



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ



VİYOLOJEN İÇEREN ELEKTROKROMİK CİHAZLARDA ALAN

BÜYÜTMESİNE BAĞLI PERFORMANS OPTİMİZASYONU

Şölen AYAŞLIGİL

Enerji Kaynakları ve Yönetimi Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

Not: Tez kapağı yüksek lisans tezlerinde “Turkuaz”, doktora tezlerinde “Mavi” dir. (Tez basımı aşamasında bu sayfa basılmayacaktır. Tez dış kapak örneğidir)

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**VİYOLOJEN İÇEREN ELEKTROKROMİK
CİHAZLARDA ALAN BÜYÜTMESİNE BAĞLI
PERFORMANS OPTİMİZASYONU**

Şölen AYAŞLIGİL

Enerji Kaynakları ve Yönetimi Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: 26/01/2021

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Sermet KOYUNCU

ÇANAKKALE

Şölen AYAŞLIGİL tarafından Prof. Dr. Sermet KOYUNCU yönetiminde hazırlanan ve **26/01/2021** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Viyolojen İçeren Elektrokromik Cihazlarda Alan Büyütmesine Bağlı Performans Optimizasyonu**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Enerji Kaynakları ve Yönetimi Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Prof. Dr. Sermet KOYUNCU

Başkan

Doç. Dr. Mustafa CAN

Üye

Doç. Dr. Necati KAYA

Üye

Doç. Dr. Pelin KANTEN

Müdür

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Sıra No:

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2020-3265

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Şölen AYAŞLIGİL

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca değerli bilgileriyle bana desteğini sunan değerli danışman hocam Prof. Dr. Sermet KOYUNCU'ya,

Tanımaktan dolayı onur duyduğum, aklımdaki soruları yönelttiğimde bir an olsun benden yardımlarını esirgemeyen sevgili hocam Doç. Dr. Betül CANIMKURBEY'e,

Tez sürecimi paylaştığım ya da bu süreçte arkadaşlıklarını kazandığım Burcu TAN, Ceylan DOYRANLI, Cansu KÖK ve Sinem ALTINIŞIK'a,

Yüksek Lisans tez projemi maddi yönden destekleyen Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne;

Bana her zaman bir telefon uzaklıkta olup içimi ısıtan, sadece iyi günde değil kötü günde de benimle birlikte olan ve tanımaktan dolayı gurur duyduğum canım dostlarım Aylin KÜPELİ, Duygu KURTÇU ve Özge İNCEBACAK AŞÇIPINAR'a,

Hayatımın her aşamasında bana güç veren, büyük bir aileye sahip olduğumu tekrar tekrar hissettiren değerli teyzem Melda BORA ve eşi Bülent BORA'ya, canım teyzem Şenay TÜRKER'e, bana kitap okuma alışkanlığını kazandırarak çok anlamlı bir hediye veren değerli halam Birgül AYAŞLIGİL'e, canımdan çok sevdiğim kuzenlerim Uraz BORA'ya, Melisa PİŞKİN ve Seren DİLER'e, kıymetli anneannem ve dedem Şadiye-Metin TÜRKER'e, kıymetli babaannem Meliha AYAŞLIGİL ve emeklemekten koşmama kadar her anımda yanımda olan, yanakları pamuk dedem Cevdet AYAŞLIGİL'e, aile dostlarından öte ailelerim olarak bildiğim, henüz dünyaya gelmemişken böyle güzel bir isme sahip olmamı sağlayan çok kıymetli Feriha-Necmi SÜZEN'e, en güzel anılarımı paylaştığım/paylaşacak olduğum ve bundan onur duyduğum çok değerlilerimden olan Fatma-Ahmet KOMANLI'ya, sadece iyi günde değil kötü günde de yanımızda olup desteklerini esirgemeyen aile dostlarımız Aysen-Abdullah ÇAKIR ve kızları Ülkü-Büşra ÇAKIR'a,

Son olarak da hayatımdaki tüm güzellikleri bana getiren, beni her zaman iyiye ve günele yönlendirdiklerinden emin olduğum, her bir başarımdan sorumlu oldukları için hayattaki sahip olduğum/olacağım tüm başarılarımı onlara ithaf etmek istediğim canımdan öte annem Şirin AYAŞLIGİL ve canımdan öte babam Muhittin AYAŞLIGİL'e

Sonsuz teşekkürlerimi ve en içten şükranlarımı sunmayı borç bilirim.

Şölen AYAŞLIGİL
Çanakkale, Ocak 2021

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Absorpsiyon katsayısı
ACN	Asetonitril
AFM	Atomik kuvvet mikroskopu
Ag ⁺	Gümüş
Br	Brom
c	Işık hızı
C	Kapasitans
CE	Renklenme etkinliği
CHCl ₃	Kloroform
C ₃ H ₆ O	Aseton
C ₄ H ₆ O ₃	Propilen karbonat
CH ₃ OH	Metil alkol
cm	Santimetre
CV	Döngüsel voltametri
DHV ²⁺	Diheptil viyolojen
DMF	Dimetil formamid
dmFc	Dimetil ferrosen
e ⁻	Elektron
ECD	Elektrokromik cihaz
E _g	Bant boşluğu
[EMI][TFSI]	1-etil-3-metilimidazolium bis(triflorometilsülfonil)imid
eV	Elektron Volt
FT-IR	Fourier Dönüşümlü Infrared Spektroskopisi
g	Gram
H	Planck sabiti
HOMO	En yüksek dolu orbital
IPA	İzopropil alkol
ITO	İndiyum kalay oksit
LiClO ₄	Lityum perklorat
Li-TFSI	Lityum bis(triflorometansülfonil)imid
LUMO	En düşük boş orbital

m ²	Metrekare
mA	Miliamper
MHV ⁺	Monoheptil viyolojen
ml	Mililitre
MO ₃	Molibden oksit
NaBF ₄	Sodyum tetrafloroborat
NaClO ₄	Sodyum perklorat(monohidrat)
NaPF ₆	Sodyum hekzaflorofosfat
nm	Nanometre
OLED	Organik ışık yayan diyot
PC	Propilen karbonat
PEGMA	Polietilen glikol metakrilat
PET	Polietilen tereftalat
PMMA	Polimetilmetakrilat
Pt	Platin
rms	Karekök ortalama değeri
rpm	Dakikadaki devir sayısı
s	Saniye
S	Siemens
SMS	Polistiren-blok-polimetilmetakrilat-blok-polistiren
SnO ₂	Kalay dioksit
T	Sıcaklık
T _b	Renksiz durumdaki geçirgenlik
T _c	Renkli durumdaki geçirgenlik
T _a	Tantal
TBAPF ₆	Tetrabütül amonyum hekzaflorofosfat
UV	Mor ötesi
V	Volt
WO ₃	Tungsten trioksit
λ	Dalgaboyu
μW	Mikrowatt
%T	Optik geçirgenlik

ÖZET

VİYOLOJEN İÇEREN ELEKTROKROMİK CİHAZLARDA ALAN BÜYÜTMESİNE BAĞLI PERFORMANS OPTİMİZASYONU

Şölen AYAŞLIGİL

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Kaynakları ve Yönetimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Sermet KOYUNCU

26/01/2021, 45

Bu tez çalışmasında katodik tabakada viyolojen türevleri kullanılarak nötral basamakta şeffaf/renksiz elektrokromik cihazların hazırlanmasının yanında ve elde edilen bu elektrokromik cihazların spektroeletrokimyasal karakterizasyonu gerçekleştirilerek elektrokromik davranışları belirlenmiştir. Bu amaçla öncelikle, viyolojen yapısındaki malzemelerin elektrokromik filmleri değişik kaplama yöntemleriyle (döndürerek kaplama-spreyle kaplama) kaplanarak hazırlanmış ve farklı kalınlıklardaki bu filmlerin yüzey morfolojileri Atomik Kuvvet Mikroskopu (AFM) ile incelenmiştir. Sonrasında ITO-Cam/Viyolojen/Jel Elektrolit/Anodik Polimer/ITO-Cam mimarisinde hazırlanmış bu cihazlarda alan büyütme çalışmalarının (2,5x2,5; 5x4; 10x9) elektrokromik performans üzerine etkilerinin araştırılması gerçekleştirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Viyolojen Türevleri, Elektrokromik Malzemeler, Alan Büyütme, Akıllı Cam Uygulamaları, Sprey Kaplama

ABSTRACT

PERFORMANCE OPTIMIZATION DUE TO FIELD AMPLIFICATION IN ELECTROCHROMIC DEVICES CONTAINING VIOLOGEN

Şölen AYAŞLIGİL

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Energy Resources and Management

Advisor: Prof. Dr. Sermet KOYUNCU

26/01/2021, 45

In this thesis, preparation of transparent/colorless electrochromic devices at the neutral state by using viologen derivatives in cathodic layer and spectrochemical characterization of these electrochromic devices was determined. For this purpose, electrochromic films of viologen materials were prepared by covering them with different coating methods (spin coating-spray coating) and surface morphologies of these films at different thickness were examined with atomic force microscope (AFM). Then, it was aimed to investigate the effects of field amplification studies (2.5×2.5 ; 5×4 ; 10×9) on electrochromic performance in these devices which were prepared in ITO-Glass/Viologen/Gel Electrolyte/Anodic Polymer/ITO-Glass architecture.

Keywords: Viologen Derivatives, Electrochromic Materials, Field Amplification, Smart Windows Applications, Spray Coating

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ixi
TABLolar DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1. Elektrokromizm.....	1
1.2. Elektrokromik Malzemeler	1
1.3. Elektrokromik Malzemelerin Yapısı.....	2
1.3.1. Katodik Tabaka(İyon Depolayıcı Tabaka).....	2
1.3.2. Elektrolit(İyon İleten Tabaka).....	3
1.3.3. Elektrokromik Tabaka.....	3
1.4. Elektrokromik Malzemelerin Tarihi	3
1.4.1. Viyolojenler.....	4
1.5. Akıllı Camlar.....	5
BÖLÜM 2	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	8
2.1. Viyolojenlerle İlgili Literatür Taraması	8
2.2. ECD'lerde Alan Büyütmeye İlgili Literatür Taraması	11
BÖLÜM 3	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler	16
3.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Ekipmanlar	16
3.2.1. Fourier Dönüşümlü Infrared Spektroskopisi (FT-IR).....	16
3.2.2. Nükleer Manyetik Rezonans Spektroskopisi (NMR)	17
3.2.3. Sprey Kaplama Cihazı.....	17
3.2.4. Mor Ötesi- Görünür Bölge Absorpsiyon Spektrofotometresi (UV-Vis).....	17
3.2.5. Atomik Kuvvet Mikroskopi (AFM).....	18
3.2.6. Vakum Etüvü	19

3.2.7. Elektrokimyasal Ölçüm Ünitesi (CV).....	20
3.2.8. Isıtıcıli Manyetik Karıştırıcı.....	20
3.3. ITO/Cam Temizliği.....	20
3.4. Anodik Tabakanın Hazırlanması.....	21
3.5. Katodik Tabakanın Hazırlanması.....	21
3.5.1. Allil Viyolojen-Bromür(ALV-Br) Sentezi.....	21
3.5.2. Allil Viyolojen Tuzlarının Hazırlanması	22
3.6. Jel Elektrolitin Hazırlanması.....	24
3.7. Elektrokromik Cihazın Hazırlanması.....	24
3.8. Allil Viyolojen Tuzlarının Çapraz Bağlanma Reaksiyonu ve İnce Filmler ile Cihazların Hazırlanması.....	25
3.9. Spektroelektrokimyasal Analizler.....	26
BÖLÜM 4	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	27
4.1. ALV Tuzlarının Yapısal Karakterizasyonu	27
4.2. Sprey Cihazındaki Püskürtme Hızının ve Döngü Sayısının Etkisi	29
4.3. Sprey Cihazındaki Alt Taban Sıcaklığının Etkisi	30
4.4. Tavlama Sıcaklığının Etkisi	30
4.5. Atomik Kuvvet Mikroskopu(AFM) ile Yüzey Morfolojisi Analizi	30
4.6. Allil Viyolojen Tuzlarının Optiksel Karakterizasyonu	32
4.7. Allil Viyolojen Tuzlarının Elektrokimyasal Karakterizasyonu	33
4.8. Hazırlanan Elektrokromik Cihazların Spektroelektrokimyasal Ölçümleri	34
4.9. Hazırlanan Elektrokromik Cihazların Performans Analizleri.....	36
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	41
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ.....	I

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Elektrokromik cihazın katmanları	2
Şekil 2. Viyolojenin tersinir yükseltgenme-indirgenme reaksiyonu	4
Şekil 3. Dikiz aynasında elektrokromik cihazların kullanımı.....	5
Şekil 4. Elektrokromik pencere dizaynı.....	6
Şekil 5. Boeing firmasının “Dreamliner” model uçaklarda kullandığı elektrokromik camların bir örneği	7
Şekil 6. Akıllı cam sistemi örneği.....	7
Şekil 7. Akıllı camın binalardaki kullanımına bir örnek	7
Şekil 8. Hazırlanan elektrokromik cihazın şeffaf ve renkli hâlleri	9
Şekil 9. 20/80, 50/50 ve 80/20 (MHV ⁺ /DHV ²⁺) molar oranlarıyla elde edilmiş ECD'lere 0.0 V, -0.8 V ve -1.3 V uygulanmasıyla elde edilen görüntüler	10
Şekil 10. a) 80/20 (MHV ⁺ /DHV ²⁺) molar oranlarıyla elde edilmiş ECD'nin absorpsiyonu b) Sırasıyla 0.0 V, -0.8 V ve -1.3 V uygulanmasıyla elde edilen görüntüler	10
Şekil 11. Ortam sıcaklıklarındaki ardışık döngülerde elektrokromik cihazın optik performansı.....	11
Şekil 12. Yüksek sıcaklıklardaki(85°C) ardışık döngülerde modifiye edilmiş karşıt elektrotlu 2. nesil elektrokromik cihazın performans.....	12
Şekil 13. ECD için uygulanan potansiyele karşı akım ve optik cevap	12
Şekil 14. Elektrokromik cihazın yapısı.....	13
Şekil 15. Elektrokromik cihazın geçirgenliği ve iletkenlik	14
Şekil 16. 30x40 cm boyutlarında hazırlanan esnek elektrokromik cihaz ve geçirgenlik	14
Şekil 17. a) -0.7 ve 1 V'luk potansiyeller altında geniş alan akıllı camın şeffaf ve renkli durumlarındaki geçirgenliği b) 630 nm'deki geniş alan akıllı camın 30 s aralıklarla uygulanan potansiyel farkından elde edilmiş optik cevap c) Geniş alan akıllı cam şeffaf durum d)Geniş alan akıllı cam renkli durum	15
Şekil 18. Agilent / Cary 630 FT-IR cihazı.....	16
Şekil 19. Sprey kaplama cihazı.....	17
Şekil 20. Specord S 600 UV-Vis cihazı.....	18
Şekil 21. Nanosurf Naio marka atomik kuvvet mikroskopu (AFM)	19
Şekil 22. Nüve EV 018 model vakum etüvü	19
Şekil 23. Elektrokimyasal ölçüm hücresi (CH Instrument 617E)	20
Şekil 24. Karbazol bazlı KP-2 polimerinin sentezi.....	21
Şekil 25. Allil viyolojen-Br tuzunun yapısı	21
Şekil 26. Allil Viyolojen-Br sentez düzeneği	22
Şekil 27. ALV tuzlarının 55°C'de farklı döngülerde spreycihazında cam yüzeyine kaplanmış hâlleri	23
Şekil 28. ALV-CIO ₄ tuzu eldesinde tuzun süzülme işlemi.....	23
Şekil 29. Manyetik karıştırıcıda 150°C'de hazırlanan jel elektrolit	24
Şekil 30. Hazırlanan elektrokromik cihazın katmanları	25
Şekil 31. Çapraz bağlanmış ALV-TFSI ve KP-2 polimeriyle hazırlanmış cihazlar.....	25
Şekil 32. Çapraz bağlanmış ALV-TFSI tuzuyla hazırlanmış ince filmler.....	26
Şekil 33. Çeşitli döngülerde farklı oranda çapraz bağlayıcı eklenerek hazırlanmış ALV- TFSI tuzu ve KP-2 ile hazırlanan ECD'ler	26
Şekil 34. ALV tuzlarının FT-IR analizleri.....	27
Şekil 35. ALV-CIO ₄ tuzu ¹ H-NMR spektrumu	28
Şekil 36. ALV-PF ₆ tuzu ¹ H-NMR spektrumu	28
Şekil 37. ALV-TFSI tuzu ¹ H-NMR spektrumu	28

Şekil 38. ALV-Br tuzu ¹ H-NMR spektrum	29
Şekil 39. Sprey cihazında 4 döngü ile kaplanmış ALV-PF ₆ tuzu	29
Şekil 40. Sprey cihazında 4 döngü ile kaplanmış çeşitli ALV tuzlarının 10x10 µm'lik alandaki AFM görüntüleri	31
Şekil 41. 12 döngü ile kaplanmış çapraz bağlı ALV-TFSI tuzunun 3x3 µm'lik alandaki topograf ve 3D AFM görüntüleri	32
Şekil 42. 12 döngü ile kaplanmış çapraz bağlı ALV-TFSI tuzunun 10x10 µm'lik alandaki topograf ve 3D AFM görüntüleri	32
Şekil 43. ALV tuzlarının UV-Vis absorpsiyon ölçümleri.....	33
Şekil 44. Allil Viyolojen tuzlarının elektrokimyasal karakterizasyonları	34
Şekil 45. 12 döngü çapraz bağlanmamış ALV-TFSI tuzunun absorpsiyonu.....	35
Şekil 46. 12 döngü çapraz bağlanmış(38.5 µl tiyollü).....	35
Şekil 47. 12 döngü çapraz bağlanmış(77 µl tiyollü) ALV-TFSI tuzunun absorpsiyonu	36
Şekil 48. 12 döngü çapraz bağlanmamış ALV-TFSI tuzu ile hazırlanan ECD-1'in transmittans ölçümü	37
Şekil 49. 12 döngü 38.5 µl tiyolle çapraz bağlanmış ALV-TFSI tuzu ile hazırlanan ECD-2'nin transmittans ölçümü	38
Şekil 50. 12 döngü 77 µl tiyolle çapraz bağlanmış ALV-TFSI tuzu ile hazırlanan ECD-3'ün transmittans ölçümü	38
Şekil 51. 12 çevrim 77 µl tiyolle çapraz bağlanmış ALV-TFSI tuzu ile hazırlanan ECD-3'ün 3000 s'lik transmittans ölçümü	39
Şekil 52. 12 döngü 77 µl tiyolle çapraz bağlanmış ALV-TFSI tuzu ve 4 döngü KP-2 ile hazırlanmış elektrokromik cihazın sırasıyla 0.0 V, 1.5 V, 2.0 V altındaki davranışı	40

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Çeşitli kromik olaylar ve olayın sebepleri.....	1
Tablo 2. Elektrokromik cam için performans kriterleri.....	12
Tablo 3. 4 döngü ile kaplanmış ALV tuzlarının ortalama pürüzlülük(Ra) ve ortalama pürüzlülük karekökü(Rq) değerleri.....	30
Tablo 4. ALV tuzlarının E_g , λ_{onset} , HOMO ve LUMO değerleri	33
Tablo 5. ECD-1'in ECD-2'nin ve ECD-3'ün 610 nm dalgaboyundaki kinetik özellikleri	39

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzdeki enerji talebi gittikçe artmaktadır. Dolayısı ile var olan enerji kaynaklarının en verimli şekilde değerlendirilebilmesi ve alternatif, temiz, ucuz enerji kaynaklarının hayata geçirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Birtakım dış koşullar altında moleküler yapının değişmesine bağlı olarak renkte meydana gelen ve bu koşullar kalktığında yine ilk durumlarına dönen tersinir değişimler kromizm olarak adlandırılır. Fiziksel etkiler altında optik özellikleri değişen malzemeler ise kromik malzemeler olarak adlandırılır. Tablo 1’de çeşitli kromik olaylar ile bu etkinin sebepleri görülmektedir (Byker, 2006). Kromik malzemeler, kendileri enerji üretmezler fakat enerjinin verimli kullanılabilmesinde büyük rol oynarlar. Bu sebeple bu malzemelerin bilim dünyasında önemi oldukça büyüktür.

Tablo 1
Çeşitli kromik olaylar ve olayların sebepleri (Byker, 2006)

Kromojenik Olay	Kromojenik Etkinin Sebebi
Elektrokromik	Elektrik alan etkisi
Fotokromik	Işık soğurumu
Termokromik	Sıcaklık değişimi
Solvatokromik	Kimyasal çözücü
Piezokromik	Basınç etkisi
Kemikromik	Kimyasal reaksiyon
Gaskromik	Gazın kimyasal reaksiyonu

1.1. Elektrokromizm

Başlıca kromik malzemelerden olan elektrokromizm, malzeme yüzeyine düşük bir elektrik akımı uygulandığında sisteme eklenen ya da çıkarılan iyonlarla malzemede ortaya çıkan tersinir optiksel değişimler olarak adlandırılır. Bu terim ilk kez J. R. Platt tarafından 1961’de teorik olarak öne sürülmüştür. Platt, kullandığı bazı organik çözücüler ve maddelerde bir dış potansiyel altında oluşan optik soğurmalarındaki değişimleri ifade etmede bu terimi kullanmıştır (Platt,1961).

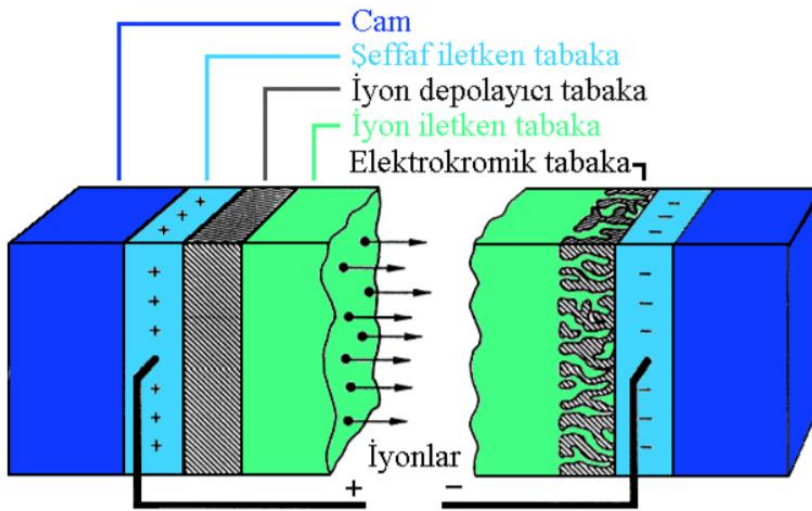
1.2. Elektrokromik Malzemeler

Elektrokromik malzemeleri özel yapan şey, malzeme üzerine uygulanan gerilimi kontrol ederek malzemenin optik değişimlerini 1 saniye gibi kısa bir sürede renk değişimi ile sağlayıp tekrar 1 saniye gibi bir sürede eski hâline geri döndürmesi gibi çok kısa sürelerde

gerçekleştirebilmeleridir. Elektrokromik filmler binalardaki pencere camlarında, arabalarda bulunan aynalardaki ışık şiddetinin miktarını ayarlayarak güvenli bir sürüş elde etmede, aktif optik filtre olarak güneş gözlüklerinde, yol işaret levhalarında ya da gösterge panolarında kullanılabilirler (Bange, 1999; Millet, 1998).

1.3. Elektrokromik Malzemelerin Yapısı

Granqvist'e göre basit bir elektrokromik cihaz Şekil 1'de de belirtildiği gibidir.



Şekil 1. Elektrokromik cihazın katmanları (Pehlivan, 2007)

Elektrokromik cihaz (ECD), elektrik uygulandığında iyon dağılımı sağlayacak tabakalar arasında iyon geçiren bir tabakaya sahip olmalıdır.

Elektrokromik cihazlarda kabaca 5 tabakadan bahsedebiliriz:

- 2 adet iletken tabaka (ITO/Cam)
- Katodik tabaka (iyon depolayıcı tabaka)
- Anodik tabaka
- Elektrolit (iyon iletici tabaka)

1.3.1. Katodik Tabaka (İyon Depolayıcı Tabaka)

Elektrokromik tabakaya gidecek olan iyonlar uygulanan bir potansiyel yardımıyla bu tabakadan gönderilir. Bu tabakada renklenme olmaktadır. Uygulanan gerilimin tersi yönünde bir gerilim uygulandığında ise katodik tabakaya iyonlar geri gelirler. Bu tabaka bir elektrokromik malzeme de olabilir.

1.3.2. Elektrolit(İyon İleten Tabaka)

Uygulanan potansiyel sonucunda iletilecek olan iyonların düzgün bir şekilde iletilmesi elektrolit ile olmaktadır. Elektrolit olarak PMMA (polimetilmetakrilat), gliserin gibi inorganik elektrolitler kullanılabilir. Önemli olan iyonların bu tabakada rahatça hareket edebilmeleridir. Böylece iyonların hızı artmış ve renklenme hızı da buna bağlı olarak artmış olur.

1.3.3. Elektrokromik Tabaka

Kaplamada kullanılan malzemeye göre anodik ya da katodik tabaka olabilir ve renklenme reaksiyonlarının gerçekleştiği tabakadır.

1.4. Elektrokromik Malzemelerin Tarihi

Diğer tüm yarı iletken teknolojilerinde olduğu gibi elektrokromik malzeme teknolojisinde de ilk çalışmalar inorganik yarıiletkenler kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Granqvist, 2006). MoO₃(molibden oksit) ve WO₃(tungsten oksit) metal oksitlerle yapılan ilk çalışmalardandır. Bu maddelerinin fotokromik etkisi 1967 yılında keşfedilirken elektrokromik etkilerinin keşfi ise 1969 yılında gerçekleşmiştir. 1972’de yapılan ilk elektrokromik cihaz tersinmez davranış göstermiştir yani renkli forma geçtikten sonra rengi tekrar bir değişime uğramamıştır. Bu durum kullanım açısından bir anlam ifade etmemektedir. İlk tersinir elektrokromik cihaz ise 1973 yılında gerçekleşmiştir.

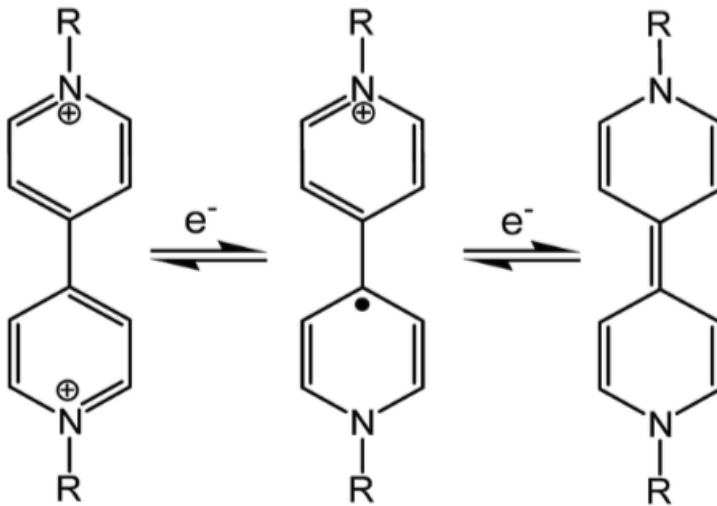
Dayanıklılıklarının yüksek ve dolayısıyla uzun kullanım ömürlerinin olması inorganik metal oksitlerin en büyük avantajlarıdır. Metal oksit filmleri yapılırken maliyetin yüksek olması ise en büyük dezavantajı olarak gösterilebilir. Maliyetinin yüksek olması kaplama işleminin genellikle yüksek vakum altında (düşük basınçta) ve yüksek sıcaklıklarda pahalı buharlaştırma teknikleri ile gerçekleştirilmesindedir. Ayrıca cihazın çalışması için uygulanması gereken potansiyel değeri de organik malzemeler ile kıyaslandığında oldukça yüksektir. Bu sebeplerden dolayı sonrasında bilim insanları bu teknoloji için alternatif olabilecek malzeme arayışına girmişlerdir.

İletken polimerler, tek ve çift bağlardan oluşan konjuge bir yapıya sahip olduğundan diğer polimerlerden farklılık gösterir. Bu konjuge yapıya sahip olmalarından dolayı iletkenlik özelliği gösterirler, bu yüzden de iletken polimerler olarak adlandırılırlar. İletken polimerler konusundaki çalışmalar 1950 yıllarında başlamıştır. İletkenlikleri oda sıcaklığında 10⁻⁵ S/cm olan ilk yarı iletken polimerler 1950-1960 yılları arasında üretilmiştir. Günümüzdeki anlayışa uygun iletken polimerler 1970’lerin sonunda ortaya çıkmaya

başlamıştır. Shirakawa yöntemiyle üretilen poliasetilenin bir yükseltgen ile katkılanması sonucunda iletkenliğinin 10^8 - 10^9 kat arttırıldığı görülmüştür (Gürses, 2016). Polimerler, ilk kullanımlarından bu yana elektriksel yalıtkanlığı iyi maddeler olarak bilinirler ve bu özelliklerinden dolayı elektriksel yalıtkanlığın arandığı kabloların kılıflanması gibi alanlarda önemli kullanım yerleri bulmuşlardır ve kolay işlenmeleri, esneklikleri, estetik görüntüleri, hafiflikleri ve kimyasal açıdan inert olmaları diğer üstün özellikleridir (Aydın,2007).

1.4.1. Viyolojenler

Organik küçük moleküller olarak bilinen viyolojenler, tersinir 3 redoks durumlarından dolayı büyük ilgi görmüşlerdir. İlk viyolojen elektrokrom 1971 yılında üretilmiştir. Viyolojen bileşiklerinin çoğu yüksek oranda radikal katyon oluşturarak elektrokromik özellik gösterirler. Şekil 2’de viyolojen bileşiklerinin sırasıyla dikatyon hâli, renkli radikal katyon hâli nötral hâli gösterilmektedir. Dikasyon hâlindeki molekül en kararlı hâlidir ve renksiz durumdadır. Elektron alıp radikal katyona dönüşmesiyle birlikte menekşe rengi oluşur ve oluşan radikal katyon oldukça kararlıdır. Molekülün tekrar elektron alıp indirgenmesiyle birlikte renk soluklaşır ve nötral form meydana gelir. Nötral form çok reaktif ve kararsızdır.



Şekil 2. Viyolojenin tersinir yükseltgenme-indirgenme reaksiyonu (Wang, 2018)

Uygun azot süstituentiyle istenilen renk elde edilebilmektedir. Aromatik grupların bağlanması ile yeşil, alkil gruplarının bağlanması ile de mavi, mor veya koyu kırmızı renkler elde edilebilir.

Basit ve ucuz sentetik prosedürler ile üretilebilmeleri, renk skalalarının geniş olması en büyük avantajlarından. Kararlılıklarının yeterince iyi olmaması, yani beklenmedik

yeni reaksiyonlarla yapının bozulabilmesi, cevap zamanlarının kısa olması ise başlıca engellerindendir.

Şekil 3'te Gentex firması tarafından yavaş cevap süresinin yeterli olduğu alanlardan olan otomobillerdeki otomatik kararmada iç ayna olarak kullanımı görülmektedir.



Şekil 3. Dikiz aynasında elektrokromik cihazların kullanımı (Gentex U.S.A, 2015)

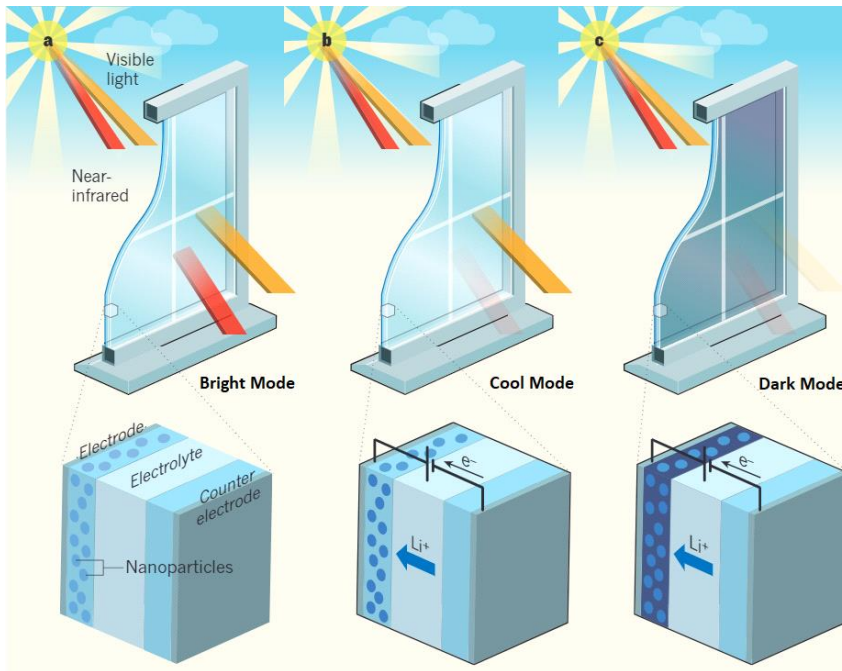
1.5. Akıllı Camlar

Günümüzdeki artan enerji talebine ve var olan enerji kaynaklarının en verimli şekilde değerlendirilebilmesi açısından elektrokromik cihazların(ECD) büyük bir önemi bulunmaktadır. Ek olarak, hem optik hem de elektriksel uygulamalar ile çeşitli yaşam alanlarında sağladıkları güvenlik ve konfor açısından avantajları da bulunmaktadır. Örneğin otomobillerin ayna ve camlarındaki ışık şiddetini ayarlayarak güvenli bir sürüş sağlayabilirler. Elektrokromik camların verimi ile ilgili yapılan çalışmalar, binalarda elektrokromik camların, normal cama göre enerji kullanımını %40 oranında azalttığını göstermiştir (Gregorie ve ark., 1999). Günümüzde elektrokromik camların kullanımının yeterince yaygın olmamasının en önemli sebebi üretim maliyetlerinin oldukça yüksek olmasıdır. Bu maliyetlerin makul seviyeye düşürülmesi ile kısa sürede geniş kullanım alanı bulabilmeleri mümkündür. Bu sayede enerji verimliliği artarken ekonomik anlamda da önemli bir katkısı olacaktır. Akıllı cam olarak adlandırılan malzemeler, aktif alana elektrik, ışık ya da ısı gibi bir dış etki uygulandığında ışık geçirgenliği özelliklerinin değiştiği malzemelerdir. Akıllı camlar, pasif(elektriksiz olmayan; fotokromik, termokromik vb.) ve aktif kontrollü camlar olarak iki grupta toplanabilmektedir. Elektriksel uyarılara tepki verenler aktif kontrollü yani elektrokromik camlardır ve kontrol edilebilir olması açısından oldukça kullanışlıdır.

Akıllı camlarda kontrol stratejisi, koşullara göre farklılık göstermektedirler. Örneğin, fotokromik camlar, gün ışığı seviyesinin kontrolü için uygun olmakta iken ısı kontrolüne karşı duyarlı değildirler. Termokromik camlar ise tam tersi, yani ısıl etkilere tepki vermekte fakat gün ışığı kontrolünü etkin olarak sağlayamamaktadırlar. Dinamik olarak kontrol

edilebilen elektrokromik camlar özellikle yüksek performanslı bina uygulamalarında kullanıcı konforu ve enerji etkinlik açısından diğer akıllı cam teknolojilerine göre daha yüksek potansiyele sahiptir (Selkowitz, 1999). Elektrokromizm, malzeme yüzeyine düşük bir elektrik akımı uygulandığında sisteme eklenen ya da çıkarılan iyonlarla malzemede ortaya çıkan optiksel değişimler olarak adlandırılır. Elektrokromik malzemeleri özel yapan şey, malzeme üzerine uygulanan gerilimi kontrol ederek malzemenin optik değişimlerini 1 saniye gibi kısa bir sürede renk değişimi ile sağlayıp tekrar 1 saniye gibi bir sürede eski hâline geri döndürmesi gibi çok kısa sürelerde gerçekleştirebilmeleridir (Şekil 4).

Elektrokromik camlar, arabalarda ışık şiddetinin kontrolünü sağlayarak güvenli bir sürüş ortamı yaratırlar. Elektrokromik camların otomotiv sektöründe (dikiz aynası, yan aynalar, ön ve yan camlar, tavandaki cam) kullanımı yaygınlaşmaktadır. Elektrokromik camlar, uçaklarda ve helikopterlerde de kullanılmakta, güneşin rahatsız edici olduğu durumlarda rahat bir görüş sağlamaktadır. Boeing firması, 2004 yılında üretecekleri uçaklarda elektrokromik cam kullanacaklarını açıklamışlar ve daha sonrasında bu camları “Dreamliner” modelinde kullanmışlardır (Şekil 5). SAGE Electrochromics, Gentex, EControl–Glass GmbH, Dream Glass, Saint Gobain Sekurit, Smart Glass International Ltd., Nippon Sheet Glass Co., Research Frontiers elektrokromik cam üreten firmalardandır (Şekil6,7). Dünya çapında 2004 yılında yaklaşık 4,1 milyar m² elektrokromik cam kullanılmış ve bunun için 40 milyar dolar para harcanmıştır (Lampert, 2004).



Şekil 4. Elektrokromik pencere dizaynı (Korgel, 2013)



Şekil 5. Boeing firmasının “Dreamliner” model uçaklarda kullandığı elektrokromik camların bir örneği (Globe Newswire)



Şekil 6. Akıllı cam sistemi örneği (Smart Glass)



Şekil 7. Akıllı camın binalardaki kullanımına bir örnek (Sage Glass)

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Viyolojenlerle İlgili Literatür Taraması

Viyolojenlerle ilgili literatür taraması aşağıdaki gibidir.

J. Bruinink ve arkadaşlarının 1977 yılında yaptığı viyolojenlerle ilgili çalışmada sudaki 1,1'-diheptil-4,4'-dipiridinyum dibromürün redoks reaksiyonu, lineer potansiyel tarama voltmetrisi ile incelenmiştir. Radikal tuz filminin yaşlanması ya da ikinci indirgeme aşamasının meydana gelmesinin ilave bir oksidasyon zirvesi ile sonuçlandığı bulunmuştur. Bu ilave oksidasyon zirvesine, şarj verimliliğinde bir düşüş eşlik eder ve bu da ekranın bozulmasına neden olur. Bu sorunların, değiştirilmiş viyolojenlerin SnO₂ (kalay dioksit) elektrotları ile kombinasyon hâlinde kullanılmasıyla büyük ölçüde önlenebileceği gösterilmiştir. Bunun yanında elektrot malzemesinin etkisi de araştırılmıştır (J. Bruinink, 1977).

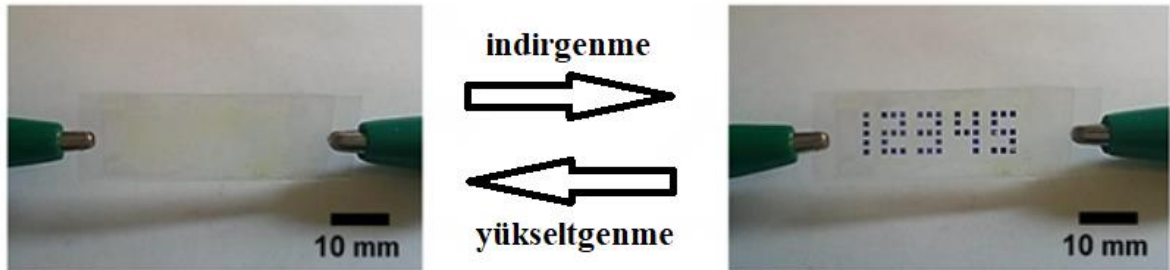
Kim ve arkadaşları 2007 yılında TiO₂ partikül boyutlarının elektrokromik cihazın performansı üzerindeki etkisini 7, 15 ve 30 nm boyutlarında uygulanmasıyla incelemişlerdir. Fosfonatlanmış viyolojen, bis(2-fosfonoetil)-4-4'-bipiridinyum dibromid, elektrokromik cihazın yapımı için TiO₂ yüzeylerine tutturuldu. Bunun sonucunda, 7 nm boyutlu TiO₂'den elde edilmiş elektrokromik cihaz, yüksek optik saydamlık ile en yüksek kontrast oranını gösterirken, en yavaş anahtarlama tepkisine sahiptir (Kim, 2007).

Sydam ve çalışma arkadaşları tarafından 2012 yılında yeni bir 1,10-bis [4- (5,6-dimetil-1 H-benzimidazol-1-il) butil] -4,40-bipiridinyum dibromid (viyolojen) sentezlendi ve karakterize edildi. Viyolojen, büyük iyonik iletkenlik ve 200°C'ye kadar iyi termal kararlılıktaki bir disyanamit bazlı iyonik sıvı-jel elektrolitinde çözünerek ve görünür bölgede yüksek optik şeffaflığa sahip bir elektrokromik cihaza dahil edilmiştir. Cihaz, 605 nm'de %30.5 yüksek iletim modülasyonu, 725 cm² C⁻¹ (605 nm'de) olağanüstü bir renklendirme verimi, iyi renk homojenliği ve 2–3 saniye hızlı tepki süreleri ile uyumlu olan renksiz ve koyu mavi durumlar arasında tersine çevrilebilir anahtarlama sergiledi. Şeffaf ve renkli durumlar arasında tekrarlanan 1000 döngüden sonra bile yüksek elektrokimyasal etkinliği korunmuştur (Sydam, 2012).

Viyolojen elektrokromların elektrokromik özellikleri, piridil üzerindeki azot sübstitüentleri değiştirilerek modüle edilebilir. Bunun yanında belirli fonksiyonlara sahip karşı iyonları değiştirmenin de anahtarlama zamanı, döngüsel kararlılık ve cihaz performansı açısından elektrokromik davranışı arttırdığı gösterilmiştir. Düşük işletme voltajları için

viyolojen elektrokromlar iyi kabul edilmesine rağmen, düşük döngü ömrü ve uzun vadede cihazın düşük etkinliği gibi bazı dezavantajları vardır. Madasamy ve arkadaşları 2019 yılında, değişim yoluyla ya da cihaz yapımında iletken polimerlerin veya tamamlayıcı redoks türlerinin dahil edilmesini içeren uygun elektrokromik karşı elektrot malzemelerinin eklenmesiyle viyolojen elektrokromların özelliklerinde ince ayarlamalar için kapsamlı çalışmalar yapmışlardır. Cihaz parametrelerinin optimizasyonu için bu tür harici faktörlerin eklenmesinin cihaz performansı üzerinde genel olarak olumlu bir etkisinin olduğunu gözlemişlerdir (Madasamy, 2019).

Moon ve ark. tarafından 2015'te yapılan çalışmada iyon jellerin işlevselliğini arttırmak amacıyla polistiren-blok-polimetilmetakrilat-blok-polistiren (SMS) ve 1-etil-3-metilimidazolium bis(triflorometilsülfonil)imide([EMI][TFSI])'dan oluşan jelle redoks moleküllü olan metil viyolojen eklenmiştir. Ek olarak Ferrosen de eklenmiş ve katalizör görevi görmüştür. Oluşturulan elektrokromik jel, 2 ITO yüzeyi arasına eklenmiştir. ECD, 0.7 V üzeri bir gerilim uygulandığında koyu mavi bir renk değişimi gözlenmiştir (Şekil 8).

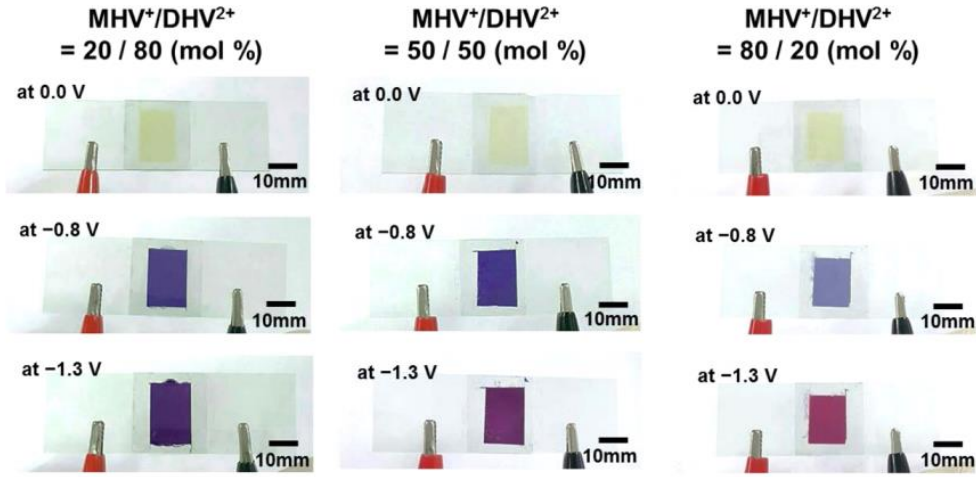


Şekil 8. Hazırlanan elektrokromik cihazın şeffaf ve renkli halleri (Moon, 2015)

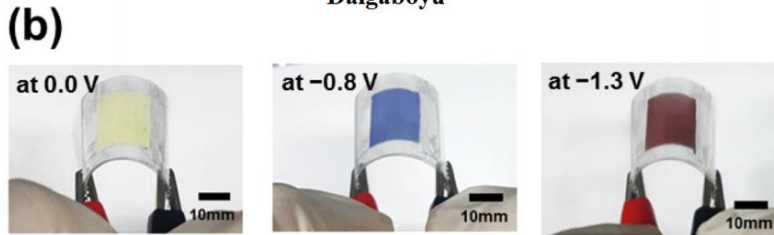
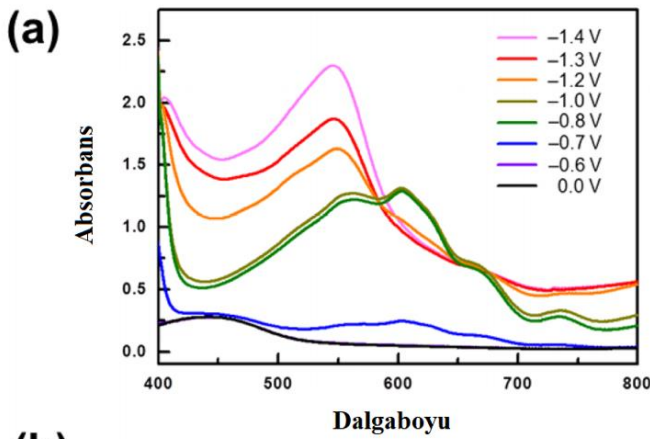
Ferrosenin olmaması durumunda 2.6'lık bir voltaj gerekli iken Ferrosenin de katılmasıyla bu voltaj değeri 0.7 Volta indirilmiştir. Renklenme verimliliği, $105 \text{ cm}^2 \text{ C}^{-1}$ olmuştur ve iyi bir kararlılık göstermiştir. Bu sonuçlar, EC iyon jellerine dayanan 1 V altı elektrokromik cihazların basit çözelti proses ile hazırlanabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, elektrokromik iyon jeli bazlı 1 V altı elektrokromik cihazların etkili bir potansiyele sahip olduklarını göstermiştir.

Moon ve ark. tarafından 2017 yılında yapılan bir başka çalışmada elektrolit tabakası olarak kopolimerden ve iyonik sıvılardan oluşan esnek iyon jellerine dayanan çok renkli elektrokromik cihazlar üretilmiştir. Bu çalışmada dimetil ferrosen (dmFc) anodik işlev gören jelle dahil edilmiş ve MHV⁺ (monoheptil viyolojen) ve DHV²⁺ (diheptil viyolojen) olarak 2 adet elektrokromik malzeme kullanılmıştır. İki viyolojenin de benzer kimyasal yapıya sahip olmasına rağmen önemli ölçüde farklı elektrokromik davranış göstermektedir. Hem MHV⁺

hem de DHV^{2+} içeren cihazlar ağartılmış durumda sarımsı bir renkteyken, renkli durumda iken sırasıyla magentaya ve maviye dönmüşlerdir. MHV^+ içeren cihaz $87.5 \text{ cm}^2 \text{ C}^{-1}$, DHV^{2+} içeren cihaz ise $91.3 \text{ cm}^2 \text{ C}^{-1}$ değerleri ile iyi bir renklendirme verimliliğine sahiptir. Buna ek olarak renkli durumu korumak için magenta için $248 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, mavi renkli cihaz içinse $72 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 'lik gerekli olan güç, iyon jel tabanlı elektrokromik cihazları ultra düşük güç tüketimli ECD'ler sınıfına sokar. Bu sonuçlar dahilinde iyon jel tabanlı çok renkli ECD'ler oldukça caziptirler.



Şekil 9. 20/80, 50/50 ve 80/20 (MHV^+/DHV^{2+}) molar oranlarıyla elde edilmiş ECD'lere 0.0 V, -0.8 V ve -1.3 V uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (Moon, 2017)



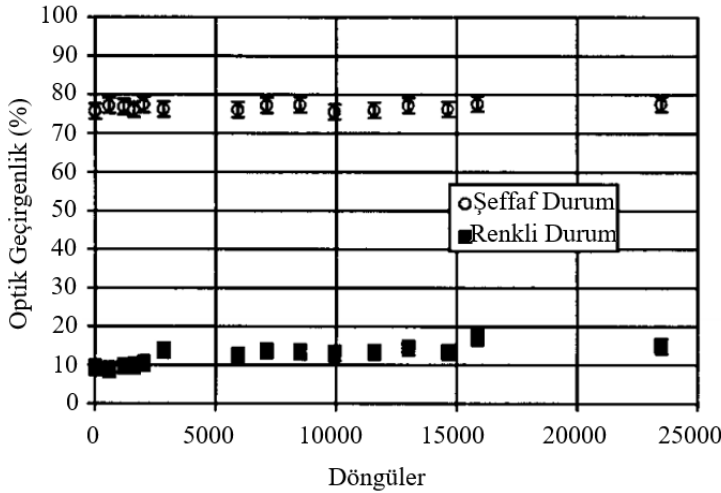
Şekil 10. a) 80/20 (MHV^+/DHV^{2+}) molar oranlarıyla elde edilmiş ECD'nin absorbansı b) Sırasıyla 0.0 V, -0.8 V ve -1.3 V uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (Moon, 2017)

2.2. ECD'lerde Alan Büyütmeye İlgili Literatür Taraması

Akıllı camlarda alan büyütme ile ilgili de birçok çalışma bulunmaktadır. Literatürde bulunan alan büyütme çalışmalarındaki prototiplerde çoğunlukla inorganik malzemeler bulunmaktadır. Fakat bu geniş alan akıllı cam prototiplerine ek olarak polimer tabanlı veya viyolojenleri içeren organik malzemeler de mevcuttur.

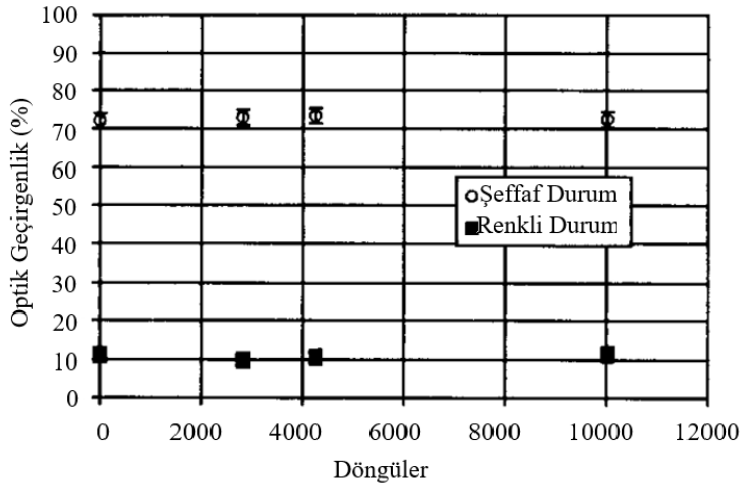
Geniş alan çalışmalarının bulunduğu literatür aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Matthews ve ark. Tarafından 1977'de yapılan çalışmada mimari uygulamalar için proton tabanlı monolitik bir elektrokromik yapı oluşturulmuş ve performans ölçümleri yapılmıştır. 13 cm²'lik küçük alan çalışmaları sonucunda %90'lık renklenme için 10 sn'lik bir renk geçiş süresi olduğu gözlemlenmiştir. Anahtarlanma zamanı beklenildiği gibi alanla doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Optik yoğunluk değişiminin 20000 döngüde çok az değişiklik gösterdiği ve sonuç olarak 0.9'dan 0.8'e düştüğü gözlemlenmiştir. Fakat bu değer 0.6 olan istenilen değeri yine de aşmıştır. Şekil 11 ve Şekil 12'de sırasıyla ortam sıcaklıklarındaki ardışık döngülerde elektrokromik cihazın optik performansı ve yüksek sıcaklıklardaki(85°C) ardışık döngülerde modifiye edilmiş karşıt elektrotlu 2. nesil elektrokromik cihazın optik performansı görülmektedir. Modifiye edilmiş karşıt elektrotlu 2. nesil elektrokromik cihaz ile dayanıklılığın daha yüksek sıcaklığa çıkabildiği belirlenmiştir.

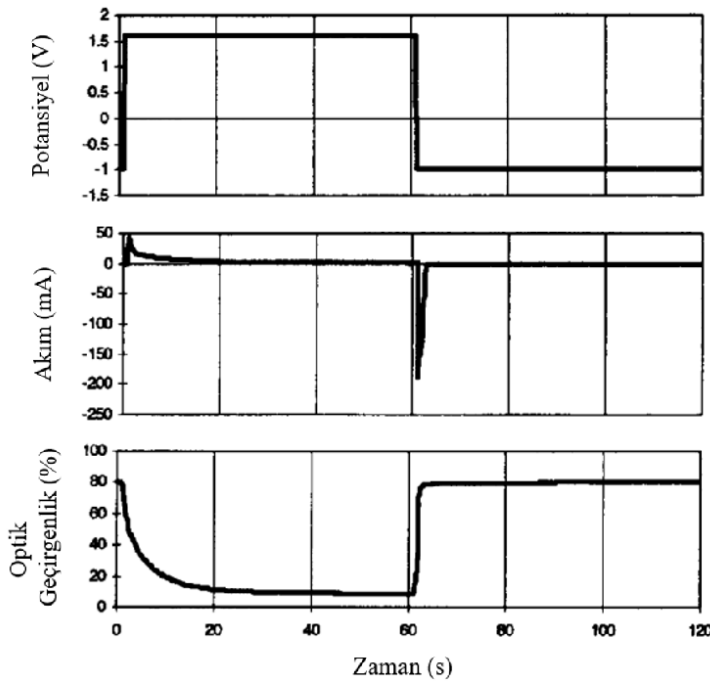


Şekil 11. Ortam sıcaklıklarındaki ardışık döngülerde elektrokromik cihazın optik performansı (Matthews, 1977)

Özetle, geniş alan uygulamalarında kullanılabilmesi için sağlanması gereken performans kriterlerinden olan anahtarlanma süresi, dayanıklılık, iyi renklenme verimi gibi kriterlerin çoğunu karşılayan bir cihaz üretilmiştir.



Şekil 12. Yüksek sıcaklıklardaki (85°C) ardışık döngülerde modifiye edilmiş karşıt elektrotlu 2. nesil elektrokromik cihazın performansı (Matthews, 1977)



Şekil 13. ECD için uygulanan potansiyele karşı akım ve optik cevap (Matthews, 1977)

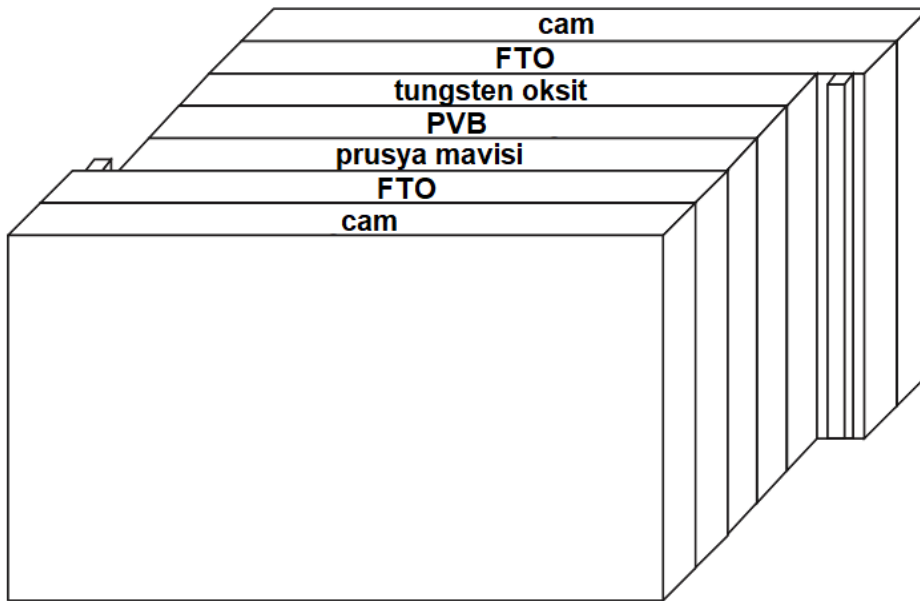
Tablo 2.

Elektrokromik cam için performans kriterleri (Matthews, 1977)

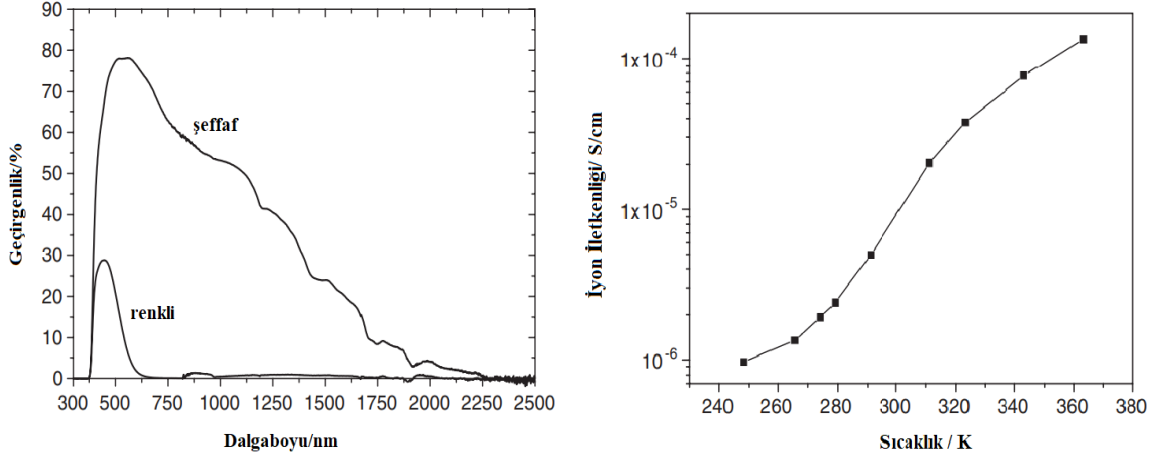
Performans parametresi	Elektrokromik cam gereklilikleri
Şeffaf durum geçirgenliği	% 60-80 arası, fotopik
Renkli durum geçirgenliği	% 5-20 arası fotopik
Kontrast oranı	4:1 den 10:1'e kadar
Anahtarlama zamanı (>0.1 m ²)	1 dakikadan 5 dakikaya
Döngüsel ömür	>50 000 (Tam döngü)
Renk	Nötr gri
Çalışma sıcaklığı	-20°C'den 85°C'ye kadar

Pennisi ve ark. 1999 yılında yaptıkları çalışmada lityum katkılı nikel oksit, tungsten trioksit ve katı iyon iletkeni olan polietilen glikol metakrilat (PEGMA) kullanarak 144 cm² alana sahip bir geniş alan elektrokromik cihaz hazırlamışlardır. Sorasında, hazırlanan cihazın performans analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde geçirgenlik, şeffaf durumda %60, renkli durumda %6 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, elde edilen verilerin akıllı cam uygulamalarında yaz ve kış aylarında kullanılıp geçirgenlik değişimleri sayesinde enerji tasarrufunun sağlanması yönünde bir katkısı saptanmıştır.

2006 yılında Kraft ve ark. geniş alan üzerine yaptıkları çalışmada anodik tabaka olarak prusya mavisi, katodik tabaka olarak tungsten oksit kullanırken elektrolit olarak ise polivinil bütiral (PVB) kullanmışlardır (Şekil 14). Bu cihazların alanları 300 cm², 900 cm², 1500 cm², 6000 cm², 9600 cm²'dir. Oda sıcaklığında iyon iletkenliği 8x10⁻⁶ S/cm olarak bulunmuştur ve iletkenlik polimer elektrotlarda olduğu gibi sıcaklıkla orantılı olarak artar. Renk geçişleri şeffaftan maviye veya tam tersi şeklinde değişmiştir. Anahtarlanma sırasında uygulanan gerilim kesilirse hafıza etkisi sebebiyle o anlık renk durumu neyse değişmeden kaldığından elektrik enerjisi sadece anahtarlanma sırasında gereklidir. Bu da enerji tasarrufuna katkı sağlar. Bu çalışmada hazırlanmış olan elektrokromik cihazın %77 ile %8 arasında görünür bölge geçirgenliğine, %56 ile %6 arasında da güneş ışığı geçirgenliğine sahip olduğu gözlenmiştir.

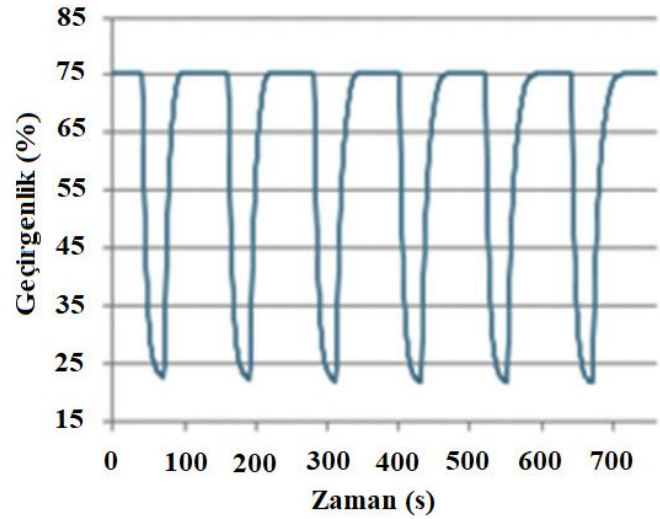
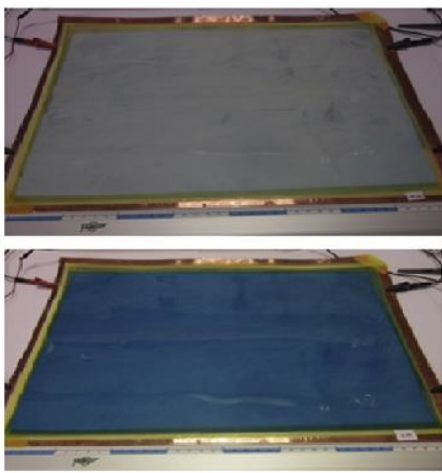


Şekil 14. Elektrokromik cihazın yapısı (Kraft, 2006)



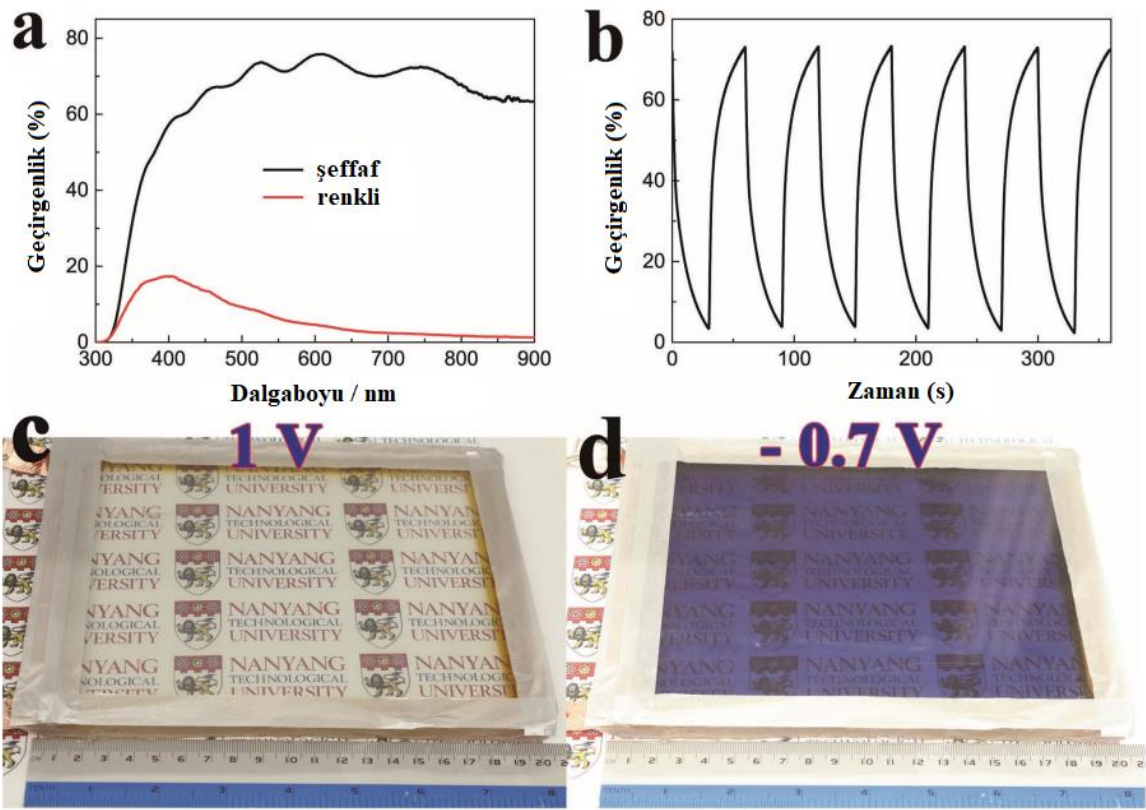
Şekil 15. Elektrokromik cihazın geçirgenliği ve iletkenlik (Kraft, 2006)

Alesanco ve arkadaşlarının 2016 yılındaki çalışmasında 120°C’de termal olarak işlenmiş viyolojenle modifiye edilmiş TiO₂ nanoyapılı film tabanlı esnek plastik elektrokromik cihazlar hazırlanmıştır. Roll-to-roll püskürtme tekniği ile esnek ITO/PET üzerinde TiO₂ filmleri 30x40 cm boyutlarında şeffaf bir katı elektrolit kullanılarak hazırlanan cihaz Şekil 16’da görülmektedir. Performans analizleri sonucunda, TiO₂ kalınlığının 1800 nm, gözenekliliğin %34 ve viyolojen için optimum aşılama süresinin 15 dakika olduğu değerlerde en iyi cihaz performansına sahip olduğu bulunmuştur. Çalışmada geçirgenliğin büyük ölçüde TiO₂ film kalınlığına bağlı olduğu, gözenekliliğin performans üzerinde bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Hızlı bir renklenme etkinliği bulunan cihazın %60’a varan yüksek bir geçirgenliğe sahip olduğu gözlenmiştir.



Şekil 16. 30x40 cm boyutlarında hazırlanan esnek elektrokromik cihaz ve geçirgenlik (Alesanco, 2016)

Chai ve arkadaşları tarafından 2017’de yapılan çalışmada anodik ve katodik tabaka olarak $\text{CeO}_2/\text{TiO}_2$ ve $\text{WO}_3/\text{PEDOT:PSS}$ inkjet kaplama yoluyla çok işlevli akıllı camlar hazırlanmıştır. 633 nm’de %70’den fazla olan büyük optik modülasyona, 12.7/15.8 s ile hızlı anahtarlanma süresine, $108.9 \text{ cm}^2 \text{ C}^{-1}$ değeri ile yüksek renklenme verimliliğine ve iyi bir kararlılığa sahip olan bu akıllı cam, ek olarak enerjiyi depolayabilmektedir ve bu özelliği ile bina aydınlatmalarında ya da elektronik aletlerin çalıştırılması gibi işlerde kullanılabilir. Şekil 17’de 360 cm^2 geniş alanlı akıllı cam prototipi ve bu camın spektroskopik grafikleri belirtilmiştir.



Şekil 17. a) -0.7 ve 1 V’luk potansiyeller altında geniş alan akıllı camın şeffaf ve renkli durumlarındaki geçirgenliği, b) 630 nm’deki geniş alan akıllı camın 30 s aralıklarla uygulanan potansiyel farkından elde edilmiş optik cevap c)Geniş alan akıllı cam şeffaf durum d)Geniş alan akıllı cam renkli durum (Chai, 2017)

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Metil alkol (CH_3OH), Aseton ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$), tetrabütülamonyumhekzaflorofosfat (TBAPF_6), İzopropil alkol (IPA), Asetonitril (ACN) Lityumperklorat (LiClO_4), Kloroform (CHCl_3), Propilen karbonat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$), PMMA (Polimetilmetakrilat), Karbazol bazlı KP-2 polimeri, 4,4'-Bipiridil, Allil Bromür, NaPF_6 , NaBF_4 , NaClO_4 , TFSI kullanılmıştır.

Referans elektrotu olarak Ag^+ (gümüş) ; çalışma elektrotu olarak camsı karbon, karşıt elektrot olarak ise Pt(Platin) tel elektrot elektrokimyasal deneylerde kullanılmıştır.

3.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Ekipmanlar

3.2.1. Fourier Dönüşümlü Infrared Spektroskopisi (FT-IR)

Sentezlenmiş olan viyolojen bazlı iyonik yapıların yapısal karakterizasyonları Agilent marka Cary 630 FT-IR cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılmış olan Fourier Dönüşümlü Infrared Spektroskopi cihazı Şekil 18'de görülmektedir.



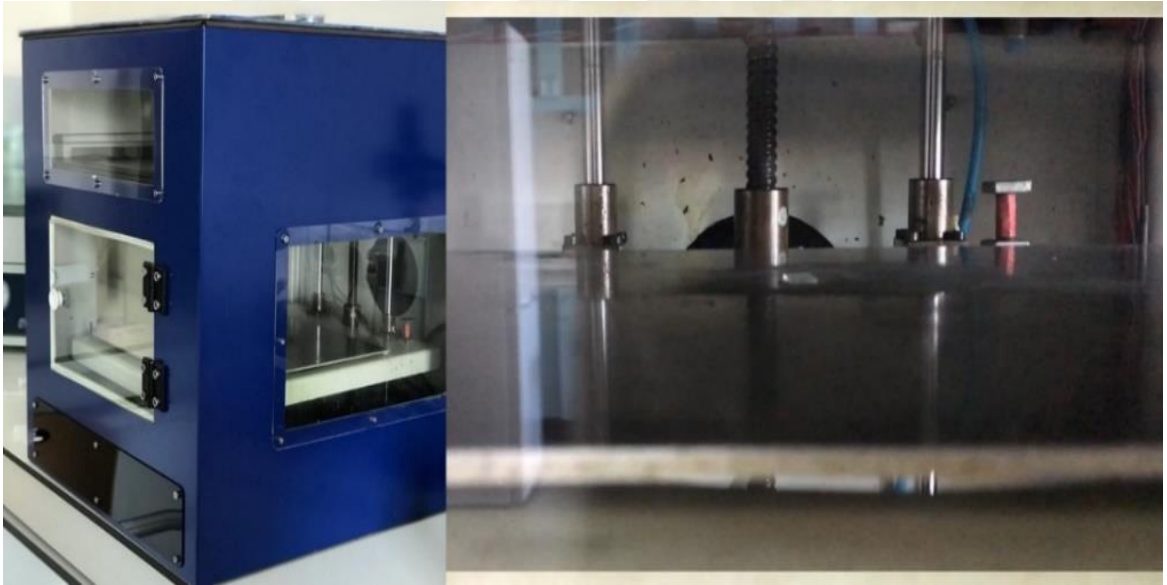
Şekil 18. Agilent / Cary 630 FT-IR cihazı

3.2.2. Nükleer Manyetik Rezonans Spektroskopisi (NMR)

Sentezlenen viyolojen türevlerinin kimyasal karakterizasyonunda $^1\text{H-NMR}$ NMR spektroskopisi tekniği kullanılmıştır. JEOL NMR-400 MHz model cihaz ile yapılan ölçümler çözücü olarak dötero-DMSO ortamında gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Sprey Kaplama Cihazı

Sprey kaplama cihazı bilgisayar kontrollü olup kaplama başlığı bilgisayar komutları ile x, y, z koordinatlarında istenilen konuma istenilen hızda gitmektedir. Püskürtme hızı ayarlanabilmekte, kaplanacak malzemenin bulunduğu levhanın sıcaklığı kontrol edilip bu sayede uygun sıcaklık belirlendikten sonra birden fazla döngü ile kaplama yapılabilmektedir. Ayrıca cihazda malzemenin yüzeyde sabit tutulabilmesi için vakum sabitleme özelliği de bulunmaktadır. Tez boyunca 2,5 x 2; 5x4; 9x10 cm'lik ITO/Cam ince filmleri hazırlamak için kullanılan sprey kaplama cihazının fotoğrafı Şekil 19'da görülmektedir.



Şekil 19. Sprey kaplama cihazı

3.2.4. Mor Ötesi- Görünür Bölge Absorpsiyon Spektrofotometresi (UV-Vis)

Hazırlanan elektrokromik cihazların absorpsiyon davranışları Specord S 600 UV-Vis cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 20). Daha sonrasında bu elektrokromik cihazların dayanıklılık testleri gerçekleştirilmiştir.

Absorpsiyon ölçümlerine bağlı olarak optik bant boşluğu değeri hesaplanabilmektedir. Moleküler orbitallerde boş olan en düşük enerjili moleküler orbitale LUMO, dolu olan en yüksek enerjili orbitale ise HOMO denilmektedir. Optik bant boşluğu değeri (E_g), HOMO

ile LUMO arasındaki farka eşittir.

Optik bant boşluğu değerini (E_g), Planck sabiti ile bulabiliriz:

$$E = h \nu = \frac{h c}{\lambda} \quad (\lambda \nu = c)$$

h , Planck sabiti olup $4,13 \times 10^{-15}$ eV.s ; c , ışık hızı olup 3×10^8 ms⁻¹ değerini alır.

Buradan, optik bant boşluğu değeri;

$$E_g \cong \frac{1241 \text{ eVnm}}{\lambda}$$

olarak bulunur. λ , dalgaboyudur ve değeri absorpsiyon eğrisinden elde edilebilir.



Şekil 20. Specord S 600 UV-Vis cihazı

3.2.5. Atomik Kuvvet Mikroskopi (AFM)

Viyolojen türevlerinin cam substrat yüzeyine döndürerek ya da spreyle kaplama gibi değişik kaplama yöntemleriyle farklı kalınlıklarda kaplanarak hazırlanmış ince filmlerin morfolojik yapıları ve yüzey pürüzlülükleri tayin edilmiştir. Bu analizde kullanılan Nanosurf Naio model atomik kuvvet mikroskopi (AFM) Şekil 21'deki gibidir.



Şekil 21. Nanosurf Naio marka atomik kuvvet mikroskobu (AFM)

3.2.6. Vakum Etüvü

Çalışmalarda kullanılacak ITO/Cam substrat yüzeyleri temizlendikten sonra vakum etüvüne alınmış ve 40°C’de 30 dakika boyunca kuruması için bekletilmiştir.



Şekil 22. Nüve EV 018 model vakum etüvü

3.2.7. Elektrokimyasal Ölçüm Ünitesi (CV)

Elektrokimyasal ölçümlerde çalışma elektrotu olarak 2 mm çapında platin veya camsı karbon çalışma elektrotu, platin tel yardımcı elektrot ve gümüş tel referans elektrot kullanılmıştır. Uygun solventlerle hazırlanan viyolojen çözeltileri çalışma elektrotu yüzeyine damlatma tekniği ile kaplandıktan sonra 0,1 M TBAPF₆ (tetrabütilamonyum hekzaflorofosfat) içeren asetonitril içerisinde taramaları gerçekleştirilmiştir. Asetonitrilin genellikle çözücü olarak kullanılmasının sebebi ölçüm aralığının geniş olmasıdır.



Şekil 23. Elektrokimyasal ölçüm hücresi (CH Instrument 617E)

3.2.8. Isıticılı Manyetik Karıştırıcı

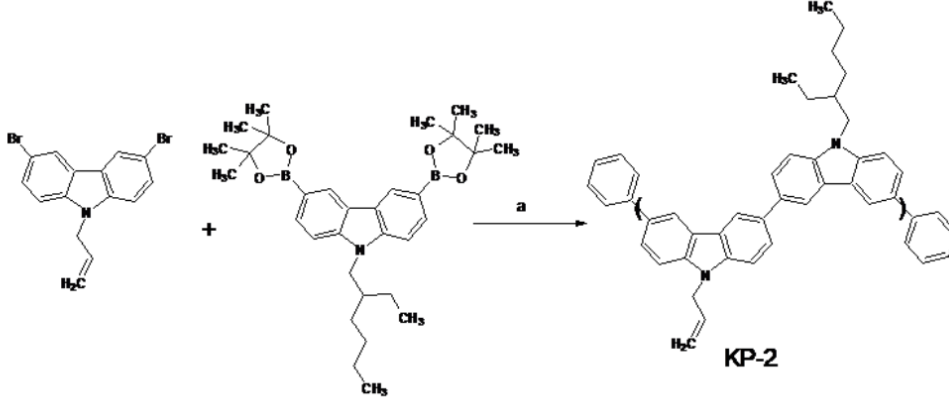
ÇOMÜ Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan IKA C -MAG HS7 model ısıticılı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır.

3.3. ITO/Cam Temizliği

Tezde kullanılan 2,5x2,5 cm, 5x4 cm ve 10x9 cm'lik ITO/Camların temizlikleri için ultrasonik banyo kullanılmaktadır. Sırasıyla su, aseton ve IPA(izopropil alkol)'de ayrı ayrı 15'er dakika bekletilir. Sonrasında 40°C'de vakum etüvünde kurutulan ITO/Camların moleküler düzeyde temizliklerinin sağlanması için UV-Ozon temizleyicisinde 30 dakika bekletilir. Bu işlemden sonra ITO/Camlar kaplamaya hazır hâle gelmektedirler.

3.4. Anodik Tabakanın Hazırlanması

Hazırlanan elektrokromik cihazlarda anodik tabaka olarak KP-2 polimeridir. Kullanılan karbazol bazlı KP-2 polimeri, Suzuki Polimerizasyon yöntemiyle hazırlanmıştır (Has, 2017).



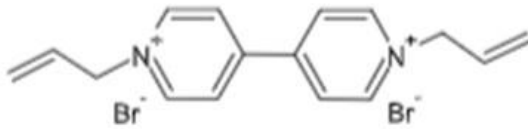
Şekil 24. Karbazol bazlı KP-2 polimerinin sentezi (Has, 2017)

3.5. Katodik Tabakanın Hazırlanması

Katodik tabakada Allil Viyolojen tuzları kullanılmıştır. Öncelikle 4,4'-Bipiridil ile Allil Bromür'ün ACN içerisindeki reaksiyonundan çapraz bağlanabilir yan gruplar içeren Di Allil-Viyolojen Bromür tuzu sentezlenmiştir. Sonraki aşamada Bromür tuzu, sırası ile BF_4 , PF_6 , ClO_4 ve TFSI tuzları ile yer değiştirme reaksiyonu sonucu beş farklı çapraz bağlanabilir viyolojen iyonik yapının sentezi gerçekleştirilmiştir.

3.5.1. Allil Viyolojen-Bromür(ALV-Br) Sentezi

Allil viyolojen-Br'nin yapısı Şekil 25'te görülmektedir.

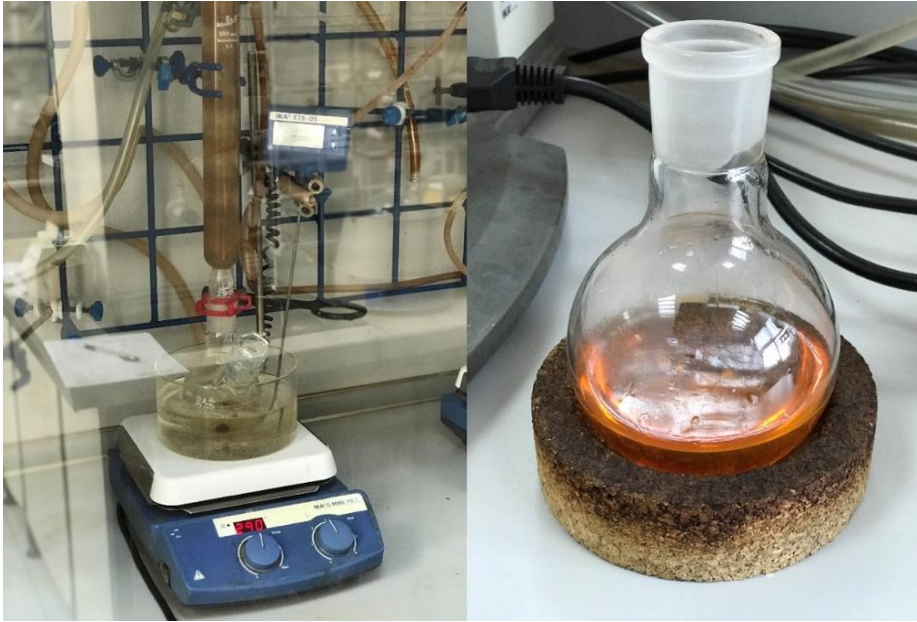


Şekil 25. Allil Viyolojen-Br tuzunun yapısı

Tezde Allil Viyolojen- ClO_4 (ALV- ClO_4), Allil Viyolojen- BF_4 (ALV- BF_4), Allil Viyolojen- PF_6 (ALV- PF_6) ve Allil Viyolojen-TFSI (ALV-TFSI) tuzları katodik tabakada

kullanılacak olan viyolojen tuzlarıdır. Bu tuzlar Allil Viyolojen-Br (ALV-Br) tuzundan elde edilmiştir ve sentezi şu şekilde gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle, 4,4'-Dipyridyl $\geq 99\%$ 'den 2 g tartılıp bir balona alınmıştır. İçerisine 100 ml Asetonitril ve 6 ml Allil Bromür eklenmiştir. Karışım 80°C'de 24 saat boyunca karıştırılmıştır. Reaksiyon ortamı önce renksiz, sonra sarı-turuncu ve daha sonra turuncu olmuştur. 24 saat sonunda ortamda çöken ürün sıcak bir şekilde sinterli huni ile süzölmüştür. Vakum etüvünde 40°C'de kurutulan ürün saflaştırma gerektirmeden diğer basamakta kullanılmıştır.



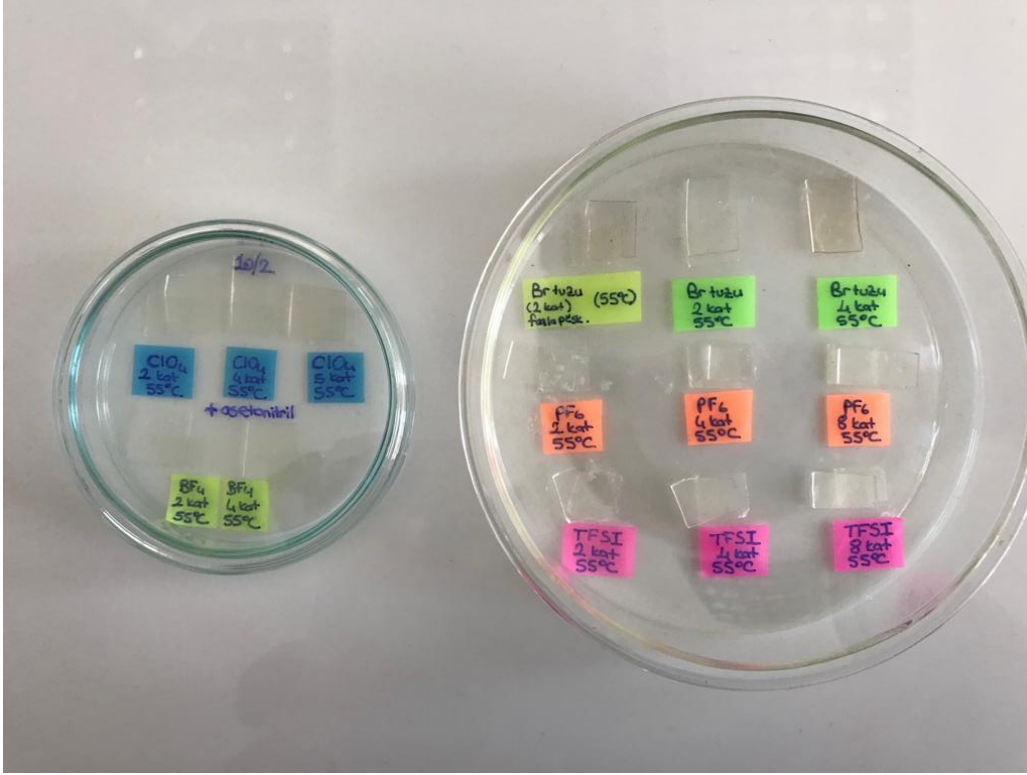
Şekil 26. Allil Viyolojen-Br sentez düzeneği

3.5.2. Allil Viyolojen Tuzlarının Hazırlanması

Allil Viyolojen-ClO₄, Allil Viyolojen-BF₄, Allil Viyolojen-PF₆ ve Allil Viyolojen-TFSI tuzları katodik tabakada kullanılacak olan viyolojen tuzlarıdır. Bu tuzlar Allil Viyolojen-Br tuzundan elde edilmiştir.

Allil Viyolojen tuzlarının sentezinde farklı tuzlar kullanılarak iyon değiştirme yönteminden yararlanılmıştır. İlk olarak 1 g Allil Viyolojen-Br 5 ml metanol-DMF (1:1) karışımında çözülmüştür. Sonrasında NaClO₄, NaBF₄, NaPF₆ veya Li-TFSI tuzlarının su içerisinde doymuş çözeltileri hazırlanarak Allil Viyolojen-Br çözeltisinin içerisine dökülmüştür. Üzerine 100 ml daha su eklendikten sonra çöken ürün sinterli huniden süzülerek ayrılmıştır. Vakum etüvünde kurutulan viyolojen tuzları ECD denemelerinde kullanılmıştır.

Eldedilen Allil Viyolojen tuzlarının, sprey kaplama yöntemi ile farklı çözücülerle çeşitli döngülerde kaplandıktan sonra yüzey pürüzlülük ölçümleri alınmıştır.



Şekil 27. ALV tuzlarının 55°C’de farklı döngülerde sprey cihazında cam yüzeyine kaplanmış hâlleri



Şekil 28. ALV-ClO₄ tuzunun eldesinde tuzun süzülme işlemi

3.6. Jel Elektrolitin Hazırlanması

Tezde hazırlanan elektrokromik cihazlarda kullanılan jel elektrolit $\text{LiClO}_4:\text{PMMA}$ jel elektrolittir. Bu jel elektroliti hazırlamak için 0,9 g LiClO_4 , 2,1 mg PMMA(Polimetilmetakrilat) bir behere alınarak 21 ml ACN(asetonitril) aynı behere azar azar dökülür ve manyetik karıştırıcıda çözünmesi için 150°C 'de karıştırılır. İyiye çözüldükten sonra 6 ml propilen karbonat eklenir, bal kıvamına gelene kadar karıştırıcıda bırakılır. Sonrasında soğuması beklenir ve kaplanmış ince filmler arasında elektrolit olarak kullanılması için hazır hâle gelmiştir.

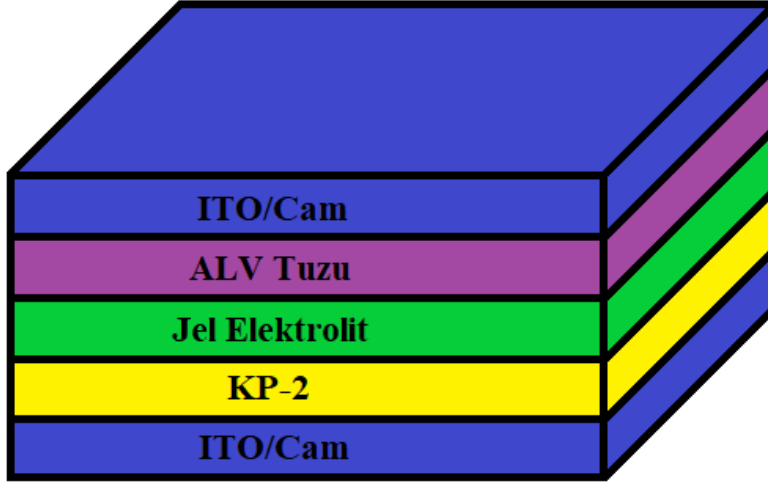


Şekil 29. Manyetik karıştırıcıda 150°C 'de hazırlanan jel elektrolit

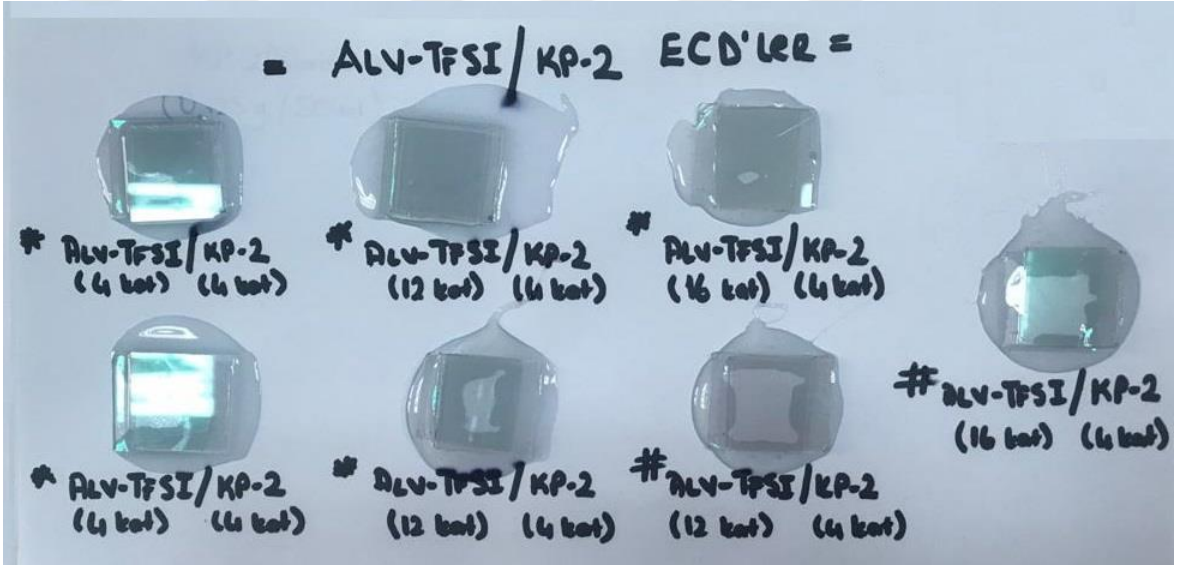
3.7. Elektrokromik Cihazın Hazırlanması

İlk olarak ALV-TFSI tuzu-DMF çözeltisi 5 mg/1 ml oranında ITO/Camlara farklı kalınlıklarda sprey kaplama cihazı ile kaplanmıştır. Kaplama sırasında tablanın sıcaklığı 70°C 'ye ayarlanmıştır. Sonrasında KP-2 polimeri-Kloroform çözeltisi 5 mg/2 ml oranında ITO/Camlara farklı kalınlıklarda kaplanmıştır. Burada kaplama sırasında ısıtıcı tablanın sıcaklığı 50°C olarak uygulanmıştır.

Son aşamada hazırlanan elektrokromik cihazların katmanları Şekil 30'da görülmektedir. Bu cihazlar her iki film arasına jel elektrolit sürülerek, $2,5 \times 2,5$ cm'lik, daha sonrasında ise 5×4 ve 10×9 cm'lik olarak hazırlanmıştır (Şekil 31). Hazırlanmış olan bu cihazlardaki tabaka kalınlıklarının cihaz performansına olan etkileri incelenmiştir.



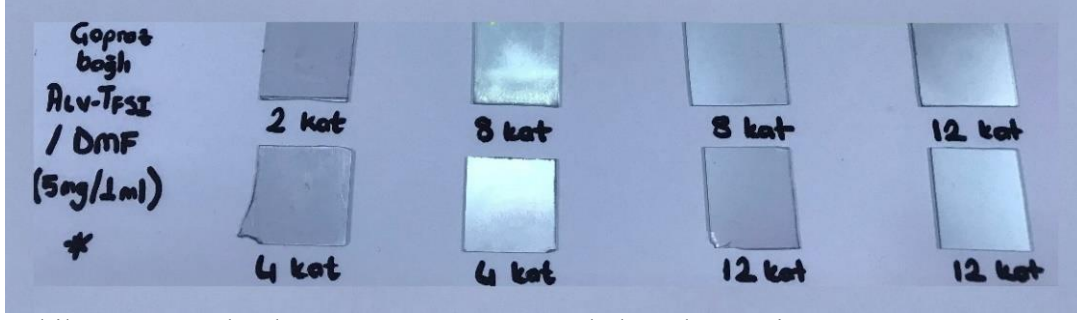
Şekil 30. Hazırlanan elektrokromik cihazın katmanları



Şekil 31. Çapraz bağlanmış ALV-TFSI ve KP-2 polimeriyle hazırlanmış cihazlar

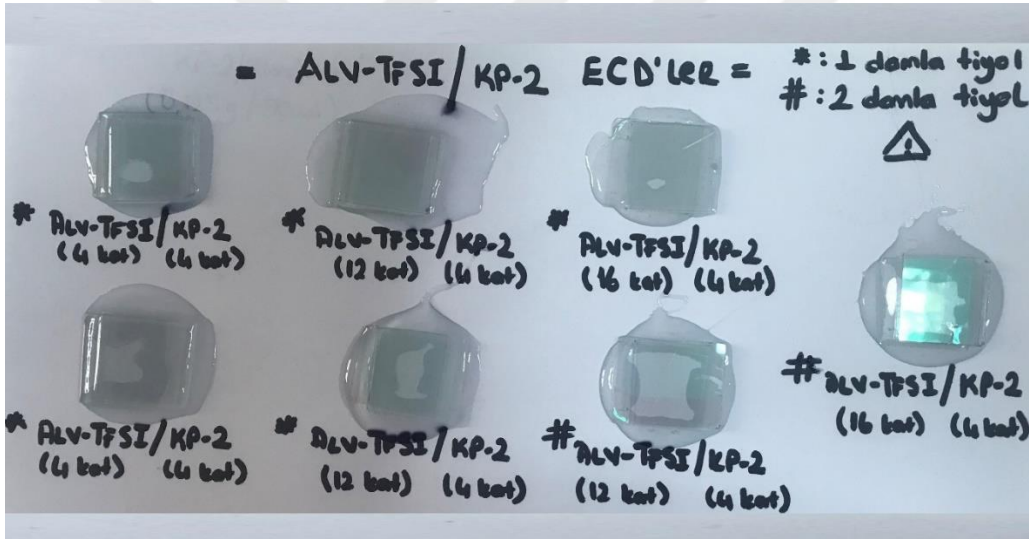
3.8. Allil Viyolojen Tuzlarının Çapraz Bağlanma Reaksiyonu ve İnce Filmler ile Cihazların Hazırlanması

Allil Viyolojen-TFSI tuzu ve DMF(dimetilformamid), 5 mg/1 ml oranla bir behere alınıp karıştırıldıktan sonra yaklaşık olarak 10 ml'si için 38.5 µl çapraz bağlayıcı tetratiyol türevli pentaeritritol tetrakis (3-merkaptopropiyonat) eklenmiştir. Sprey cihazında 70°C'de çeşitli döngülerde kaplanmış 2,5x2,5 cm'lik ince filmler hazırlanmış ve 360 nm UV ışık altında 15'er dakika bekletilmiştir. Sonrasında döndürerek kaplama cihazında 3000 rpm'de çapraz bağlanmayan kısımların temizlenmesi için kloroform ile 1 dakika boyunca döndürülmüştür.



Şekil 32. Çapraz bağlanmış ALV-TFSI tuzuyla hazırlanmış ince filmler

Daha sonraki denemelerde ALV-TFSI tuzu çözeltisi hazırlamak için aynı prosedürler uygulanmıştır. Çapraz bağlayıcı için oranlar değiştirilmiş, 10 ml için 38.5 μ l ve 38.5 μ l tiyolle denemeler yapılmıştır. Anodik tabaka olarak KP-2 polimeri kullanılarak ve 2,5x2,5 , 5x4 ve 10x9 cm'lik cihazlar hazırlanmıştır.



Şekil 33. Çeşitli döngülerde farklı oranda çapraz bağlayıcı eklenerek hazırlanmış ALV-TFSI tuzu ve KP-2 ile hazırlanan ECD'ler

3.9. Spektroelektrokimyasal Analizler

Çapraz bağlanmış allil viyolojen tuzları ile farklı kalınlıklarda çeşitli kaplama yöntemleriyle oluşturulmuş olan polimerlerle hazırlanan elektrokromik cihazların renk değişimi, renk değişim zamanı ve dayanıklılık gibi parametrelerini ölçebilmek adına spektrokromik ve kronoamperometrik ölçümleri yapılmıştır.

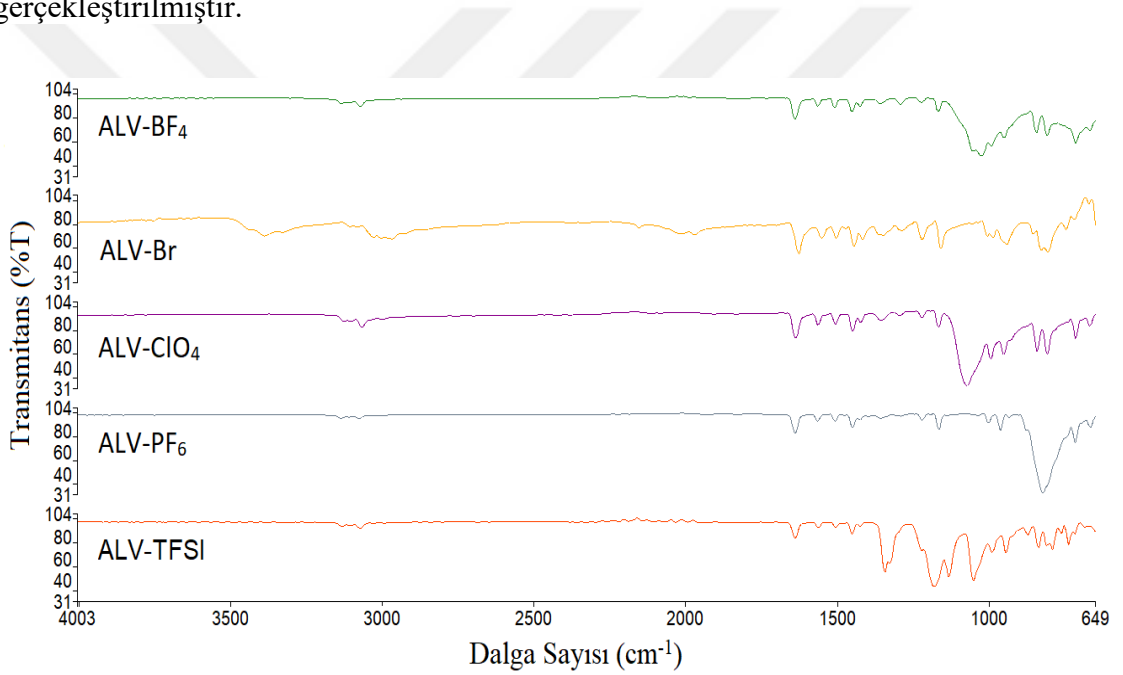
BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. ALV Tuzlarının Yapısal Karakterizasyonu

ALV tuzlarının FT-IR analizleri incelendiğinde yapıdaki aromatik gruplara ait piklerin 3000 cm^{-1} 'in hemen üzerinde olduğu görülmektedir. Bunun yanında yapıya bağlanan farklı anyonik gruplara bağlı olarak 1500 cm^{-1} 'in altında yayvan pikler oluşmuştur. Tüm spektrumların birbirinden farklı oluşu her bir tuzun başarı ile sentezlendiğinin açık bir göstergesidir.

FT-IR spektrumları sentetik prosedürün başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği hakkında bize fikir verse de malzemelerin karakterizasyonu $^1\text{H-NMR}$ verilerinden faydalanılarak gerçekleştirilmiştir.

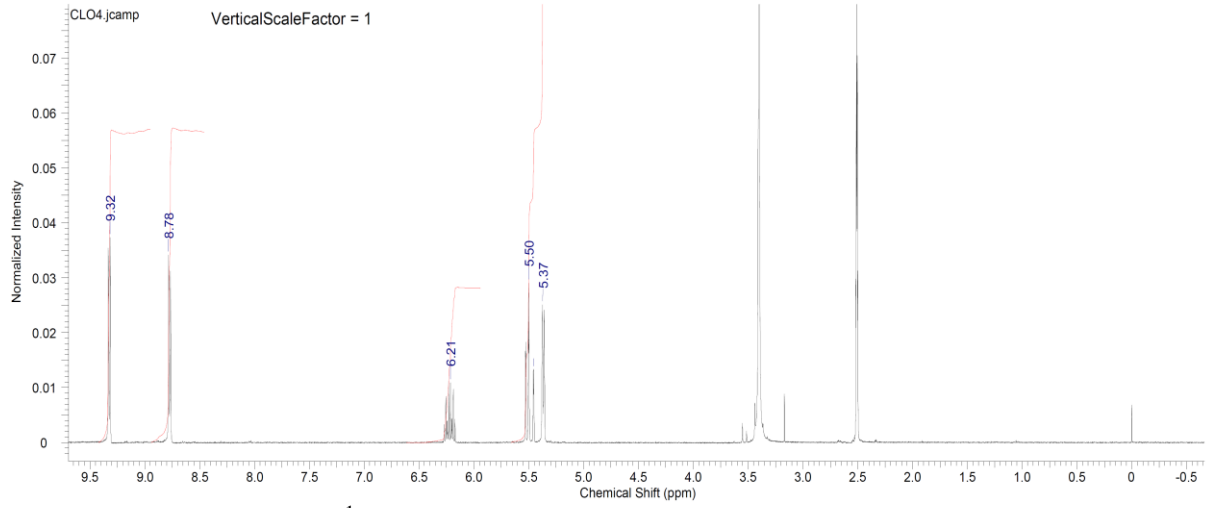


Şekil 34. ALV tuzlarının FT-IR analizleri

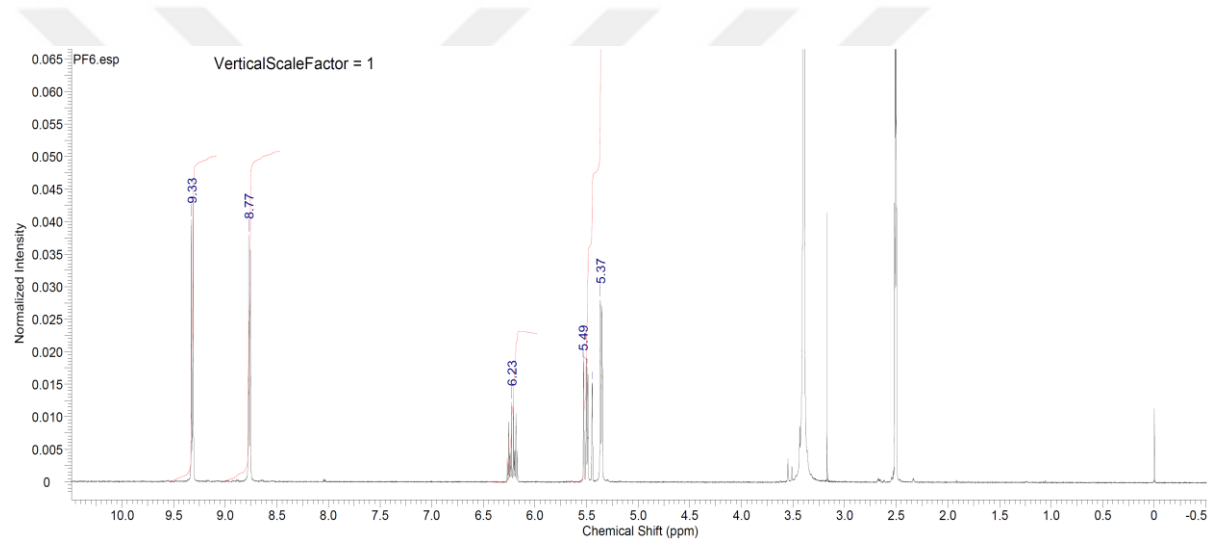
Viyolojen tuzlarının $^1\text{H-NMR}$ spektrumlarına bakıldığında merkezdeki bipiridil yapısına ait 8 adet simetrik yapıdaki protonlara ait pikler ikili olarak 9,3 ve 8,8 ppm civarında gözlenmiştir. Bu piklerin farklı ppm değerlerinde olmalarının sebebi viyolojen gruplarının karşıt iyonları olan yapıların elektronegativite farkından kaynaklanmaktadır.

Bunun dışında allil grubuna ve N-CH₂ gruplarına ait pikler 6,2, 5,5 ve 5,4 ppm de gözlenmiştir. 3,5 ve 2,5 ppm civarında gözlenen pikler DMSO çözücü ve su pikleridir.

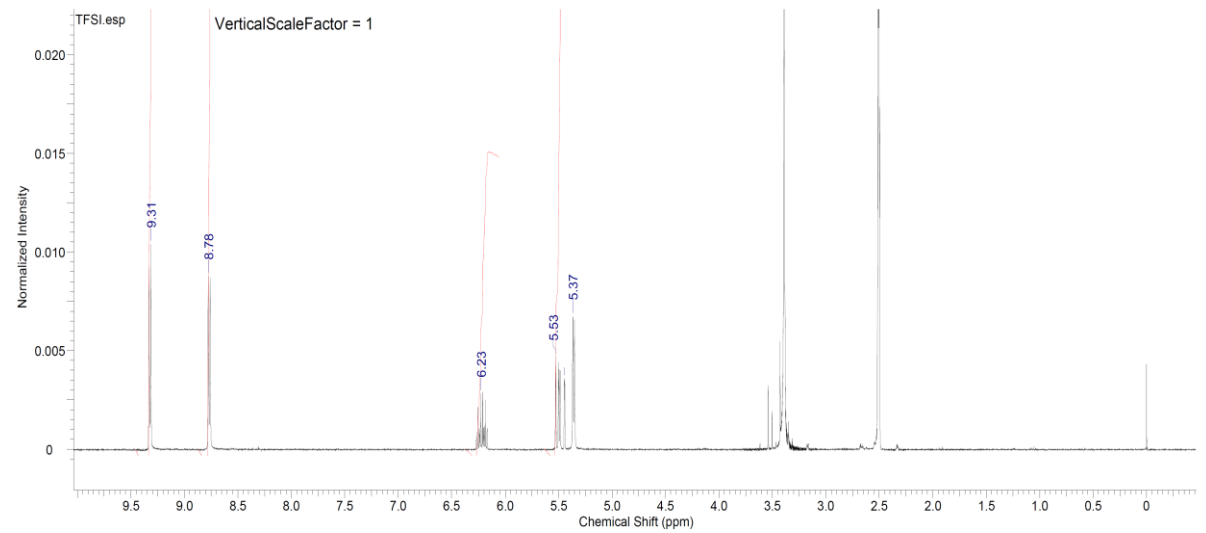
$^1\text{H-NMR}$ analizleri bize yapıların başarılı bir şekilde sentezlendiğini açıkça ortaya koymuştur(Şekil 35-38).



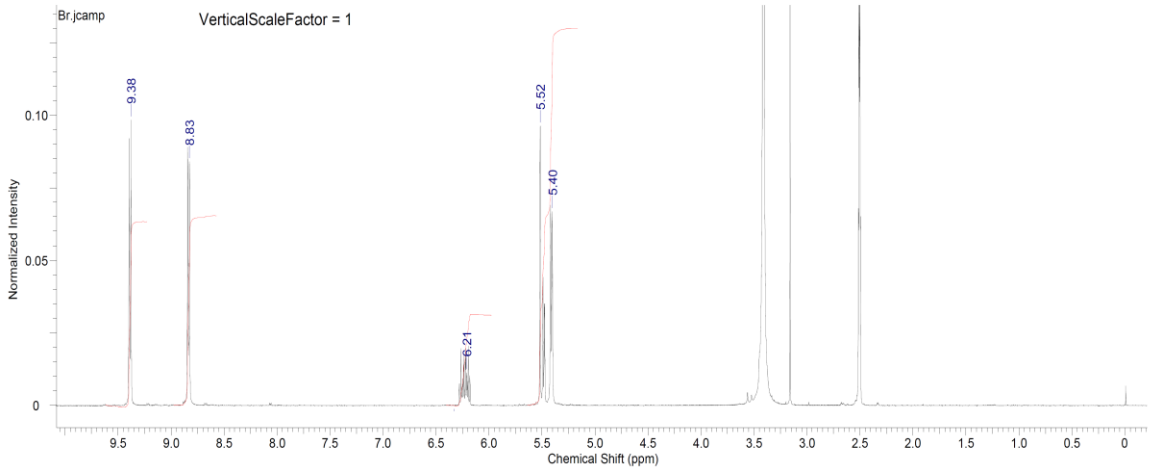
Şekil 35. ALV-CIO₄ tuzu ¹H-NMR spektrumu



Şekil 36. ALV-PF₆ tuzu ¹H-NMR spektrumu



Şekil 37. ALV-TFSI tuzu ¹H-NMR spektrumu

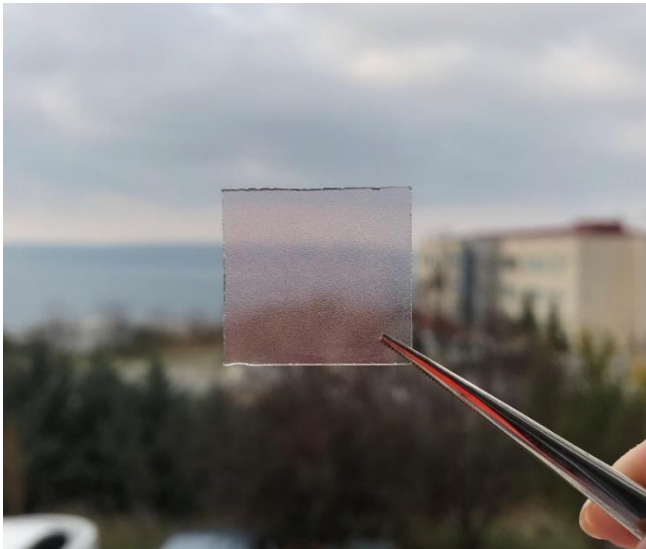


Şekil 38. ALV-Br tuzu ^1H -NMR spektrumu

4.2. Sprey Cihazındaki Püskürtme Hızının ve Döngü Sayısının Etkisi

ÇOMÜ’de Kimya Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı’nda kullandığımız sprej cihazında ince filmlerin kaplanması istenilen boyutlarda istenilen yoğunlukta yapılabilmektedir. 1 döngü kaplama, önce dikey düzlemdeki daha sonra da yatay düzlemdeki hareketlerle kaplama yapması ile tamamlanmaktadır.

ALV-TFSI tuzu için optimum püskürtme yoğunluğu yapılan denemeler sonucunda tabanca püskürtme seviyesinin yaklaşık %7’sinin açılmasıyla elde edilmiştir. Daha fazla açıldığında film yüzeyinde birikmelerin olduğu, dolayısıyla da homojen kaplamanın yapılamadığı gözlemlenmiştir. Şekil 39’da püskürtme hızı yüksek olarak 4 döngü ile kaplanmış ALV-PF₆ tuzunun film yüzeyinde damlacıkların biriktiği görülmektedir. Bu yüzden bu sorun döngü sayısı artırılıp püskürtme hızı minimum seviyeye indirilerek çözülmüştür.



Şekil 39. Sprey cihazında 4 döngü ile kaplanmış ALV-PF₆ tuzu

4.3. Sprey Cihazındaki Alt Taban Sıcaklığının Etkisi

Püskürterek ince film kaplaması yaparken özellikle arka arkaya fazla döngü sayısına çıkıldığı durumlarda püskürtülen çözeltinin hızlıca kuruması açısından alt tabanın sıcaklığı oldukça önemlidir. Bunun için optimum alt taban sıcaklığının 70°C olduğu belirlenmiştir.

4.4. Tavlama Sıcaklığının Etkisi

ALV-TFSI tuzu, jel elektrolit ve KP-2 polimeri ile sandviç metoduyla cihazlar hazırlanırken ALV-TFSI tuzunun ince film yüzeyine yeterince tutunamadığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden ince filmlerin çapraz bağlamanın yanında tavlanması da uygun bulunmuştur. Kaplandıktan sonra 60°C'den 120°C'ye kadar çeşitli sıcaklıklarda yarım saat boyunca tavlanaştır. Özellikle 100°C'den sonra filmlerin bozulduğu gözlenmiştir. Optimum sıcaklık olarak 70°C belirlenmiş ve uygulanmıştır.

4.5. Atomik Kuvvet Mikroskopu(AFM) ile Yüzey Morfolojisi Analizi

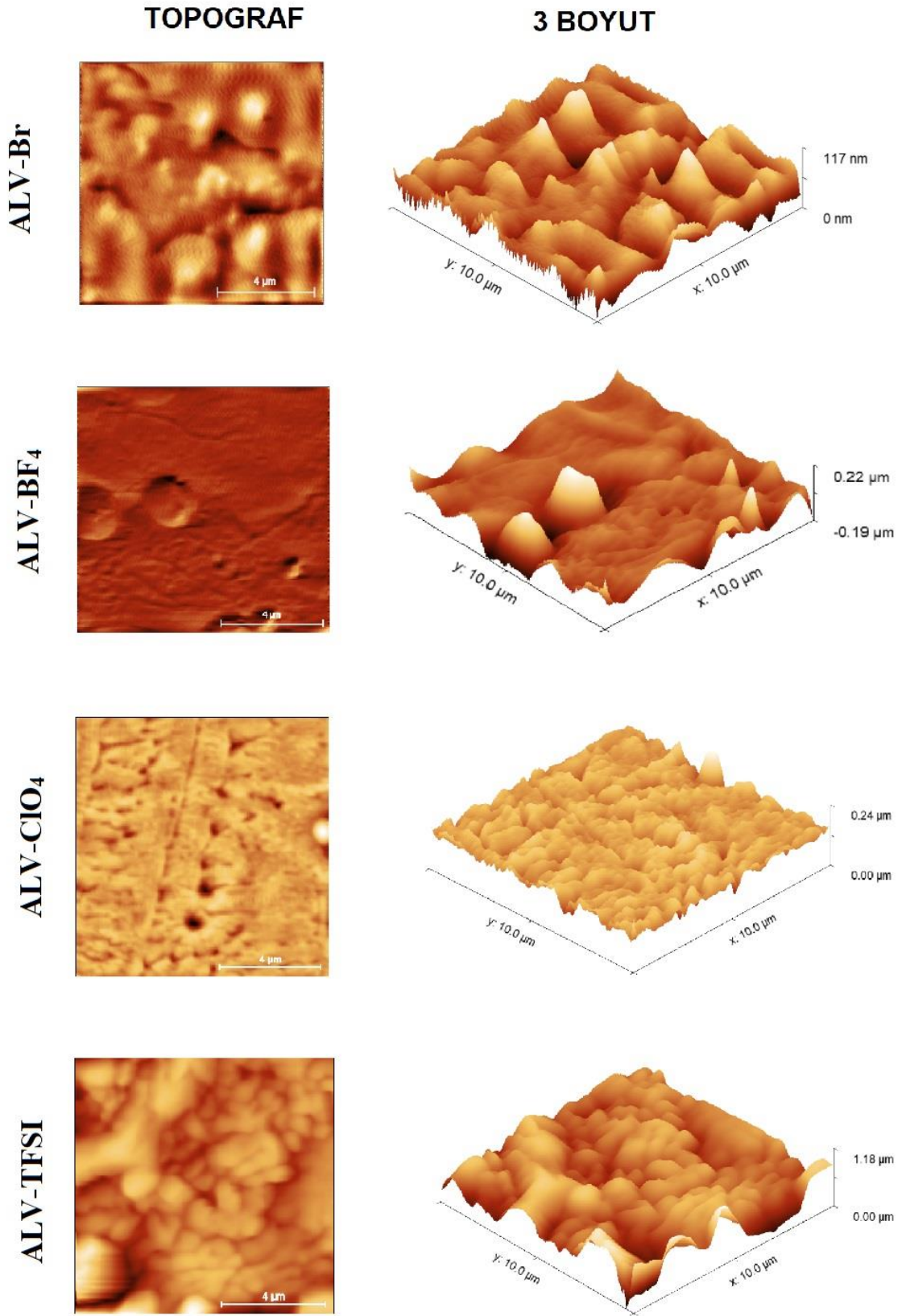
Yüzeylerin pürüzlülüğünün dolayısıyla da yüzey alanının fazla olması, ince filmlerin yük tutma kapasitelerini arttırmaktadır. Bu yüzden ince filmlerin yüzey pürüzlülüğü büyük bir öneme sahiptir ve RMS değeri ile belirtilir. ALV tuzlarının yüzey morfolojileri 3x3 µm ve 10x10 µm'lik alanlarda AFM tekniği ile incelenmiştir.

Şekil 40'de 4 döngü ile kaplanmış ALV tuzlarının 10x10 µm'lik alanlarda topografi ve 3D görüntüleri, Tablo 3'te ise bu görüntülerin ortalama pürüzlülük(R_a) ve ortalama pürüzlülük karekökü(R_q) değerleri görülmektedir.

Tablo 3.

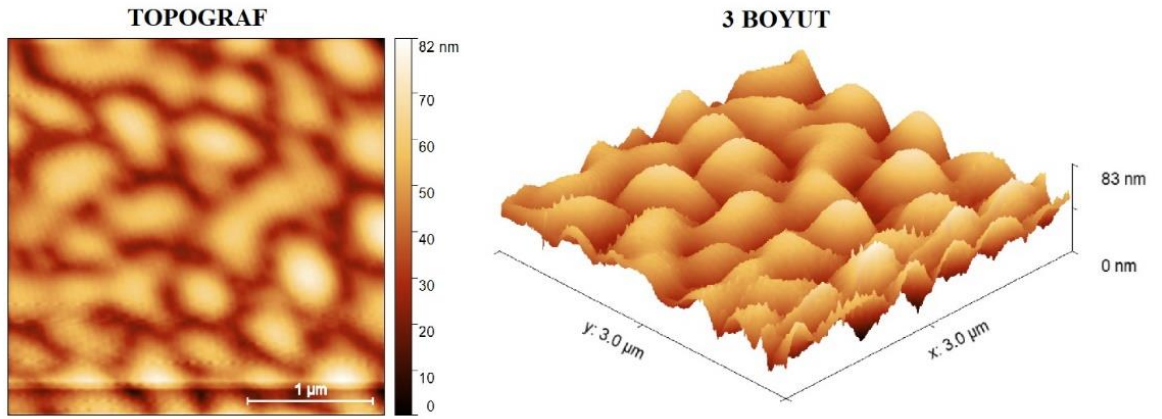
4 döngü ile kaplanmış ALV tuzlarının ortalama pürüzlülük(R_a) ve ortalama pürüzlülük karekökü(R_q) değerleri

Allil Viyolojen Tuzları	Ortalama Pürüzlülük (R_a)	Ortalama Pürüzlülük Karekökü (R_q)
ALV-Br	24.68 nm	29.5 nm
ALV-BF ₄	52.18 nm	59.6 nm
ALV-CIO ₄ ,	63.18 nm	85.52 nm
ALV-TFSI	123.45 nm	162.19 nm

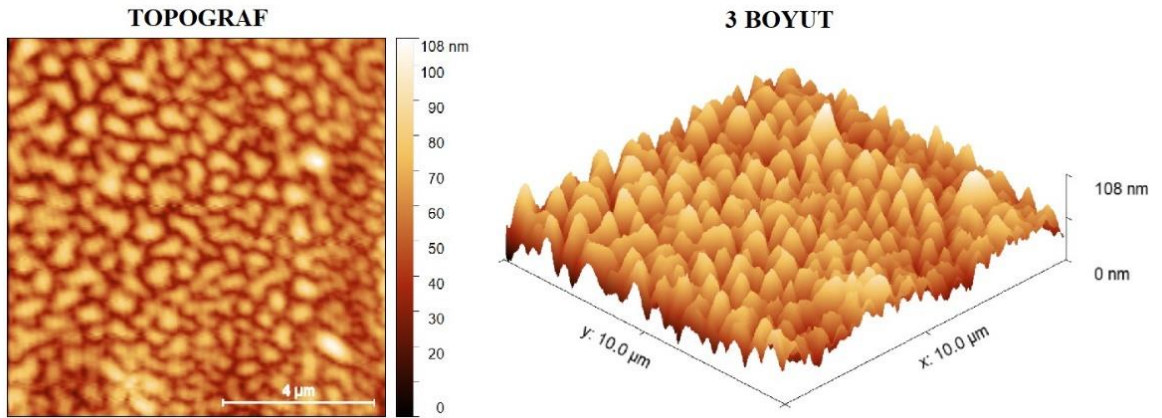


Şekil 40. Sprey cihazında 4 döngü ile kaplanmış çeşitli ALV tuzlarının 10x10 μm 'lik alandaki AFM görüntüleri

12 döngü ile kaplanmış çapraz bağlı ALV-TFSI tuzunun $3 \times 3 \mu\text{m}$ 'lik alandaki topograf ve 3D AFM görüntüleri Şekil 41'de, $10 \times 10 \mu\text{m}$ 'lik alandaki topograf ve 3D AFM görüntüleri ise Şekil 42'de görülmektedir. Şekil 41'deki ortalama pürüzlülük değeri (R_a) 10.19 nm ve ortalama pürüzlülük karekökü (R_q) 12.06 nm 'dir. Şekil 42'teki R_a ve R_q değeri ise sırasıyla 53.66 ve 66.64 nm 'dir. Bu şekillerden de anlaşıldığı üzere çapraz bağlanma sonucunda topaklanmanın arttığı, ayrıca partiküllerin daha düzenli bir hâle geldiği gözlemlenmiştir.



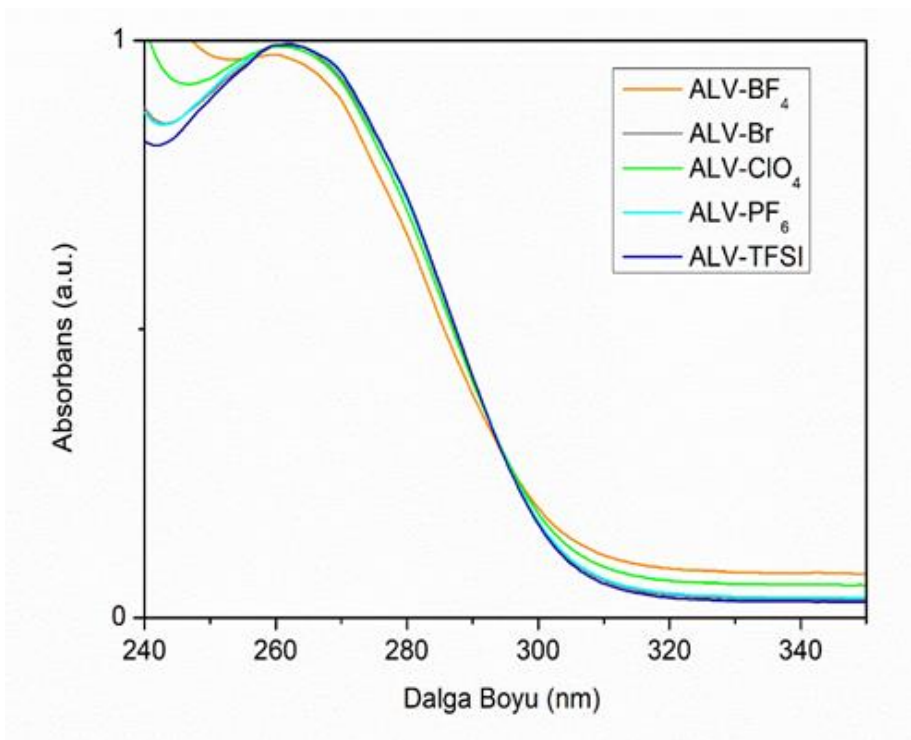
Şekil 41. 12 döngü ile kaplanmış çapraz bağlı ALV-TFSI tuzunun $3 \times 3 \mu\text{m}$ 'lik alandaki topograf ve 3D AFM görüntüleri



Şekil 42. 12 döngü ile kaplanmış çapraz bağlı ALV-TFSI tuzunun $10 \times 10 \mu\text{m}$ 'lik alandaki topograf ve 3D AFM görüntüleri

4.6. Allil Viyolojen Tuzlarının Optiksel Karakterizasyonu

Şekil 43'teki grafiğe bakıldığında ALV tuzlarının her birinin 320 nm 'ye kadar bir absorpsiyon bandına sahip olduğu görülmüştür ve dolayısıyla da nötral basamakta renksiz oldukları sonucuna varılmıştır. Elektrokromik cihazlarda nötral basamakta renksiz olması, özellikle bina uygulamalarında ışığa ihtiyaç duyulduğu zamanlarda içeri girebilmesi açısından oldukça önemlidir.



Şekil 43. ALV tuzlarının UV-Vis absorbans ölçümleri

Allil Viyolojen tuzlarının optik bant boşluk değerleri yükseltgenme onset potansiyel değerleri ve Planck sabitinden yararlanılarak hesaplanmış ve sonrasında tuzların DPV(Diferansiyel Puls Voltametri) grafiklerinden LUMO değerleri de bulunmuştur. Elde edilen değerler kullanılarak “ $E_g = \text{HOMO} - \text{LUMO}$ ” formülünden HOMO değerlerine ulaşılmıştır (Tablo 4).

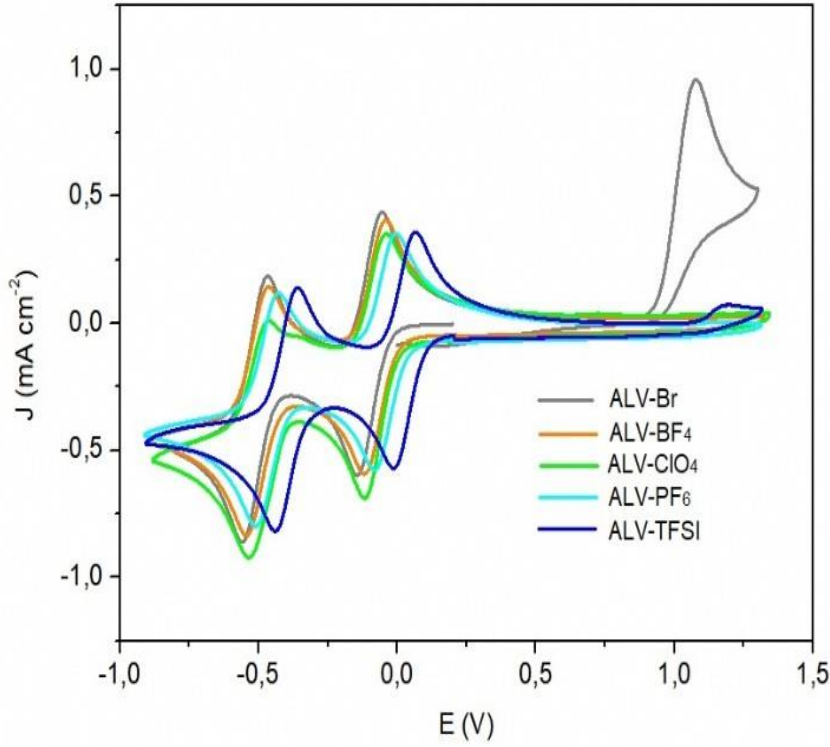
Tablo 4

ALV tuzlarının E_g , λ_{onset} , HOMO ve LUMO değerleri

Allil Viyolojen Tuzları	λ_{onset}	E_g	HOMO	LUMO
ALV-TFSI	318 nm	3.9 eV	3.13 eV	-0.77 eV
ALV-CIO ₄	316 nm	3.92 eV	3.04 eV	-0.88 eV
ALV-Br	314 nm	3.95 eV	3.30 eV	-0.65 eV
ALV-BF ₄	312 nm	3.7 eV	3.10 eV	-0.87 eV
ALV-PF ₆	310 nm	4 eV	3.19 eV	-0.81 eV

4.7. Allil Viyolojen Tuzlarının Elektrokimyasal Karakterizasyonu

Şekil 44’te allil viyolojen tuzlarının döngüsel voltamogramı yer almaktadır. Bu grafikte katodik bölgede viyolojen tuzlarına ait karakteristik iki basamaklı tersinir ve kararlı indirgenme pikleri görülmektedir. Bu piklerden Allil Viyolojen-TFSI yapısına ait indirgenme pikinin diğer yapıların indirgenmelerine göre kısmen daha pozitif kaymış şekilde gözlenmiştir.



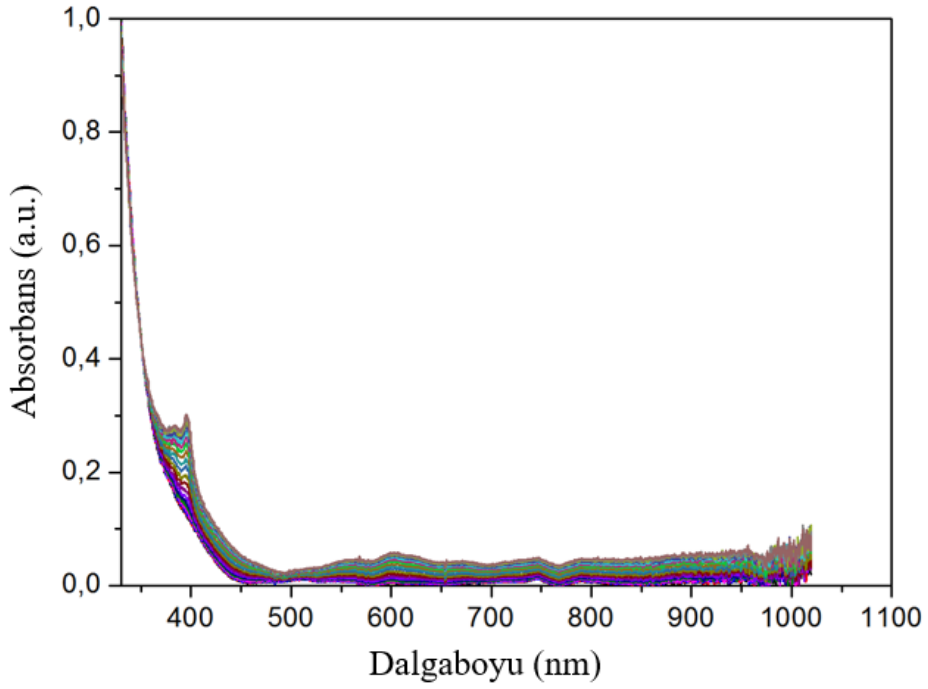
Şekil 44. Allil Viyolojen tuzlarının elektrokimyasal karakterizasyonları

4.8. Hazırlanan Elektrokromik Cihazların Spektroelektrokimyasal Ölçümleri

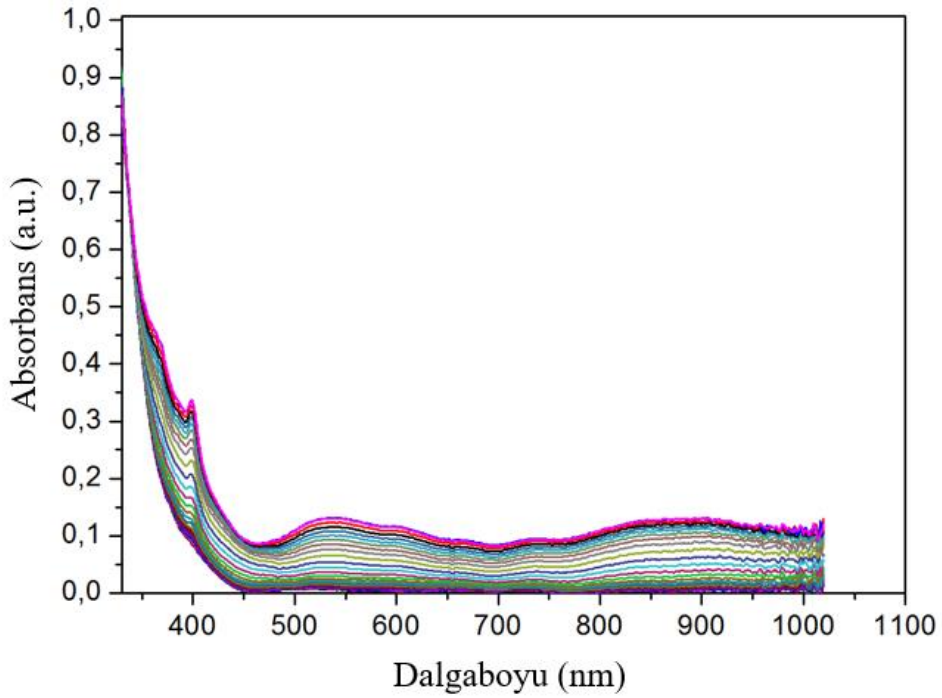
Performans ölçümlerinin ilkinde 12 döngü ALV-TFSI tuzu 3 adet 2,5x2,5 cm'lik ince filmlere kaplanmıştır. Kaplanmış olan ince filmlerin birinde çapraz bağlayıcı kullanılmamışken diğer ikisinde sırasıyla çapraz bağlayıcı oranı 10 mg ALV-TFSI tuzu çözeltisi için 38.5 µl tiyol ve 77 µl tiyollolarak hazırlanmıştır. Filmler kaplandıktan sonra yarım saat UV ışığın altında bekletilmiştir. Sonrasında ise kloroformla 3000 rpm'de 1 dakika boyunca yıkanan filmler ile KP-2 polimerinden cihazlar oluşturulmuştur.

Şekil 45-47'de hazırlanan bu cihazlarda kullanılan ALV-TFSI tuzunun spektrokimyasal davranışları yer almaktadır. -1.5/1.5 V aralığında uygulanan potansiyel sonucunda Şekil 45'ten de anlaşıldığı gibi ince film 360 nm'ye kadar şiddetli bir absorpsiyon bandına sahiptir. Uygulanan potansiyel sonucunda 400 nm merkezli bandın şiddeti azalırken 600 nm merkezli bandın da şiddetinin arttığı görülmektedir. Şekil 46'ya bakacak olursak, 400 nm'deki pikin şiddetinin bir önceki şekle göre daha şiddetli olduğunu görüyoruz ve çapraz bağlanma ile 360 nm'de yeni bir absorpsiyon pikinin oluştuğu görülmüştür. Yine çapraz bağlanmadan dolayı önceki şekildeki 600 nm merkezli pikin yok olduğu, onun yerine 550 nm ve 850 nm'de yayvan 2 pik oluştuğu gözlemlenmiştir. Şekil 47'ye bakıldığında 360 ve 400 nm'deki absorpsiyon piklerinin diğer şekildeki piklerden daha şiddetli olduğu görülmüştür. Aynı değişiklik 550 ve 850 nm'deki piklerde de

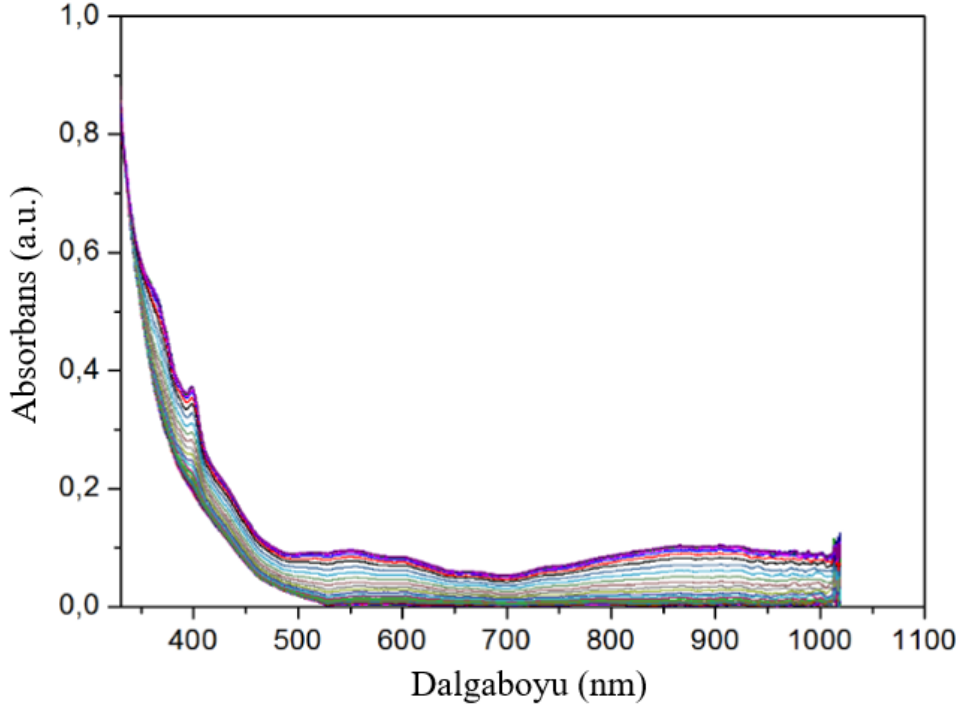
gözlenmiştir. Buradan konsantrasyon artışının absorpsiyon piklerinin şiddetinin artışına sebep olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 45. 12 döngü çapraz bağlanmamış ALV-TFSI tuzunun absorpsiyonu



Şekil 46. 12 döngü çapraz bağlanmış(38.5 µl tiyollü) ALV-TFSI tuzunun absorpsiyonu



Şekil 47. 12 döngü çapraz bağlanmış(77 µl tiyollü) ALV-TFSI tuzunun absorbanşı

4.9. Hazırlanan Elektrokromik Cihazların Performans Analizleri

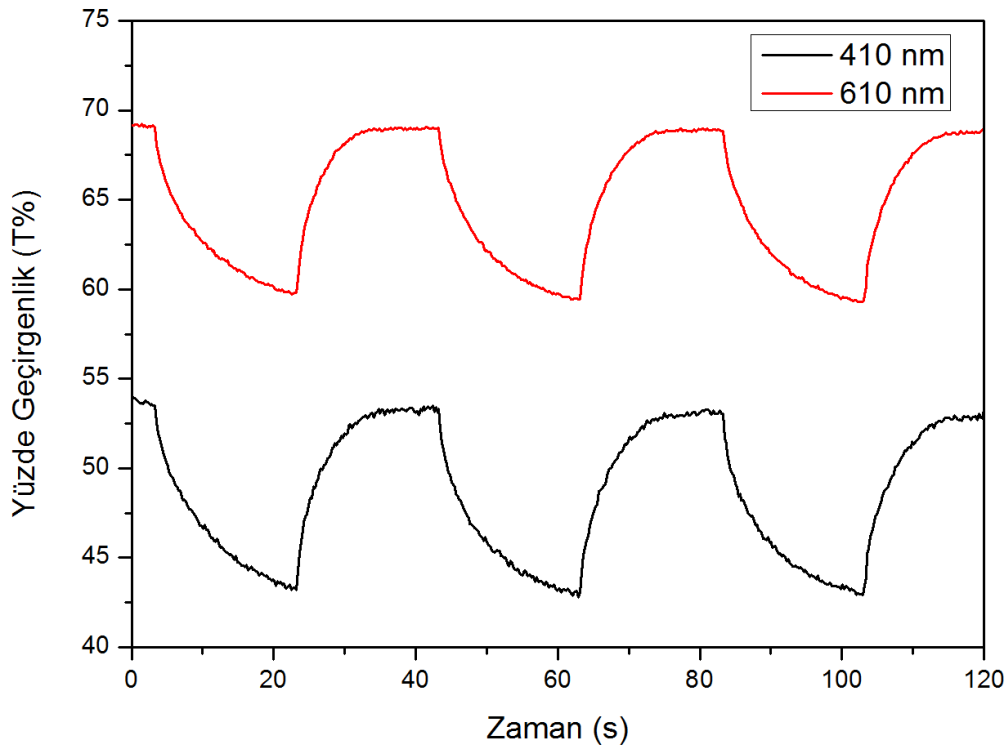
ITO/Cam / ALV-TFSI / Jel Elektrolit / KP-2 / ITO/Cam konfigürasyonunda hazırlanan ECD'lerin spektroeletrokimyasal ölçümlerden sonra kinetik çalışmaları yapılmıştır.

Şekil 48'de 12 döngüye sahip çapraz bağlanmamış ALV-TFSI tuzu ile hazırlanan ECD-1'in 20 saniyelik periyotlarda -1.5 V ve +1.5 V'luk potansiyeller uygulanması sonucunda elde edilen verileri içermektedir. Cihaz -1.5 V'ta 410 nm dalgaboyunda şeffaf olduğundan dolayı %53.3'lük geçirgenlik değerine sahiptir. Sonrasında +1.5 V'luk bir potansiyeldeki renk değişimi ile birlikte geçirgenlik değeri de buna bağlı olarak %43.1'e düştüğü görülmüştür. ECD-1'in 410 nm'de şeffaftan renkli hâle geçişin 8.9 s olduğu, renkliden şeffaf hâle geçişinse 19.8 s sürdüğü belirlenmiştir. Aynı cihaz -1.5 V potansiyel altındaki 610 nm dalgaboyunda şeffaf hâlde %68.9'luk bir geçirgenliğe sahipken sonrasında +1.5 V'luk bir potansiyel uygulandıktan sonra renk değişimiyle birlikte %59.7'lik bir geçirgenlik değerine düşmüştür. 610 nm dalgaboyunda indirgenme 7.8 s, yükseltgenme ise 20.1 s sürmüştür.

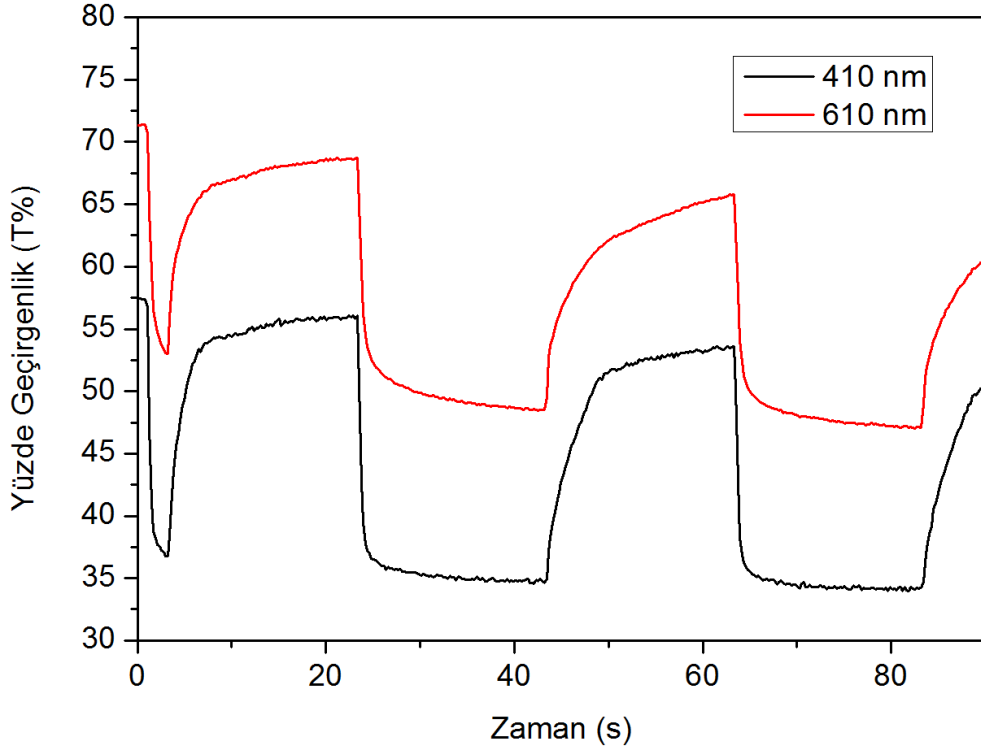
Şekil 49'da ise 12 döngüye sahip 38.5 µl tiyolle çapraz bağlanmış ALV-TFSI tuzu ile hazırlanan ECD-2'nin 20 saniyelik periyotlarda -1.5 V ve +1.5 V'luk potansiyeller uygulanması sonucunda 410 ve 610 nm dalgaboyunda elde edilen verileri içermektedir. Cihaz ECD-1'deki gibi -1.5 V'ta şeffaf olduğundan dolayı 410 nm'de %56'luk geçirgenlik değerine sahiptir. Sonrasında +1.5 V'luk bir potansiyel ile geçirgenlik değeri de buna bağlı

olarak %35.7'ye düştüğü görülmüştür. ECD-2'nin 410 nm dalgaboyunda indirgenmenin 3.5 saniye, yükseltgenmenin ise 3.1 saniyede gerçekleştiği belirlenmiştir. 610 nm dalgaboyunda ise -1.5 V'ta %68.7 olan geçirgenliğin +1.5 V potansiyel uygulanmasıyla %49.5'e düştüğü ve 5.1 s indirgenme süresine, 5.2 s de yükseltgenme süresine sahip olduğu belirlenmiştir.

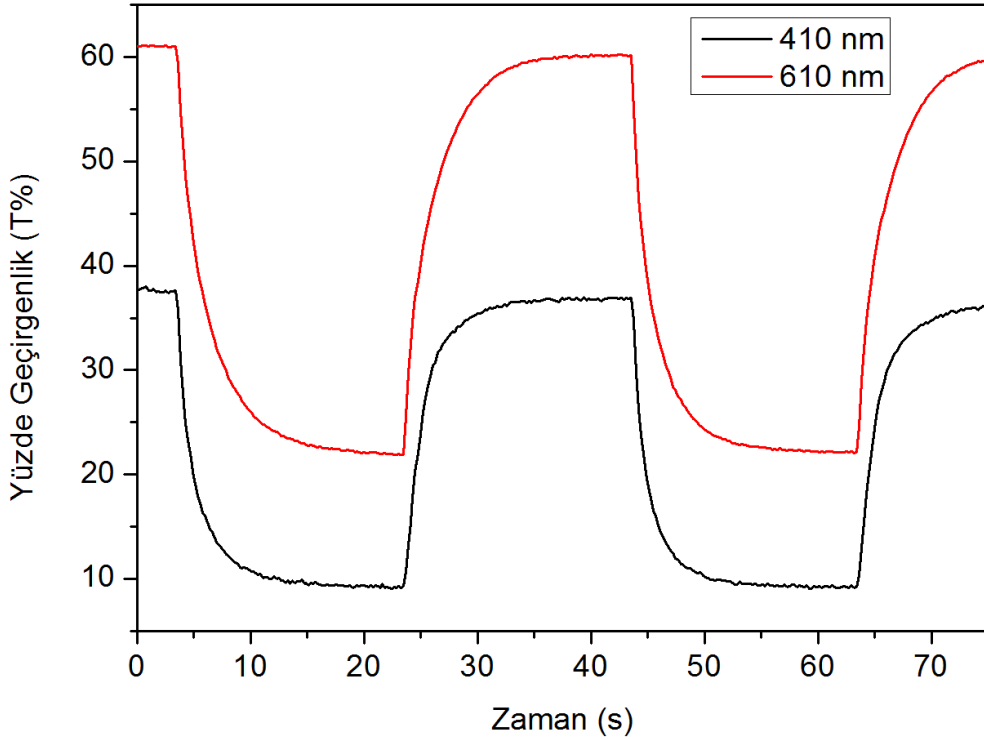
Şekil 50'de de 12 döngüye sahip 77 µl tiyolle çapraz bağlanmış ALV-TFSI tuzu ile hazırlanmış ECD-3'ün 410 ve 610 nm dalgaboylarında 20 saniyelik periyotlarda -1.5 V ve +1.5 V'luk potansiyeller uygulanması sonucunda elde edilen verileri içermektedir. -1.5 V'ta cihazın şeffaf olduğu durumda sırasıyla 410 ve 610 nm'de %37'lik ve %60.4'lük geçirgenlik değerlerine sahiptir. Sonrasında uygulanan +1.5 V'luk bir potansiyel ile renk değişimi göstermiş ve geçirgenlik değerleri de buna bağlı olarak %9.8'e ve %22.6'ya düştüğü gözlenmiştir. ECD-3'te indirgenmenin 410 nm'de 5.8 saniye, 610 nm'de ise 10 saniye olduğu, yükseltgenmeninse 410 nm'de 7 saniye, 610 nm'de ise 9.5 saniye olduğu belirlenmiştir. Şekil 51'deki grafikte 3000 tarama sonunda ECD-3'ün 410 nm dalgaboyunda yaklaşık %50, 610 nm dalgaboyunda ise %71 oranında optik geçirgenliğini koruduğu gözlemlenmiştir.



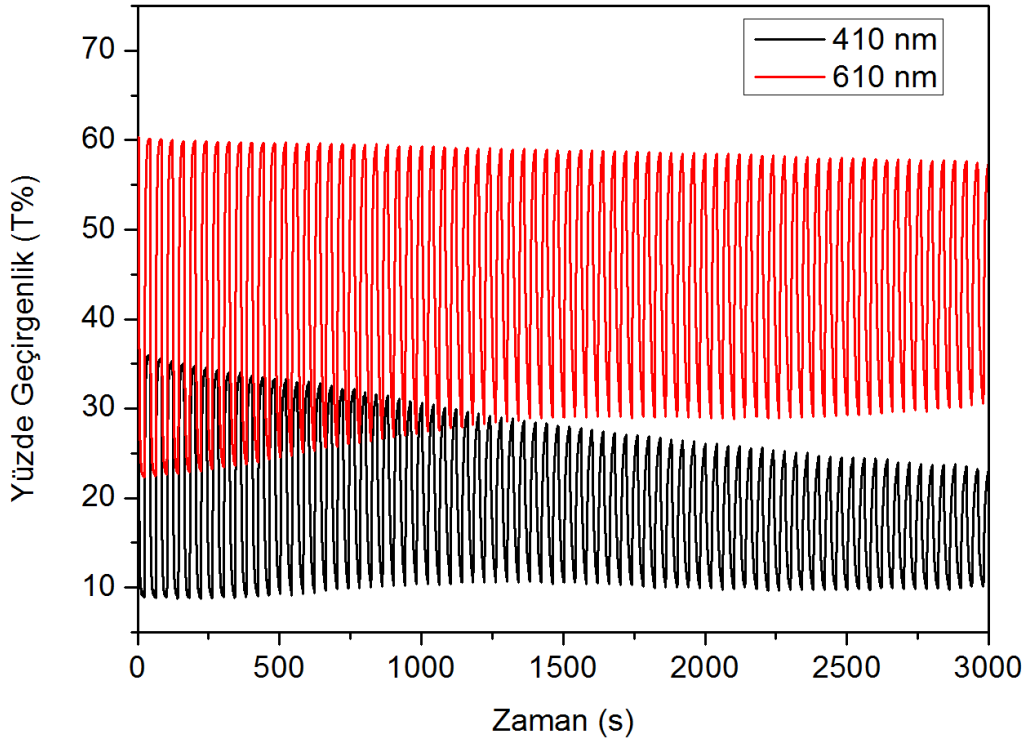
Şekil 48. 12 döngü çapraz bağlanmış ALV-TFSI tuzu ile hazırlanan ECD-1'in tranmitans ölçümü



Şekil 49. 12 döngü 38.5 μ l tiyolle çapraz bağlanmış ALV-TFSI tuzu ile hazırlanan ECD-2'nin tranmitans ölçümü



Şekil 50. 12 döngü 77 μ l tiyolle çapraz bağlanmış ALV-TFSI tuzu ile hazırlanan ECD-3'ün tranmitans ölçümü

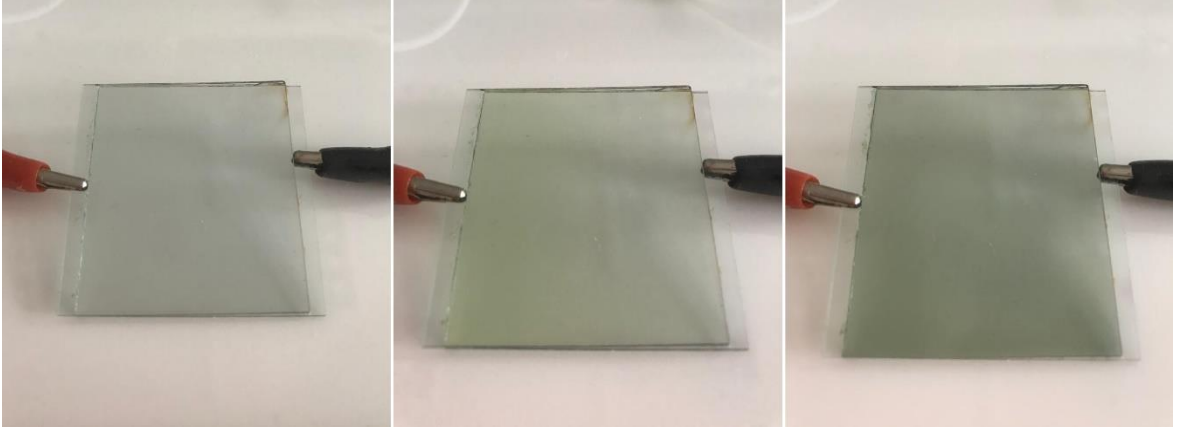


Şekil 51. 12 çevrim 77 µl tiyolle çapraz bağlanmış ALV-TFSI tuzu ile hazırlanan ECD-3'ün 3000 s'lik tranmitans ölçümü

Tablo 5'te Allil Viyolojen-TFSI tuzu ile hazırlanmış ECD-1'in, ECD-2'nin ve ECD-3'ün çapraz bağlanmayla birlikte performansları karşılaştırılmıştır.

Tablo 5
ECD-1'in ECD-2'nin ve ECD-3'ün 610 nm dalgaboyundaki kinetik özellikleri

Elektrokromik Cihazın Adı	Optiksel Geçirgenlik Değişimi ($\Delta T\%$)	Cevap Zamanı (s)
ECD-1 (çapraz bağlanmamış)	% ΔT : %9.2 $T_{\text{nötral}}$: %68.9 T_{renkli} : %59.7	İndirgenme 7.8 s Yükseltgenme 20.1 s
ECD-2 (38.5 µl tiyolle çapraz bağlanmış)	% ΔT : %19.2 $T_{\text{nötral}}$: %68.7 T_{renkli} : %49.5	İndirgenme 5.1 s Yükseltgenme 5.2 s
ECD-3 (77 µl tiyolle çapraz bağlanmış)	% ΔT : %37.8 $T_{\text{nötral}}$: %60.4 T_{renkli} : %22.6	İndirgenme 10 s Yükseltgenme 9.5 s



Şekil 52. 12 döngü 77 μ l tiyolle çapraz bağlanmış ALV-TFSI tuzu ve 4 döngü KP-2 ile hazırlanmış elektrokromik cihazın sırasıyla 0.0 V, 1.5 V, 2.0 V altındaki davranışı

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde katodik tabakada Allil Viyolojen tuzları, anodik tabakada ise KP-2 polimeri kullanılarak sandviç yöntemiyle elde edilmiş elektrokromik cihazların optimizasyonları üzerine çalışılmıştır. Farklı boyutlarda hazırlanan cihazların spektroeletrokimyasal ölçümleri yapılmıştır.

Öncelikle Allil Viyolojen-Br tuzu sentezi yapılmış ve bu sentezden sonra Allil Viyolojen-Br tuzundan Allil Viyolojen-BF₄, ClO₄, PF₆ ve TFSI tuzları elde edilmiştir.

Sonrasında elde edilen tuzların çözeltileri hazırlanmış ve sprej kaplama cihazında çeşitli döngülerde cam yüzeyine kaplanmış ve daha sonrasında yüzey morfolojilerinin tayinleri için AFM ölçümleri alınmıştır. Tablo 3'teki ölçüler, ince filmlerin oluştuğunu göstermektedir. Elde edilen sonuca göre Allil Viyolojen-TFSI tuzunun ortalama pürüzlülük değeri Tablo 3'teki gibi diğer Allil Viyolojen tuzlarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, ALV-TFSI tuzunun yüzey pürüzlülüğünün çapraz bağlamayla birlikte daha düzenli hâle geldiği ve topaklanmanın artarak yüzey alanında artış meydana geldiğinden dolayı ALV-TFSI tuzu üzerinde çalışılmasına karar verilmiştir.

Allil Viyolojen tuzlarının yükseltgenme onsets değerleri ile optik bant boşluğu(E_g) değerleri bulunmuştur. En düşük optik bant boşluğu değerine sahip olan tuz 3.9 eV değeriyle Allil Viyolojen-TFSI tuzu olarak hesaplanmıştır.

Daha sonrasında Allil Viyolojen-TFSI tuzu ve çözücü olarak kullanılan DMF ile 5 mg/1 ml oranında hazırlanmış çözeltiler ile çeşitli döngülerde sprej cihazında kaplamalar yapılmıştır. Uygun püskürtme hızı ve tabla sıcaklığı üzerinde çalışılmıştır. Başlangıçta püskürtme hızı arttırılarak 2 ile 8 döngü arasında kaplanmıştır. Fakat bunun film yüzeyinde birikmeler yaparak homojen kaplanma yönünde bir engel oluşturduğu görülmüştür. Bu yüzden püskürtme hızı azaltılarak döngü sayılarının arttırılmasına karar verilmiştir. ALV-TFSI tuzunun sprej cihazındaki ince film yüzeyine kaplanmasındaki optimum tabla sıcaklığının 70°C olduğu saptanmıştır. Ek olarak ALV-TFSI tuzunun yapısının daha kararlı hâle gelmesi ve morfolojisinin düzenli hâle getirilmesi için tetratiyol türevli çapraz bağlayıcı eklenmiş ve bunun sonucunda beklenildiği gibi tuzun daha kararlı ve düzenli bir yapıya geldiği görülmüştür.

Anodik tabakada kullanılan KP-2 polimerinden 5 mg/2 ml oranında kloroformla çözeltisi hazırlanmış ve sprej cihazında 80°C'de 4 döngü olarak kaplanmıştır.

Anodik ve katodik tabakadaki iyileştirmeler yapıldıktan sonra LiClO₄:PMMA jel

elektroliti hazırlanıp sandviç yöntemiyle 2,5x2,5 , 5x4 , 10x9 cm'lik eelektrokromik cihazlar hazırlanmış ve spektroeletrokimyasal ölçümleri alınmıştır. 77 µl tiyolle çapraz bağlı Allil Viyolojen-TFSI tuzu ile hazırlanan ECD-3'ün 3000 saniye sonrasında kararlılığını %71 koruduğu gözlenmiştir.



KAYNAKLAR

- Alesanco Y., Palenzuela J., Tena-Zaera R., Cabanero G., Grande H., Herbig B., Scmitt A., Schott M., Posset U., Guerfi A., Dontigny M., Zaghib K. & Vinales A. (2016). Plastic Electrochromic Devices Based on Viologen-Modified TiO₂ Films Prepared at Low Temperature. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 157, 624-635.
- Aydın, Z. (2007). *İletken Poli(Etilen Teraftalat)/Polipirol Kompozit Liğlerinin Kimyasal Polimerizasyonla Hazırlanması ve Karakterizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi:
https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12575/30510/zeynep_aydin_tez.pdf?sequence=1
- Bange, K. (1999). Colouration of Tungsten Oxide Films: A Model for Optically Active Coatings. *Solar Energy Material and Solar Cells*, 58, 1-131.
- Bruinink, J., Kregting, C.G.A. & Ponjee, J.J. (1997). Modified Viologens with Improved Electrochemical Properties for Display Applications. *Journal of the Electrochemical Society*, 124,(12) ,1854-1858.
- Byker, H.J. (2006). Effect of tetramethylthiuramdisulfide on the cationic polymerization of cyclohexeneoxide. *7th International Meeting on Electrochromism, Istanbul, TURKEY*, September 2-7.
- Cai G., Darmawan P., Cheng X. & Lee P.S. (2017). Inkjet Printed Large Area Multifunctional Smart Windows. *Advanced Energy Materials*, 7, 1602598.
- Gentex U.S.A, 2015. Erişim Tarihi: 24.11.2020. <https://www.aetonline.co.uk/>
- Gürses, A., (2016). İletken Polimerler. Erişim Tarihi: 24.11.2020.
<https://slideplayer.biz.tr/slide/9827463/>
- Globe Newswire. Erişim Tarihi: 9 Temmuz 2019.
<https://www.globenewswire.com/newsrelease/2019/01/08/1682175/0/en/Boeing-s-New-777X-to-Offer-Gentex-Dimmable-Windows.html>
- Granqvist, C.G., Avendañoa E., Berggren, L., Niklasson G.A. & 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, 30-36.
- Gregoire, G., Souban, P., Farcy, J., Peirera-Ramos, J. P., Badot, J. C. & Baffiar, N. (1999). Electrochemical Lithium Insertion in the Hexagonal Cesium Vanadium Bronze Cs_{0.35}V₂O₅. *Journal of Power Sources*, 81-82, 612-615.

- Has Z. (2017). *Akıllı Cam Uygulamalarında Kullanılabilecek Siloksan Fonksiyonlandırılmış Karbazol Polimerleri* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=CUIGtNK3xUmk02RW14fFJA&no=SvEtor-74UDyNizRCWYidQ>
- Kim Y.J., Jeong H.K., Seo, J.K., Chai, S.Y., Kim, Y.S., Lim, G., Cho, M.H., Lee, I.M., Choi, Y.S. & Lee, W.I. (2007). Effect of TiO₂ particle size on the performance of viologen-Anchored TiO₂ Electrochromic Device. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 7,11, 4106-4110.
- Korgel, B.A. (2013). Materials Science: Composite for Smarter Windows. *Nature*, 500, 278-279.
- Kraft A., Rottmann M. & Heckner K.H. (2006). Large Area Electrochromic Glazing With Ion-Conducting PVB Interlayer and Two Complementary Electrodeposited Electrochromic Layers. *Solar Energy Materialas & Solar Cells*, 90, 469-476.
- Lampert, C.M. (2004). Chromogenic Smart Materials. *Materials Today, March*, 28- 35.
- Madasamy, K., Velayutham, D., Suryanarayanan, V., Kathiresan, M. & Ho, K.C. (2019). Viologen-Based Electrochromic Materials and Devices. *Journal of Materials Chemistry*, 7, 16, 4622-4637.
- Matthews J.G.H., Sapers S.P., Cumbo M.J., O'Brien N.A., Sargent R.B., Raksha V.P., Lahaderne R.B. & Hichwa B.P. (1997). Large Area Electrochromics For Architectural Applications. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 218, 342-346.
- Millet, M., Farcy, J., Peirera-Ramos, J. P., Sabbar, E. M., De Ray, M. B. & Besse, J. P. (1998). A New Hydrated Sodium Vanadium Bronze as Li Insertion Compound. *Solid States Ionics*, 112, 319-327.
- Moon, H.C., Lodge, T.P. & Frisbie, C.D. (2015). Solution Processable, Electrochromic Ion Gels for Sub-1 V, Flexible Displays on Plastic. *Chemistry of Materials*, 27, 1420-1425.
- Moon, H.C., Oh, H., Seo, D.G., Yun, T.Y. & Kim, C.Y. (2017). Voltage Tunable Multicolor, Sub-1.5 V, Flexible Electrochromic Devices Based on Ion Gels. *ACS Applied Materials Interfaces*, 9, 7658-7665.
- Pehlivan E., 2007. *Saf ve Katkılı Niobyum Pentoksit İnce Filmlerin Optik, Yapısal, Elektriksel ve Elektrokromik Özellikleri*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye. Erişim Adresi: <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/7203/1/7096.pdf>
- Pennisi A., Simone F., Barletta G., Di marco G. & Lanza M. (1999). Preliminary Test of a Large Electrochromic Window. *Electrochimica Acta*, 44, 3237-3243.

- Platt, J.R. (1961). Electrochromism, a possible change of color producible in dyes by an electrical field. *The Journal of Chemical Physics*, 34(3), 862-863. doi: <https://doi.org/10.1063/1.1731686>
- Sage Glass. Erişim Tarihi: 9 Temmuz 2019. <https://www.sageglass.com/en/case-studies/waves-beaulac-hotel-switzerland>
- Selkowitz, E.S. (1999). High Performance Glazing Systems: Architectural Opportunities for the 21st Century. *Proceedings from Processing Days Conference, Tampere, Finland, LBNL Report No: 42724*.
- Smart Glass. Erişim Tarihi: 9 Temmuz 2019. <https://www.smartglass.com/products/#Automotive>
- Sydam, R., Deepa, M. & Joshi A.G. (2013). Novel 1,10-bis[4-(5,6-dimethyl-1H-benzimidazole-1-yl)butyl]-4,40-bipyridinium dibromide (viologen) for a High Contrast Electrochromic Device. *Organic Electronics*, 14, 4, 1027-1036.
- Wang, H., Barret, M., Duane, B. & Gu, J. (2018). Materials and Processing of Polymer-Based Electrochromic Devices. *Materials Science and Engineering*, 228, 167-174.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Şölen AYAŞLIGİL
Doğum Yeri : Çanakkale/Bayramiç
Doğum Tarihi : 22.09.1994

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : İzmir Ekonomi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2012-2017
Yüksek Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Kaynakları ve Yönetimi Anabilim Dalı, 2019-2021
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce, Almanca

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Yayınlar

b) Bildiriler

Uluslararası

Çapraz Bağlanabilir Viyolojen Türevlerinin Sentezi ve Karakterizasyonu, Ş.Ayaşlıgil, S.Koyuncu, 32. Ulusal Kimya Kongresi (online), 2020

c) Katıldığı Projeler

Proje No: FYL-2020-3265

Proje Adı: Viyolojen İçeren Elektrokromik Cihazlarda Alan Büyütmesine Bağlı Performans Optimizasyonu

Destekleyen Kuruluş: ÇOMÜ-BAP

Proje Tarihi: 2019-2021

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl: Schneider Elektrik(Staj), 2015
Botek Otomasyon, 2018-2019

İLETİŞİM

E-posta Adresi : solenayasligil@gmail.com

ORCID : 0000-0003-0026-536X