.2. SEM-EDS Sonuçları	34
4.1.3. XRD Sonuçları.....	36
4.2. Elektrokromik Karakterizasyon Sonuçları.....	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKÇA	63
ÖZGEÇMİŞ.....	71



ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Periyodik tabloda anodik ve katodik elektrokromik özellik gösteren geçiş metalleri.....	2
Şekil 2.1. Elektrokromik cihazların akıllı cam olarak kullanımını gösteren bazı uygulamalar	9
Şekil 2.2. ECD' ların şematik gösterimi	10
Şekil 2.3. V_2O_5 yapısı	15
Şekil 3.1. Üç elektrot yönteminin şematik gösterimi	20
Şekil 3.2. Tipik dönüşümlü voltametri (CV) eğrisi.....	21
Şekil 3.3. Uygulanan gerilim ve bu gerilim ile elektrokromik malzemede zamanla değişen akım değeri	22
Şekil 3.4. Optik özelliklerin incelendiği spektrofotometre sistemi	23
Şekil 3.5. SEM cihazı	23
Şekil 3.6. XRD cihazı.....	24
Şekil 3.7. X-ışınının kristal kafesinden saçılması ve Bragg yasası	25
Şekil 3.8. FTIR cihazı	26
Şekil 3.9. Sıcaklıklara ve Parçacık enerjilerine göre maddenin dört hali.....	27
Şekil 3.10. Elektron demeti ile buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi	28
Şekil 3.11. RF-dönerli plazma sisteminin plazma oluşum sırasındaki görüntüsü a) V_2O_5 b) V_2O_5 -PFu.....	29
Şekil 3.12. Polifuranın kimyasal yapısı.....	30
Şekil 3.13. Tez çalışmasında tasarlanan elektrokromik cihazın şematik gösterimi	31
Şekil 4.1. V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu'nun FTIR spektrumları a) ($4000-500\text{ cm}^{-1}$) arası b) ($3200-1600\text{ cm}^{-1}$) arası	33
Şekil 4.2. Farklı boyutta büyütmelemler kullanılmasıyla elde edilen SEM görüntüleri a) V_2O_5 500nm, b) V_2O_5 -PFu 500nm, c) V_2O_5 5 μm , d) V_2O_5 -PFu 5 μm	35
Şekil 4.3. XRD kırınım desenleri a) V_2O_5 , b) V_2O_5 -PFu	36
Şekil 4.4. 1M LiClO_4/PC , 1 M LiTRIF/PC , 1 M NaClO_4/PC içerisinde, a) V_2O_5 b) V_2O_5 - PFu film için elde edilen dönüşümlü voltamogramları	38
Şekil 4.5. V_2O_5 film için a) 1 M LiClO_4/PC , dönüşümlü voltamogramı, b) $I_{\text{yük}}$. (anodik akım yoğunluğu) ve I_{ind} . (katodik akım yoğunluğu) gösterdiği, tarama hızına karşı katodik/anodik akım yoğunluğunun grafiği	40
Şekil 4.6. V_2O_5 -PFu film için a) 1 M LiClO_4/PC , dönüşümlü voltamogramı, b) $I_{\text{yük}}$. (anodik akım yoğunluğu) ve I_{ind} . (katodik akım yoğunluğu) gösterdiği, tarama hızına karşı katodik/anodik akım yoğunluğunun grafiği	41
Şekil 4.7. V_2O_5 film için a) 1 M LiTRIF/PC , dönüşümlü voltamogramı, b) $I_{\text{yük}}$. (anodik akım yoğunluğu) ve I_{ind} . (katodik akım yoğunluğu) gösterdiği, tarama hızına karşı katodik/anodik akım yoğunluğunun grafiği	42
Şekil 4.8. V_2O_5 -PFu film için a) 1 M LiTRIF/PC , dönüşümlü voltamogramı, b) $I_{\text{yük}}$. (anodik akım yoğunluğu) ve I_{ind} . (katodik akım yoğunluğu) gösterdiği, tarama hızına karşı katodik/anodik akım yoğunluğunun grafiği	43
Şekil 4.9. V_2O_5 film için a) 1 M NaClO_4/PC , dönüşümlü voltamogramı, b) $I_{\text{yük}}$. (anodik akım yoğunluğu) ve I_{ind} . (katodik akım yoğunluğu) gösterdiği, tarama hızına karşı katodik/anodik akım yoğunluğunun grafiği	44

Şekil 4.10. V ₂ O ₅ -PFu film için a) 1 M NaClO ₄ /PC, dönüşümlü voltamogramı, b) I _{yük.} (anodik akım yoğunluğu) ve I _{ind.} (katodik akım yoğunluğu) gösterdiği, tarama hızına karşı katodik/anodik akım yoğunluğunun grafiği	45
Şekil 4.11. a) V ₂ O ₅ b) V ₂ O ₅ -PFu hibrit filmlerin, -2V ve +2V potansiyelleri uygulandıktan sonra 1 M LiClO ₄ /PC elektrolit varlığında görüntüleri.	47
Şekil 4.12. V ₂ O ₅ filminin geçirgenlik spektrumları, (a) 1 M LiClO ₄ /PC, V ₂ O ₅ -PFu hibrit filminin geçirgenlik spektrumları, b) 1 M LiClO ₄ /PC, hibrit filmin katı cihazının -2 V ve +2 V potansiyel uygulanması ile optik geçirgenlik değişimi	49
Şekil 4.13. V ₂ O ₅ filminin geçirgenlik spektrumları, (a) 1 M LiTRIF/PC, V ₂ O ₅ -PFu hibrit filminin geçirgenlik spektrumları, b) 1 M LiTRIF/PC, hibrit filmin katı cihazının -2 V ve +2 V potansiyel uygulanması ile optik geçirgenlik değişimi	50
Şekil 4.14. V ₂ O ₅ filminin geçirgenlik spektrumları, (a) 1 M NaClO ₄ /PC, V ₂ O ₅ -PFu hibrit filminin geçirgenlik spektrumları, b) 1 M NaClO ₄ /PC, hibrit filmin katı cihazının -2 V ve +2 V potansiyel uygulanması ile optik geçirgenlik değişimi	51
Şekil 4.15. V ₂ O ₅ filmi için, a) 1 M LiClO ₄ /PC, V ₂ O ₅ -PFu film için b) 1 M LiClO ₄ /PC kronoamperometri çalışmaları.	53
Şekil 4.16. V ₂ O ₅ filmi için, a) 1 M LiTRIF/PC, V ₂ O ₅ -PFu film için b) 1 M LiTRIF/PC kronoamperometri çalışmaları.	54
Şekil 4.17. V ₂ O ₅ filmi için, a) 1 M NaClO ₄ /PC, V ₂ O ₅ -PFu film için b) 1 M NaClO ₄ /PC kronoamperometri çalışmaları.	55
Şekil 4.18. V ₂ O ₅ filmi için, (a) 1 M LiClO ₄ /PC, V ₂ O ₅ -PFu filmi b) 1 M LiClO ₄ /PC'de 100 mV/s tarama hızında 1. ve 20. dönüşümlü voltammogramlar.	58
Şekil 4.19. V ₂ O ₅ filmi için, (a) 1 M LiTRIF/PC, V ₂ O ₅ -PFu filmi b) 1 M LiTRIF/PC'de 100 mV/s tarama hızında 1. ve 20. dönüşümlü voltammogramlar.	59
Şekil 4.20. V ₂ O ₅ filmi için, (a) 1 M NaClO ₄ /PC, V ₂ O ₅ -PFu filmi b) 1 M NaClO ₄ /PC'de 100 mV/s tarama hızında 1. ve 20. dönüşümlü voltammogramlar.	60

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2. 1. Kromizm olayları ve uygulama alanları	5
Tablo 2.2. Bazı elektrokromik metallerin yükseltgenmiş ve indirgenmiş haldeki renkleri 14	
Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan kimyasal maddeler	19
Tablo 3.2. Kullanılan elektrotlar	20
Tablo 3.3. RF-dönerli plazma sisteminde kullanılan V_2O_5 - PFu hibrit parametreleri.....	29
Tablo 3.4. E-beam sisteminde V_2O_5 için kullanılan parametreler	30
Tablo 3.5. E-beam sisteminde V_2O_5 - PFu hibrit için kullanılan parametreler	31
Tablo 4.1. V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu hibritlerinin element bileşimleri.....	36
Tablo 4.2. 1 M $LiClO_4/PC$, 1 M $LiTRIF/PC$, 1 M $NaClO_4/PC$ elektrolitinde V_2O_5 , V_2O_5 -PFu filmlerin elektrokromik parametreleri.....	48
Tablo 4.3. V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu hibrit elektrokromik parametrelerinin karşılaştırılması	52



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ECD	: Elektrokromik cihaz
EC	: Elektrokromik
CA	: Kronoamperometri
CE, η	: Renklenme Verimi
CV	: Dönüşümlü Voltametri
E-beam	: Elektron demeti
İTO	: İndiyum kalay oksit
PET	: Polietilentereftalat
PC	: Propilen karbonat
PFu	: Polifuran
Q	: Yük yoğunluğu
RE	: Referans Elektrot
Rf	: Radyo frekansı (13.56 MHz)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
t_r	: Renklenme Süresi
T_r	: Renkli Haldeki Transmittans (Geçirgenlik)
t_s	: Renksizleşme (sönümlenme) süresi
T_s	: Renksiz Haldeki Transmittans (Geçirgenlik)
V_2O_5	: Vanadyum pentaoksit
WO_3	: Tungsten trioksit
XRD	: X-ışınları Kırınımı
$\% \Delta T$: Optik Kontrast
ΔOD	: Optik Yoğunluk Değişimi

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

RF Dönen Plazma Yöntemi ile Hibrit Malzeme Eldesi ve Elektrokromik Özelliklerinin İncelenmesi

Abdulkerim YILDIZ

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Songül ŞEN GÜRSOY

Mart, 2019

Elektrokromizm, farklı potansiyeller uygulanarak elektrokimyasal yükseltgenme veya elektrokimyasal indirgenme sonucunda optiksel özelliklerinde gözlenen tersinir değişim (örnek olarak geçirgenlik değişimi) olarak tanımlanabilmektedir. Bu tez çalışmasında, RF döner plazma yöntemi kullanılarak V_2O_5 -polifuran (PFu) hibridi hazırlanmıştır ve vanadyum pentoksitin elektrokromik performansının artırılması hedeflenmiştir. V_2O_5 -PFu ve V_2O_5 filmleri üç farklı elektrolit ortamda (1 M $LiClO_4/PC$, 1 M $NaClO_4/PC$, 1 M $LiTRIF/PC$) elektrokimyasal ve elektrokromik özellikleri incelenmiştir. V_2O_5 -PFu ve V_2O_5 filmlerin elektrokromik özelliklerin (optik kontrast, anahtarlanma süresi, renk verimi, döngüsel kararlılık) performansları birbiriyle detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır. V_2O_5 ve PFu arasında oluşan sinerjik etkileşim sayesinde, hibrit filmler V_2O_5 filmelerinden daha iyi elektrokromik performans sergilemiştir. En iyi elektrokromik performans sonucu V_2O_5 -PFu elektrokromik filmin 1 M $LiClO_4/PC$ elektrolit ortamında elde edilmiştir (optik kontrast: %32, renk verimi $31,3 \text{ cm}^2/C$). $NaClO_4$ elektrolitin daha yüksek iyonik iletkenliğe sahip olduğundan dolayı, V_2O_5 and V_2O_5 -PFu filmlerin en hızlı indirgenme cevapları sırasıyla 3,96 s, 2,24 s olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Esnek elektrokromik film, furan, hibrit, plazma modifikasyon, vanadyum pentaoksit

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi TÜBİTAK-COST tarafından 114M877 proje numarası ile desteklenmiştir. Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi BAP tarafından 2017-YL-413 proje numarası ile desteklenmiştir.

SUMMARY

M. Sc. Thesis

Investigation of Hybrid Materials Production and Electrochromic Properties by RF Rotating Plasma Method

Abdulkerim YILDIZ

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Material Engineering and Technology**

Supervisor: Prof. Dr. Songül ŞEN GÜRSOY

March, 2019

Electrochromism can be defined as the reversible change in optical properties (such as transmittance change) as a result of electrochemical oxidation or reduction by applying diverse potentials. In this thesis, V₂O₅-polyfuran (PFu) hybrid was prepared by using RF rotary plasma method and it was aimed to increase the electrochromic performance of vanadium pentoxide. Electrochemical and electrochromic properties of V₂O₅-PFu and V₂O₅ films were investigated in three different electrolyte media (1 M LiClO₄/PC, 1 M NaClO₄/PC, 1 M LiTRIF/PC). The performances of electrochromic properties of V₂O₅-PFu and V₂O₅ films (optical contrast, switching time, color yield, cyclic stability) were compared in detail. Due to the synergistic interaction between V₂O₅ and PFu, hybrid films exhibited better electrochromic performance than V₂O₅ films. The best electrochromic performance of the V₂O₅-PFu electrochromic film was obtained in 1 M LiClO₄/PC electrolyte (optical contrast: %32, color yield 31,3 cm²/C). As the NaClO₄ electrolyte had higher ionic conductivity, the fastest reduction responses of the V₂O₅ and V₂O₅-PFu films were calculated as 3,96 s, 2,24 s, respectively.

Keywords: Flexible electrochromic film, furan, hybrid, plasma modification, vanadium pentoxide

The present M.Sc. Thesis was supported by TÜBİTAK-COST Under the Project number of 114M877. The present M.Sc. Thesis was supported by Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi BAP Under the Project number of 2017-YL-413.

1. GİRİŞ

Renkler günlük yaşamımızda çok önemli bir rol oynar. Renklerin neden bu kadar önemli bir rol oynadığını yüzyıllar boyunca ünlü filozoflar hep düşünmüşlerdir. Bugün bile bu soruların cevapları netlik kazanmamıştır. Rengin psikolojik ve sosyal etkisi üzerine tartışmalar hala devam etmektedir. Bununla birlikte Newton, 17. yüzyılın sonlarında ışık ve renk arasındaki ilişkiyi tanımladığından beri renk bilimi ve uygulamalarının sayısı, arkasındaki pozitif bilim anlayışıyla yavaş yavaş artmaktadır. Renkler, fizik ve kimya alanının yanında hem sanatta hem de teknolojide kullanımı birçok bilim insanının dikkatini çeken bir konu haline gelmiştir (Bamfield ve Hutchings, 2010).

Elektrokromizm, elektroaktif bir türün elektron transferi ya da redoks süreciyle kompozit renginde tersinir olarak meydana gelen değişim olayıdır. Bu redoks basamakları arasındaki geçiş, görünür bölgede farklı elektronik absorpsiyon bantları oluşmasına neden olur. Renk değişikliği çoğunlukla, şeffaf durumdan renkli duruma, ya da iki renkli durum arasındadır (Monk vd., 2007).

Elektrokromik (EC) malzemeler, düşük elektrik voltajı ile indüklenen redoks reaksiyonlarından dolayı optik özelliklerini değiştirebilir. Böylece akıllı pencereler veya elektronik kağıt gibi uygulamalar için uygun hale gelirler. Elektrokromik teknolojisini kullanarak, enerji tüketimini azaltmak (örneğin azaltılmış iklimlendirme ihtiyaçları), binalarda ve araçlarda iç mekan konforunu artırmak mümkündür. Bununla birlikte, ticari elektrokromik ürünlerin önemli dezavantajları, özellikle mimari cam gibi geniş alanlı cihazlar için yüksek fiyat ve yavaş yanıtları olarak karşımıza çıkmaktadır (Schott vd., 2016).

Elektrokromik malzemeler, düşük potansiyel uygulaması ile renk değişim olan ekranlar, binalar için enerji verimli akıllı pencereler, otomobiller için kendi kendini karartan aynalar ve potansiyel uygulamalarından dolayı büyük ilgi görmüştür. Elektrokromik yeni malzemelerin performansının ve uygulama alanlarının geliştirilmesine yardımcı olacak yeni yöntemlerin olduğuna inanılmaktadır (Soganci vd., 2018). Elektrokromik malzemeleri anodik veya katodik malzemeler olarak iki gruba ayırabiliriz. Şekil 1.1'de elektrokromik özellik gösteren elementlerin periyodik tablodaki yerleri gösterilmektedir. Şekilde içi taralı kare kutular, oksitleri anodik katodik elektrokromik özellik gösteren geçiş metallerine aittir.

H																			He
Li	Be												B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg												Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra	Ac																	

Anodik renklenme
 katodik renklenme

Şekil 1.1. Periyodik tabloda anodik ve katodik elektrokromik özellik gösteren geçiş metalleri

Katodik renklenme, Nb, Ta, Ti, Mo ve W'nin oksitlerinde görülür. Tungsten oksit (WO_3), en yaygın olarak çalışılmıştır. Anodik renklenme ise Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Rh ve Ir'un oksitlerinde bulunur. Bununla birlikte V_2O_5 (Vanadyum pentaoksit) gibi hem anodik hem katodik elektrokromik özellik gösteren malzemeler vardır (Najafi-Ashtiani vd., 2016). Vanadyum istisna olarak, dioksit (V^{+4} ile) olarak anodik elektrokromizme sahipken pentoksit (V^{+5} ile) olarak farklı dalgaboyu aralıklarında anodik ve katodik elektrokromizm renk değişimi sergilemektedir (Granqvist, 1995). Katodik elektrokromik malzemeye iyonların girişi ile renkli hale dönüşürken, anodik elektrokromik malzeme ise iyonların çıkışı ile renkli hale dönüşür V_2O_5 sadece iyi geçirgenlik modülasyonu sağlamakla kalmaz, tersinir işlem sırasında çeşitli renk değişikliği gösterir (Tong vd., 2015). Bununla birlikte, V_2O_5 film tabanlı elektrokromik cihazlar (ECD)'lerin zayıf döngüsel tersinirlik, zayıf renk kontrastı ve düşük elektrik iletkenliği gibi bazı dezavantajları vardır (Yong vd., 2016)

Vanadyum, VO_2 , V_2O_3 ve V_2O_5 şeklinde farklı oksitleri halinde bulunabilir. Bunlar ince film olarak işlem görebilir. Optiksel ve elektriksel cihaz olarak uygulanabilirler. Vanadyum oksit (V_2O_5), geniş bant aralıklı ve n-tipi yarıiletken malzeme olarak özellikle ilginç elektrokimyasal performansı, lityum pillerine entegrasyonu, termokromik ve elektrokromik özelliklerinden dolayı yaygın olarak incelenmiştir. V_2O_5 filmleri, iyon depolayıcı elektrot olarak elektrokromik cihazlarda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Literatürler incelendiğinde elektrokromik malzemeler kullanılarak hem tek tabakalı hem çift tabakalı elektrokromik cihazlar üretilebildiği görülmüştür. Özellikle hem anodik hem de katodik elektrokromik malzemelerle hazırlanan çift tabakalı elektrokromik cihazlar sayesinde aynı anda renklenebilen veya sönmülebilen cihazlar üretilebilmektedir.

Bu konu üzerindeki araştırmalar hızlı bir şekilde artmakla birlikte yeni materyaller, yeni biriktirme yöntemleri ve yeni yaklaşımlar konusunda birçok makale yayınlanmaktadır. Transparan iletken oksitlerin taşınabilir optikler, gösterimler, esnek elektronikler, multi-fonksiyonel pencereler, güneş pilleri, transistörler ve elektrokromik cihazlardaki kullanımı bu tarz araştırmaların sayısının artmasında en önemli etkindir. Yine son zamanlarda, elektrokromik cihazlar otomotiv alanında akıllı pencerelerde sıklıkla kullanılmaktadır (Gomes vd., 2013). Hibridizasyon işlemi ile organik ve inorganik malzemelerin moleküler boyutta bir araya getirilmesi sonucu oluşan hibrit malzemeler, bileşenlerin etkileşimleri nedeniyle üstün özellikler göstermektedirler. Hibrit malzemelerde, organik polimerlerin; esneklik, darbe direnci gibi avantajları, inorganik malzemelerin ise yüksek mekanik dayanıklılığı, kimyasal direnç, termal kararlılığı ve optik özellikleri gibi avantajları birleştirilmiştir. Bu yeni malzemelerin gelişimi ile yeni özelliklere erişilmesi ve malzemelerin arasındaki eşsiz sinerjiden yararlanılması ile klasik malzeme performansının ilerisine geçilecektir (Kickelbick, 2007).

Son yıllarda, iletken polimerler elektrokromik cihazlar için de oldukça ilgi çeken bir konu olmuştur. Bunun nedeni, iletken polimerlerin inorganik elektrokromik materyallerden daha işlenebilir olması ve iyi derecede renk çeşitliliği avantajı sağlamış olmasıdır. Bu çeşitlilik, fonksiyonlandırılmış monomerlerin kullanılması ve kopolimerizasyon yoluyla çeşitli polimer sistemlerin oluşturulması ile başarılabilmektedir (Chen vd., 2010).

Bu çalışmanın ilk basamağında, tez çalışmasının amacı ve genel literatür bilgisinden bahsedilmektedir. İkinci basamağı ise tez hakkında genel bilgilerden oluşmaktadır. Üçüncü basamağında deneysel çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar rapor edilmiştir. V_2O_5 tozları, elektrokromik cihaz uygulamalarının deneysel kısmı için RF dönerli (rotating) plazma yöntemi kullanılarak, PFu ile modifiye edilmiştir. Hazırlanan hibrid malzemenin (V_2O_5 -PFu) yüzey morfolojisi ve kristal özellikleri V_2O_5 malzeme ile karşılaştırılıp incelenmiştir. V_2O_5 -PFu ve V_2O_5 filmlerinin üç farklı elektrolit ortamda (1 M $LiClO_4/PC$, 1 M $NaClO_4/PC$, 1 M $LiTRIF/PC$) elektrokimyasal ve elektrokromik özellikleri incelenmiştir. V_2O_5 -PFu ve V_2O_5 filmlerin elektrokromik özelliklerinin (optik kontrast, anahtarlanma süresi, renk verimi, döngüsel kararlılık) performansları birbiriyle detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Elektrokromik hibrit malzeme, RF dönerli plazma yöntemiyle optimum koşullarda (plazma uygulama süresi, basınç, plazma gücü vb.) hazırlanarak elektron demeti ile buharlaştırma yöntemi (e-beam) kullanılarak elektrokromik hibrit malzemeler elde edilmiştir. Elde edilen hibrit

malzemelerden hazırlanan elektrokromik malzemelerin karakteristik özellikleri incelenmiştir. Son olarak yararlanılan kaynaklar kaynaça kısmında listelenmiştir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kromizm

Kromizm, çeşitli dış uyarıcılar etkisiyle gerçekleşen ve renk değişimine sebep olan fiziksel veya kimyasal olaylara özellikle tersinir ise, renk değişimi gösterme olaylarıdır. Bu işlem normal olarak bir elektrik akımının veya potansiyelinin geçişini içerir ve tersine çevrilebilir (Bamfield ve Hutchings, 2010).

Herhangi bir dış uyarıcı etkisiyle tersinir renk değişimi gösteren maddeler üzerine kapsamlı araştırmalar yapılmakta ve bu çalışmaların ürünleri hem düşük hem de yüksek teknoloji alanlarında kullanılmaktadır. Birçok madde sıcaklık, basınç ve çözücü gibi farklı fiziksel ve kimyasal şartlar altında tersinir renk değişimi gösterir. Bu tür tersinir renk değişimleri toplu olarak kromotropizm (kromizm) olarak adlandırılır (Bamfield, 2002). Birçok farklı etkenden kaynaklanan birçok kromizm çeşitleri bulunmaktadır. Kromizm olayları ve uygulama alanları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2. 1. Kromizm olayları ve uygulama alanları

Olay	Uyarıcı	Kullanım Alanları
Fotokromizm	Işık	Baskı/matbaacılık, optik lensler, güvenlik yazılımı, kozmetikler, optik veri depolama hafızaları ve algılayıcılar
Termokromizm	Isı	Termokromik pigmentler, sıcaklık indikatörleri, termometreler; güvenlik
Elektrokromizm	Elektrik akımı	Camlar, aynalar, büyük puntolarla baskı
Solvatokromizm	Çözücü polaritesi	Analiz, sensörler, polimerlerin ve polimerizasyonun görüntülenmesi
İyonokromizm	İyonlar	Renk verici, termal faks katılar, indikatörler, metal iyon dedektörleri
Halokromizm	pH değişimi	-
Tribakromizm	Mekanik sürtünme	-
Piezokromizm	Mekanik basınç	-

2.1.1. Fotokromizm

Fotokromizm, absorpsiyon spektrumları farklı olan (farklı renkli) iki hal arasındaki tersinir renk değişiminin gerçekleştiği kimyasal bir olaydır. Tersinir renk değişimlerinde bir yöndeki değişim genellikle, elektromanyetik dalga (genellikle UV) etkisiyle meydana gelmesine karşın, ters yöndeki değişim, kaynağın değiştirilmesi, kesilmesi ya da alternatif olarak ısı etkisiyle gerçekleşebilir (Bamfield, 2002).

2.1.2. Solvatokromizm

Solvatokromizm, bir kimyasal maddenin elektronik (ışık absorpsiyonu veya emisyonu gibi) özelliklerindeki tersinir değişimdir. Örneğin, iyot veya metal tuzlarının, farklı çözücülerdeki çözeltilerinin rengi oldukça ilginçtir. Koordinasyon bileşikleri, geometri, koordinasyon sayısı, çözücünün alıcı ve verici sayısı gibi değişkenlere bağlı olarak solvatokromik özellik gösterebilirler (Linert vd., 2001).

2.1.3. Termokromizm

Termokromik filmler, optiksel özelliklerini malzemenin sıcaklığına bağlı olarak renk değişimi ile gösterebilmektedirler. Bu filmler, ısıtıldıkları zaman optiksel özelliklerini tersinir olarak değiştirirler ve başlangıç sıcaklığına soğutulduklarında tekrar orijinal özelliklerine geri dönebilirler. Termokromik özellik gösteren organik, anorganik, organometalik veya koordinasyon bileşikleri kimyasal bileşiklerin bir sınıfını oluşturmaktadır (Burkinshaw vd., 1999).

2.1.4. İyonokromizm

İyonokromizm, iyonik bir türle, bileşiklerin veya materyallerin etkileşimi sonucu ortaya çıkan renk değişimidir. İyonlar ile etkileşime girerek renk değişimini geçiren organik yapılara iyonokromlar veya iyonoforlar denir. İyonokromizmde, solvatokromizmdekine benzer şekilde absorpsiyon bandının maksimum dalga boyu değişmektedir.

2.1.5. Elektrokromizm

Elektrokromik malzemeler, üzerlerine gerilim uygulandığı zaman renk değiştiren malzemelerdir. Bu özellikleri tersinir olmalıdır. Yani uygulanan gerilimin yönü değiştiğinde optik özellikleri eski halini almalıdır (Granqvist, 2010). Elektrokromik malzemelerin gelişmesinde ilk büyük adım, boya üreticisi olan Diesbach'ın Prusya Mavisini

olarak adlandırılan malzemenin renginin tersinir olarak şeffaf ile koyu mavi arasında dönüştüğünü 1704'te gözlemesidir (Granqvist, 2012). 1815 yılında Berzelius, hidrojen ortamında ısıttığı WO₃'in (Tungsten trioksit) renginin değiştiğini gözlemlemiştir (Berzelius, 1815). 1960'ların sonlarında, renklerdeki tersinir değişimler nedeniyle, elektrokromik malzemelerin renkli ekranlar yapmak için kullanılabileceği önerilmiştir. Ancak, yüzyılın son on yılına kadar, gerçek ticari uygulamaların ortaya çıkması ekranlarda değil, değiştirilebilir dikiz aynalarında ve akıllı pencerelerde söz konusu olmuştur (Bamfield ve Hutchings, 2010).

Elektrokromizm terimini ilk olarak 1961 yılında Platt, organik molekülleri çözdüğü organik boya moleküllerinin gerilim altında tersinir olarak renk değiştirmesini tanımlamak için kullanmıştır (Avendano vd., 2006). 1967'de MoO₃ (Molibden trioksit) ve WO₃'in fotokromik etkisi keşfedilmiş, 1969'da ise Deb, bu malzemelerin elektrokromik özelliği de gösterdiğini keşfetmiştir. Ayrıca Deb, ilk elektrokromik cihazı üreten kişidir. 1978'de ise Mohapatra, elektrokromik cihazlarda Li⁺ iyonu kullanılmasının daha iyi olacağını önermiştir. Aşağıda gösterilen geri dönüşümlü renkli ve renksiz halini gösteren bir elektrokimyasal reaksiyon meydana gelir (Mohapatra, 1978).



2.1.5.1. Elektrokromik Hücreler

Elektrokromik hücrelerde renklendirme işlemi sırasında bir doğrultuda yük iletilerek, elektronların birine veya her ikisine iletilmesi sonucu renk oluşabilir. Negatif bir elektrotta indirgenme ile renk oluşturulduğunda katodik indirgenme ve tersine yükseltgenme ile renklenme oluştu ise anodik yükseltgenme denir.

Elektrokromik cihazlar, bir elektrolit ve bir elektroaktif tabakadan oluşmaktadır. Renklenme gözlenmesi için bu elektrotlardan en az birinde veya ikisinde, elektrotlara bitişik yapıda bulunan elektrolitte renk oluşumu meydana gelmelidir.

2.1.5.2. Elektrokrom Tipleri

Bir yük geçerken rengi değiştiren materyallere elektrokrom denir ve bunlar üç gruba ayrılabilir. İlk tipte, renklendirme çeşiti çözelti içinde kalır; ikinci tipte tepkenler çözelti içinde bulunurlar, ancak renkli ürün bir katıdır; Üçüncü tip, tüm malzemelerin katı olduğu yerlerdir. İlk tip arabalar için ışık kesici, dikiz aynaları, ikinci tip daha büyük ticari araç aynaları için ve üçüncü tip akıllı pencerelerde kullanılabilir.

2.1.5.3. Elektrokromizm uygulamaları

Elektrokimyasal işlemlerle, elektron ve iyonların giriş/çıkışı optik değişikliklere yol açmasıyla tersinir renk değişikliğini sağlar. Bu uygulamalardan bazıları arabaların dikiz aynalarında, tavan camları, güneş gözlükleri, binalarda kullanılan pencere camları, saat ekranları ve reklam panolarıdır. Geliştirilmekte olan alanlar ise tekstil uygulamaları, kaplama malzemeleri, kamuflaj malzemeleri, televizyon ekranları, akıllı camlar, elektrokromik ekranlar, elektrokromik malzemeli e-kâğıtlar, görüntülü ekranlar, akıllı optik görüntüler olarak sayılabilir. Birçok uygulama alanına sahip olmasından dolayı, son zamanlarda elektrokromik malzemeler üzerine çok sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir (Najafi-Ashtiani vd., 2016).

Elektrokromik akıllı camlar, güneş enerjisinin durumuna göre otomatik olarak absorptif veya geçirgen duruma geçebilirler. Bunun için önerilen en yenilikçi sistem akıllı camın bir güneş pili ile birlikte kullanılmasıdır. Fotoelektrokromik sistem olarak tanımlayabileceğimiz bu yapıda elektrokromik akıllı camın renkli veya renksiz hal alması için gerekli elektrik akımı güneş pilinden karşılanmış olur. Ayrıca güneşli havalarda güneş pilinin verimi daha fazla olacağı için oluşan gerilim farkı artacak bununla orantılı olarak akıllı camın geçirgenliği azalacaktır (Azens ve Granqvist, 2003).

2.2. Elektrokromik Cihazlar (ECD)

Teknolojinin ilerlemesi ile gelişen elektrokromik ince film cihazlar, akıllı camlar gibi uygulamaları ve birçok sektöre entegre edilebilmesi nedeniyle oldukça popülerdir. ECD çalışmalarda genellikle elektrot olarak ya cam ya da plastik substrat üzerine kaplanmış indiyum kalay oksit (ITO) kullanılmaktadır. 2003 yılına kadar özellikle bütün polimer bazlı ECD için ITO dışında diğer elektrot malzemelerin iletkenliği ve geçirgenliği kadar yüksek olmayacağı iddia edilmiştir (Argun vd., 2003).

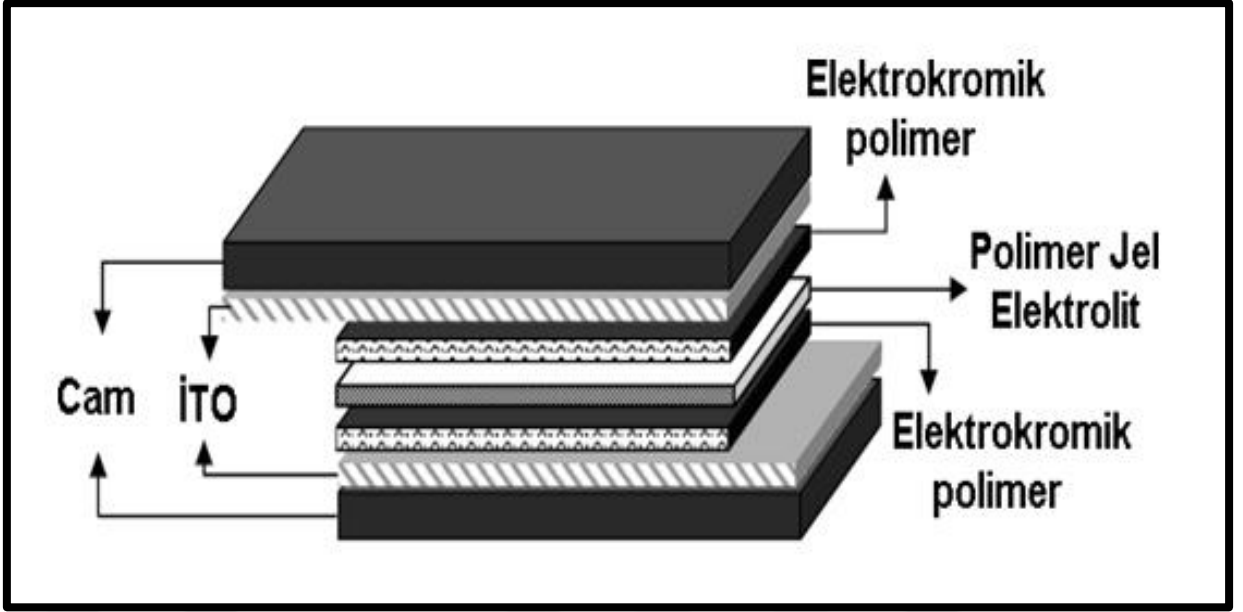
Elektrokromik cihazlar, elektrokromik renk modülasyonunu yansıtma veya geçirme şeklinde iki şekilde işlem gören cihazlardır. Yansıtıcı elektrokromik cihazlara örnek elektrokromik araba aynaları örnek verilebilir. Yansıma görevi gören aynalar, elektrokromizmin ilk uygulamalarındandır. Gece otomobil sürüşlerinde kullanılan kendiliğinden kararma özelliği gösteren elektrokromik aynalar, arkadan gelen araçların ışıklarının öndeki sürücünün dikiz aynasından, far ya da kapı aynasından yansıma ile göz kamaştırmasına izin vermezler. Yansıyan yüzey üzerinde, yansıtma şiddetini azaltan ve sürücünün rahatsız olma durumunu en aza indiren optik soğurucu olarak görev görürler. Geçirgen elektrokromik camlara bina ve uçak camları örnek verilebilir (Monk vd., 1995).

Granqvist ve Svenson, geçirgen elektrokromik camları tanımlamak için “akıllı cam” terimini ilk kez 1985 yılında türetmişlerdir. Elektrokromik camlara elektrik akımı verildiği zaman camın rengi koyulaşarak ışığın içeri geçişi azalmaktadır. Yüksek binalarda pencere camı olarak kullanılan elektrokromik camlar ışık geçişini engellediği için %50’ye kadar enerji tasarufu sağlayabilmektedir (Hummel ve Guenther, 1995). Bu sistemler kontrol kulelerinde, uçak pencerelerinde, arabalardaki açılır üst tepe pencereleri, motosiklet kaskları veya kayak gözlükleri gibi benzer amaçlar için kullanılmaktadır (Şekil 2.1) (Lee ve Tavis, 2007).



Şekil 2.1. Elektrokromik cihazların akıllı cam olarak kullanımını gösteren bazı uygulamalar

İki elektrotlu elektrokromik cihazlarda kullanılan ara yüzey polimerik elektrolitler iyi düzeyde iyonik iletkenlik sağlaması, elektronik olarak yalıtkan olması, ışık geçirgenliğinin yüksek olması, mekanik dayanımı ve iki elektrot arasında yapıştırıcı özellik sağlaması nedeniyle elektrokromik cihaz tasarımında çok fazla tercih edilmektedir (Granqvist, 2012; Thakur vd., 2012). İyon ileten elektrolit (jel elektrolit), genellikle katılaştırıcı polimer olan poli(metilmetakrilat)la birlikte çözücü olarak kullanılan propilen karbonatta çözünen bir inorganik tuzdur. Elektrokromik cihazın şematik gösterimi (ECD) Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. ECD' ların şematik gösterimi

Yüksek performansa sahip elektro-kromik aygıtların gereksinimleri,

- (a) Yüksek elektro-kromik verimin elde edilmesinde materyalin renk değişimi için enjekte edilen yüke bağlılık
 - (b) Kısa cevap süresi
 - (c) Yüksek kararlılık
 - (d) Açık devre potansiyel şartları altında renk kararlılığı olarak tanımlanan optiksel bellek
 - (e) Optiksel karşıtlık (maksimum geçirgenlik) verimliliği
 - (f) Renk kararlılığı
- şeklinde sıralanabilir (Zhou vd., 2016).

2.2.1. Elektro-kromik cihazların karakteristikleri

Elektro-kromik cihazlarda elektro-kromizmin daha iyi anlaşılması için karakterizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar, karakterizasyon için önemli parametreler olan optiksel geçirgenlik (ΔT), optiksel yoğunluk (OD), renk verimi (η), anahtarlama süresi ve kararlılıktır (Monk vd., 2007; Thakur vd., 2012).

2.2.1.1. Optiksel geçirgenlik (ΔT)

Optiksel geçirgenlik, yaygın olarak belirli bir dalga boyundaki transmittans değişim yüzdesi ($\% \Delta T$) olarak ifade edilmektedir. Optiksel geçirgenlik, bir elektro-kromik materyalin genel karakterizasyon işleminde birincil araçtır. Seçilen dalgaboyunda

genellikle elektrokromun en yüksek optik geçirgenliğini sergilemesine rağmen, bu EC optiksel geçirgenlik pratik olarak tercih edildiğinde herhangi bir lokal emilim maksimum seviyede izlenebilir ve raporlanabilir. Transmittans değerleri genellikle bir spektrofotometrenin demetine yerleştirilen elektroaktif iyonun dalga potansiyel basamaklarının uygulanması üzerine kaydedilir. Kaliteli bir elektrokromik cihazın geçirgenlik değeri ΔT 'nin en yüksek optiksel karşıtlığa sahip olması istenir (Thakur vd., 2012).

$$\Delta T = T_s - T_r \quad (2.2)$$

* T : Renksiz Haldeki Transmittans (Geçirgenlik)

* T_r : Renkli Haldeki Transmittans (Geçirgenlik)

2.2.1.2. Renk verimi (η , CE)

Verilen bir dalga boyunda bir elektrokromun optik absorbans değişimini (ΔOD), tam bir anahtarın indüklenmesi için gerekli olan (enjekte edilen/çıkan) elektrokimyasal yükün (Q) yoğunluğuna bağlayan orantı faktörü, renklendirme etkinliği (CE) olarak adlandırılır. CE değerleri, elektrokromik materyale özgüdür, bazıları en az bir redoks durumunda doğası gereği yoğun olarak renklenirken diğerleri, biriktirilmiş film kalınlığına bakılmaksızın, doping/anti dopingleniş döngüleri üzerinde sönümlenme tonlarını gösterirler. Beer-Lambert yasasından türetilen renk verimi kantitatif ölçümü, aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır:

$$\eta = \frac{\Delta OD}{Q} \quad (2.3)$$

2.2.1.3. Anahtarlama (Switching) Hızı

Elektrokromizm bağlamında, anahtarlama hızı, bir elektrokromun bir redoks durumundan diğerine geçmesi için gereken süre olarak tanımlanabilir. Bu süre elektrolitin iyonları yürütme yeteneği ve bu dengeleyici iyonik türlerin EC aktif tabakası boyunca yayılma kolaylığı gibi çeşitli parametrelere bağlıdır. Sırasıyla, cihazın mimarisi veya hücrenin konfigürasyonu, biriken EC tabakasının kalınlığı ve morfolojisi ile birlikte uygulanan dışsal eğilimin derecesi, optik değişimin meydana geldiği hızı etkiler. Ekran uygulamaları ve optik iletişim EC ölçümleri için hızlı anahtarlama (sonraki büyüklük

sırasına göre) özellikle değiştirilebilir pencere teknolojileri gibi uygulamalarda daha az talep görmektedir. Elektrokromik ölçümlerine benzer şekilde, anahtarlama hızı belirlenmesi yaygın olarak kullanılan yöntemlerin çeşitliliğide ilgi çekici, bu da ara sıra belirsiz olan farklı gruplar arasında daha fazla veri karşılaştırması yapılmasını sağlar.

2.2.1.4. Kararlılık

Elektrokromik katı cihazların önemli özelliklerden biri olup belirli çalışma koşulları altında yazma-silme durumu olarak adlandırılan renklenip şeffaflaşan cihazın, önemli derecede bozulmadan yapabildiği döngü sayısı olarak tanımlanır. Bu döngü sayısı elektrokromik cihazın kararlılığının bir ölçütüdür. Yüksek kararlılık ise, cihaz her renk değiştirdiğinde aynı renklenme ve şeffaflaşmayı verebilme yeteneğidir. Bu tanım cihazın çalışma ömrünün bir göstergesidir. Kararlılığı düşük olan yani aynı renklenme ve şeffaflaşmayı veremeyen cihaz belirli bir süre sonra çalışamayacak duruma gelecektir (Monk vd., 2007). Bir ECP, elektrokromik özelliklerinin yanında anahtarlama açısından tekrarlanabilir olması için kararlı redoks işlemlerinden geçmelidir. Örneğin, bir ECD'deki redoks bileşenlerinden birinin bozulması, çiftin genel performansını etkileyerek, hızlı bir şekilde EC kontrast kaybına yol açacaktır. Tipik bozunma işlemleri, yüksek potansiyeller altında geri dönüşü olmayan redoks davranışını, EC bileşenleri ile su ve oksijen redoksu müdahalelerini, elektrot malzemelerinin bozulmasını veya elektrolitin buharlaşmasını ve tekrarlanan anahtarlama dirençli ısıtmayı kapsamaktadır.

2.2.1.5. Optik Hafıza

Elektrokromik cihaza belirli bir yönde elektrik alan uygulanmasıyla elde edilen optik durumda belirli bir süre stabil kalması sağlanır. Elektrik alan kaldırıldıktan sonra elektrokromik malzemenin absorpsiyon halini koruma zamanı optik hafıza olarak tanımlanmaktadır. Çözelti bazlı elektrokromik bir sistemde uygulanan akımın durdurulmasıyla çözünür elektrokromların elektrot yüzeyinden difüzyonu gerçekleştiğinden renkli ve renksiz hal arasındaki değişim hızlı bir şekilde meydana gelmektedir. Elektrokromların elektrotlara tutunmuş olduğu katı hal bir elektrokromik sistemde ise daha az akım uygulanarak optik hafızanın saatlerce hatta günlerce sürmesi mümkün olmaktadır (Argun vd., 2004).

2.2.1.6. Optiksel Yoğunluk (OD)

Optiksel yoğunluk, belirli bir dalga boyunda bir malzemenin optik geçirgenliğinin (transmitansı) ifadesidir. Sonuç olarak, yüksek performanslı elektrokromik cihazlar için ön koşulları şu şekilde özetleyebiliriz (Thakur vd., 2012):

- Yüksek elektrokromik verimlilik
- Yüksek optik kontrast
- Kısa yanıt süresi
- Yüksek kararlılık
- Yüksek optik hafıza

2.3. Elektrokromik Malzemeler

Akım uygulandığında ya da elektrik alana maruz bırakıldığında renk değişimine uğrayan malzemeler elektrokromik malzeme olarak adlandırılır. En sık olarak çalışılan elektrokromik malzemeler, iletken polimerler ve metal oksitlerdir. Bu malzemeler iyon girişinin oluşabildiği malzemeler olarak tanımlanırlar ve iyonların kolaylıkla girip çıkabildiği yapılardır (Žmija ve in, 2011). 1969 yılında Deb UV-ışınlaması veya tungsten trioksit (WO_3) ince filmlerine elektriksel potansiyel uygulanmasıyla geri dönüşümlü bir renklenme gözlemiştir (Deb ve Chatterjee, 1996; Thakur vd., 2012). Günümüzde, artık diğer inorganik oksit malzemelerin (V_2O_5 , vb.), organik küçük moleküllerin (viyolojen, vb.) ve konjuge polimerlerin (tiyofen, vb.) elektrokromik özellik sergilediği bilinmektedir.

2.3.1. Geçiş Metal Oksitler

Metal oksit malzemelerden yapılan ince filmler, özellikle fotokimyasal kararlılıkları nedeniyle literatürde geniş bir şekilde çalışılmıştır. Seryum, kobalt, krom, bakır, iridyum, demir, mangan, molibden, nikel, paladyum, rodyum, tantalum, titanyum, tungsten ve vanadyum gibi geçiş metallerinin oksitleri elektrokromik özellik sergilerler. Metal oksit malzemelerde meydana gelen elektrokromik renkler, değerlikler arası (intervalans) yük transferi optik geçişlerinden kaynaklanır (Gesheva vd., 2012; Weng vd., 2008).

Elektrokromik özellik gösteren geçiş metal oksitleri, renklenmenin şiddetine göre birincil ve ikincil elektrokromik oksitler olarak sınıflandırılabilir. İridiyum oksit, molibden oksit ve tungsten trioksit vb. metal oksitler çift elektrotlu sistemlerde kuvvetli renk değişimine sebep olduğu için birincil elektrokromik oksitler olarak adlandırılır. Diğer oksitlerin renklenme şiddetleri bunlara göre daha zayıftır. Mekanizma olarak bakıldığında renk oluşumu oksitin katı kafes yapısının içindeki metal merkezlerine olan optik yük

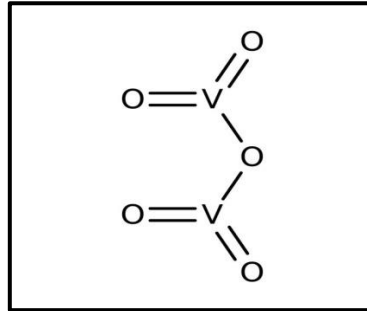
değişim transferi sayesinde meydana gelmektedir. Renk değişimi görüldüğü üzere H^+ , Na^+ veya Li^+ gibi bir katyonun kısmi olarak yapıya girmesi ile gerçekleşmektedir. Saf tungsten trioksit açık (soluk) sarı renkte olmasına rağmen ince film uygulamasında neredeyse renksiz olarak bulunur. Bazı elektrokromik metal bileşiklerinin indirgenme ve yükseltgenme durumlarındaki renkleri Tablo 2.2’ de sunulmuştur (Bamfield ve Hutchings, 2010).

Tablo 2.2. Bazı elektrokromik metallerin yükseltgenmiş ve indirgenmiş haldeki renkleri

Metal	Yükseltgenmiş hal	İndirgenmiş hal
Kobalt	Açık sarı	Koyu kahverengi
Bakır	Siyah	Kırmızı-kahverengi
İridyum	Renksiz	Mavi-gri
Mangan	Koyu kahverengi	Renksiz
Molibden	Renksiz	Koyu mavi
Nikel	Siyah-kahverengi	Renksiz
Tantal	Renksiz	Çok açık mavi
Tungsten	Çok açık sarı	Koyu mavi
Vanadyum	Kahverengi-sarı	Çok açık mavi

Elektrokromik özellikteki metal oksit filmler, kimyasal buhar biriktirme (CVD), elektrokaplama, sol-jel, sputtering (sıçratma), Langmuir-Blodgett biriktirme yöntemleri ile elde edilerek elektrokromik cihaz sistemlerinde kullanılmakta ve çok geniş uygulama alanlarında (güneş piller, elektrokromik cihazlar vb.) kullanılmaktadır. Bununla birlikte metal oksite dayalı elektrokromik sistemler, organik elektrokromik sistemlere göre kimyasal ve elektrokimyasal olarak daha kararlı sistemlerdir. Ancak genellikle düşük renklenme verimine sahip olması gibi dezavantajları da vardır (Gillaspie vd., 2010).

Geçiş metal oksitler filmler (MO_x , WO_3 , VO_2 , TiO_2 vb.) günümüze kadar üzerinde çok çalışılan elektrokromik malzemeler olmuşturlar. Elektrokromik filmlere gerilim uygulandığında tersinir olarak renksiz halden renkli hale geçerler. Genellikle renklenme mekanizmasının esaslarını anlamak için vanadyum oksit filmler en ideal malzemelerden biridir. Bunun nedeni, vanadyum oksit filmler; fotokromizm, termokromizm ve elektrokromizm gibi çeşitli tiplerde renk değişim özellikleri gösterirler. Vanadyum dioksit (VO_2) bilinen en eski termokromik malzemedir. Vanadyum pentoksit (V_2O_5) ise hem anodik hem de katodik olarak renk değişimi gösteren elektrokromik malzemedir. Vanadyum pentoksit iyileştirilmiş elektrokimyasal özelliklerinden dolayı çok çalışılmış bir malzemedir. Elektrokromik cihazlarda (Cogan vd., 1989), termokromik cihazlarda (Guinneton vd., 2004), güneş pillerinde (Aita vd., 1986), yüksek kapasiteli lityum pillerinin elektrotlarında (Park vd., 1995; West vd., 1995), elektronik ve optik anahtarlama cihazlarında kullanılmaktadır (Hirashima vd., 1986; Nadkarni vd., 1983). Vanadyum oksit ince filmler tozutmaya yöntemiyle (Kumar vd., 2003), elektrokimyasal yöntemi ile (Hanlon vd., 2002), vakum buharlaştırma (Liu vd., 2003), ve sol jel yöntemleri ile kaplanmışlardır (Dultsev vd., 2006; Lu vd., 1999). Hazırlanan vanadyum oksit filmleri sarı renkte bulunurken gerilim uygulandığında tersinir olarak kahverengi-gri renge dönüşür. V_2O_5 yapısı Şekil 2.3’de verilmiştir.



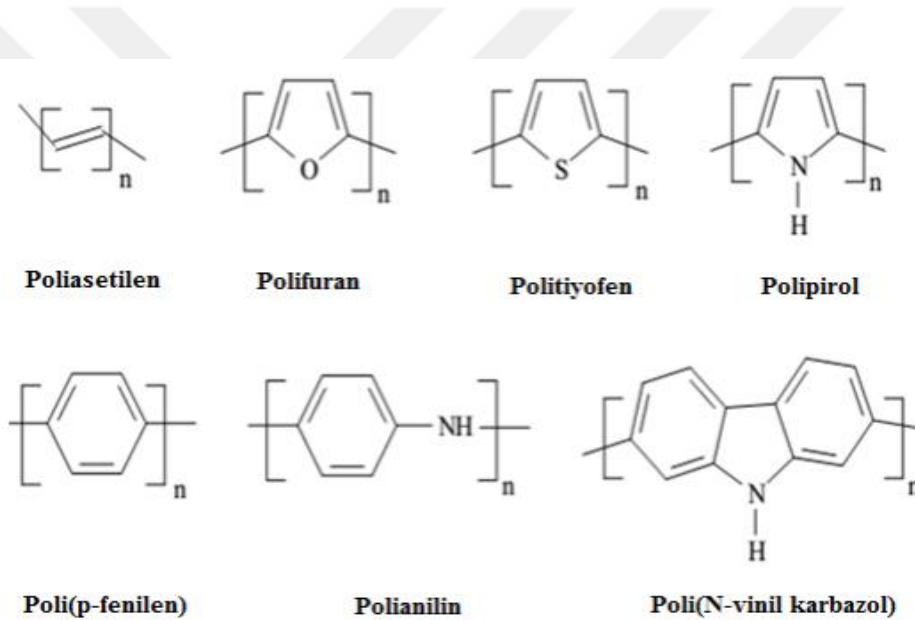
Şekil 2.3. V_2O_5 yapısı

2.3.2. Polimer Malzemeler

Tiyofen, pirol, furan, anilin, karbazol ve türevleri gibi aromatik yapıdaki bileşikler elektroaktif özellik gösterir ve bu tip bileşiklerin polimerleri çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu malzemeler lazerlerde, güneş pillerinde ve sensörlerde kullanılmaktadırlar. Polimerik malzemelerin de renklenme mekanizması inorganik malzemelere benzer bir şekilde yapıya katılan bir katyon etkisiyle renkli ve renksiz hal almaları prensibine dayanmaktadır. Polimerik elektrokromiklerin inorganik malzemelere karşı etkin ve hızlı bir

renklenme, farklı renk seçenekleri, kolay modifiye edilebilme ve yüksek optik kontrast gibi avantajları bulunmaktadır (Argun vd., 2004).

Konjuge polimerlerin optiksel ve elektronik özelliklerini optimize ederek kontrol altına almak, malzemenin kimyasal yapısını modifiye etmek için oldukça kolaydır. Elektronik ve optiksel özelliklerin tek bir malzemede toplanması, organik ışık saçan diyotlar, güneş pilleri, elektrokromik ve sensor cihazlar gibi birçok teknoloji uygulamasında yeni bir çığır açılmasına neden olmuştur (Beaujuge vd., 2010a; Beaujuge vd., 2010b; Günes vd., 2007; Murphy ve Fréchet, 2007). İletken polimerler çok geniş bir çalışma alanına sahiptir. Gün geçtikçe yeni polimer sınıfları ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.4). Polianilin, poliasetilen, politiyofen, polipirol, polifuran, poliflora ve polikarbazollar, poliheterosiklik yapılardan sadece bazılarıdır.



Şekil 2.4. Yaygın olarak kullanılan iletken polimerler

Bu konjuge polimerler ve türevleri birçok uygulama alanında kullanılmaktadırlar. Bu tür π -konjuge polimerler, optik ve elektriksel iletkenlik özelliklerinin talepleri karşılama yeterince ilgi çekici olması, yüksek kontrast oranı, yüksek geçiş hızı, işlenebilirliğinin iyi olması gibi sebeplerle sıklıkla tercih edilmektedirler (Skotheim ve Reynolds, 2007).

Son yıllarda, (tiyofen, pirol gibi) heterohalkalı monomerlerden elde edilen iletken polimerler, yüksek iletkenliklerinden ve poliasetilene göre havada çok daha kararlı yapıda olduklarından dolayı fazla ilgi görmektedirler (Abou-Elenien vd., 2004; Acevedo vd., 2005). İletken polimerler arasında yapısı az bilinen, zayıf kararlılığı ve iletkenliğinin düşük

olması gibi dezavantajları nedeniyle polifuran bu ilginin çok azını oluşturabilmiştir. Bunların yanında, polifuranın iyi redoks yeteneği ve elektrokromik etki gibi üstün özelliklere sahip olduğu rapor edilmiştir (Shilabin ve Journal, 2000). Polifuran neme karşı çok duyarlıdır ve neme temas ettiğinde, neme bağlı ve tersinir olarak elektriksel direnci düşmektedir. Bu özelliği ile polifuran nem sensörü olarak kullanımı mümkündür (Sanchez vd., 2002). Ayrıca doping seviyesine bağlı olarak renginin sarı-kahverengiden siyah-kahverengiye dönüşmesiyle optoelektronik cihaz olarak da kullanılabilir (Oshawa vd., 1984). Üstelik furan tarımsal bir kaynaktan tersinir olarak üretilbildiğinden pirol ve tiyofenden daha ucuzdur.

2.3.3. Hibrit Malzemeler

Elektrokromizm alanındaki ilk çalışmalarda inorganik malzemeler kullanılmıştır. Fakat malzemelerde işlem güçlüğü, uyumluluk ve performans problemleri gibi sorunlarla karşılaşmış, renk çeşitliliklerinin az ve cevap sürelerinin yavaş olması uygulamalarını sınırlandırmıştır. Son zamanlarda elektrokromik araştırmalar çoklu renk çeşitliliği, hızlı cevap verme süresi ve işlem kolaylığı sağlayan iletken polimerler üzerine odaklanmıştır. Ancak iletken polimerler inorganik malzemelerle karşılaştırıldıklarında kararlılıkları düşük olduğundan kısa ömürlü olmuşlardır (Shim vd., 2008).

İletken polimerlerin elektrokromik aktivitesi olan diğer nanomalzemelerle birleşimi, iletken polimerlerin optik özelliklerini geliştirmek üzere yapılan çok etkili bir yöntemdir. Bu nanomalzemeler arasında inorganik elektrokromik malzemeler (WO_3 , V_2O_5 , TiO_2) sinerjik etkiler, optiksel değişim ve renk çeşitliliğini artırmak için çoğunlukla kullanılmaktadır (Xiong vd., 2014).

Hibrit malzemelerin sağladığı avantajlar oldukça faydalı görünmekle birlikte maliyet ve ihtiyaç açısından bakıldığında herhangi bir malzemenin bir bütün olarak bu şekilde sentezlenmesi yerine yüzeyinin bir kaplama ile istenen duruma getirilmesi daha pratik görünmektedir. Yüzey kaplama işleminin son yıllarda aldığı yol bu düşüncüyü desteklemektedir. Organik ve inorganik polimerler yüzey kaplamada kullanılabilir. Fakat her iki kaplamanın da kendine has avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Organik kaplamalarda darbe ve çizilmeye karşı sorun yaşanırken, inorganik kaplamalarda ise esneklik ve kırılma sorunu ortaya çıkmaktadır. İşte bu yüzden hibrit kaplamalar her iki sorunun da üstesinden gelebilecek özelliktedirler. Özellikle de endüstrinin neredeyse her alanında kullanılan metallerin bu kaplamalar ile kaplanması, asit ve bazlara dayanımını arttırabilmekte, oldukça büyük bir sorun olan korozyon için bir çözüm olabilmektedir.

Genellikle kullanılan alanlarda sağladığı sertlik ve aşınma dayanımı büyük bir kullanım avantajı sağlamaktadır.

Hibrit malzemeler metal, cam ve polimer gibi birçok yüzeye koruyucu kaplama malzemesi olarak, hidrofobik ve hidrofilik kaplamalarda, inşaat sektöründe cam üzerine yapılan kaplamalarda, paketleme endüstrisinde koku ve gazlar için bariyer tabakası yapımında, otomotiv sektöründe, dekoratif amaçlı olarak cam yüzeyine renkli kaplamalarda, korozyon önleyici kaplamalarda, kontak lenslerde, elyaf yapımında, epoksi reçinelerinde, yapıştırıcı ve laminasyonda olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır (Fahmi vd.,2009).

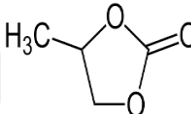
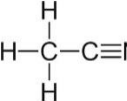
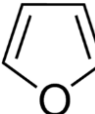
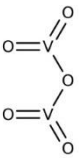


3. MATERYAL VE METOT

3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasal ve Saf Malzemeler

Bu deneysel çalışmamızda kullanılan kimyasal malzemeler Tablo 3.1’de verilmiştir.

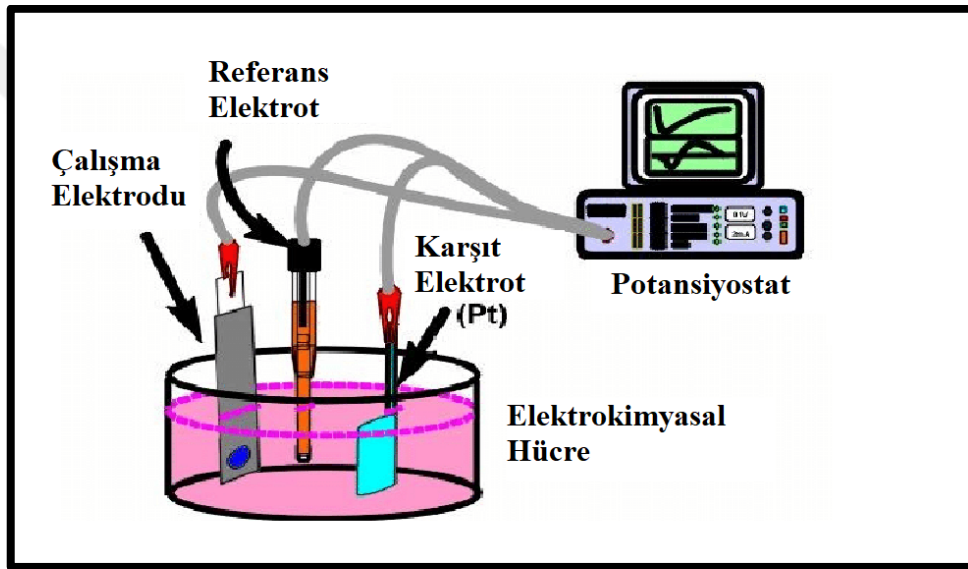
Tablo 3.1. Deneyslerde kullanılan kimyasal maddeler

Kimyasal Malzeme	Molekül Yapısı	Temin Edilen Firma
İndium kalay oksit/Polietilen teraftalat film	ITO PET film	Teknoma şirketi
Propilen karbonat (PC)		Sigma-Aldrich
Asetonitril (ACN)		Sigma-Aldrich
Furan (Fu)		Sigma-Aldrich
V ₂ O ₅		Sigma-Aldrich
Lityum perklorat	LiClO ₄	Sigma-Aldrich
Sodyum perklorat	NaClO ₄	Sigma-Aldrich
Lityum triflorometansülfonat	LiTRIF	Sigma-Aldrich
Poly(metil metakrilat)	PMMA	Sigma-Aldrich

3.2. Elektrokimyasal Deneylerde Kullanılan Yöntemler

3.2.1. Dönüşümlü Voltametri (CV)

V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu hibrit malzemelerinin elektrokimyasal özellikleri Gamry PC14/300 model potansiyostat sistemi kullanılarak dönüşümlü voltametri yöntemi ile üç elektrotlu (çalışma, karşıt ve referans elektrot) sistem ile incelenmiştir (Şekil 3.1). Hibrit malzeme kaplı ITO PET film çalışma elektrodu, Pt tel karşıt elektrot, Ag/AgCl ise referans elektrot olarak kullanılmıştır. Uygulanan voltaj, genellikle üçgen şeklinde olmak üzere bu iki değer arasında ileri ve geri taramaktadır. Filmin içine ve dışına doğru akan akım, iyon giriş/çıkışı ile bağlantılı olarak ölçülmüştür (Yavuz, 2009).



Şekil 3.1. Üç elektrot yönteminin şematik gösterimi

Bu çalışmamızda kullanılan elektrotlar Tablo 3.2’de verilmiştir.

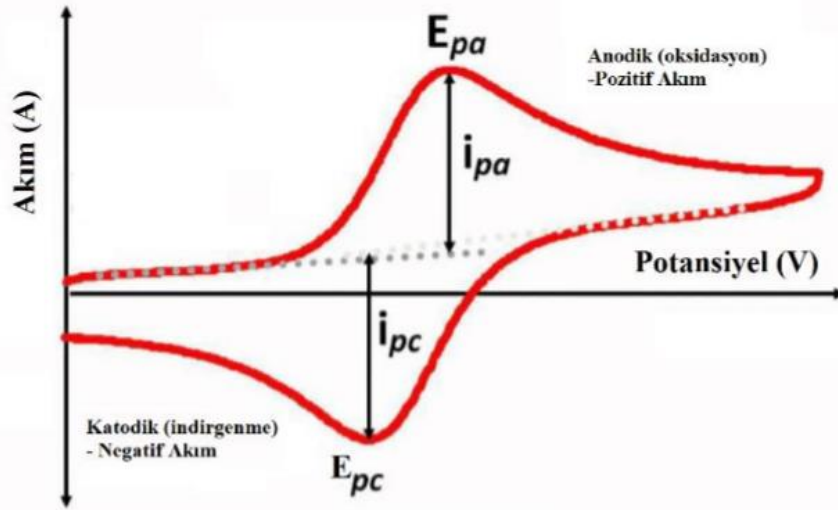
Tablo 3.2. Kullanılan elektrotlar

Elektrotlar	
Referans elektrot	Ag/AgCl elektrot
Karşıt elektrot	Pt tel
Çalışma elektrotları	Hibrit malzeme kaplı esnek iletken ITO kaplı PET filmler (Teknoma şirketi) (80- 100 Ω /sq'luk levha direnci, 25 mikrometre kalınlık)

Dönüşümlü voltametri, tersinir ve tersinir olmayan etkileri belirlemek, kararlı işlem için gerekli olan voltaj seviyelerini doğrulamak, başka bir deyişle elektrokimyasal süreçlerin nicel olmayan bir parmak izini almak için kullanılmaktadır (Granqvist, 1995).

Voltametri, bir indikatör veya çalışma elektrodunun polarize olduğu şartlar altında, uygulanan potansiyelin bir fonksiyonu olarak akımın ölçülmesinden faydalanarak analit hakkında bilgi edinilen bir grup elektroanalitik yöntemi kapsar. Tarihsel olarak, voltametri Çekoslovak kimyacı Heyrovsky tarafından 1920'lerin başında bulunan voltametrinin özel bir tipi olan polarografi'den geliştirilmiştir (Rooney, 1992).

İleri ve geri yöndeki gerilim tarama hızları aynı tutulabildiği gibi, istendiğinde farklı tarama hızları da kullanılabilir. Ayrıca ileri ve geri yöndeki tarama bir kez yapılabildiği gibi (tek döngülü voltametri), birçok kez de uygulanabilir (çok döngülü voltametri). Şekil 3.2'de dönüşümlü voltametri de elektroda uygulanan gerilim programı ile elde edilen tipik bir dönüşümlü voltamogram görülmektedir (Skoog vd., 1996).

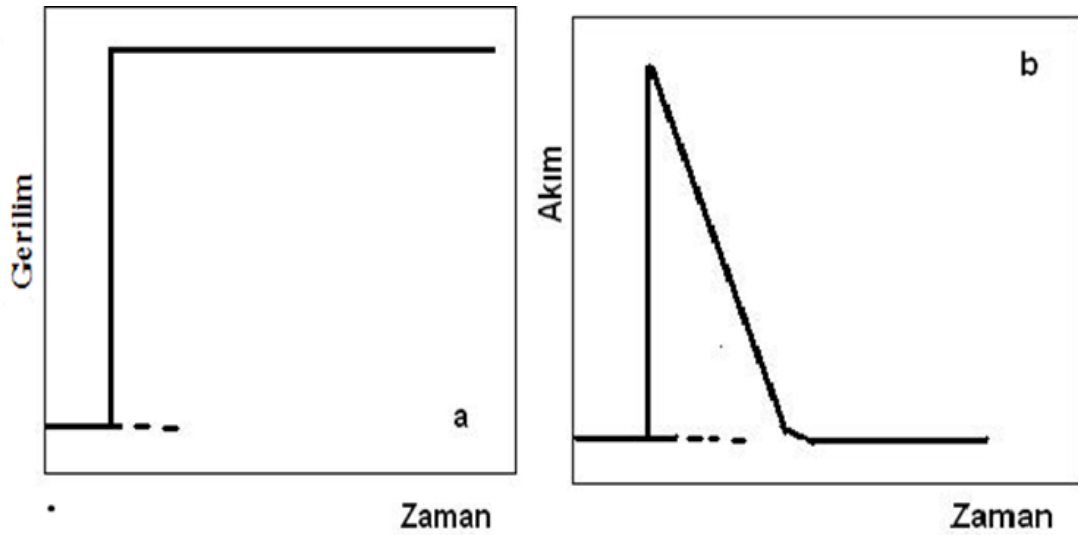


Şekil 3.2. Tipik dönüşümlü voltametri (CV) eğrisi.

CV yükseltgenme pik potansiyeli (E_{pa}), indirgenme pik potansiyeli (E_{pc}), yükseltgenme pik akımları (i_{pa}), indirgenme pik akımı (i_{pc}) gibi bazı parametrelerle karakterize edilir (Alamer, 2013).

3.2.2. Kronoampermetri (CA)

Bu yöntem, çözeltiliye daldırılmış olan çalışma elektrodu potansiyelinin ani olarak değiştirilmesiyle durgun ortamdaki akım-zaman ilişkisinin gözlenmesine dayanmaktadır. Amperometrik elektrotlar sabit voltaj altında çalışan hücrelerden ibarettir. Elektroda sabit potansiyel uygulanarak sistemin termodinamik dengesi bozulur. Sistem de buna tepki olarak elektrodun daldırıldığı çözeltide bulunan tayin edilecek maddenin elektrot yüzeyinde indirgenmesi veya yükseltgenmesini sağlayarak bir akım oluşturur. Amperometrinin esası oluşan bu akımın ölçülmesine dayanır (Bard ve Faulkner, 2001). Kronoampermetride uygulanan gerilim ve akımın zamanla değişimi Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Uygulanan gerilim ve bu gerilim ile elektrokromik malzemede zamanla değişen akım değeri

Kronoamperometri tekniği kullanılarak,

- Elektron aktarım reaksiyonunun hız sabiti hesaplanabilir.
- Elektrota bir adsorpsiyon olayı meydana gelip gelmediği belirlenebilir.
- Elektrot reaksiyonunun mekanizması belirlenebilir.
- Bir maddenin difüzyon katsayısı bulunabilir.
- Elektron aktarım basamağına eşlik eden bir kimyasal reaksiyonun hız sabiti bulunabilir.

3.2.3. Optik Geçirgenlik (Tranmitans)

Elektrokromik katı cihazların optik özellikleri potansiyostat sisteminin 200-1100 nm dalga boyu aralığına sahip optik spektrofotometre (Ocean optics HR 4000, mikropack Halopack Halogen Light Source HL-2000-FHSA) sistemine bağlanması ile ölçülmüştür

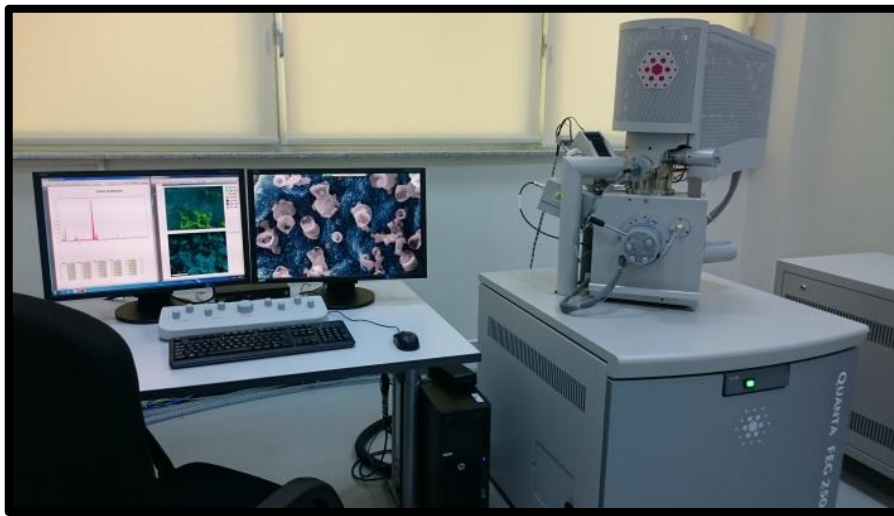
(Şekil 3.4) (PlazmaTek, Isparta). Geçirgenlik ölçümlerinde elektrokimyasal potansiyellerin fonksiyonu olarak optik absorbans ölçümleri alınmıştır. Bu aşamada, çalışma elektrodunun içinden ışık geçirilmiştir.



Şekil 3.4. Optik özelliklerin incelendiği spektrofotometre sistemi

3.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Süleyman Demirel Üniversitesi HITEM (Hidrojen Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi) Laboratuvarında bulunan Quanta marka ve FEG 250 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (Şekil 3.5) kullanılarak, hibrit tozların ve ince film kaplamaların yüzey morfolojileri incelenmiştir.



Şekil 3.5. SEM cihazı

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışır. En sık kullanıldığı biçimiyle, yüzeyden yayılan ikincil elektronlarla yapılan ölçüm, özellikle yüzeyin engebeli yapısıyla ilişkili bir görüntü oluşturur. Taramalı elektron mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasındaki etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir.

SEM, görüntüyü oluşturmak için ışık yerine elektronları kullanan bir cihazdır. Elektron demeti, mikroskobun tepesindeki bir elektron tabancası tarafından üretilir ve vakum içinde tutulmuş olan mikroskop boyunca dikey yolu takip eder. Elektron demeti, örneğe odaklanan elektromanyetik alanlar ve mercekler ile yol alır. Demet örneğe çarptığında, elektronlar ve X-ışınları örnekten fırlatılır. Dedektörler bu X-ışınlarını, geri saçılma elektronlarını ve ikincil elektronları toplar ve onları sinyale dönüştürerek ekrana gönderir. Bu da son görüntüyü oluşturur (Cheng vd., 2008).

3.2.5. X-ışınları Difraktometri (XRD)

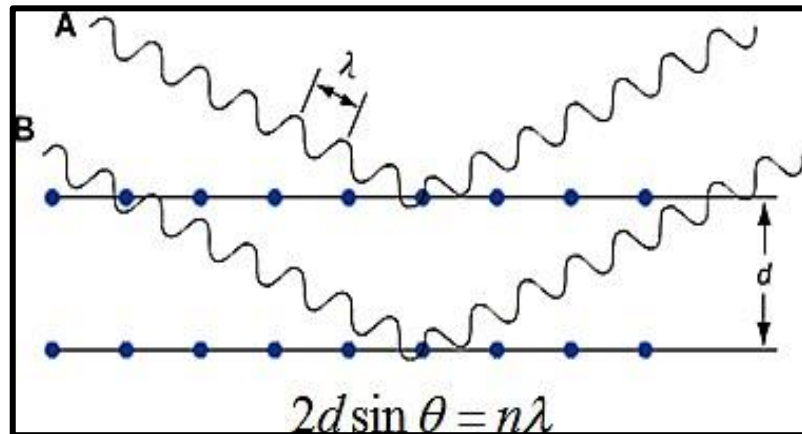
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkez laboratuvarında bulunan Bruker axs d8 advance model x-ışını toz difraktometresi (XRD) (Şekil 3.6) kullanılarak, hibrit tozların ve ince film kaplamaların yüzey morfolojileri incelenmiştir.



Şekil 3.6. XRD cihazı

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD), her bir kristal fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. XRD analizde kullanılacak malzemenin çok az miktardaki parçası analiz için yeterlidir. XRD analizi sırasında kullanılan malzeme tahrip olmaz. Bu tekniğin ince film analizi için uygun olması, temelde iki nedenden dolayıdır; Birincisi X-ışınlarının dalga boyları, yoğunlaştırılmış maddedeki atomik mesafeler ölçüsündedir ve bu özellik, yapısal araştırmalarda kullanılmalarını sağlar. İkincisi X-ışını saçılım teknikleri, yıkıcı değildir ve incelenen numuneyi değiştirmez (Waseda vd., 2011). Bu yöntem, alaşımlar, katı çözeltiler, safsızlık katkılanmış yarı iletkenlerde, bazı boyar maddelerde, pigmentlerde, herhangi bir malzemenin içerdiği bileşik veya element tayininde, inorganik polimerlerde, bazı kristal veya amorf kompleks yapıları bileşiklerin incelenmesinde olduğu gibi bir çok konuda yaygın kullanım alanına sahiptir. Katı organik polimerlerin, plastiklerin, organik boyar maddelerin v.s. analizlerinde de kullanılmaktadır (Dönük, 2012).

Kristallerde kırınım olayı Bragg kanunu ile özgül bir fiziksel bir model oluşturur. Bir birine paralel olan atomik düzlemlere tek dalga boylu X-ışınları gönderildiğinde ışınlar yansımaya uğrar. Gelen ışınla yansıyan ışın arasındaki yol farkı; $n\lambda = 2d \sin \theta$ şeklinde olur. Bragg bağıntısı basit fakat deneysel sonuçlarla uyumlu olan tek ifadedir. Burada n: kırınım mertebesi, λ : dalgaboyu, d: düzlemler arasındaki mesafe ve θ : gelen ışının açısıdır. Şekil 3.7’de Bragg Yasası’nın çıkarımında da kullanılan bir kristalin X-ışını kırınımı görülmektedir (Dönük vd., 2012; Waseda vd., 2011). Difraktometre: X-ışını kaynağı, numune haznesi ve X-ışını detektörü olmak üzere üç parçadan oluşur. Burada X-ışını kaynağından gelen ışınlar, θ açısı ile numuneye çarpar ve θ açısı ile saçılır. X-ışını detektörü bu saçılan ışınları genelde incelenecek numunenin özelliklerine göre belirlenen 2θ açı aralığında algılar (Waseda vd., 2011).



Şekil 3.7. X-ışınının kristal kafesinden saçılması ve Bragg yasası

3.2.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Frontier model fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi (Şekil 3.8) kullanılarak, hibrit tozların ve ince film kaplamaların yapısal özellikleri incelenmiştir.

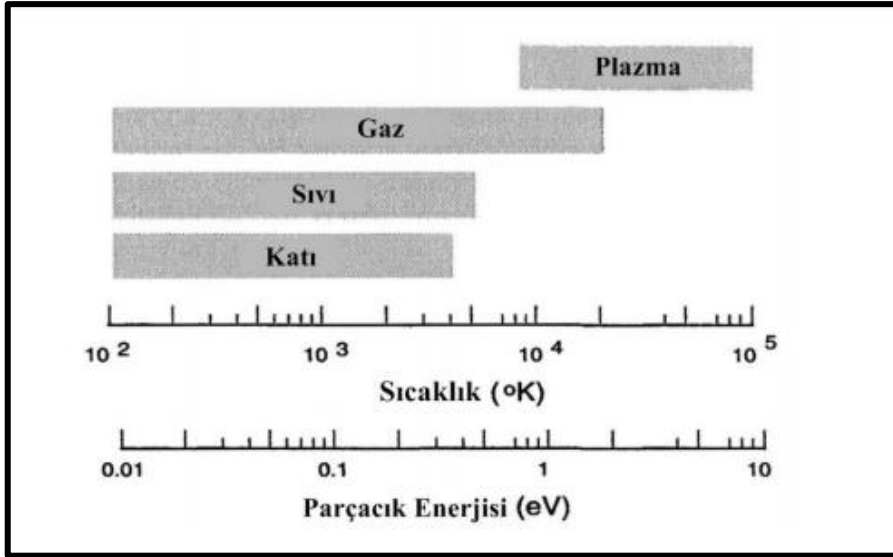


Şekil 3.8. FTIR cihazı

FTIR, matematiksel Fourier dönüşümü yöntemi ile ışığın infrared yoğunluğuna karşı dalga sayısını ölçen bir kimyasal analitik yöntemdir. Elektromanyetik ışık dizisinin kızıl ötesi bölgesi 14000 cm^{-1} ile 10 cm^{-1} arasındadır ve yakın dalga boylu kızıl ötesi (NIR; 4000 cm^{-1} - 4000 cm^{-1}), orta dalga boylu kızıl ötesi (MIR; 400 cm^{-1} - 4000 cm^{-1}) ve uzak dalga boylu kızıl ötesi (FIR; 4 cm^{-1} - 400 cm^{-1}) olmak üzere üç ana bölgeden oluşmaktadır (Ono vd., 2011).

3.2.7. Hibridizasyon Yöntemi (RF Dönerli Plazma Sistemi)

Maddenin dördüncü halinin parçacık enerjilerine ve elektron sıcaklıklarına göre geçiş aralıkları Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Plazma halinin genel tanımı, elektronlar, negatif ve pozitif yüklü iyonize olmuş küçük parçacıklar ile nötr atom ve moleküllerinin oluşturduğu gaz ortamı olarak tanımlanır. Bu tanım, bildiğimiz madde (katı, sıvı ve gaz) hallerinden farklıdır (Gerst vd., 2013). Son yıllarda bazı bilim adamları tarafından plazma, maddenin dördüncü hali olarak tanımlanmaya başlanmıştır. Çünkü plazma ortamında maddenin bilinen hallerinden farklı olarak yüksek enerji seviyesinde ve aktif halde çok fazla elektron ve moleküller bulunmaktadır (Kiristi vd., 2014c).



Şekil 3.9. Sıcaklıklara ve Parçacık enerjilerine göre maddenin dört hali

Yüklü parçacıkların bulunduğu iyonize olmuş her sisteme plazma denilmez. Plazmanın en önemli özelliklerinden biri; yüksüz gibi olmasıdır. Yani, artı ve eksi elektrik yüklü parçacıklar birbirinden bağımsız olarak hareket ederken, sistemin bütünüyle sanki yüksüz olmasıdır. Bunun yanı sıra, bir sistemin plazma olabilmesi için birim hacim içinde yeteri kadar plazma yoğunluğuna sahip olması gerekir. Sistem yüksüzlükten uzaklaştıkça plazma tanımından da uzaklaşmış olur (Öksüz vd., 2013).

RF-dönerli plazma sistemin uygun bir dizaynı ile inorganik-inorganik ya da inorganik-organik hibrit malzemeler tek basamaklı bir işlemle elde edilebilmektedir. Rf-dönerli plazma sisteminde çözelti esaslı hibritleme/doplama tekniklerinde kullanılan reaksiyon başlatıcısı gibi ek kimyasallara gerek kalmadan doğrudan hedef malzeme kaplanabilmektedir (Guerin vd., 2002; Kiristi vd., 2014c).

Plazma polimerizasyon yöntemi ile kaplanmış yüzeylerin diğer yöntemlerle elde edilenlere göre birçok üstünlüğü vardır. Bu yöntem inorganik, organik malzemeler ve metallere uygulanabildiğinden avantaj sağladığı birçok alan mevcuttur. Plazma polimerizasyon tekniğinin üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Cho vd., 2011).

- Plazma polimerizasyonu ile kimyasal yapıya bakılmaksızın, tüm organik bileşikler kullanılarak materyal yüzeyleri değiştirilebilir.
- Geleneksel teknikler kullanılarak polimerleştirilemeyen monomerlerin (örneğin: Metan, doymuş hidrokarbonlar) polimerleştirilmesi mümkündür.
- Diğer yöntemlerde kullanılan çözücü, başlatıcı ve stabilizatör gibi elemanlara plazma polimerizasyon tekniğinde ihtiyaç olmadığından, çok saf ürünler elde edilebilmektedir. Bu durum, özellikle tıp uygulamalarında önemli bir avantajdır.

- Diğer kaplama yöntemleriyle karşılaştırıldığında, çok ince ve çok daha kaliteli kaplamalar elde edilebilir. Bu nedenle plazma polimerizasyonu tekniği ile kaplanmış yüzeyler birçok pratik uygulamada kullanılabilir.
- Diğer geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha kısa sürelerde gerçekleştirilebilir.
- Diğer yöntemlerde, polimerizasyon işlemi birçok basamaktan oluşmasına rağmen, plazma polimerizasyonu tekniğinde bu basamaklar yoktur.
- Plazma polimerizasyon yöntemi ıslak kimya ile kıyaslandığında, atık bırakmadığından çevre dostu olarak tanınmaktadır.

3.2.8. İnce Film Hazırlama Yöntemi (Elektron Demeti ile Buharlaştırma Sistemi)

Bu çalışmada, elektron demeti ile buharlaştırma sistemindeki hedef (target) malzemeye tungsten filamentinden üretilen ve manyetik alanla yönlendirilen elektronlar tarafından bombardıman ile kaplama yapılır. Bu şekilde hedef malzeme yüksek ısı ile buharlaştırılarak ısı dayanımlı alt tabaka yüzeyine ince film olarak kaplanır. Bu sistem Şekil 3.10' da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Elektron demeti ile buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi

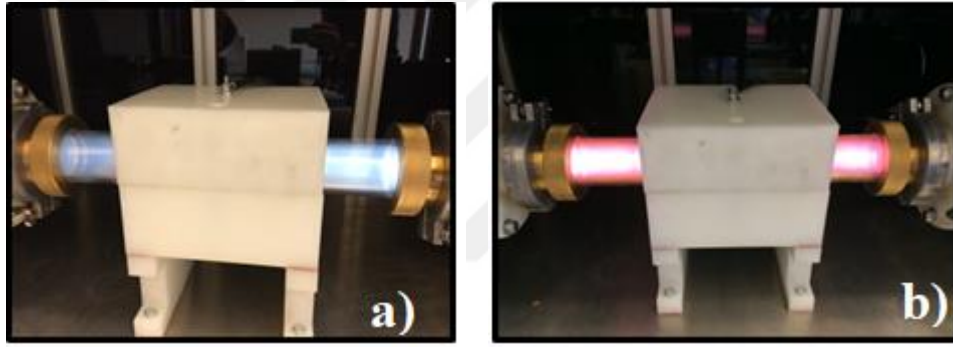
Elektron demeti ile buharlaştırma sistemi, tungsten filamentinden üretilen elektron ışınının vakumlu ortamda hedef malzeme üzerine, elektriksel ve manyetik alan vasıtasıyla yönlendirilen bir fiziksel buhar çöktürme tekniğidir. Elektron demeti ile buharlaştırma sisteminde elektronların yönlendirilebilmesi için vakum reaktöründeki basınç 10^{-6} Torr seviyelerine indirilmesi gerekmektedir. Bu seviyede reaktör basıncı hem elektron kaynağı

tungsten filamentin ömrünü artırmakta hem de kaplanacak alt tabakanın yüzeyine bağlanmayı artırmaktadır. (Kiristi vd., 2014b).

3.3. Deneysel Çalışmalar

3.3.1. Hibrit Toz Malzemelerin Sentezi

İlk aşamada RF-dönerli plazma polimerizasyon yöntemi ile vanadyum oksit (V_2O_5) tozları kuars cama yerleştirilip, cihaz düzeni kurulup 2 saatlik süreyle çalışmaya başlatılır ve ortama furan (Fu) monomeri gönderilerek plazma sisteminin reaktörü hibridizasyon prosesinin homojen bir biçimde kuru V_2O_5 parçacıklarının üzerine kaplanmasıyla hibrit tozu elde edilmiştir. Çalışmada vakum basıncı, bir vakum pompası kullanılarak 5 Pa (37,50 mTorr)'a ayarlandı. Sonuç olarak Şekil 3.11'de gösterildiği gibi vanadyum pentaoksit-polifuran elde edilmiştir.

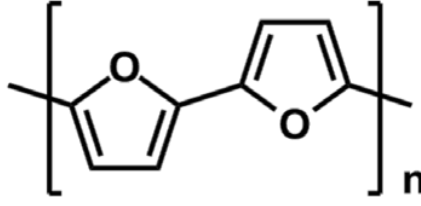


Şekil 3.11. RF-dönerli plazma sisteminin plazma oluşum sırasındaki görüntüsü
a) V_2O_5 b) V_2O_5 -PFu

Deneysel optimum koşullar Tablo 3.3'de verilmiştir. Polifuran kimyasal yapısı Şekil 3.12' de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. RF-dönerli plazma sisteminde kullanılan V_2O_5 - PFu hibrit parametreleri

İşlem Parametreleri	
Güç (W)	40
Çalışma Basıncı (mTorr)	37,5
Radyo Frekansı (MHz)	13,56
Kaplama Süresi (saat)	2



Şekil 3.12. Polifuranın kimyasal yapısı

3.3.2. İnce Film Hazırlama Yöntemi

3.3.2.1. Elektron Demeti ile Buharlaştırma Yöntemiyle İletken PET Elektrot Üzerine V_2O_5 Kaplanması

Elektron demeti ile buharlaştırma işleminde V_2O_5 tozları 13 mm çap ve 6 mm boyutunda pellet haline getirilmiştir. E-beam sisteminde ITO kaplı PET film yüzeyine kaplanmıştır. Elektrokromik malzeme kaplama öncesinde ITO kaplı PET film kenarları maskeleme (15mm) yapılmıştır. Kaplamada uygulanan parametreler Tablo 3.4.'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4. E-beam sisteminde V_2O_5 için kullanılan parametreler

İşlem Parametreleri	
Potansiyel (kV)	6
Çalışma Basıncı (mTorr)	7×10^{-6}
Kaplama Süresi (dk)	17

3.3.2.2. Elektron Demeti ile Buharlaştırma Yöntemiyle İletken PET Elektrot Üzerine V_2O_5 -PFu Kaplanması

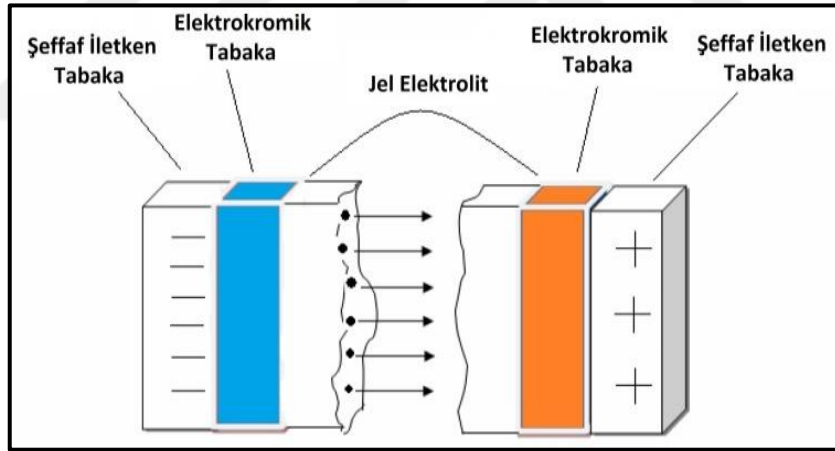
Elektron demeti ile buharlaştırma işleminde Rf-dönerli plazma sisteminde elde edilmiş V_2O_5 -PFu hibrit tozları 13 mm çap ve 6 mm boyutunda pellet haline getirmiştir. E-beam sisteminde ITO kaplı PET film yüzeyine kaplanmıştır. Elektrokromik malzeme kaplama öncesinde ITO kaplı PET film kenarları maskeleme (15mm) yapılmıştır. Kaplamada uygulanan parametreler Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5. E-beam sisteminde V₂O₅- PFu hibrit için kullanılan parametreler

İşlem Parametreleri	
Potansiyel (kV)	6
Çalışma Basıncı (mTorr)	7×10^{-6}
Kaplama Süresi (dk)	25

3.3.3. Elektrokromik Cihazlarda Kullanılan Jel Elektrolitin Hazırlanması

Ağırlıkça 3:70:7:20 oranlar kullanılarak, Lityum perklorat (LiClO₄), Sodyum perklorat (NaClO₄), Lityum triflorometansülfonat (LiTRIF), Asetonitril (ACN), Polimetilmetakrilat (PMMA), Propilenkarbonat (PC) jel elektrolit hazırlanmasında kullanılmıştır. Elektrolitler, asetonitril içerisinde çözülmüştür. Sonra bu çözelti içerisine PMMA ilave edilmiştir. PMMA tamamen çözüldüğü zaman, jel elektrolitin buhar basıncını azaltmak için propilenkarbonat ilave edilmiştir. Yüksek kıvamlı şeffaf jel elde edilinceye kadar karıştırılarak ısıtılmıştır. Soğuması ile viskoz halini almıştır.



Şekil 3.13. Tez çalışmasında tasarlanan elektrokromik cihazın şematik gösterimi

Soğuduğunda viskoz hale gelen karışım esnek katı cihaz yapımında kullanılmıştır. Esnek katı cihazlar Şekil 3.13'te ki şematik gösterime uygun bir şekilde yapılmıştır. İletken kısımları birbirlerine bakacak şekilde araya jel elektrolit konularak karşıt elektrodu olan PET/ITO film ile çalışma elektrot olan iletken substrat (V₂O₅ ve V₂O₅-PFu) yapıştırılmıştır. Katı cihazların aktif alan ölçüsü 3,5 cm²'lik bir kısımdır. İki gün boyunca jel elektrolitin kuruması beklendikten sonra elektrokromik cihazların performansı ölçülmüştür.

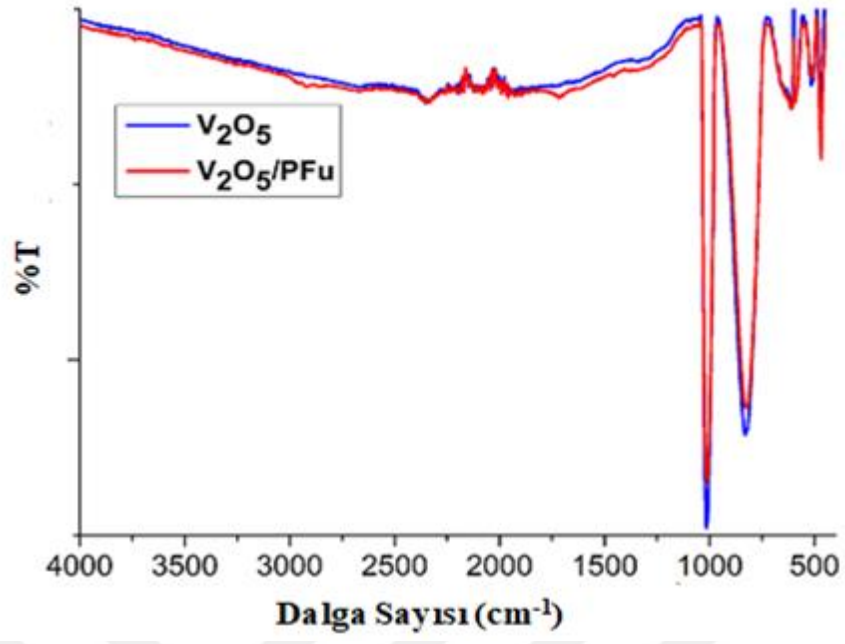
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. V₂O₅ ve V₂O₅-PFu Malzemelerin Karakterizasyon Sonuçları

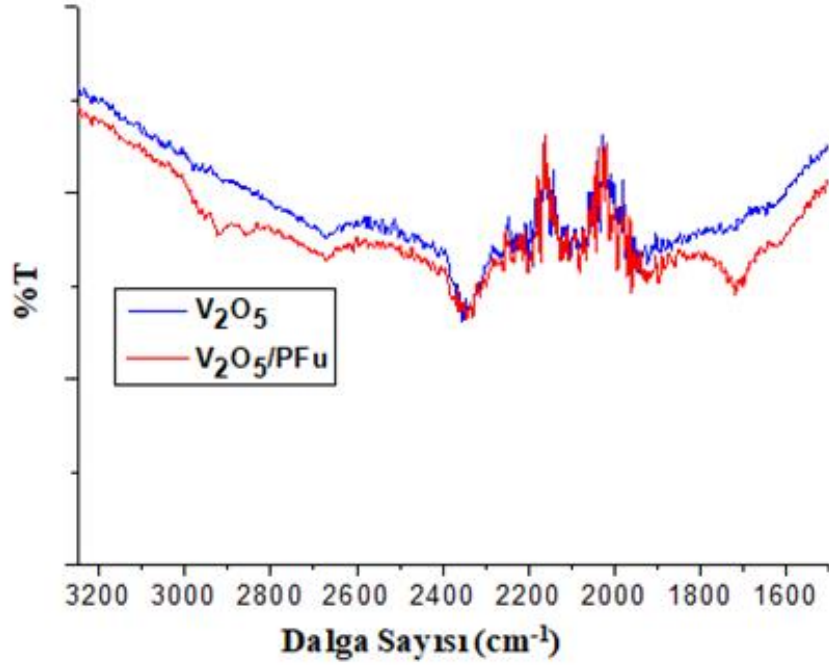
Vanadyum pentaoksit (V₂O₅) ve hibrit tozlarının karakterizasyonu taramalı elektron mikroskobu (SEM), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), enerji dağılımı spektrometresi (EDS) ve X-ışını difraktometresi (XRD) kullanılarak yapılmıştır.

4.1.1. FTIR Sonuçları

V₂O₅ ve V₂O₅-PFu hibritlerinin FTIR spektrumları Şekil 4.1'de gösterilmiştir. 510 ve 823 cm⁻¹ etrafındaki bantlar, sırasıyla vanadyum pentoksitten gelen simetrik ve asimetrik V-O titreşim modlarına karşılık gelir (Suresh vd., 2014). V₂O₅-PFu'nun FTIR spektrumunda, 3019 cm⁻¹ ve 2923 cm⁻¹'deki bantlar, sırasıyla alifatik ve aromatik C-H yapılarının gerilmesinin karakteristiğidir (Saritaş vd., 2017). 1016 cm⁻¹ etrafındaki tepe V=O ve C-O-C germe titreşimlerinin tipik bir örneğidir (Saritaş vd., 2017; Şen vd., 2008). 1719 cm⁻¹, 1612 cm⁻¹'deki ilave tepe noktaları, sırasıyla C=O, C=C gerilme titreşimlerinden ileri gelmektedir. C=O ve alifatik (C-H) gerilme modlarının durumu, konjuge olmayan yapıların üretilmesiyle birkaç furan halkasının açılması olarak gösterilebilir (Saritaş vd., 2017; Şen vd., 2008; Zhen vd., 2014). Elde edilen sonuçlar, elektrokimyasal, plazma polimerizasyonu kullanılarak hazırlanan PFu'nun FTIR sonuçlarıyla uyum içerisindedir (Saritaş vd., 2017; Şen vd., 2008; Uygun vd., 2011; Zhen vd., 2014).



(a)

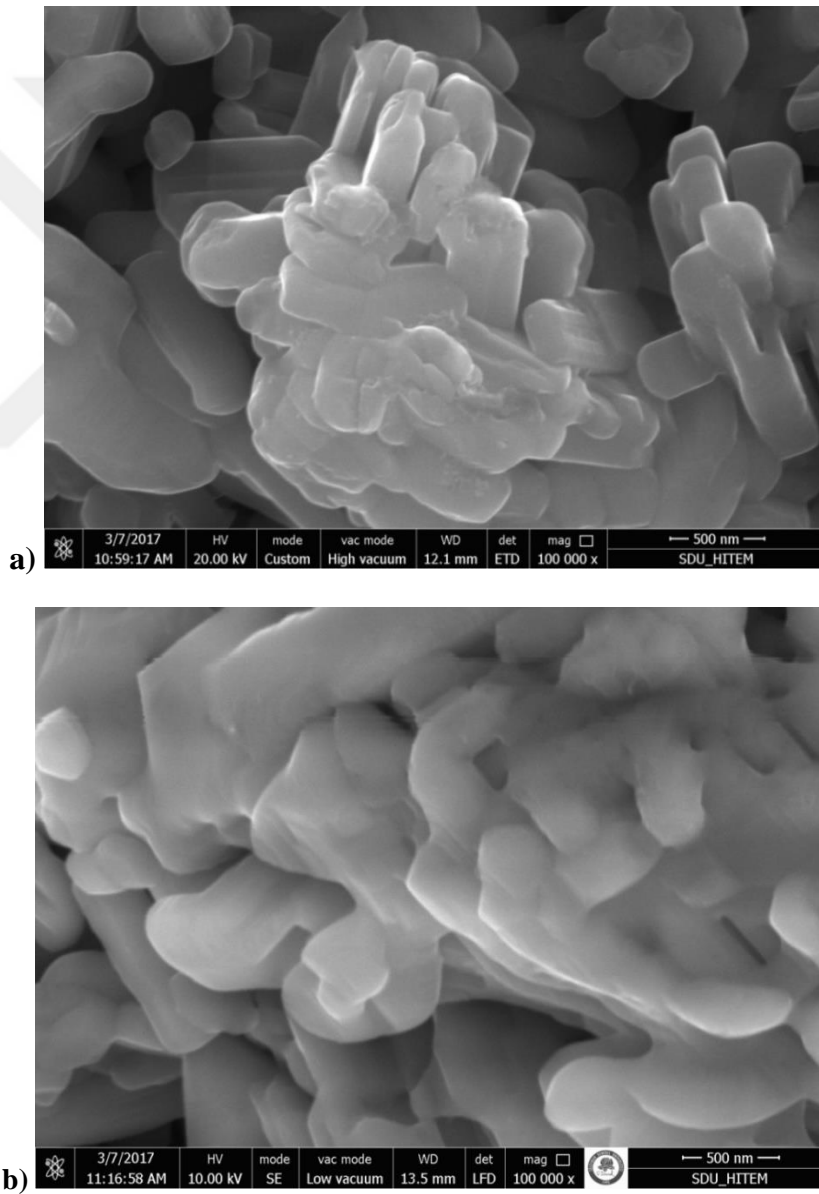


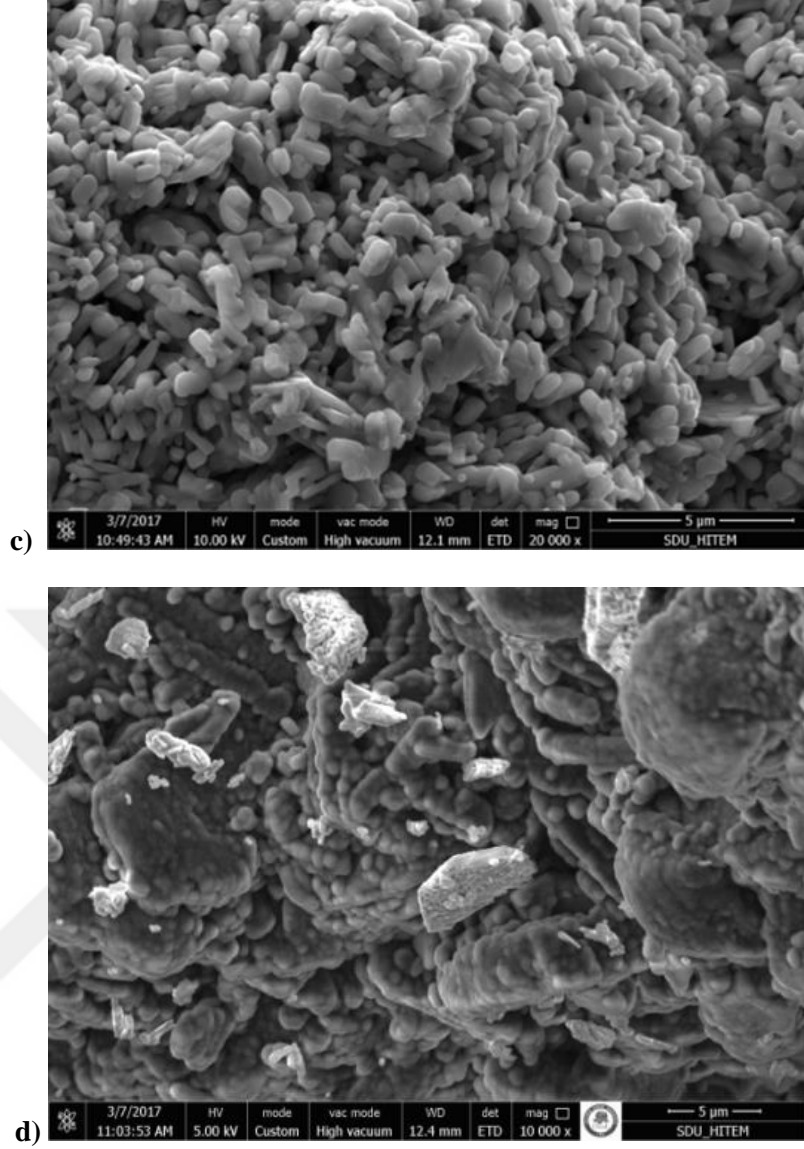
(b)

Şekil 4.1. V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu'nun FTIR spektrumları a) (4000 - 500 cm^{-1}) arası
b) (3200 - 1600 cm^{-1}) arası

4.1.2. SEM-EDS Sonuçları

V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu hibritlerinin yüzey morfolojileri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Şekil 4.2(a-d)'de görüldüğü gibi V_2O_5 tozları yüzeylerinde farklı çaplara sahip küresel şekilli nanopartiküller içermektedir. Hibridizasyon işleminden sonra, V_2O_5 -PFu'nun yüzeyinde daha sıkı kürecikler oluşmuştur. Bununla birlikte saf V_2O_5 toz yüzeyinden daha pürüzlü bir hibrit tozu elde edilmiştir. Hibrit nanopartiküllerin birikmesinden kaynaklanan nanopartiküllerin kümeleri gözlemlenmiştir. Hibridizasyon işleminden sonra V_2O_5 'in yüzey morfolojisinde meydana gelen değişimler, V_2O_5 'in yüzeyinde polimerin ince tabaka olarak (PFu) kaplandığını doğrulamıştır.





Şekil 4.2. Farklı boyutta büyütmelemler kullanılmasıyla elde edilen SEM görüntüleri a) V₂O₅ 500nm, b) V₂O₅-PFu 500nm, c) V₂O₅ 5µm, d) V₂O₅-PFu 5µm.

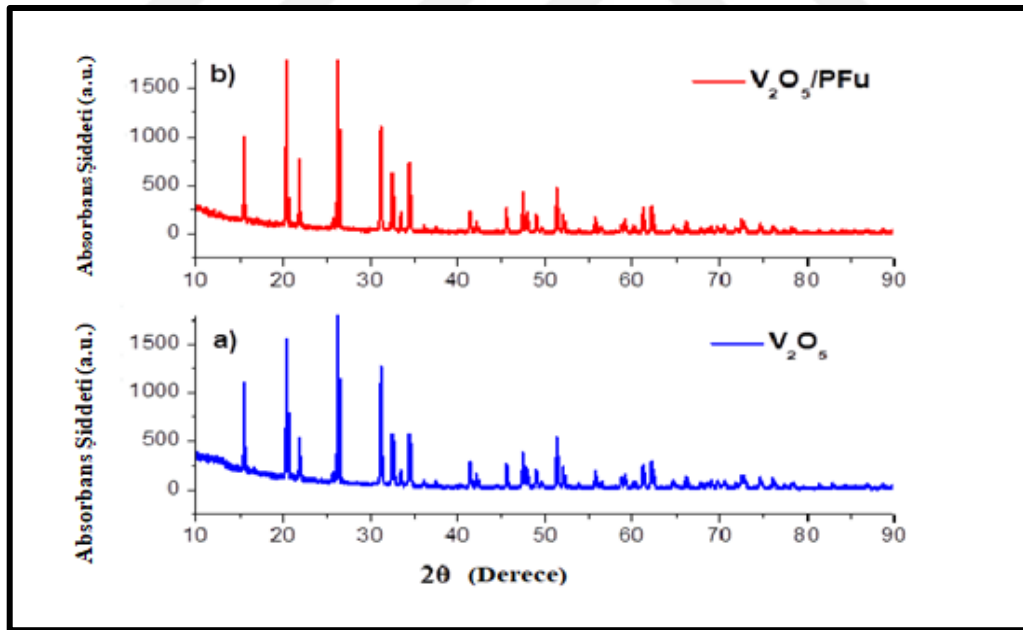
Hibrit yapının oluşumunu kanıtlamak için, elemental analiz (EDS) yapılmıştır ve sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir. V₂O₅ tozlarının element analizinde, vanadyum ve oksijen elementleri temel olarak V₂O₅’ten gelmektedir. Vanadyum ve oksijen atomik yüzde değerleri sırasıyla % 48,73 ve % 51,27 dir. Hibridizasyon işleminden sonra, polimerden gelen karakteristik element (C) gözlemlenmiştir. Ayrıca, V ve O atomik yüzdesi değerleri azalırken, C atomik yüzdesi değeri önemli ölçüde artmaktadır. EDS analizi, V₂O₅ tozlarının yüzeyinde plazma polimerleşme yöntemi kullanılarak polimerin (PFu) kaplandığını ispat etmiştir.

Tablo 4.1. V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu hibritlerinin element bileşimleri

Numuneler	Atomik yüzde Oran		
	Vanadyum (V)	Oksijen(O)	Karbon(C)
V_2O_5	48,73	51,27	-
V_2O_5 -PFu	47,40	38,17	14,43

4.1.3. XRD Sonuçları

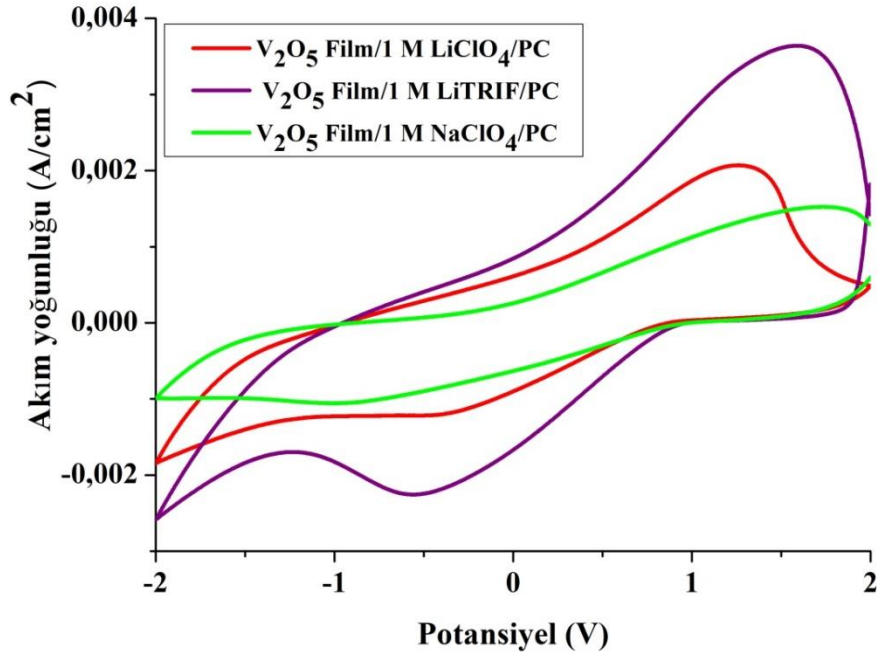
V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu kompozitinin XRD desenleri Şekil 4.3'de gösterilmektedir. Şekil 4.3a'daki V_2O_5 'in XRD deseni, Şekil 4.3b'deki kristal ortofobik V_2O_5 'i (Martín-Caballero vd., 2016) kafes sabitleriyle $a = 11,48 \text{ \AA}$, $b = 4,36 \text{ \AA}$, $c = 3,55 \text{ \AA}$ doğrular. (200), (110), (110), (101), (310), (301) ortofobik faz düzlemlerine ait difraksiyon tepe noktaları sırasıyla, $2\theta = 15,42^\circ$, $20,35^\circ$, $21,78^\circ$, $26,22^\circ$, $31,13^\circ$, $34,40^\circ$. V_2O_5 , V_2O_5 -PFu'nun XRD desenleri aynı spesifik kırınımı gösterir. V_2O_5 nanopartiküller üzerindeki PFu kaplamasının kristallığı üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Bu nedenle, PFu polimerinin V_2O_5 nanopartiküller üzerinde homojen ince bir tabaka olarak kaplandığı sonucuna varılabilir (Jiang vd., 2014; Öksüz vd., 2013; Türkaslan vd., 2015).

**Şekil 4.3.** XRD kırınım desenleri a) V_2O_5 , b) V_2O_5 -PFu

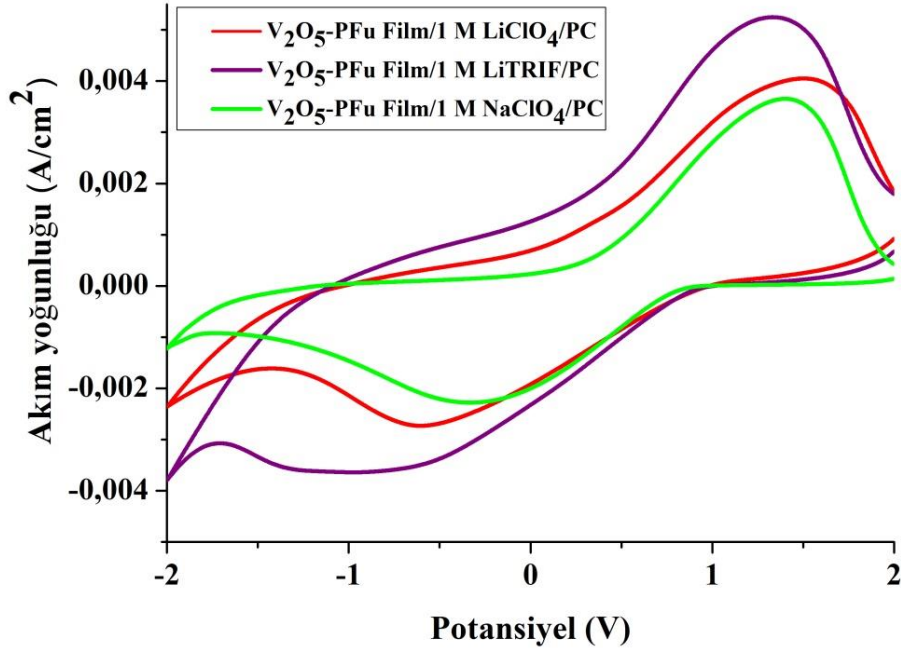
4.2. Elektrokromik Karakterizasyon Sonuçları

Farklı sıvı elektrolitlerdeki V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu filmlerin katodik/anodik davranışını incelemek için dönüşümlü voltametri (CV) tekniği kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında 3 tane farklı elektrolit seçilmiştir ve molaritesi 1 M olan PC çözeltisi içerisinde hazırlanmıştır (1 M $LiClO_4/PC$, 1 M $LiTRIF/PC$, 1 M $NaClO_4/PC$). Her bir dönüşümlü voltammogram için, V_2O_5 veya V_2O_5 -PFu'dan kaynaklanan indirgenme piki katodik bir tepe ve V_2O_5 veya V_2O_5 -PFu'dan kaynaklanan yükseltgenme piki olmak üzere iki tane pik gözlemlenmiştir.

CV verileri, Li^+ içeren elektrolitle karşılaştırıldığında $NaClO_4/PC$ elektrolitindeki V_2O_5 filminin yükseltgenme ve indirgenme piklerinin, daha yüksek potansiyellere kaydığını göstermektedir (Şekil 4.4). CV verileri, filmlerin arasına katılanmış olan yük miktarı ile doğrudan bağlantılıdır (Meenakshi vd., 2015). Sodyum iyonunun çapı, lityum iyonundan büyük olduğundan dolayı sodyum iyonunun elektrokromik film yüzeyine girişi zordur (Uchaker vd., 2014). Dolayısıyla döngüsel voltammogramların alanları, sodyum iyonu varlığında küçülebilmektedir. V_2O_5 -PFu filmler için ise, $LiClO_4$ elektrolitinin varlığında, V_2O_5 -PFu filminin yükseltgenme potansiyeli pozitif yönde kayma göstermiştir (+1.5 V). Şekil 4.4a-b, yükseltgenme ve indirgeme işlemi sırasında, $LiTRIF/PC$ elektrolit ortamında hem V_2O_5 hem de V_2O_5 -PFu filmlerinin daha yüksek akım yoğunluğuna sahip olduğunu göstermektedir ki bu da daha yüksek yük kapasitesine sahip olabileceğini göstermiştir.



(a)



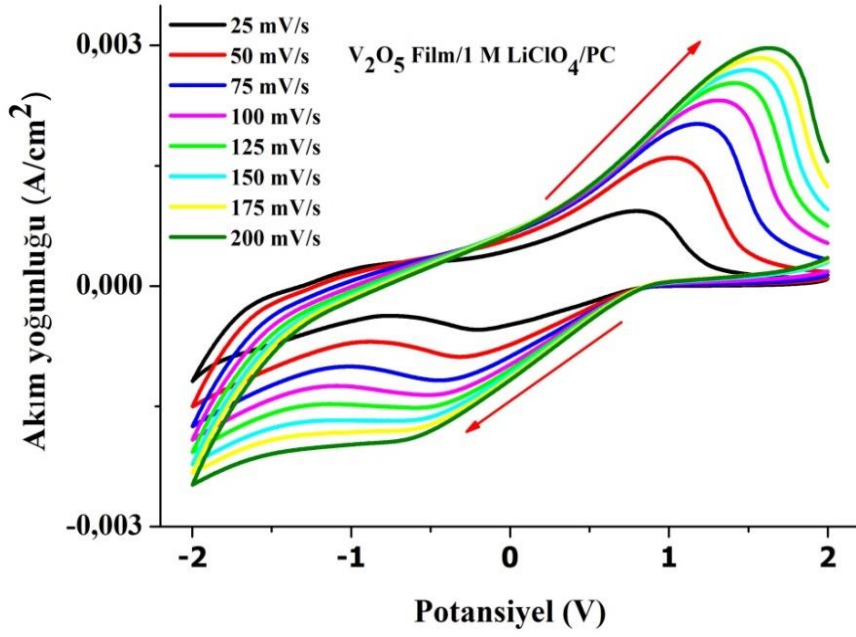
(b)

Şekil 4.4. 1M LiClO₄/PC, 1 M LiTRIF/PC, 1 M NaClO₄/PC içerisinde, a) V₂O₅ b) V₂O₅-PFu film için ile elde edilen dönüşümlü voltamogramları

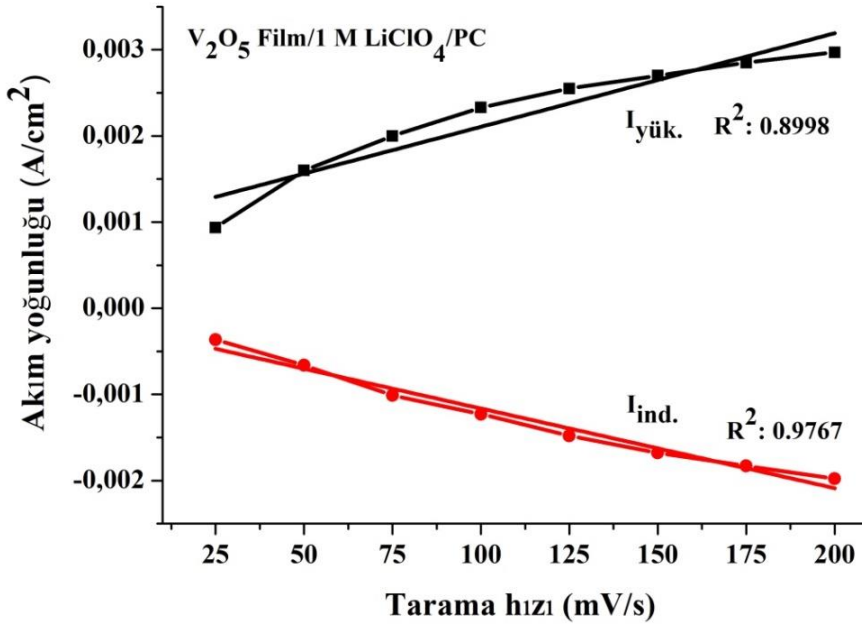
1 M LiClO₄/PC, 1 M LiTRIF/PC ve 1 M NaClO₄/PC elektrolit çözeltileri içerisinde 25 ile 200 mVs⁻¹ değişen farklı tarama hızlarında -2 V ile +2 V arasında doğrusal tarama aralığında tüm elektrokromik filmler için dönüşümlü voltagramlar (CV'ler) incelenmiştir. (Şekil 4.5-4.10). Bütün CV'lerde görüldüğü gibi, V₂O₅-PFu hibrit filmlerinin akım yoğunluğu V₂O₅'in akım yoğunluğundan daha yüksektir. Örneğin, anodik akım yoğunluk değerleri, 200 mV/s tarama hızında 1 M LiClO₄ çözeltisi için sırasıyla V₂O₅ ve V₂O₅-PFu hibrit filmi için 2,97 ve 5,71 mA/cm² dir. Elde edilen sonuçlar, hibrit filmlerin elektron taşıma kabiliyetinin kolaylaştığını kanıtlamaktadır (Cai vd., 2014; Fu vd., 2014). Ayrıca, hibrit filmlerin daha yüksek katodik ve anodik akım yoğunlukları, artan yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak elektroaktif türlerin arttığını göstermektedir (Kiristi vd., 2014).

Sonuçlar, V₂O₅-PFu filmlerin daha aktif bölgelere, daha geniş spesifik yüzey alanına ve daha iyi iyon/elektron taşıma özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir (Zhou vd., 2017). Tarama hızındaki artışla, katodik ve anodik pik potansiyelleri, yük transferindeki kinetik sınırlama nedeniyle, sırasıyla negatif ve pozitif bir şekilde kayma göstermiştir (Mo vd., 2015). Ayrıca, daha yüksek tarama hızlarında anodik ve katodik akım yoğunluklarındaki artış, elektrokromik filme iyonların (Li⁺ veya Na⁺) ve elektronların daha çok girişine izin vermekte ve dolayısıyla filmlerin daha yüksek iyon depolama kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir (Meenakshi vd., 2015).

Hem yükseltgenme hem de indirgeme akım yoğunluğu, tarama hızının artması ile artar. Mükemmel doğrusal ilişki, V₂O₅ ve V₂O₅-PFu filmlerinin yükseltgenme/indirgeme işleminin, elektrolitten elektroda iyon difüzyonu ile kontrol edildiğini göstermektedir (Eren vd., 2017; Ge vd., 2013). Ayrıca, Li⁺ veya Na⁺ iyon giriş-çıkış işlemleri, yüksek tarama hızlarında bile doğal olarak tersinir dönüşümlü voltammogramlara sahip olduklarını göstermiştir (Eren vd., 2017). Özellikle, V₂O₅-PFu filmi, tüm elektrolit ortamlarında tarama hızı ile akım tepkisi arasında V₂O₅ filmininkinden daha iyi doğrusal bir ilişkiye sahiptir.

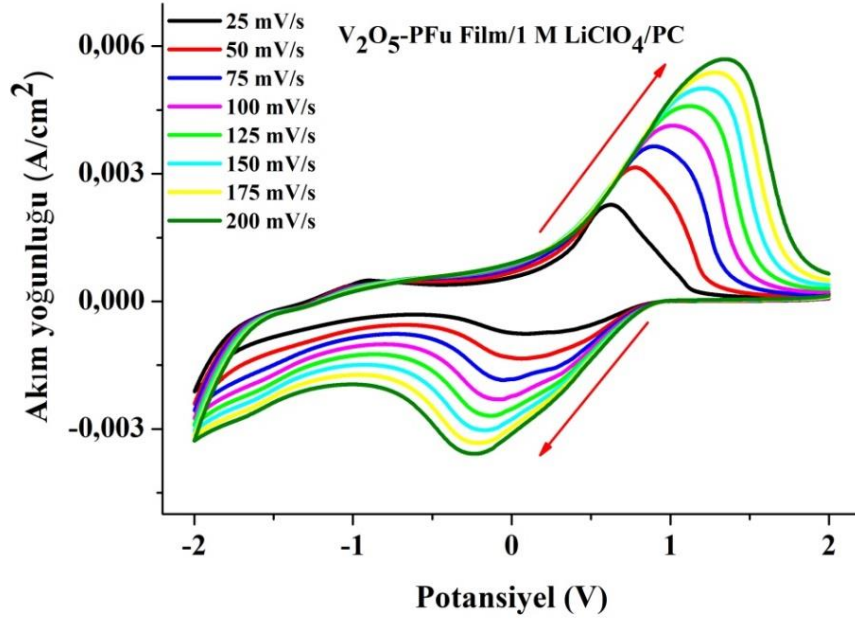


(a)

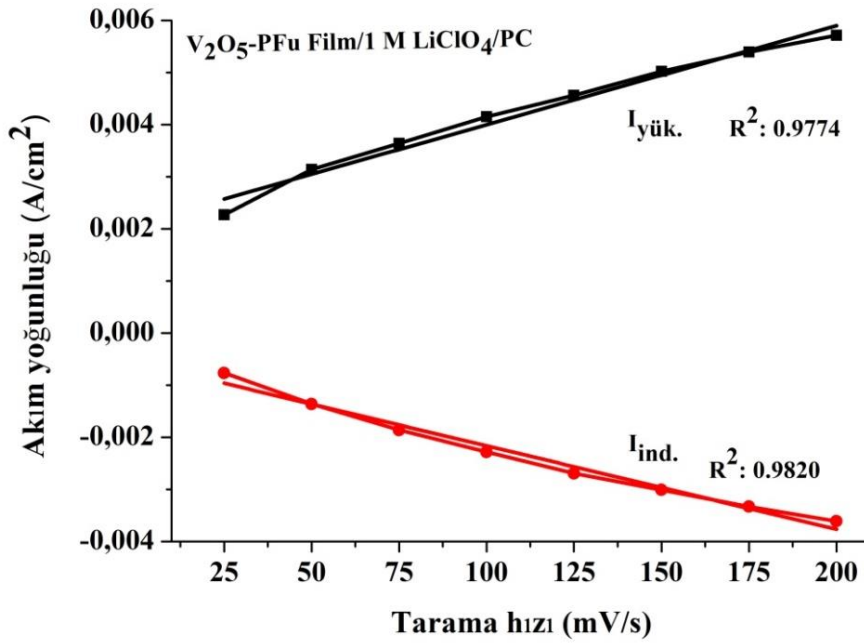


(b)

Şekil 4.5. V_2O_5 film için a) 1 M $LiClO_4/PC$, dönüşümlü voltamogramı, b) $I_{yük.}$ (anodik akım yoğunluğu) ve $I_{ind.}$ (katodik akım yoğunluğu) gösterdiği, tarama hızına karşı katodik/anodik akım yoğunluğunun grafiği

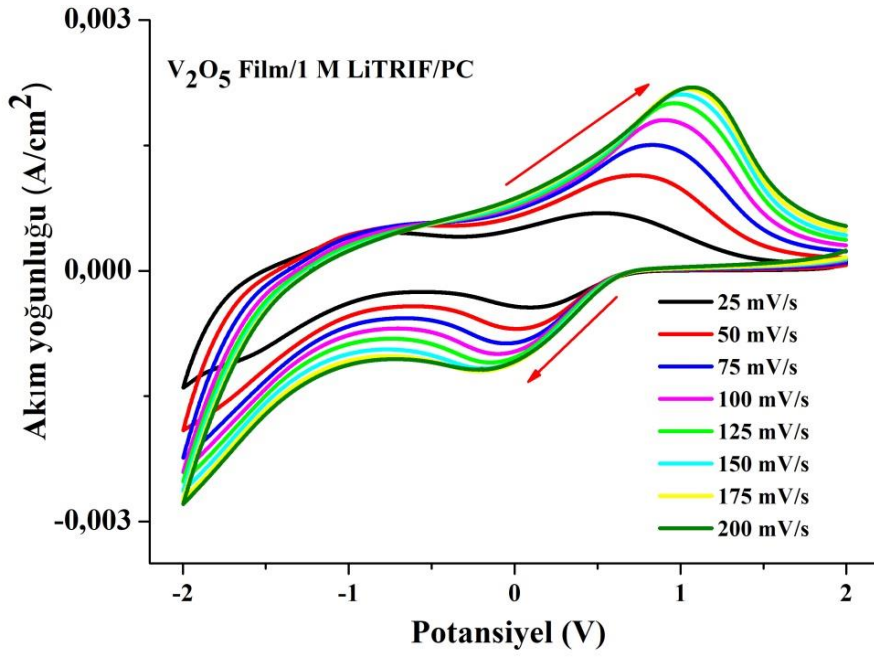


(a)

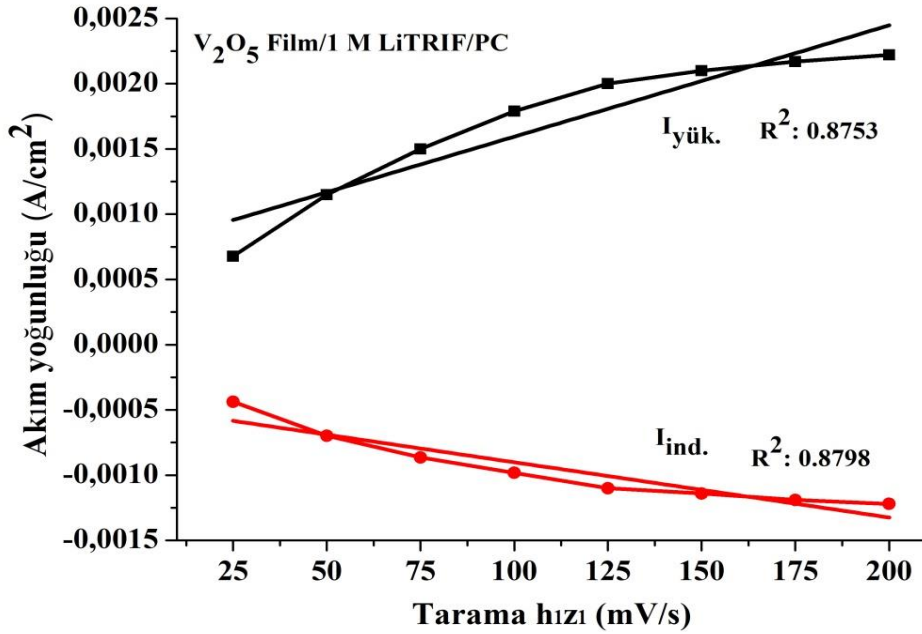


(b)

Şekil 4.6. V₂O₅-PFu film için a) 1 M LiClO₄/PC, dönüşümlü voltamogramı, b) $I_{yük.}$ (anodik akım yoğunluğu) ve $I_{ind.}$ (katodik akım yoğunluğu) gösterdiği, tarama hızına karşı katodik/anodik akım yoğunluğunun grafiği

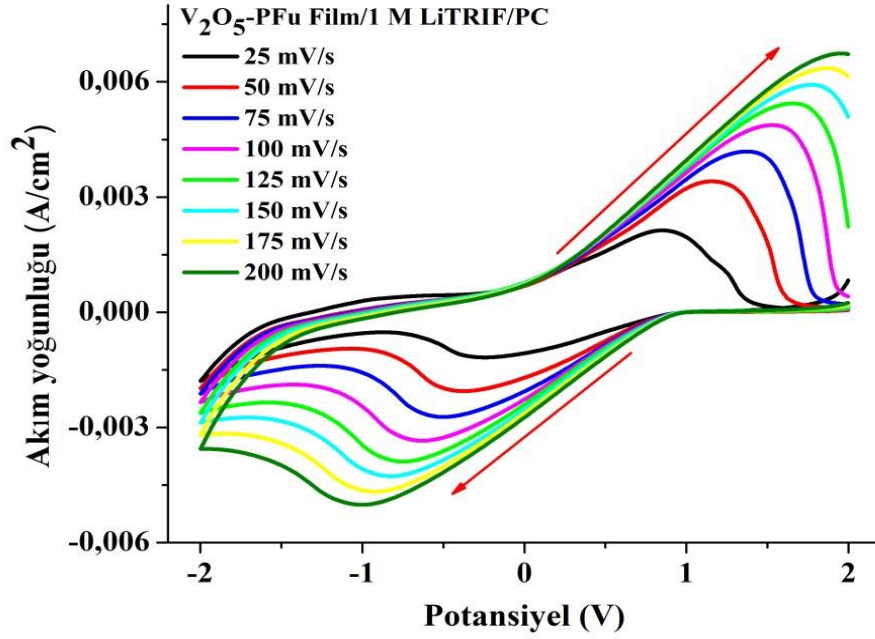


(a)

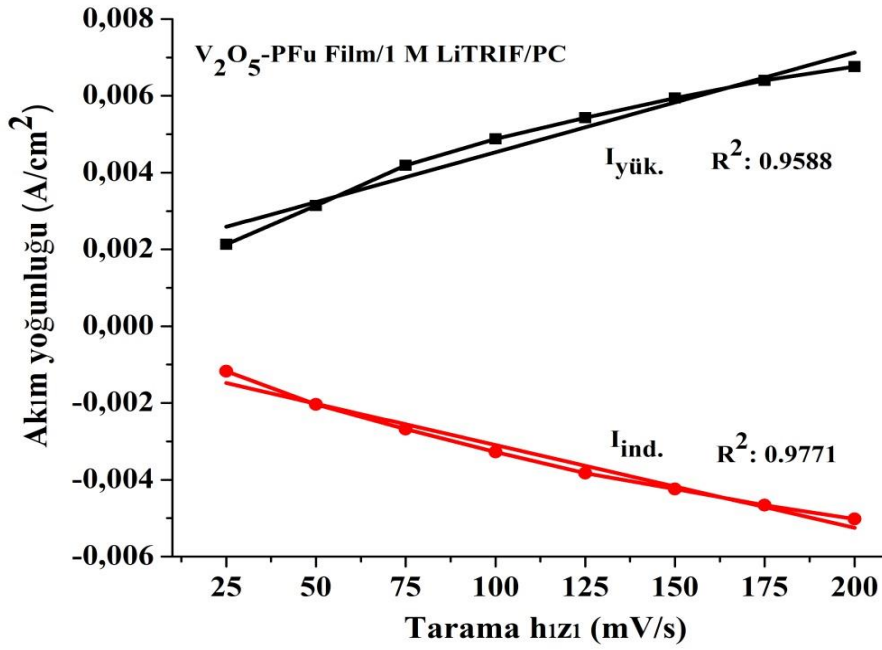


(b)

Şekil 4.7. V₂O₅ film için a) 1 M LiTRIF/PC, dönüşümlü voltamogramı, b) $I_{yük.}$ (anodik akım yoğunluğu) ve $I_{ind.}$ (katodik akım yoğunluğu) gösterdiği, tarama hızına karşı katodik/anodik akım yoğunluğunun grafiği

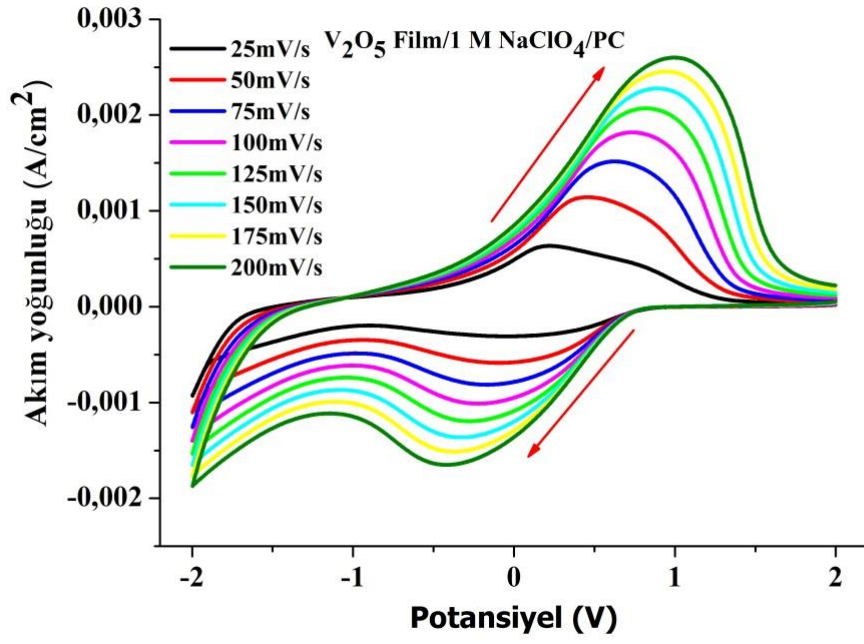


(a)

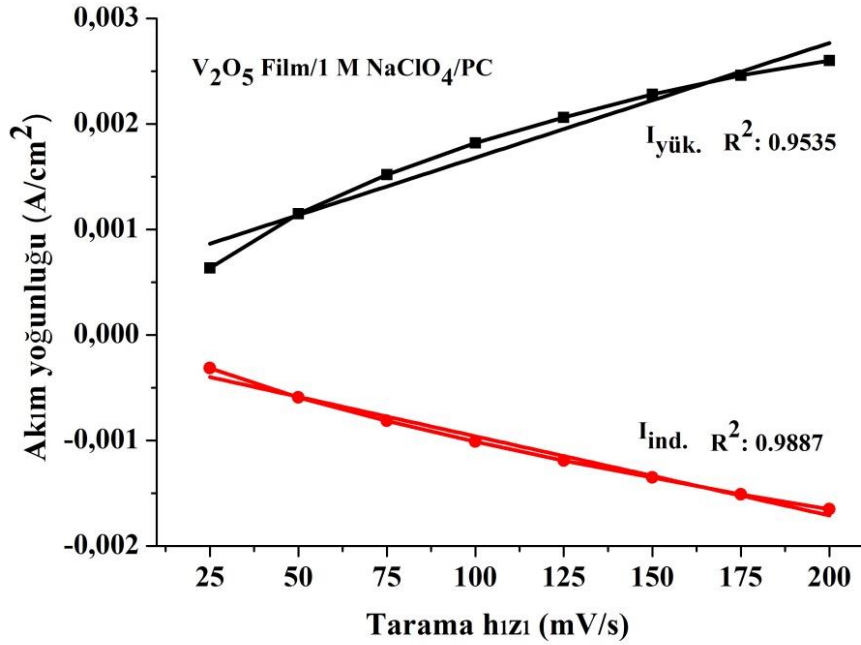


(b)

Şekil 4.8. V₂O₅-PFu film için a) 1 M LiTRIF/PC, dönüşümlü voltamogramı, b) I_{yük.} (anodik akım yoğunluğu) ve I_{ind.} (katodik akım yoğunluğu) gösterdiği, tarama hızına karşı katodik/anodik akım yoğunluğunun grafiği

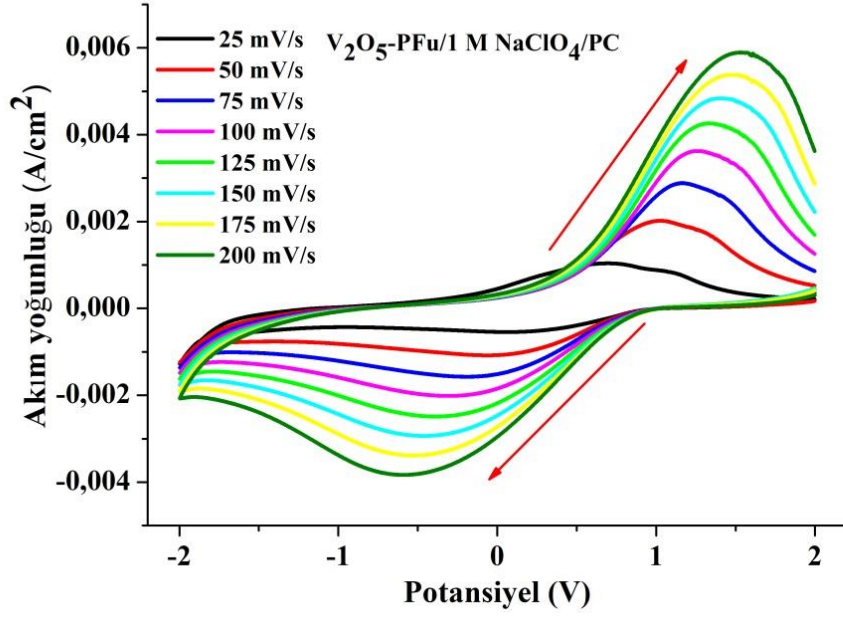


(a)

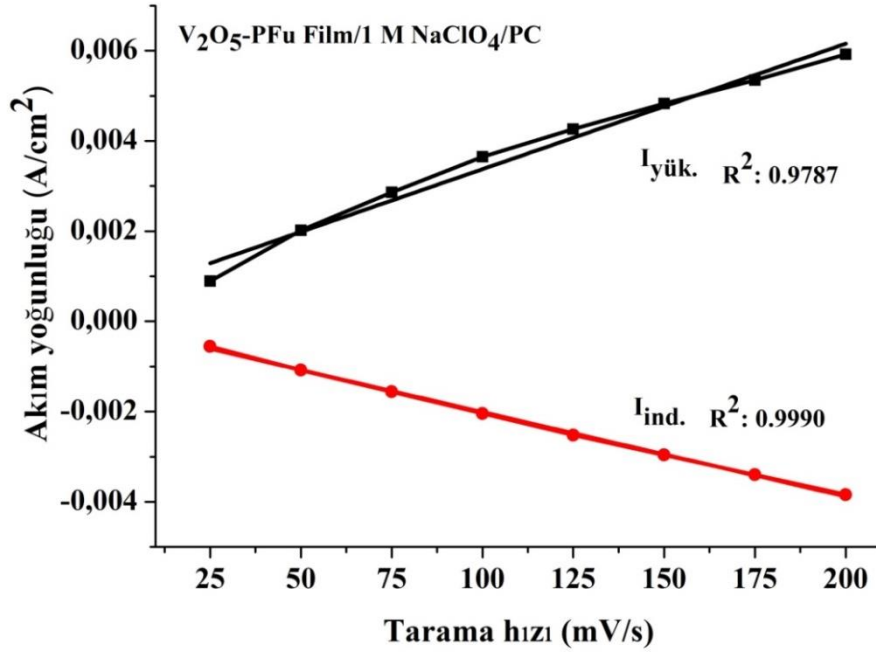


(b)

Şekil 4.9. V_2O_5 film için a) 1 M $NaClO_4/PC$, dönüşümlü voltamogramı, b) $I_{yük.}$ (anodik akım yoğunluğu) ve $I_{ind.}$ (katodik akım yoğunluğu) gösterdiği, tarama hızına karşı katodik/anodik akım yoğunluğunun grafiği



(a)



(b)

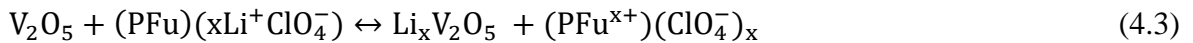
Şekil 4.10. V_2O_5 -PFu film için a) 1 M $NaClO_4/PC$, dönüşümlü voltamogramı, b) $I_{yük.}$ (anodik akım yoğunluğu) ve $I_{ind.}$ (katodik akım yoğunluğu) gösterdiği, tarama hızına karşı katodik/anodik akım yoğunluğunun grafiği

V_2O_5 filmleri hem lityum hem de sodyum bazlı elektrolitlerde iki farklı renk göstermiştir (+2 V'de açık turuncu-sarı ve -2 V'de pembemsi-gri). Şekil 4.5a, 4.7a, 4.9a'da katodik ve anodik bölgelerde elde edilen renk değişimleri gösterilmiştir. V_2O_5 matrisindeki Li^+ (Na^+) iyonlarının giriş/çıkışı ile alakalı reaksiyonlar aşağıda gösterilmiştir (Chen vd., 2013).

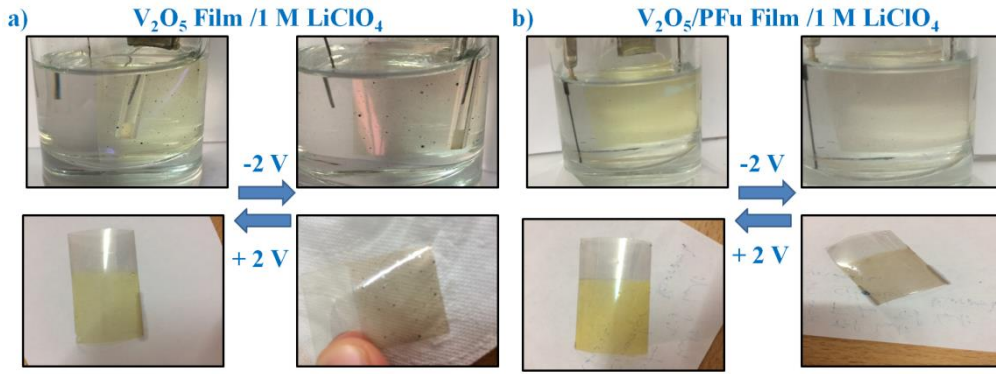


Katodik tarama sırasında, elektronların ve Li^+ iyonlarının V_2O_5 filmine eşzamanlı olarak girmesiyle, pentavalent vanadyumun (V^{+5}) daha düşük değerlik durumuna (V^{+4}) indirgenmesi ve böylece renkli bir vanadyum bronzuna ($Li_xV_2O_5$ veya $Na_xV_2O_5$) oluşmasına neden olur. Anodik tarama sırasında ise, elektronlar ve Li^+ (Na^+) iyonları, V_2O_5 filminden ayrılır ve düşük değerlikli halinin (V^{+4}) pentavalent vanadyumuna (V^{+5}) yükseltgenmesine neden olur (Chen vd., 2013).

V_2O_5 -PFu hibrit filmlerin indirgenmesi ve elektron, iyonların girişi ile turuncu-sarıdan pembemsi gri renge dönüşür. +2 V uygulanırken, V_2O_5 -PFu hibrit filmi, yani hibrit oksidasyon ve film yüzeyinden eşzamanlı Li^+ (Na^+) çıkmasına karşılık gelen turuncu-sarı renk vermişti. $LiClO_4$ 'ün varlığında bir V_2O_5 -PFu filminde oluşturulan elektrokimyasal işlemler aşağıdaki reaksiyonlar ile gösterilebilir:



V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu hibrit filmlerde elektrokromik türlerin artmasından dolayı, filmlerin sönmüleme ve renklenme hallerine, +2 V ve -2 V iki farklı potansiyel uygulanmasıyla 1 M $LiClO_4/PC$ elektrolitinde, V_2O_5 -PFu hibrit filmlerin daha yoğun renk değişimi elde edilmiştir. Bu değişim Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. a) V_2O_5 b) V_2O_5 -PFu hibrit filmlerin, -2V ve +2V potansiyelleri uygulandıktan sonra 1 M $LiClO_4/PC$ elektrolit varlığında görüntüleri.

Şekil 4.12-4.14, farklı elektrolit varlığında ± 2 V uygulanan bir potansiyel ile değiştirilen V_2O_5 , V_2O_5 -PFu filmlerin yükseltgenmiş ve indirgenmiş durumuna karşılık gelen optik geçirgenlik spektrumlarını göstermektedir. Bu çalışmada, elektrokromik filmler -2 V'da indirgenmiş hal durumunda ve +2 V'da yükseltgenme hal durumunda incelenmiştir.

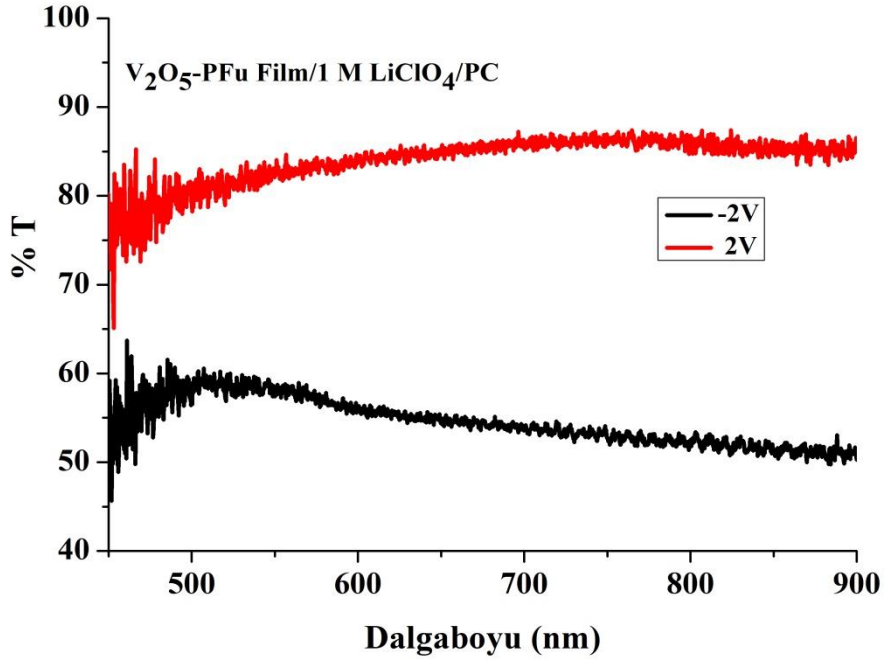
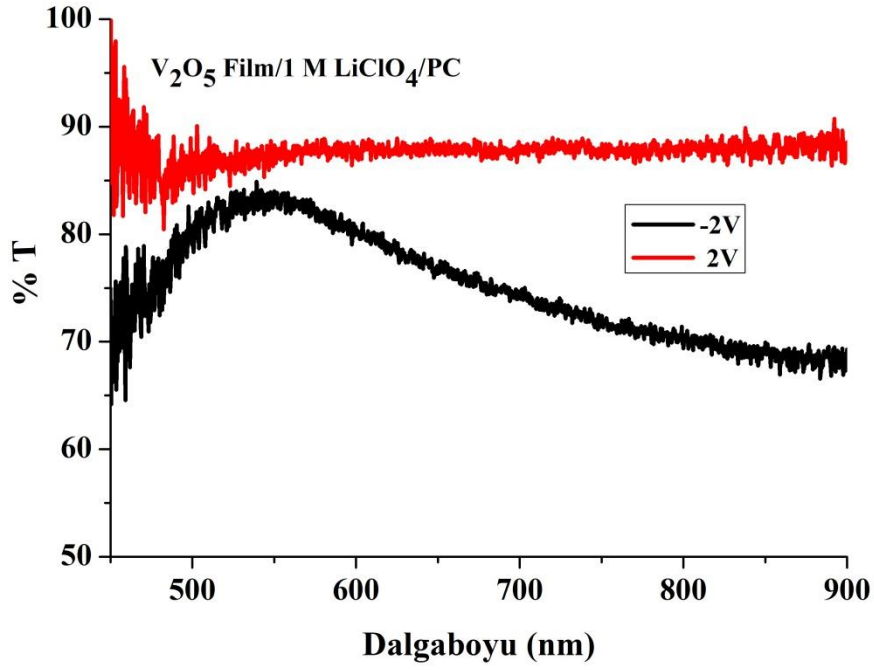
Geçirgenlik modülasyonu ΔT , yükseltgenmiş ve indirgenmiş durumlar arasındaki belirli bir dalga boyunda (700 nm) geçirgenlik değerleri arasındaki fark olarak tanımlanmıştır ve farklı potansiyel uygulamasıyla elde edilen filmlerin transmittans değişimleri Tablo 4.2'te gösterilmiştir. 3 farklı elektrolit ortamında farklı potansiyeller uygulanmasıyla elde edilen bütün V_2O_5 -PFu filmlerin, V_2O_5 filminden daha yüksek geçirgenlik modülasyonuna sahip olduğu gösterilmiştir. Elektrokromik performanstaki iyileşme, V_2O_5 ve PFu, p-n heterojunctionların oluşumu sırasında V_2O_5 ve PFu arasında oluşan sinerjik etkileşim ile açıklanabilir. Bu oluşum sırasında V_2O_5 ve PFu sırasıyla n ve p tipi bir yarı iletken olarak davranmıştır. Benzer davranış V_2O_5 -poli (3,4-etilendioksitiyofen) (PEDOT) hibridinde de gözlemlenmiştir (Eren vd., 2017). V_2O_5 -PFu hibrid filmin yükseltgenme ve indirgeme durumları arasındaki maksimum geçirgenlik modülasyonu, 700 nm dalga boyunda %32'dir; 1 M $LiClO_4/PC$ elektrolit varlığında 700 nm'de V_2O_5 filmi için %13'tür. Başka bir çalışmada, V_2O_5 -NiO hibrit filmi ve V_2O_5 filminde 776 nm'de sırasıyla %35 ve %30 geçirgenlik modülasyonları gözlemlenmiştir (Chen vd., 2013). 1 M $LiClO_4/PC$ durumunda, V_2O_5 -PFu filmi Şekil 4.7b'de gösterildiği gibi daha iyi bir optik modülasyon (ΔT) sunar.

Tablo 4.2. 1 M LiClO₄/PC, 1 M LiTRIF/PC, 1 M NaClO₄/PC elektrolitinde V₂O₅, V₂O₅-PFu filmlerin elektrokromik parametreleri

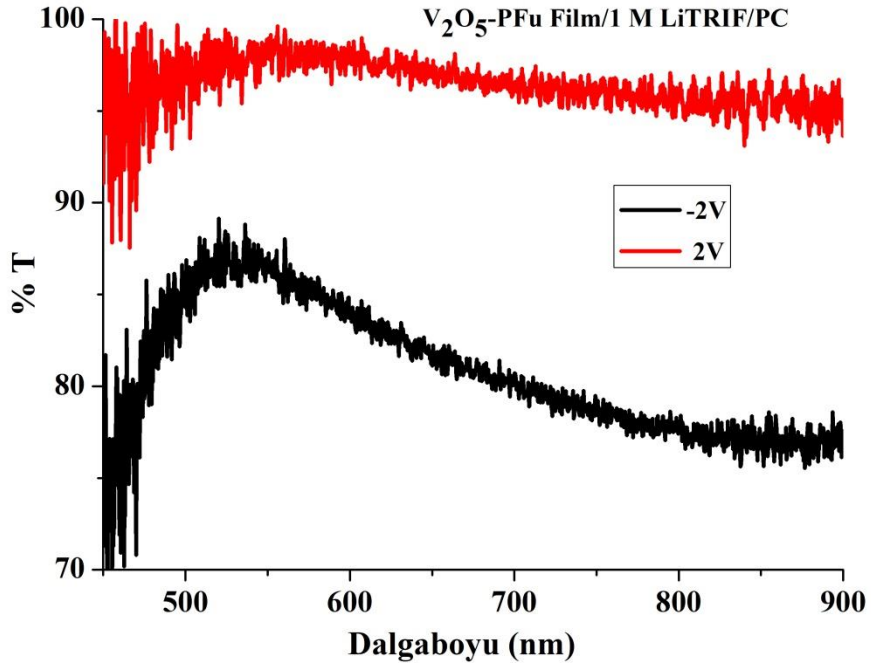
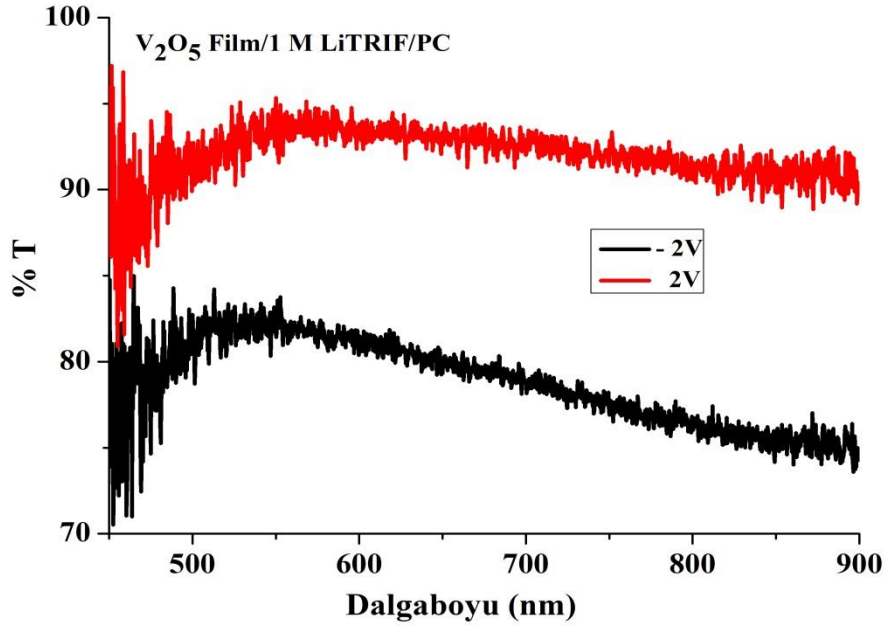
Numuneler	Elektrolitler	Optik kontrast (%T)	CE*(cm ² /C)	CE**(cm ² /C)	T _{yüks.} (s)	T _{ind.} (s)
V ₂ O ₅	LiClO ₄	13	16,3	30,7	5,15	9,64
V ₂ O ₅ /PFu	LiClO ₄	32	31,3	35,0	5,87	3,89
V ₂ O ₅	LiTRIF	13	8,7	7,8	3,48	15,74
V ₂ O ₅ /PFu	LiTRIF	16	8,4	10,8	3,04	16,69
V ₂ O ₅	NaClO ₄	15	17,7	24,2	9,00	3,96
V ₂ O ₅ /PFu	NaClO ₄	22	23,7	28,4	7,6	2,24

* Giren yük yoğunluğunda hesaplanan renk verimi

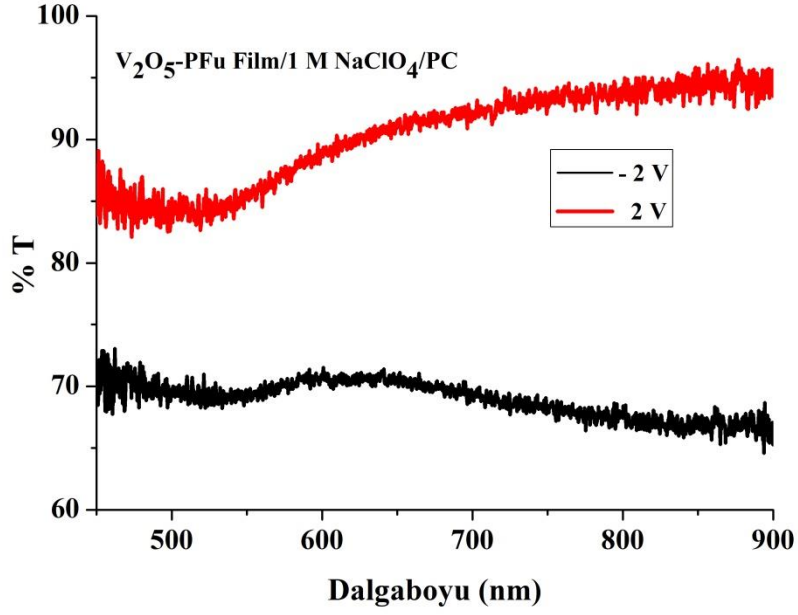
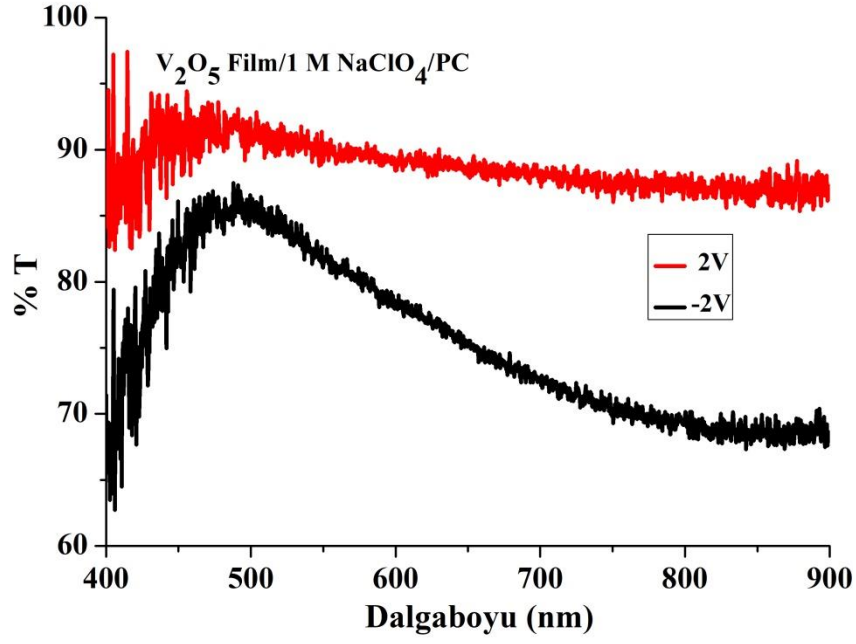
**Çıkan yük yoğunluğunda hesaplanan renk verimi



Şekil 4.12. V_2O_5 filminin geçirgenlik spektrumları, (a) 1 M $LiClO_4/PC$, V_2O_5 -PFu hibrit filminin geçirgenlik spektrumları, b) 1 M $LiClO_4/PC$, hibrit filmin katı cihazının -2 V ve +2 V potansiyel uygulanması ile optik geçirgenlik değişimi



Şekil 4.13. V_2O_5 filminin geçirgenlik spektrumları, (a) 1 M LiTRIF/PC, V_2O_5 -PFu hibrit filminin geçirgenlik spektrumları, b) 1 M LiTRIF/PC, hibrit filmin katı cihazının -2 V ve +2 V potansiyel uygulanması ile optik geçirgenlik değişimi



Şekil 4.14. V_2O_5 filminin geçirgenlik spektrumları, (a) 1 M $NaClO_4/PC$, V_2O_5 -PFu hibrit filminin geçirgenlik spektrumları, b) 1 M $NaClO_4/PC$, hibrit filmin katı cihazının -2 V ve +2 V potansiyel uygulanması ile optik geçirgenlik değişimi

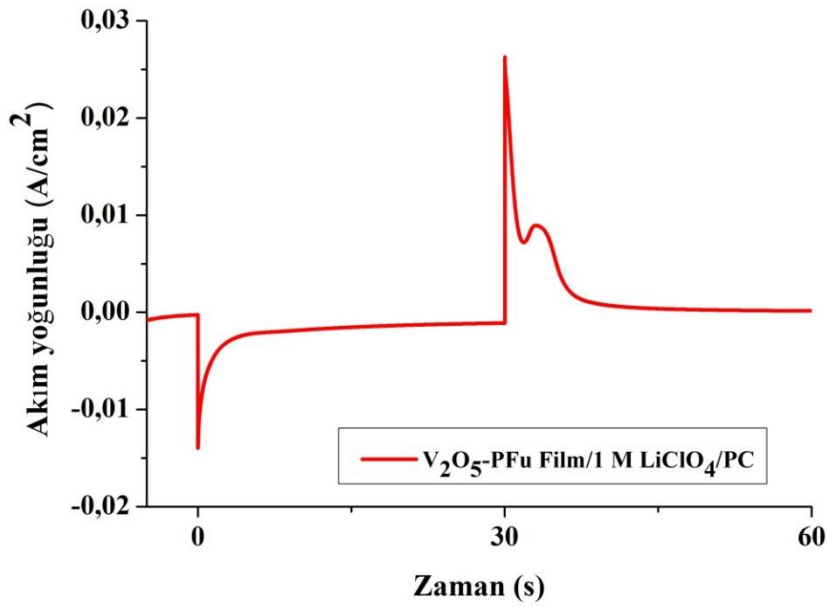
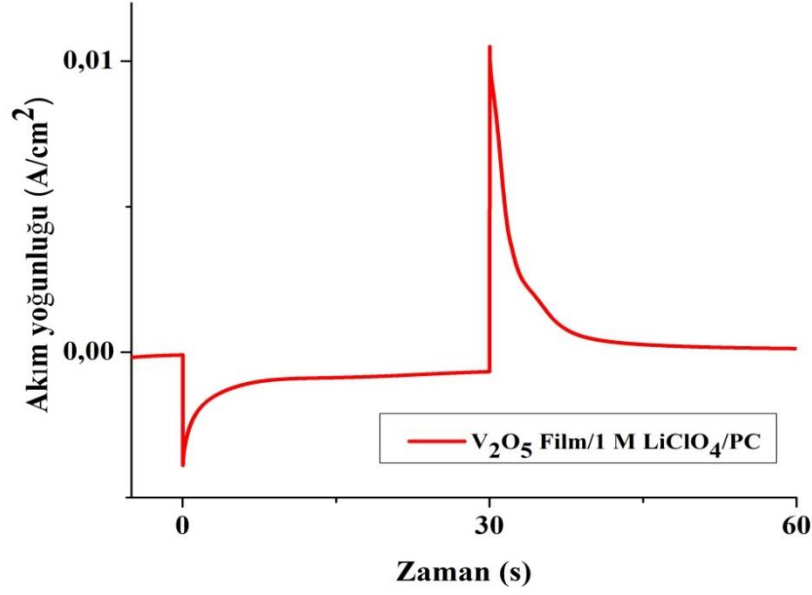
Farklı sıvı elektrolitlerin V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu filmlerinin elektrokromik özellikleri üzerindeki etkisini daha detaylı araştırmak için, anahtarlama süreleri kronoamperometri (CA) yöntemi kullanılarak da ölçülmüştür. Şekil 4.15-4.17, 30 saniye boyunca ± 2 V'da 1 M $LiClO_4/PC$, 1 M $LiTRIF/PC$, 1 M $NaClO_4/PC$ elektrolit ortalamalarında V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu filmlerin kronoamperometri grafikleri gösterilmiştir. Hesaplanan anahtarlama süreleri Tablo 4.3'te verilmiştir. İki farklı lityum tuzu ile yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında, $LiClO_4$ elektrolit çözeltisi, araştırmamızda ve literatürdeki daha önceki çalışmalarda gösterildiği gibi, $LiTRIF$ elektrolit çözeltilerinden daha yüksek iyonik iletkenliğe sahiptir (Eren vd., 2017). Bu durum, indirgenme sırasındaki renk değişmesi için gerekli sürenin azalmasına yol açmaktadır.

Tablo 4.3. V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu hibrit elektrokromik parametrelerinin karşılaştırılması

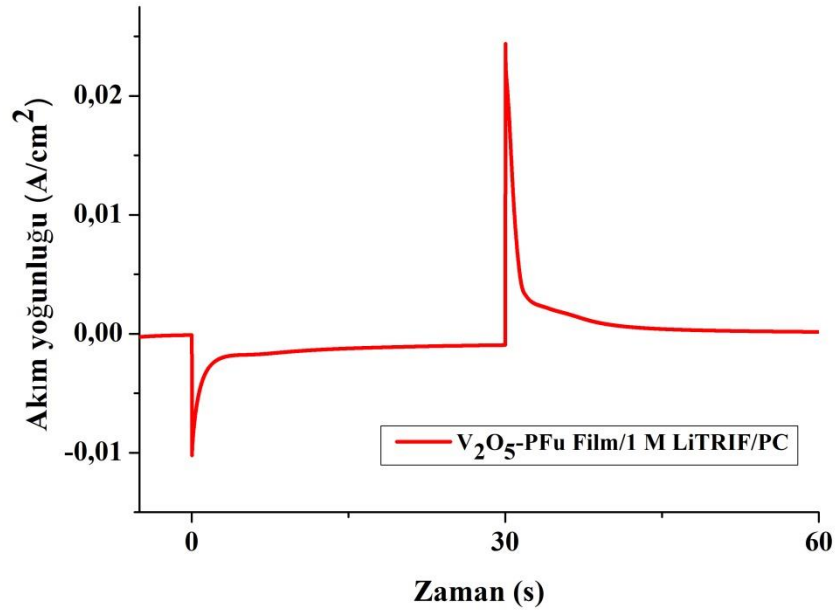
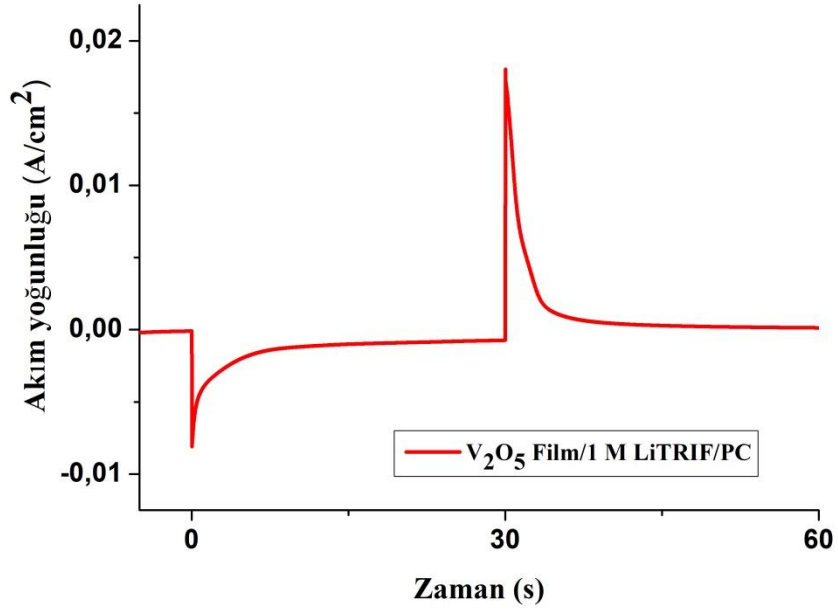
Numuneler	Optik kontrast (%T)	CE (cm^2/C)	$T_{yük.$ (s)	$T_{ind.}$ (s)	kaynak
V_2O_5	13	16,3	5,15	9,64	Bu tez çalışmasında
V_2O_5 -PFu	32	31,3	5,87	3,89	Bu tez çalışmasında
PFu	13,3	99,9	6,0	5,6	(Uchaker vd., 2014)
V_2O_5 -polimer hibrit	33	86	23	20	(Tritschler vd., 2015)
V_2O_5	23,9	22,1	20,25	19,5	(Panagopoulou vd., 2017)

Lityum ve sodyum elektrolit ortamları karşılaştırıldığında, sodyum tuzları lityum tuzlarından daha yüksek iyonik iletkenliğe sahiptir. Böylece, elektrolitten elektrokromik filme Na^+ iyonlarının girişinin kolaylaşmasını sağlayacaktır Sodyum tuzları, Na^+ 'nın elektrolitten elektrokromik filmlere geçmesini kolaylaştıracak katkıda bulunan lityum tuzlarından (Ponrouch vd., 2015)'den daha yüksek iyonik iletkenliğe sahiptir. Böylece, sırasıyla 1 M $NaClO_4$ elektrolitinde V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu filmler için 3,96 s ve 2,24 s en hızlı indirgenme cevapları göstermiştir. Sonuç olarak, üç elektrolit arasında en yüksek iyonik iletkenliğe sahip olan $NaClO_4$ elektrolit ortamında sodyum iyonlarının elektrokromik filme difüzyonunu kolaylaştıracaktır. Yükseltgenme halinde ise elektrokromik filme girmiş olan Na^+ iyonların, elektrokromik filmde çıkışı için geçen süre uzayacaktır. Na-temelli elektrolit durumunda en yavaş yükseltgenme cevapları V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu filmleri için sırasıyla 9,00 ve 7,60 s'dir. Literatürde, V_2O_5 -polimer hibrit filmlerin elektrokromik

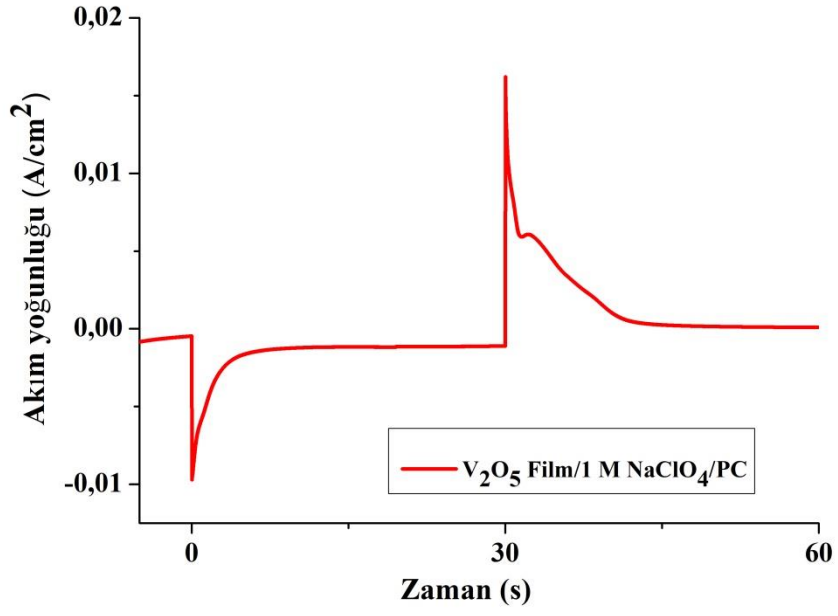
davranışlarını incelemişlerdir. 450 nm'de optik kontrast %33 olarak elde edilmiştir ve anahtarlanma süreleri ($\Delta t_{yük.}$: 20-24 s, $t_{ind.}$: 20-27 s) olarak hesaplanmıştır (Tritschler vd., 2015).



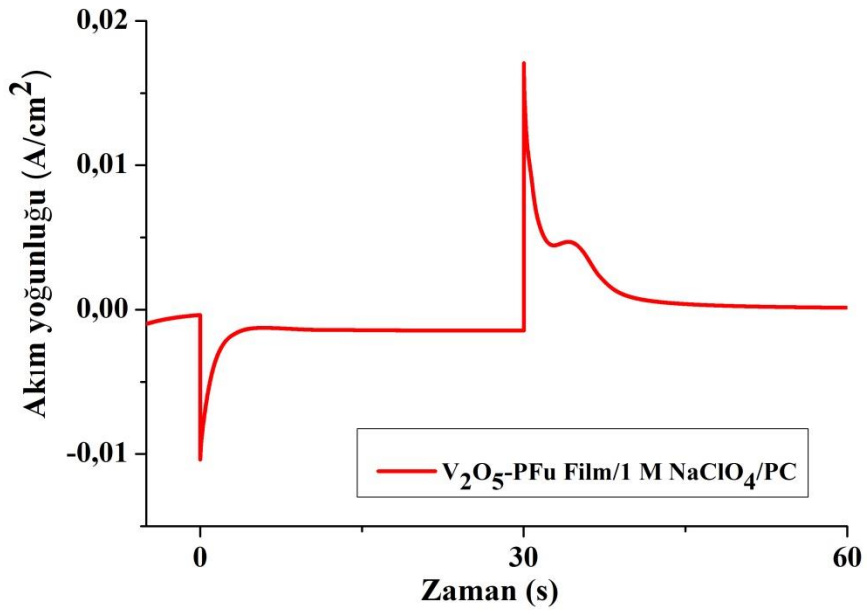
Şekil 4.15. V_2O_5 filmi için, a) 1 M $LiClO_4/PC$, V_2O_5 -PFu film için b) 1 M $LiClO_4/PC$ kronoamperometri çalışmaları.



Şekil 4.16. V_2O_5 filmi için, a) 1 M LiTRIF/PC, V_2O_5 -PFu film için b) 1 M LiTRIF/PC kronoamperometri çalışmaları.



(a)



(b)

Şekil 4.17. V₂O₅ filmi için, a) 1 M NaClO₄/PC, V₂O₅-PFu film için b) 1 M NaClO₄/PC kronoamperometri çalışmaları.

Elektrokromik bir malzemenin performansını değerlendirmek için bir diğer parametre renklendirme veriminin (CE) hesaplanmasıdır. CE'nin değeri, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir (Eren vd., 2017; Fan vd., 2017):

$$CE = \frac{\Delta(OD)}{Q} = \frac{1}{Q} \times \log\left(\frac{T_b}{T_c}\right) \quad (4.5)$$

Q girilen/çıkarılan yük yoğunluğu ($C \text{ cm}^{-2}$), T_b , T_c sırasıyla ağartılmış (sönümlenmiş) ve renkli durumlardaki geçirgenliktir (T). ΔOD , elektrokromik bir malzeme için belirli bir dalga boyunda (λ) optik yoğunluktaki değişimdir ve bu nedenle CE, girilen/çıkarılan (Eren vd., 2017; Fan vd., 2017) birim yük yoğunluğu (Q) başına optiksel yoğunluktaki değişim olarak tanımlanır.

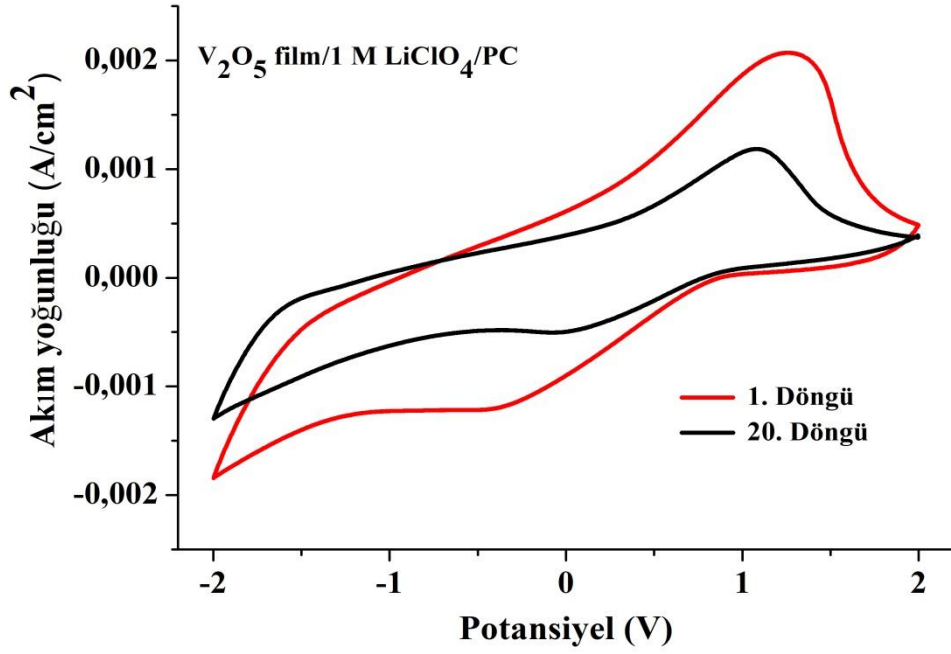
LiClO₄/PC ortamında V₂O₅-PFu filmi için yük girişi ile elde edilen CE değeri (31,3 cm²), V₂O₅ filmin CE değerinden (16,3 cm²) yaklaşık olarak 2 kat daha yüksektir. V₂O₅-PFu/LiClO₄ filmin, birim yük yoğunluğu başına optik yoğunluktaki en büyük değişim elde edilmiştir. Hibrit filmlerin, küçük miktarda yük giriş/çıkışıyla çok yüksek optik kontrast göstermesiyle açıklanabilmektedir. Ayrıca küçük miktarda yük giriş/çıkışıyla da döngüsel kararlılarda iyileşme sağlayabilecektir (Zhou vd., 2017). Tüm filmler arasında, yük giriş/çıkış için en yüksek CE, 1 M LiClO₄/PC elektrolitinde sırasıyla V₂O₅ ve V₂O₅-PFu filmleri için 700 nm'de 31,3 cm²/C, 35 cm²/C olarak hesaplanır (Eren vd., 2017; Liu vd., 2017).

Elektrokromik performanslarını karşılaştırmak için önemli olan bir diğer parametre, döngüsel kararlılıktır. Bu amaçla 3 tane farklı elektrolit ortamında (-2V ve +2 V) potansiyel aralığında 100 mV/s tarama hızında bütün filmlerin çoklu döngüde (20 döngü) CV grafikleri Şekil 4.18-4.20'de verilmiştir. 20. döngüden sonra az miktarda akım yoğunluğu değişimleriyle kararlı elektrokimyasal tersinirliklerini sürdürdüğünü de göstermiştir.

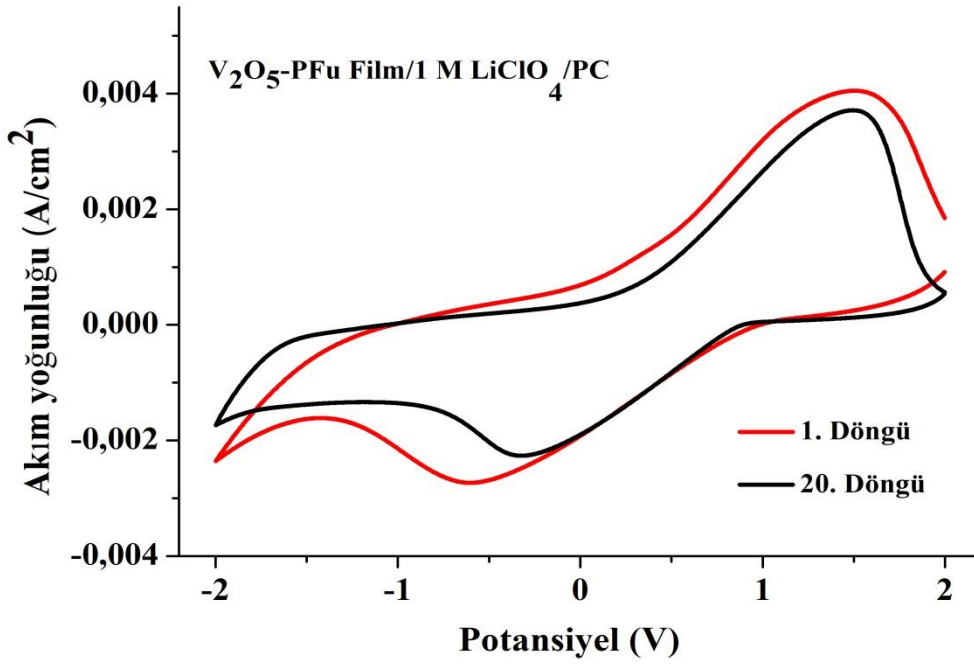
Malzemelerin bir başka önemli gereksinimi, nano-yapılı malzemenin yapısal bütünlüğü ve döngüsel dayanıklılığıdır (Tong vd., 2016). 20. döngüden sonra, V₂O₅ ve V₂O₅-PFu'nun CV'leri aynı zamanda mevcut yoğunluk kaybıyla birlikte güzel bir geri dönüşümlü davranış sergiler. V₂O₅ filmlerinin Li⁺ bazlı elektrolitler, yani 1 M LiClO₄/PC, 1 M LiTRIF/PC'deki elektrokimyasal stabilitesi, Na⁺ bazlı elektrolit, yani 1 M NaClO₄/PC elektrolitindeki giriş/çıkış işlemi ile karşılaştırılmıştır. Yükseltgenme potansiyelindeki akım yoğunluğundaki en yüksek değişiklik, 1 M LiClO₄/PC elektrolitinde V₂O₅ filmi için ~ %40 olarak elde edilmiştir. V₂O₅-PFu filmleri, 1 M NaClO₄/PC elektrolit varlığında

V_2O_5 filmlerinden daha yüksek döngüsel dayanıklılığa sahiptir. Yükseltgenme potansiyelindeki akım yoğunluğu değerindeki minimum değişim, 1 M $LiClO_4/PC$ elektrolitinde V_2O_5 -PFu filmler için yaklaşık %8 kadar düşmüştür. V_2O_5 -PFu film ve elektrolit arasında hemen hemen aynı lityum iyonu giriş/çıkış miktarıyla V_2O_5 -PFu filmin lityum iyonunun daha kararlı olduğunu gstermiştr (Liu vd., 2017).

1 M $LiTRIF/PC$ elektrolit varlığında, V_2O_5 -PFu filmi için yükseltgenme akım yoğunluğunun, muhtemelen aktivasyon sresinden dolayı daha yüksek yük yoğunluğu çıkışıyla uyumlu olabilmesi 20. döngüden sonra arttığını gstermiştr (Fernandes vd., 2017). Muhtemelen aktivasyon sresinden dolayı daha yüksek yük yoğunluğu çıkışı ile de ilgili olabilir. Liu ve diğerleri tarafından $LiClO_4$ ve KOH elektrolit ortamında nikel oksit filminin CV çalışmasında benzer davranış sergilediği gsterilmiştr (Liu vd., 2016).

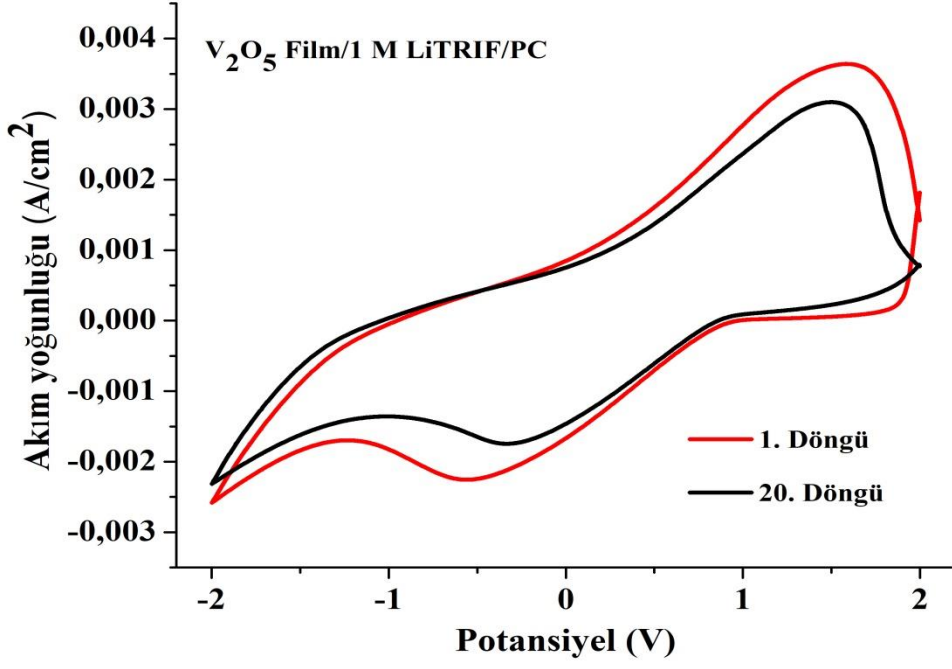


(a)

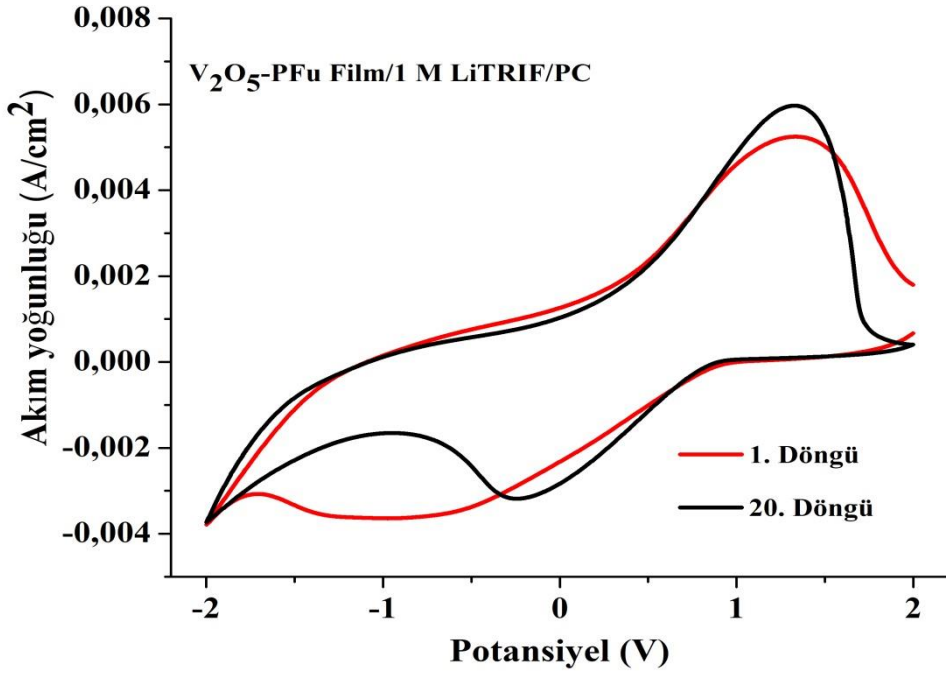


(b)

Şekil 4.18. V₂O₅ filmi için, (a) 1 M LiClO₄/PC, V₂O₅-PFu filmi b) 1 M LiClO₄/PC'de 100 mV/s tarama hızında 1. ve 20. dönüşümlü voltammogramlar.

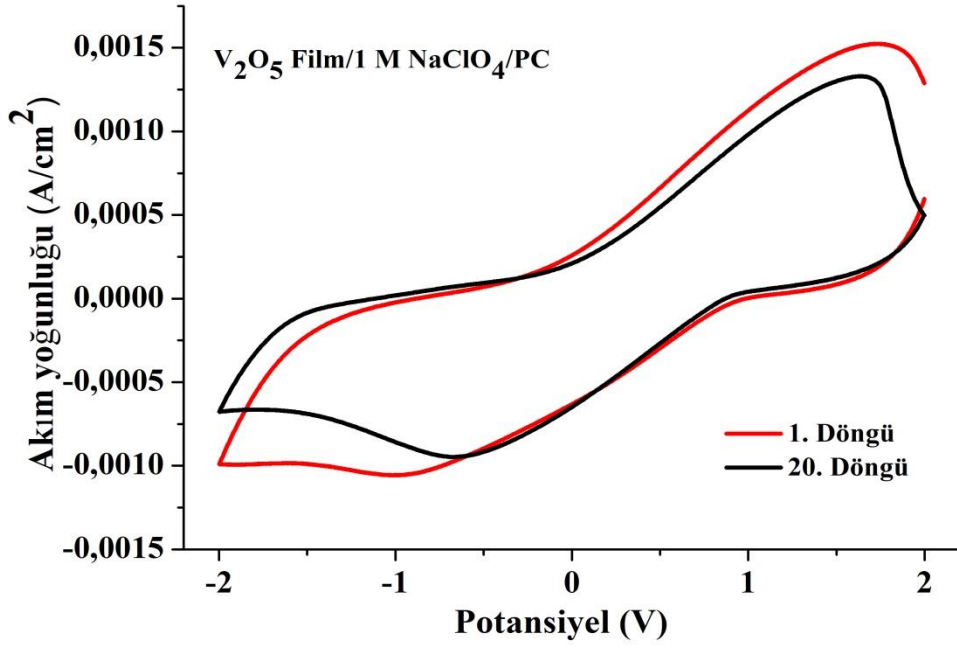


(a)

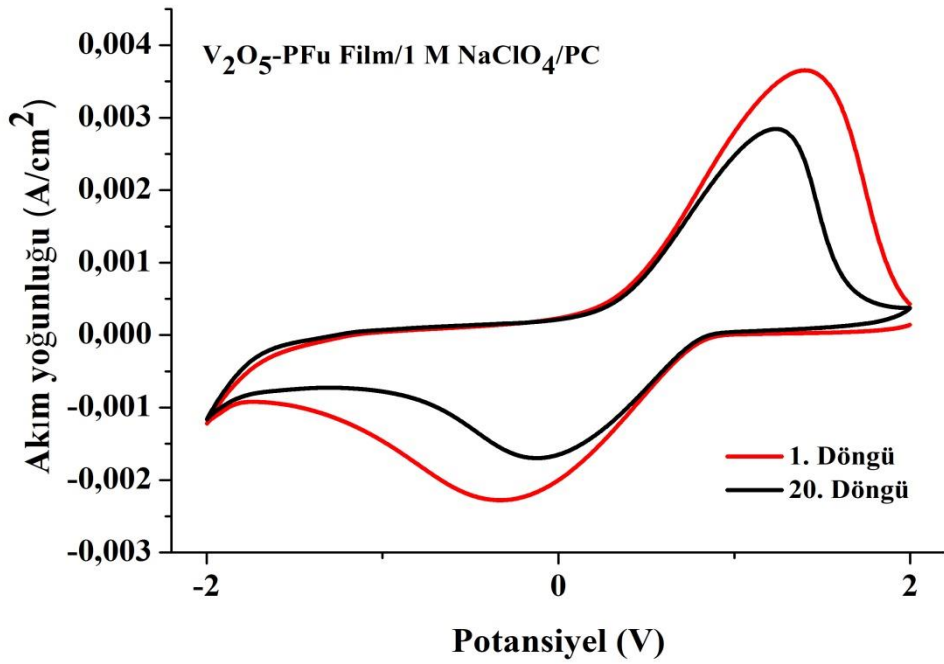


(b)

Şekil 4.19. V_2O_5 filmi için, (a) 1 M LiTRIF/PC, V_2O_5 -PFu filmi b) 1 M LiTRIF/PC'de 100 mV/s tarama hızında 1. ve 20. dönüşümlü voltammogramlar.



(a)



(b)

Şekil 4.20. V₂O₅ filmi için, (a) 1 M NaClO₄/PC, V₂O₅-PFu filmi b) 1 M NaClO₄/PC'de 100 mV/s tarama hızında 1. ve 20. dönüşümlü voltammogramlar.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında RF dönerli plazma polimerizasyon tekniği kullanılarak V_2O_5 -PFu hibriti başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. SEM-EDS, XRD ve FTIR teknikleri kullanılarak elde edilen hibrit tozlarının yüzey morfolojisi, kristal ve yapısal özellikleri detaylı bir şekilde karakterize edilmiştir ve V_2O_5 tozu ile karşılaştırılmıştır. Yüzey morfolojisi incelendiğinde hibridizasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra hibrit nanopartiküllerin birikmesinden kaynaklanan nanopartiküllerin kümeleri ve karnabahar benzeri yapıların oluştuğu gözlenmiştir.

XRD grafikleri incelendiğinde ise V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu hibrid tozunun kristal özelliklerin benzer yapıda olduğu gözlenmiştir. Bu tez kapsamında yapılan bütün karakterizasyon sonuçları polifuranın V_2O_5 nanopartiküller üzerinde homojen ince bir tabaka olarak kaplandığını göstermiştir. Elektrokromik V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu hibrit filmleri elektron demeti ile buharlaştırma yöntemi kullanılarak esnek iletken PET elektrot üzerine başarılı bir şekilde kaplanmıştır. Elektrokimyasal özelliklerini ve elektrokromik performansını incelemek için üç farklı elektrolit (Lityum perklorat ($LiClO_4$), Sodyum perklorat ($NaClO_4$) ve Lityum triflorometansülfonat ($LiTRIF$) kullanılmıştır. Kronoamperometri (CA), dönüşümlü voltametri (CV), optik spektrofotometri teknikleri kullanılarak esnek elektrokromik filmlere farklı elektrolit etkisi incelenmiştir.

V_2O_5 ve V_2O_5 -PFu hibrit filmlerin farklı maksimum akım yoğunluk değerleri karşı, potansiyel tarama hızlarına karşı incelenmiştir. Farklı elektrolit ortamlarında (1 M $LiClO_4/PC$, 1 M $NaClO_4/PC$ ve 1 M $LiTRIF/PC$) tarama hızlarının 25-200 mV/s arasında artması ile, dönüşümlü voltamogramlarda maksimum akım yoğunluğunun arttığı gözlenmiştir. Akım yoğunlukları ile tarama hızı arasında lineer bir ilişki elde edilmiştir. Hibrit filmlerin lineerliğinin V_2O_5 filmine göre daha iyi olduğu görülmüştür.

V_2O_5 -PFu hibrit filmi için V_2O_5 filmine göre elektrokromik performansta iyileşmeler elde edilmiştir. Bunun nedeni, hibrit sistemde polifuranın elektron verici olarak davranırken, V_2O_5 'in ise elektron alıcı olarak davranması olabilir. Sonuç olarak birbirleri ile sinerjik etkileşime girdiği zaman elektron verici-alıcı sistemler oluşabilir. Ayrıca polifuran p-tipi yarı iletken iken V_2O_5 n-tipi yarı iletken davranış sergilemesinden dolayı p-n heterokavşaklar oluşabilir.

V_2O_5 -PFu hibrit filmi, $LiClO_4$ elektrolit ortamında 700 nm dalga boyunda en yüksek optik modülasyona (%32) sahiptir. Giren ve çıkan yük yoğunluğunda hesaplanan en yüksek renk verim değerleri V_2O_5 -PFu filmi için 1M $LiClO_4/PC$ elektrolit ortamında

sırasıyla 31,3 cm²/C ve 35 cm²/C olarak hesaplanmıştır. En hızlı indirgenme yanıtları, yüksek iyonik iletkenlik nedeniyle 1 M NaClO₄/PC elektrolitinde V₂O₅ ve V₂O₅-PFu filmler için sırasıyla 3,96s, 2,24s olarak hesaplanmıştır.

Bu tez kapsamında elde edilen elektrokromik performans sonuçlarının literatürle uyumlu olduğu gösterilmiştir. Umut verici sonuçlar, V₂O₅'e dayanan elektrokromik malzemelerin ve kompozitin esnek elektrokromik uygulamalarda uygulanabilirliği doğrulanmıştır.



KAYNAKLAR

- Abou-Elenien, G. M., El-Maghraby, A. A., El-Abdallah, G. M., 2004. Electrochemical relaxation study of polythiophene as conducting polymer (I). *Synthetic Metals*, 146(2), 109–119.
- Acevedo, D. F., Miras, M. C., Barbero, C. A., 2005. Solid support for high-throughput screening of conducting polymers. *Journal of Combinatorial Chemistry*, 7(4), 513–516.
- Aita, C. R., Liu, Y.L., Kao, M. L., Hansen, S. D., 1986. Optical behavior of sputter-deposited vanadium pentoxide. *Journal of Applied Physics*, 60(2), 749–753.
- Alamer, F. A., 2013, Utilizing Diffusion and Temperature as a Means of Band-Gap Modulation for Conjugated Polymers. Connecticut Universite, Ph.D.Distation, 185 s, USA.
- Argun, A. A., Aubert, P. H., Thompson, B. C., Schwendeman, I., Gaupp, C. L., Hwang, J., Reynolds, J. R. 2004. Multicolored electrochromism in polymers: Structures and devices. *Chemistry of Materials*, 16(23), 4401–4412.
- Argun, A. A., Cirpan, A., Reynolds, J. R., 2003. The first truly all-polymer electrochromic devices. *Advanced Materials*, 15(16), 1338–1341.
- Avendaño, E., Berggren, L., Niklasson, G. A., Granqvist, C. G., Azens, A., 2006. Electrochromic materials and devices: Brief survey and new data on optical absorption in tungsten oxide and nickel oxide films. *Thin Solid Films*, 496(1), 30–36.
- Azens, A., Granqvist, C., 2003. Electrochromic smart windows: Energy efficiency and device aspects. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 7(2), 64–68.
- Bamfield P., Hutchings, G. M., 2010. Chromic phenomena: Technological applications of colour chemistry. 2nd ed., Cambridge. *The Royal Society of Chemistry*, 87, 100-500.
- Bamfield, P., 2002. Chromic phenomena: *Technological applications of colour chemistry (phenomena involving a reversible colour change)*. Springer Verlang, 7 p.
- Bard, A. J., Faulkner, L. R., 2001. Electrochemical methods; fundamentals and applications. *Wiley Interscience Publications*, 55-70.
- Beaujuge, P. M., Amb, C. M., Reynolds, J. R., 2010a. Spectral engineering in π -conjugated polymers with intramolecular donor–acceptor interactions. *Accounts of Chemical Research*, 43(11), 1396–1407.
- Beaujuge, P. M., Reynolds, J. R., 2010b. Color control in π -conjugated organic polymers for use in electrochromic devices. *Chemical Reviews*, 110(1), 268–320.

- Beck, M., Riesemeier, H., Szczerba, W., Schott, M., Posset, U., Thünemann, A. F., Kurth, D. G., 2015. In operando XAFS experiments on flexible electrochromic devices based on Fe(II)-metallo-supramolecular polyelectrolytes and vanadium oxide. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 147, 61–67.
- Berzeilius, J. J., 1815. *Afhandlingar i fysik. kemi och mineralogie. Stockholm*, 4: 263- 294.
- Burkinshaw, S. M., Griffiths, J., Towns, A. D., 1999. Dye and pigment chemistry. *Colour Science Vol. 1: University of Leeds*, pp. 174–183.
- Cai, G. F., Tu, J. P., Zhou, D., Zhang, J. H., Wang, X. L., Gu, C. D., 2014. Dual electrochromic film based on WO₃/polyaniline core/shell nanowire array. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 122, 51–58.
- Chen, H.C., Jan, D.J., Chen, C.H., Huang, K.T., 2013. Bond and electrochromic properties of WO₃ films deposited with horizontal DC, pulsed DC, and RF sputtering, *Electrochim Acta*, 93, 307.
- Chen, W. H., Wang, K. L., Liaw, D. J., Lee, K. R., Lai, J. Y., 2010. N,N',N',N'-Tetraphenyl-1,4-phenylenediamine–fluorene alternating conjugated polymer: synthesis, characterization, and electrochromic application. *Macromolecules*, 43(5), 2236–2243.
- Cheng, X. F., Leng, W. H., Liu, D. P., Xu, Y. M., Zhang, J. Q., Cao, C. N., 2008. Electrochemical preparation and characterization of surface-fluorinated TiO₂ nanoporous film and its enhanced photoelectrochemical and photocatalytic properties. *The Journal of Physical Chemistry*, 112(23), 8725–8734.
- Cho, H., Yun, Y. H., 2011. Characterization of indium tin oxide (ITO) thin films prepared by a sol–gel spin coating process. *Ceram. Int.*, 37, 615.
- Cogan, S. F., Nguyen, N. M., Perrotti, S. J., Rauh, R. D., 1989. Optical properties of electrochromic vanadium pentoxide. *Journal of Applied Physics*, 66(3), 1333–1337.
- Deb, A., Chatterjee, A. K., 1996. Compton profile of cuprous oxide by linear combination of gaussian orbitals. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 8(27), 5139–5148.
- Dönük, Ç., 2012. CoNiCu İnce Film alaşımlarının XRD ve XRF ile İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80s, Kahramanmaraş.
- Dultsev, F. N., Vasilieva, L. L., MAroshina, S. M., Pokrovsky, L. D., 2006. Structural and optical properties of vanadium pentoxide sol–gel films. *Thin Solid Films*, 510, 255-259.
- Eren, E., Karaca, G. Y., Alver, C., Koc, U., Uygun, E., Oksuz, L., Oksuz, A. U., 2017. Plasma modified V₂O₅/PEDOT hybrid based flexible electrochromic devices. *Electroanalysis*, 29(5), 1324–1331.
- Fahmi, A., Pietsch, T., Mendoza, C., Cheval, N., 2009. Functional hybrid materials.

Materials Today, 12(5), 44-50.

- Fan, M. S., Lee, C. P., Vittal, R., Ho, K. C., 2017. A novel ionic liquid with stable radical as the electrolyte for hybrid type electrochromic devices. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 166, 61–68.
- Fernandes, M., Leones, R., Pereira, S., Costa, A. M. S., Mano, J. F., Silva, M. M., Rego, R., 2017. Eco-friendly sol-gel derived sodium-based ionic liquids for electrochromic devices. *Electrochimica Acta*, 232, 484–494.
- Fu, X., Jia, C., Wan, Z., Weng, X., Xie, J., Deng, L., 2014. Hybrid electrochromic film based on polyaniline and TiO₂ nanorods array. *Organic Electronics*, 15(11), 2702–2709.
- Ge, D., Yang, L., Tong, Z., Ding, Y., Xin, W., Zhao, J., Li, Y., 2013. Ion diffusion and optical switching performance of 3D ordered nanostructured polyaniline films for advanced electrochemical/electrochromic devices. *Electrochimica Acta*, 104, 191–197.
- Gerst, D., Cuynet, S., Cirisan, M., Mazouffre, S., 2013. Plasma drift in a low- pressure magnetized radio frequency discharge. *Plasma Sources Science and Technology*, 22(1), 015-024.
- Gesheva, K. A., Ivanova, T. M., Bodurov, G., 2012. Transition metal oxide films: Technology and “smart Windows” electrochromic device performance. *In Progress in Organic Coatings Vol. 74*, pp. 635–639.
- Gillaspie, D. T., Tenent, R. C., Dillon, A. C., 2010. Metal-oxide films for electrochromic applications: Present technology and future directions. *Journal of Materials Chemistry*, 20(43), 9585–9592.
- Gomes, L., Branco, A., Simões, M., Cardoso, S., Laia, C. A. T., Marques, A., Costa, C., 2013. IZO deposition by RF and DC sputtering on paper and application on flexible electrochromic devices. *Displays*, 34(4), 326–333.
- Granqvist, C. G., 1995. *Handbook of Inorganic Electrochromic Materials*. Elsevier, 633 s, Amsterdam.
- Granqvist, C. G., 2012. Oxide electrochromics: An introduction to devices and materials. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 99, 1-13.
- Granqvist, C. G., Green, S., Niklasson, G.A., Mlyuka, N. R., Kræmer, S. Von., Georén, P., 2010. Advances in chromogenic materials and devices. *Thin Solid Films*, 518, 3046-3053.
- Guerin, D. C., Hinshelwood, D. D., Monolache, S., Denes, F. S., Shamamian, V. A., 2002. Plasma polymerization of thin films: Correlations between plasma chemistry and thin film character. *Langmuir*, 18(10), 4118-4123.
- Guinneton, F., Sauques, L., Valmalette, J. C., Cros, F., Gavarrí, J. R., 2004. Optimized

- infrared switching properties in thermochromic vanadium dioxide thin films: Role of deposition process and microstructure. *Thin Solid Films*, 446(2), 287–295.
- Güneş, S., Neugebauer, H., Sarıçiftçi, N. S., 2007. Conjugated polymer-based organic solar cells, *Chemical Reviews*, 107, 1324–1338.
- Hanlon, T. J., Walker, R. E., Coath, J. A., Richardson, M. A., 2002. Comparison between vanadium dioxide coatings on glass produced by sputtering, alkoxide and aqueous sol–gel methods. *Thin Solid Films*, 405, 234–237.
- Hirashima, H., Michihisa, I., Yoshida, T., 1986. Memory switching of V₂O₅-TeO₂ glasses. *Journal of Non-Cryst. Solids*, 86, 327–225.
- Hummel, R. E., Guenther, K. H., 1995. Optical, Handbook of optical properties ; Vol. 1: *Thin films for Coatings*. CRC, 243.
- Jiang, F., Li, W., Zou, R., Liu, Q., Xu, K., An, L., Hu, J., 2014. MoO₃/PANI coaxial heterostructure nanobelts by in situ polymerization for high performance supercapacitors. *Nano Energy*, 7, 72–79.
- Kickelbick, G., 2007. Introduction to hybrid materials. hybrid materials: *Synthesis Characterization and Applications* (pp. 1–48).
- Kiristi, M., Bozduman, F., Uygun Oksuz, A., Oksuz, L., Hala, A., 2014. Solid State Electrochromic Devices of Plasma Modified WO₃ Hybrids. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(41), 15917–15922.
- Kiristi, M., Gulec, A., Bozduman, F., Oksuz, L., Oksuz, A. U., Hala, A., 2014b. Radio frequency-H₂O plasma treatment on indium tin oxide films produced by electron beam and radio frequency magnetron sputtering methods. *Thin Solid Films*, 567, 32–37.
- Lee, E. S., Tavit, A., 2007. Energy and visual comfort performance of electrochromic windows with overhangs. *Building and Environment*, 42(6), 2439–2449.
- Linert, W., Fukuda, Y., Camard, A., 2001. Chromotropism of coordination compounds and its applications in solution. *Coordination Chemistry Reviews*, 218, 113–152.
- Liu, H. M., Saikia, D., Wu, C.-G., Fang, J., Kao, H. M., 2017. Solid polymer electrolytes based on coupling of polyetheramine and organosilane for applications in electrochromic devices. *Solid State Ionics*, 303, 144–153.
- Liu, P., Lee, S. H., Tracy, E., Turner, J. A., Pitts, J. R., Deb, S. K., 2003. Electrochromic and chemochromic performance of mesoporous thinfilm vanadium oxide. *Solid State Ionics*, 165, 223–228.
- Liu, Q., Dong, G., Xiao, Y., Delplancke-Ogletree, M.-P., Reniers, F., Diao, X., 2016. Electrolytes-relevant cyclic durability of nickel oxide thin films as an ion-storage layer in an all-solid-state complementary electrochromic device. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 157, 844–852.

- Lu, S., Hou, L., Gan, F., 1999. Surface analysis and phase transition of gel-derived VO₂ thin films. *Thin Solid Films*, 353, 40–44.
- Meenakshi, M., Gowthami, V., Perumal, P., Sivakumar, R., Sanjeeviraja C., 2015. Influence of dopant concentration on the electrochromic properties of tungsten oxide thin films. *Electrochimica Acta*, 174, 302–314.
- Mohapatra, S. K., 1978. Electrochromism in WO₃. *Journal of Electrochemical Society*, 8, 285–286.
- Monk, P. M. S., Mortimer, R. J., Rosseinsky, D. R., 1995. *Electrochromism: Fundamentals and applications*, VCH, Weinheim, Germany.
- Monk, P. M. S., Mortimer, R. J., Rosseinsky, D. R., 2007. *Electrochromism and electrochromic devices. Electrochromism and Electrochromic Devices. Cambridge University Press*, pp. 1–488.
- Murphy, R. A., Fréchet, M. J., 2007. Organic semiconducting oligomers for use in thin film transistors, *Chemical Reviews*, 107, 1066–1096.
- Nadkarni, G. S., Shirodkar, V. S., 1983. Experiment and theory for switching in Al/V₂O₅/Al devices. *Thin Solid Films*, 105, 115–129.
- Najafi-Ashtiani, H., Bahari, A., Ghasemi, S., 2016. A dual electrochromic film based on nanocomposite of copolymer and WO₃ nanoparticles: Enhanced electrochromic coloration efficiency and switching response. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 774, 14–21.
- Oksuz, A. U., Manolache, S., Oksuz, L., Hershkowitz, N., 2013. Plasma nanocoating of thiophene onto TiO₂ nanoparticles. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 52(19), 6610–6616.
- Ono, D., Bamba, T., Oku, Y., Yonetani, T., Fukusaki, E., 2011. Application of Fourier transform near-infrared spectroscopy to optimization of green tea steaming process conditions. *J Biosci Bioeng*, vol:112 No. 3, 247–251.
- Oshawa, T., Kaneto, K., Yoshino, K., 1984. Electrical and optical properties of electrochemically prepared polyfuran. *Japanese Journal of Applied Physics*, 23, L663–L665.
- Panagopoulou, M., Vernardou, D., Koudoumas, E., Katsarakis, N., Tsoukalas, D., Raptis, Y. S., 2016. Tunable Properties of Mg-Doped V₂O₅ Thin Films for Energy Applications: Li-Ion Batteries and Electrochromics. *The Journal of Physical Chemistry C*, 121(1), 70–79.
- Park, H. K., Smyrl, W. H., Ward, M. D., 1995. V₂O₅ Xerogel films as intercalation hosts for lithium. *Journal of Electrochem. Society*, 142, 1068.
- Ponrouch, A., Monti, D., Boschin, A., Steen, B., Johansson, P., Palacín, M. R., 2015. Non-aqueous electrolytes for sodium-ion batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(1),

- Rajendra Kumar, R. T., Karunagaran, B., Senthil Kumar, V., Jeyachandran, Y. L., Mangalaraj, D., Narayandass, Sa. K., 2003. Structural properties of V_2O_5 thin films prepared by vacuum evaporation. *Material Science in Semiconductor Processing*, 6, 543-546.
- Rooney, R. C., 1992. The commercial history of polarography in the United Kingdom. *The Analyst*, 117(12), 1829–1831.
- Sanchez, B. E., Carrillo, I., Gonzalez-Tejera, M. J., Hernandez-Fuentes, I., 2002. Structure of polyfuran/perchlorate doped films by FTIR spectroscopy: Effect of the synthesis conditions. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 38(2), 291–298.
- Sarıtaş, S., Eşsiz, S., & Sarı, B., 2017. Synthesis and characterization of foldable and magnetic field-sensitive, freestanding poly(vinyl acetate)/poly(vinyl chloride)/polyfuran composite and nanocomposite films. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 433, 120–130.
- Shilabin, A.G., Entezami, A. A., 2000. Electrochemical behaviour of conducting polyfuran derivatives containing pyrrole, thiophene and ethylenic spacers. *European Polymer Journal*, 36(9), 2005-2020.
- Shim, G. H., Han, M. G., Sharp-Norton, J. C., Creager, S. E., Foulger, S. H., 2008. Inkjet-printed electrochromic devices utilizing polyaniline-silica and poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-silica colloidal composite particles. *Journal of Materials Chemistry*, 18, 594-601.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., 1996. Fundamentals of analytical chemistry, 7th Edition, *Saunders College Publishing*, Orlando, Florida.
- Skotheim, A. T., Reynolds, R. J., 2007. *Handbook of conducting polymers*, Boca Raton, FL: CRC Press.
- Soganci, T., Gumusay, O., Soyleyici, H. C., Ak, M., 2018. Synthesis of highly branched conducting polymer architecture for electrochromic applications. *Polymer*, 134, 187–195.
- Suresh, R., Giribabu, K., Manigandan, R., Kumar, S. P., Munusamy, S., Muthamizh, S., Narayanan, V., 2014. Characterization and dopamine sensing property of V_2O_5 @polyaniline nanohybrid. *Synthetic Metals*, 196, 151–157.
- Şen, S., Bardakçı, B., Yavuz, A. G., Gök, A. U., 2008. Polyfuran/zeolite LTA composites and adsorption properties. *European Polymer Journal*, 44(8), 2708–2717.
- Thakur, V. K., Ding, G., Ma, J., Lee, P. S., Lu, X., 2012. Hybrid materials and polymer electrolytes for electrochromic device applications. *Advanced Materials*, 24(30), 4071-4096.
- Tong, Z., Zhang, X., Qu, H., Zhao, J., Li, Y., Lv, H., Tian, Y., 2015. Annealing synthesis

- of coralline V₂O₅ nanorod architecture for multicolor energy-efficient electrochromic device. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 146, 135–143.
- Tong, Z., Li, N., Lv, H., Tian, Y., Qu, H., Zhang, X., Li, Y., 2016. Annealing synthesis of coralline V₂O₅ nanorod architecture for multicolor energy-efficient electrochromic device. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 146, 135–143.
- Tritschler, U., Beck, F., Schlaad, H., Cölfen, H., 2015. Electrochromic properties of self-organized multifunctional V₂O₅-polymer hybrid films. *Journal of Materials Chemistry C*, 3(5), 950–954.
- Türkaskan, B. E., Dikmen, S., Öksüz, L., Öksüz, A. U., 2015. Plasma nanocoating of thiophene onto MoS₂ nanotubes. *Applied Surface Science*, 357, 1558–1564.
- Uchaker, E., Zheng, Y. Z., Li, S., Candelaria, S. L., Hu, S., Cao, G. Z., 2014. Better than crystalline: amorphous vanadium oxide for sodium-ion batteries. *J. Mater. Chem. A*, 2(43), 18208–18214.
- Uygun, A., Oksuz, L., Yavuz, A. G., Guleç, A., Sen, S., 2011. Characteristics of nanocomposite films deposited by atmospheric pressure uniform RF glow plasma. *Current Applied Physics*, 11(2), 250–254.
- Waseda, Y., Matsubara, E., Shinoda, K., 2011. *X-ray diffraction crystallography: introduction, examples and solved problems*. Springer Science & Business Media.
- Weng, K. W., Han, S., Chen, Y. C., Chuang, H. C., 2008. Effects of MPII-implanted titanium on the electrochromic properties of tungsten trioxide. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 266(7), 1069–1073.
- West, K., Zachau-Christiansen, B., Jacobsen, T., Skaarup, S., 1995. Lithium insertion into vanadium pentoxide bronzes. *Solid State Ionics*, 76(1–2), 15–21.
- Xiong, S., Li, Z., Gong, M., Wang, X., Fu, J., Shi, Y., Chu, J., 2014. Covalently bonded polyaniline and para-phenylenediamine functionalized graphene oxide: how the conductive two-dimensional nanostructure influences the electrochromic behaviors of polyaniline. *Electrochimica Acta*, 138, 101–108.
- Yavuz, A., 2009. Synthesis and characterization of electrochemically polymerized metal-free, nickel and zinc containing phthalocyanine derivatives. Middle East Technical University. The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ph.D.Dissertation, 93, Ankara.
- Yong, W., Zhang, H. L., Cao, H. T., Tian, T., Gao, J. H., Liang, L. Y., Zhuge, F., 2016. Effect of post-annealing on structural and electrochromic properties of Mo-doped V₂O₅ thin films. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 77(3), 604–609.
- Zhen, S., Xu, J., Lu, B., Zhang, S., Zhao, L., Li, J., 2014. Tuning the optoelectronic properties of polyfuran by design of furan-EDOT monomers and free-standing films with enhanced redox stability and electrochromic performances. *Electrochimica Acta*,

146, 666–678.

Zhou, D., Che, B., Lu, X., 2017. Rapid one-pot electrodeposition of polyaniline/manganese dioxide hybrids: a facile approach to stable high-performance anodic electrochromic materials. *Journal of Materials Chemistry C*, 5(7), 1758–1766.

Zhou, P., Wan, Z., Liu, Y., Jia, C., Weng, X., Xie, J., Deng, L., 2016. Synthesis and electrochromic properties of a novel conducting polymer film based on dithiafulvenyl-triphenylamine-di(N-carbazole). *Electrochimica Acta*, 190, 1015–1024.

Zhou, W., Mo, D., Ma, X., Xu, J., 2015. Facile electrochemical polymerization of 2-(thiophen-2-yl)furan and the enhanced capacitance properties of its polymer in acetonitrile electrolyte containing boron trifluoride diethyl etherate. *Electrochimica Acta*, 155, 29–37.

Žmija, J., Matachowski, M. J., 2011. New organic electrochromic materials and their applications. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 48(1), 14–23.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Abdulkerim YILDIZ

Doğum Yeri ve Yılı : İdil 1993

Fotoğraf

Eğitim Durumu

	<u>Yıl</u>
Lise : Eşref Bitlis Lisesi	(2007-2011)
Lisans : Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü	(2011-2015)

Çalıştığı Kurum / Kurumlar

	<u>Yıl</u>
1- Burdur Birey Özel Öğretim Kursu	(2017-)

Ulusal ve Uluslararası Kongrelerde Yayımlanan Bildiriler

Abdulkerim YILDIZ, Songül ŞEN GÜRİSOY, Comparison of the properties of chemically and plasma polymerized Polypyrrole/SiO₂ (PPy/SiO₂) nanocomposites, The International Joint Science Congress of Materials and Polymers, 25-28 Ağustos 2017, Ohrid

Abdulkerim YILDIZ, Esin EREN, Gamze Çelik ÇOĞAL, Songül ŞEN GÜRİSOY, Ayşegül UYGUN ÖKSÜZ, Determination of optical and electrochromic properties of plasma prepared V₂O₅/Polyfuran hybrids in presence of NaClO₄ electrolyte, The International Joint Science Congress of Materials and Polymers, 25-28 Ağustos 2017, Ohrid

Abdulkerim YILDIZ, Songül ŞEN GÜRİSOY, Oğuz GÜRİSOY, Gamze Çelik ÇOĞAL Lactose biosensor based on electrochemically polymerized 3,4-ethylenedioxythiophene/pyrrole (EDOT/PPy) copolymer, The 8th International Symposium Euroalimut Mutatis Mutandis on Food, 7-8 Eylül 2017, Galati

Abdulkerim YILDIZ, Songül ŞEN GÜRSOY, Effect of Monomer Ratio on the Properties of Polyaniline/Poly (3,4, ethylene dioxythiophene) (PANI/PEDOT) Copolymer, European Conference on Science, Art & Culture, 19-22 Nisan, Antalya

Ulusal Kongrelerde Yayınlanan Bildiriler

Abdulkerim YILDIZ, Barış BALIKÇI, Songül ŞEN GÜRSOY, Kimyasal oksidatif polimerizasyon yöntemi ile hazırlanmış Polipirol/SiO₂ (PPy/SiO₂) kompozitlerinin spektroskopik olarak incelenmesi, VI. Ulusal Anorganik Kimya Kongresi, 18-21 Mayıs 2017, Burdur

