

BİNALARDA ENERJİ TASARRUFU SAĞLAYAN ELEKTROKROMİK CİHAZ TASARIMI

Fabrication Of Energy Saving Electrochromic Device For Buildings

Esra ZAYİM
İsmail BÜTÜN

ÖZET

Bu çalışmada, polianilin (PANI) organik filmler hem elektrodpozisyon hem de kimyasal oksidasyon yöntemleri ile cam kaplı ITO yüzeyleri üzerine ince film kaplamaları yapılmıştır. Elektrodpozisyon yönteminde, kaplanan filmlerin elektrokimyasal özellikleri H_2SO_4 , HCl ve HNO_3 asitleri içinde farklı oranlarda test edilmiş ve en iyi elektrokromik sonuçlar 0,1 M H_2SO_4 çözeltisi ile kaplanmış PANI filmlerinde gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, PANI filmlerinin optik ve elektrokimyasal davranışları incelenmiş ve $90^\circ C$ 'de ısı işleme tabi tutulan PANI filmlerinde elektrokromik özellikler için optimum sonuçlar elde edilmiştir. Aynı zamanda, elektrodpozisyon ile hazırlanan PANI filmleri, 30 dakika süreyle kimyasal banyoda tutularak kimyasal oksidasyon yöntemi ile ITO kaplı cam yüzere kaplamak suretiyle karşılaştırılmıştır. Son aşamada, elektrodpozisyon ve kimyasal oksidasyon yöntemleri ile hazırlanan filmlerin optik ve elektrokromik özellikleri detaylı olarak incelenmiş ve karşılaştırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Organik elektrokromizm, PANI, Elektrodpozisyon, Enerji Tasarrufu

ABSTRACT

In this study, polyaniline (PANI) organic films are coated on glass coated ITO surface by both electrodeposition and chemical oxidation methods. In the electrodeposition method, H_2SO_4 , HCl, and HNO_3 acids were tested in determined ratios and the best electrochromic results were observed in PANI films coated with 0.1M H_2SO_4 solution. According to the results, optical and electrochemical behaviors of PANI films were investigated and optimum results for electrochromic properties were obtained in PANI films which were subjected to heat treatment at $90^\circ C$. At the same time, it was compared to PANI films prepared by electrodeposition by covering the PANI film to ITO films which were kept in the bath for 30 minutes by chemical oxidation method. Then, the optical and electrochromic properties of the films prepared by electrodeposition and chemical oxidation methods were investigated and compared.

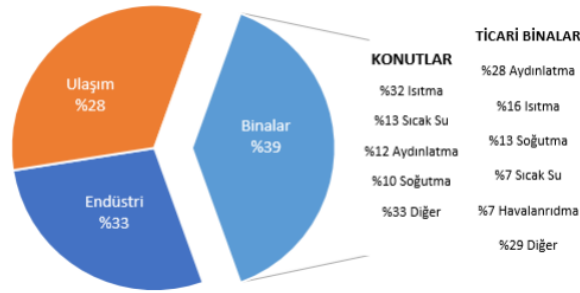
Key Words: Organic electrochromism, PANI, Electrodeposition, Energy Saving

1. GİRİŞ

En temel yaşamsal gereksinimlerimizden olan korunma ihtiyacını sağlayan binaların; dayanıklılık, kullanılabilirlik ve estetik gibi farklı gereksinimleri de karşılaması beklenmektedir. Binaların dış ortamla bağlantısını sağlayan saydam yüzeyler iç ortam koşullarını (sıcaklığı ve aydınlatması) insanlar için elverişli tutabilmelidir. Yatay güneş açıları ve bulutlu gökyüzünün hakim olduğu kuzey bölgelerindeki camların mümkün olduğunca fazla ışık geçirmesi beklenirken, güney bölgelerinde aşırı parlaklıktan kaçınmak için camın ışık geçirgenliğinin daha düşük olması istenmektedir. Işık geçirgenliğinin ayarlanmaması daha fazla elektrik enerjisi kullanımına, yapay aydınlatmanın yarattığı ısı nedeniyle de soğutma yükü ve maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle tasarlanan akıllı cam teknolojileri ile binanın kullanım amacına ve tüm bu faktörlere bağlı olarak enerji ve aydınlatma tasarrufu sağlanmaktadır.

Enerji tüketimi ve maliyeti her geçen gün artmaktadır. Enerjinin verimli kullanılması, enerjinin kullanıldığı ortamdaki kayıplarının azaltılması ile sağlanabilir. Şekil 1'de dünya birincil enerji tüketiminin sektörlere göre yüzdesel dağılımı ve bu sektörler içerisinde ticari binalar ve konutların

kullandığı enerjinin dağılımı verilmiştir [1]. Dünya geneline bakıldığında, binaların kullanılan toplam birincil enerjinin %40'ını tükettiği görülmektedir. Binalarda ısı kayıp ve kazançlarının en fazla olduğu kısımlar pencereleridir. Bu nedenle, pencere sistemlerinde enerji tasarrufu sağlayan camların geliştirilmesi önemlidir. Mimari uygulamalarda bina dış cephelerinde cam kullanım oranı her geçen gün artmaktadır bu durum cam sistemlerin enerji tasarrufuna yönelik şekilde geliştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Enerji tasarrufu sağlayan camlar içerisinde, değişen ortam koşullarına otomatik olarak tepki verebilen dinamik camlar, ya da akıllı camlar, son dönemde oldukça önem kazanmıştır. Akıllı camlar potansiyel, ışık, sıcaklık vb. dış şartların değişmesi ile optik özelliklerini değiştirerek ısı ve ışık kontrolü sağlayan kromojenik camlar üzerine yapılan çalışmalar özellikle son yıllarda yoğun olarak çalışılmaktadır. Bu çalışma kapsamında elektrodepozisyon ve kimyasal oksidasyon yöntemleri ile cam kaplı ITO yüzeyleri üzerine polianilin (PANI) filmleri kaplanmıştır. Farklı asidik çözeltiler, asit konsantrasyonu ve ısı işlem etkisi detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil1. Dünya enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı [1]

2. ELEKTROKROMİK KAPLAMA KARAKTERİZASYON YÖNTEMLERİ

Elektrokromik camların optik ve elektrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan ölçümler, çevrimsel voltametri, kronoamperometri, spektrofotometri optik geçirgenlik ölçümleri şeklinde özetlenebilir.

2.1. Çevrimsel Voltametri

Çevrimsel voltametri ölçümünde aktif elektrokromik filmin kaplandığı ITO katman (çalışma elektrotu) ve sayıcı elektrot olarak kullanılan asitle tepkimeye girmeyen metalden yapılmış (genellikle platin) çubuk arasına sabit potansiyel uygulanır. Bu sabit potansiyel V1 ve V2 gibi iki farklı potansiyel arasında bir potansiyel değerine sahiptir ve belirli bir tarama hızı ile V1 den V2 potansiyeline doğru ilerlenirken elektrokimyasal hücre içerisinde gerçekleşen kimyasal tepkimeler sonucu ölçülen akım değerinde değişimler meydana gelmektedir [2]. Akımın voltaja bağlı bu değişim eğrisi çevrimsel voltametri grafiğini oluşturmaktadır. Çevrimsel voltametri eğrileri ile elektrokromik camların optik geçirgenliğin değişimi sağlayan iyon miktarı ve redoks potansiyeli değerleri bulunmaktadır.

2.2. Kronoamperometri

Kronoamperometri ölçümünde ITO katman üzerine belirli bir zaman aralığında uygulanan adım gerilimi ile akım yoğunluğu değişimi ölçülmektedir. Kronoamperometri eğrileri ile yapıya giren-çıkan yük miktarları belirlenmektedir. Kronoamperometri ölçümünde indirgenme ve yükseltgenme potansiyelleri belirlenmiş elektro-aktif maddenin elektrokimyasal hücre içerisinde, çalışma elektrotuna uygulanan sabit indirgenme veya yükseltgenme voltajında, zamanla elektrot hücrelerine giren iyon değişimi akım değişimine sebep olmaktadır [3]. Bu akım değişimi elektrot alanına bölündüğünde akım yoğunluğunun zamana göre değişimi bulunmaktadır. Bu ölçüm yöntemi iyon difüzyon katsayısını, optik ölçümlerde maksimum ve minimum verimlerin hesaplanmasında ve aynı zamanda sistemde dolaşan yük miktarını hesaplamada kullanılmaktadır.

2.3. Spektrofotometri ile optik geçirgenlik

Spektrofotometri ile elektrokromik camların optik geçirgenliklerinin renkli ve saydam olduğu durumlarda belirli dalga boyu aralıklarında geçirgenlik değerleri ölçülmektedir. Bu ölçüm ile elektrokromik camların görünür bölgede renklenme etkinlikleri belirlenebilmektedir. Bina içerisine giren ışık miktarı, elektrokromik cihaza uygulanan elektrik potansiyeli değiştirilerek ayarlanabilmektedir.

Ölçüm sonuçlarında elde edilen yük miktarları ve optik geçirgenlik değerleri ile uluslararası aydınlatma komisyonu (CIE) tarafından elektrokromik çalışmalara uygulanan kolorimetrik metot ile [4] renklenme verimi hesaplanmaktadır. Renklenme verimi (CE), yapı içerisine giren/çıkan yük miktarına bağlı olarak optik yoğunluğunun ne kadar değiştiğinin bir göstergesidir. Görünür bölgedeki belirli bir dalgaboyu için hesaplanmaktadır. $CE = \ln(T_b/T_c)/Q_{giren}$ formülü [5] ile hesaplanmaktadır, burada T_b , optik geçirgenliğin yüksek olduğu durumdaki geçirgenlik değeri ve T_c , optik geçirgenliğin düşük olduğu durumdaki geçirgenlik değeridir.

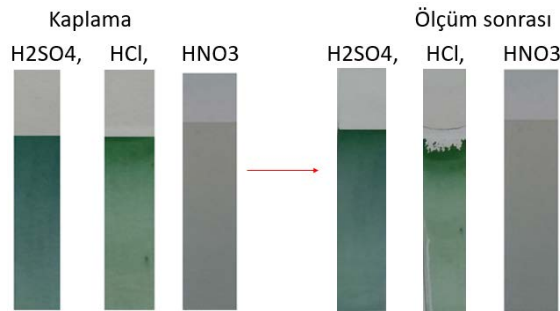
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Elektrodepozisyon İle Kaplama

3.1.1. Asidik Ortamın Belirlenmesi

Polyanilin 3 farklı oksidasyon durumu yani belli voltajlara göre farklı renklenme gösterebilen elektrokromik özelliklere sahip önemli bir organik malzemedir. Polyanilin, anilin adlı organik monomerin asidik ortamda polimerleştirilmesi ile elde edilmektedir ve asit doplanmasıyla artan delokalize elektronlar sayesinde filmin iletkenlik seviyesi artırılmaktadır [6].

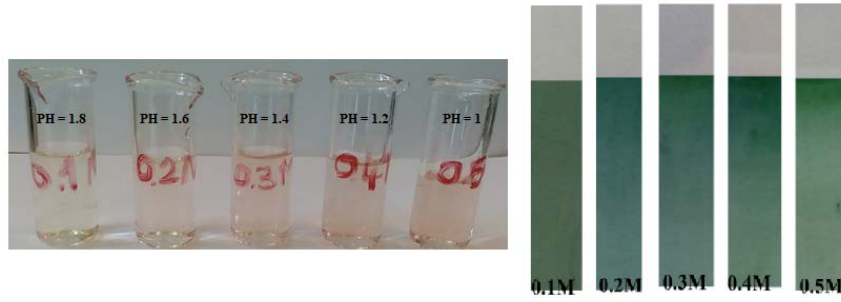
Polimerleştirme işleminde asidik ortam tayini için literatürde kullanım açısından öne çıkan üç farklı asidik ortam [7] denenerek en uygun asit seçimi yapılmıştır. 0,5 M anilin; 0,1 M seyreltik sülfirik asit, hidroklorik asit ve nitrik asit ayrı beherler içinde elektropolimerizasyon için hazırlanmıştır. Hazırlanmış anilin çözeltileri aynı kaplama parametreleri ile ITO yüzeylerine çevrimsel voltametri (CV) yöntemi ile kaplanmış ve ardından CV ölçümleri gerçekleştirilmiştir. HCl ile hazırlanan PANI filmlerinin ITO yüzeylerine tutunması iyi olmamıştır. Öte yandan HNO_3 ile hazırlanan filmler elektrokromik özellik göstermemiştir. En iyi fiziksel ve elektrokimyasal sonuçlar seyreltik H_2SO_4 ile hazırlanan filmlerden elde edilmiştir.



Şekil 2. Farklı asit ortamında hazırlanan PANI filmlerin görüntüleri

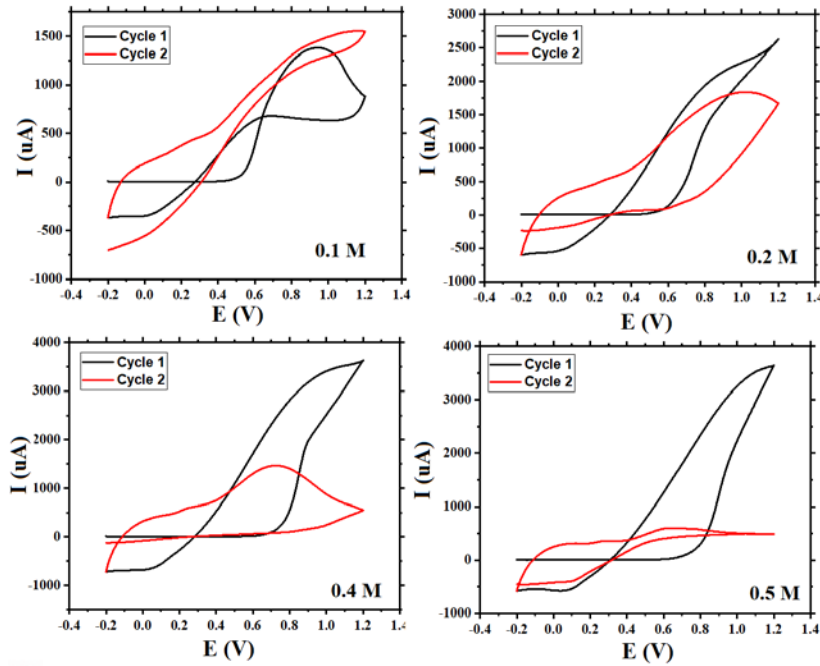
3.1.2. Sülfirik Asit Konsantrasyonunu Belirleme

Sülfirik asit ile elde edilen PANI filmlerin sonuçlarına göre konsantrasyon değişiminin PANI filme olan etkisi gözlemlenerek en uygun elektrokromik filmin hangi konsantrasyon oranında elde edileceği bulunmuştur. 0,5 M anilin sırasıyla 0,1M-0,5M arasında farklı H_2SO_4 solüsyonları ultrasonik banyoda homojen çözelti olarak hazırlanmıştır. Asit derecesi arttıkça solüsyonun renginde şekil 2'de görüldüğü gibi koyulaşma meydana gelmektedir.



Şekil 3. Farklı asit konsantrasyonu ve elektrodepozisyon yöntemi ile elde edilen filmlerin görüntüsü

Hazırlanan solüsyonlar $-0,3V$ dan $1,2V$ 'a kadar 20 mV/s tarama hızında çevrimsel voltametri yöntemiyle ITO yüzeylerine kaplanmıştır ve spektrometre ile optik geçirgenlik değerleri ölçülmüştür. Şekil 3'te farklı konsantrasyonlarda hazırlanan PANI filmlerin elektrodepozisyon ile kaplama sırasında alınan CV eğrileri görülmektedir. İlk kaplama film üzerine olduğundan siyah eğriler benzer özellikler göstermektedir ancak kırmızı eğriler ikinci çevrimde kaplama olduğu için asit konsantrasyonuna göre değiştiği gözlemlenmiştir. $0,1M$ ile hazırlanan PANI filmlerin depozisyon eğrisinde, filmin iletkenliği artmaktadır ancak diğer örneklerde iletkenlik düşmektedir. Çevrim sayısı filmlerin kalınlıklarını değiştirmektedir ancak çevrim sayısındaki artış oransal olmamaktadır. Çevrim sayısına bağlı olarak film kalınlıklarının değişimi Tablo 1 de verilmiştir.



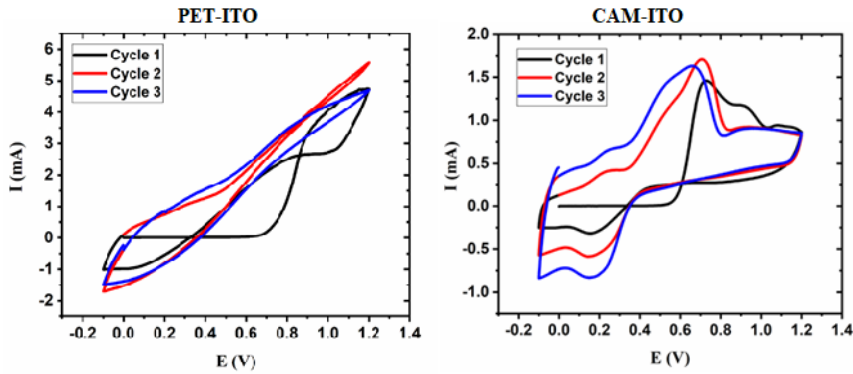
Şekil 4. Elektrodepozisyon ile film oluşumu sırasında alınan CV eğrileri

Tablo 1. Polyanilin filmlerin çevrim sayısına göre kalınlıklarındaki değişim.

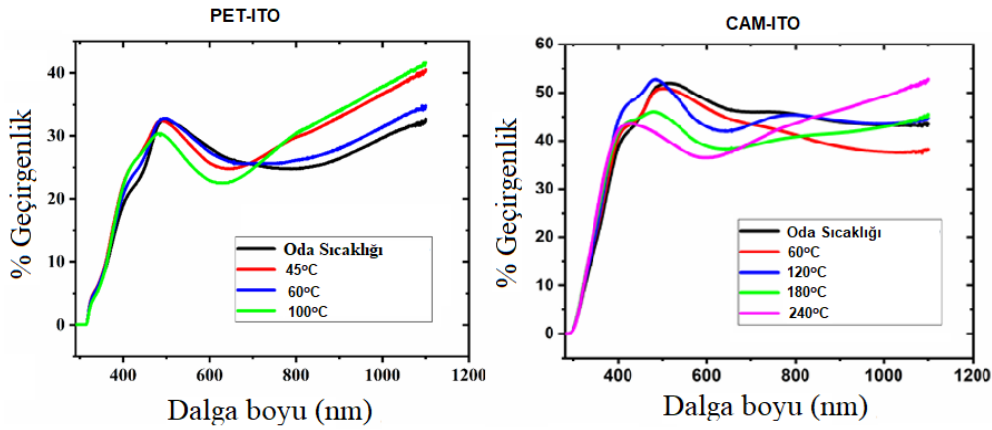
Çevrim sayısı	1	2	3	4	5
Kalınlık (nm)	700	900	1200	1500	1700

3.1.3 Isıl İşlem Etkisi

Pet ve cam ITO altlıklarına aynı parametreler ve aynı ortam koşullarında kaplanan PANI filmlerin ısı işlem altında elektrokromik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. 0,5M anilin 0,1M H₂SO₄ içinde ultrasonik banyo ortamında homojen hale gelene kadar bekletilmiştir. Hazırlanan çözelti, 50 mV/s tarama hızında ITO yüzeylerine başarı bir şekilde kaplanmıştır. Isıl işlem etkisini gözlemlemek için hem pet-ITO hem de cam-ITO filmler kullanılmıştır. Esnek pet-ITO üzerine kaplı filmler farklı sıcaklıklarda (oda sıcaklığında, 45°C, 60°C ve 100 °C) 30 dk ısı işleme maruz bırakılmışlardır. 45°C'den yüksek sıcaklıklarda ısı işleme tabii tutulan filmler elektrokromik özelliklerini yitirmişlerdir. Cam-ITO altlıkları üzerine kaplanan filmler ise oda sıcaklığı, 60°C, 120°C, 180°C ve 240°C'de 30 dk süre ile ısı işleme bırakılmışlardır. Görünür dalga boyu aralığında 120°C'den yüksek sıcaklıklarda ısı işleme tabii tutulmuş filmlerde elektrokromik etki zayıfladığından 60°C-120°C aralığında ısı işlem görmüş filmler incelenmiş ve en uygun (filmlerin altlıklara tutunması, homojenlik, kalınlık vb.) ısı işlem sıcaklığı olarak 90°C bulunmuştur.



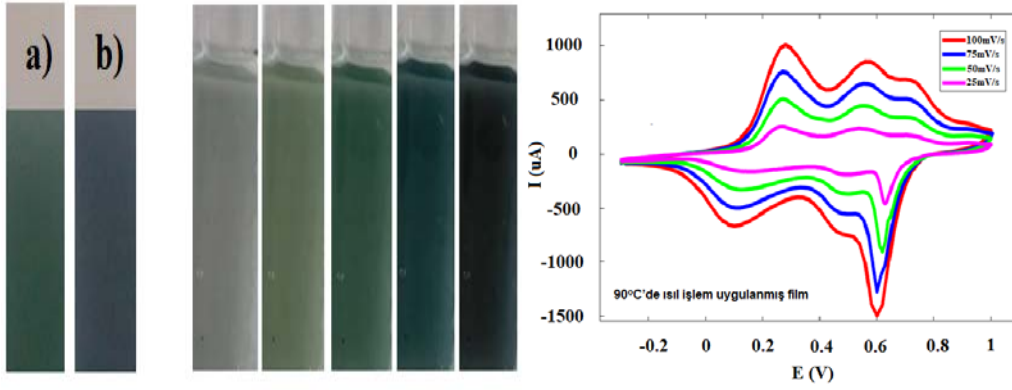
Şekil 5. Elektrodepozisyon yöntemi ile film oluşumu sırasında alınan I-V eğrileri



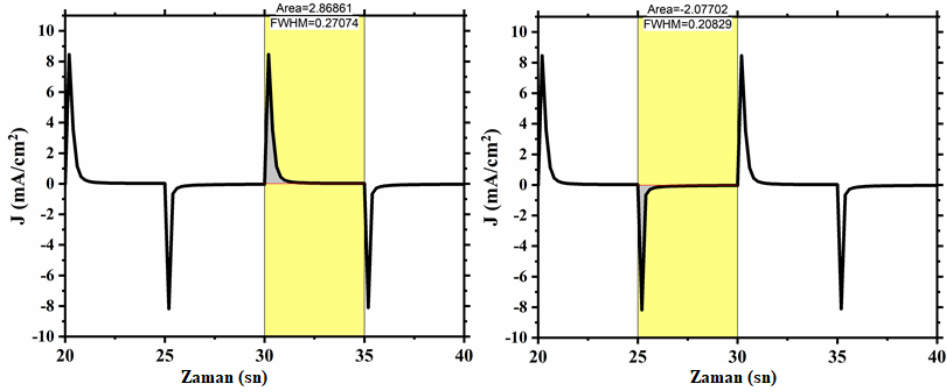
Şekil 6. Farklı altlıklar üzerine kaplanan PANI filmlerinin ısı işlem sonrası geçirgenlik değerleri

3.1.4 Elektrodepozisyon yöntemi ile kaplanmış PANI ince filmlerin karakterizasyonu

Cam-ITO altlıklar üzerine -0,3-1,2V aralığında 100 mV/s tarama hızıyla kaplanan PANI filmlere 90°C'de 30 dk süre ile ısı işlem uygulanmıştır. Elde edilen filmlerin 100 mV/s, 75 mV/s, 50 mV/s ve 25 mV/s tarama hızlarında CV ölçümleri alınmıştır (Şekil 7). Elektrodepozisyon yöntemi elde edilen homojen PANI filmlerin sabit voltaj altında akım yoğunluğunun zamana göre değişimi ve filmlere giren-çikan yük miktarları Şekil 8'de verilmiştir.



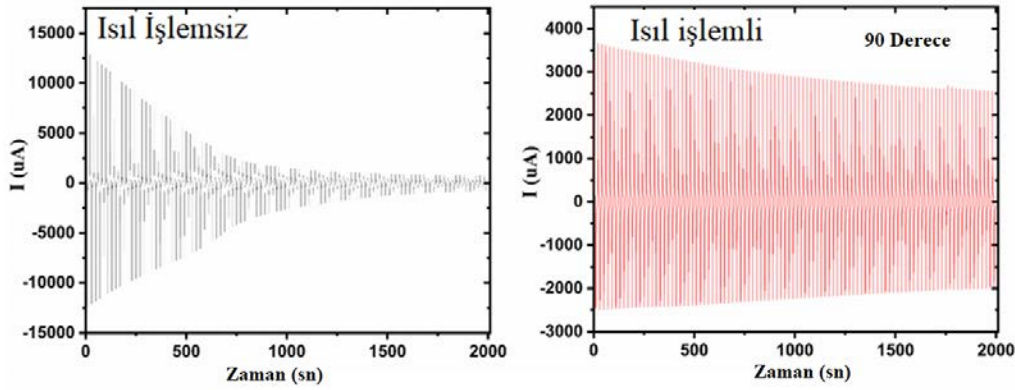
Şekil 7. PANI filmlerin a) kaplama sonrası, b) 90°C'de ısıtılmış uygulanmış görüntüleri CV ölçümü esnasında renk değişimi ve CV (vs SCE) grafikleri



Şekil 8. Elektrodepozisyon yöntemi ile kaplanan PANI filmlerin sabit (-0.3V ve 1V) voltaj altında akım yoğunluğunun zamana göre değişimi ve giren-çıkan yük miktarları

Tablo 2. Elektrodepozisyon yöntemi ile kaplanan PANI filmlerin farklı dalga boylarında renklenme verimi (Coloration efficiency, CE) değerleri

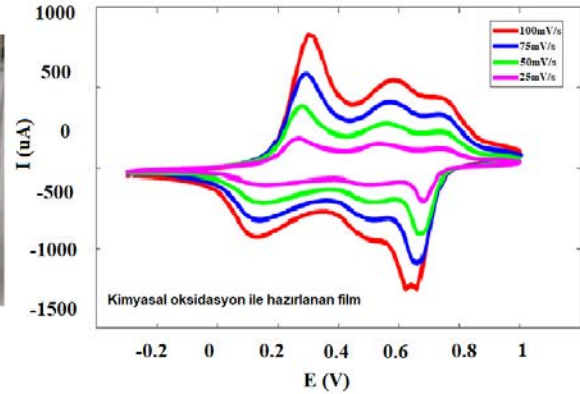
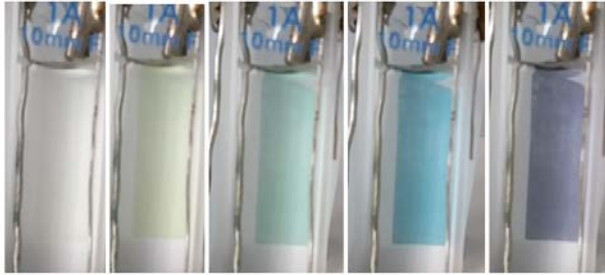
Dalga boyu (nm)	Q_{giren} (mC x cm ⁻²)	T_c (%)	Alan (cm ²)
550	2.86861	43.2	1.2
	$Q_{çıkan}$ (mC x cm ⁻²)	T_b (%)	CE (cm ² x C ⁻¹)
	-2.07702	88.3	249.2146414
Dalga boyu (nm)	Q_{giren} (mC x cm ⁻²)	T_c (%)	Alan (cm ²)
100	2.86861	27.1	1.2
	$Q_{çıkan}$ (mC x cm ⁻²)	T_b (%)	CE (cm ² x C ⁻¹)
	-2.07702	67.2	316.5782451



Şekil 9. Isıl işlem uygulanmamış ve ısıl işlem uygulanmış PANI filmlerin sabit voltaj (-0.3V ve 1V) altında akım yoğunluğunun zamana göre değişimi

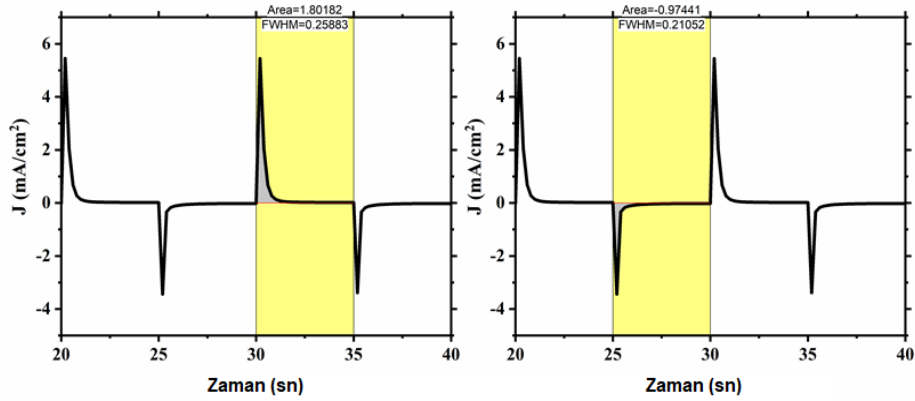
3.2 Kimyasal oksidasyon yöntemi ile PANI filmlerin kaplanması

Kimyasal oksidasyon yöntemiyle anilinin polimerleştirme süreci çalışılmıştır. 1M Seyreltik HCl asidik ortamında uygun konsantrasyonda hazırlanan anilinin (0,2 M), iyi bir yükseltgen olan amonyum persulfat (APS) ile yükseltgenmesi sonucu polimerleştirilerek polyanilin elde edilmiştir [8]. Kimyasal oksidasyon ile elde edilen filmlere ITO yüzeyine tutunması, fiziksel işlemlere karşı dayanımı, uzun süre muhafaza sonucu bozulmaması ve kullanım ömrünün uzun olması (oda koşullarında ve ışıklı ortamda yaklaşık 1 ay) sebebiyle ısıl işlem uygulanmamıştır. Kimyasal oksidasyon işlemi oda koşullarında 15 °C sabit banyo sıcaklığında gerçekleştirilerek yaklaşık olarak 600 nm civarında kalınlıklı filmler elde edilmiş ve bu parametrelerle film kaplamanın tekrarlanabilir olduğu gözlemlenmiştir. Deneyler sonrasında elde edilen bulgulardan biride kimyasal oksidasyon ile kaplamada iletken yüzeylere ihtiyaç duyulmamasıdır. Elektrokromik özellikler açısından önemsiz olsa da polyanilinin iletkenlik özelliğinin kullanılacağı çalışmalarda bu yöntemden yararlanılarak istenilen yüzeylere PANI film kaplaması gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 10. Kimyasal oksidasyon ile 30 dk kimyasal banyoda bekletilerek kaplanan PANI filmlerin farklı tarama hızlarında CV (vs SCE) grafikleri

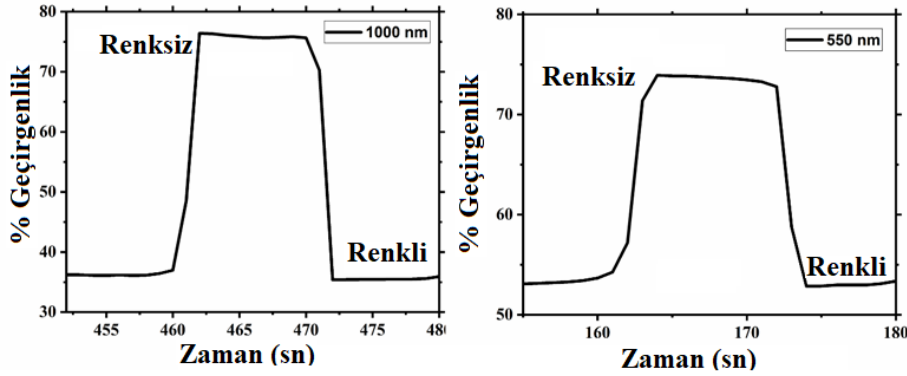
Kimyasal oksidasyon ile polimerizasyon sonucu elde edilen filmlerin 0.2M H₂SO₄ elektroliti içinde çevrimsel voltametri yöntemiyle elektrokimyasal ölçümü ile elde edilen renk değişimi ve voltaj tarama hızının değişimiyle elde edilen I/E ölçüm grafikleri şekil 10 verilmiştir. Hem polianilinin elektrokimyasal olarak farklı voltaj değerlerinde 3 farklı renk alması açısından hem de çevrimsel voltametri yöntemiyle elektrokimyasal ölçüm sonuçlarının (şekil 7) ile karşılaştırıldığında elektrodpozisyon yöntemiyle elde edilen polianilin filmin 90 °C ısıl işlem sonrasındaki renk değişimi ve elektrokimyasal ölçüm sonucu I/E grafikleri neredeyse aynı sonuçları vermektedir.



Şekil 11. Kimyasal oksidasyon ile hazırlanan PANI filmin sabit voltaj altında toplam yük giriş ve çıkışına göre akım yoğunluğunun zamana göre değişimi.

Elektrodepozisyonla elde edilen filmlerin kronoamperometri grafikleri (Şekil 8) ile kimyasal oksidasyon yöntemiyle elde edilen filmlerin kronoamperometri grafikleri (Şekil 11) karşılaştırıldığında, kimyasal oksidasyon yönteminde elde edilen filmlere yük girişinin daha az olduğu ancak benzer renklenme özelliklerini gösterdikleri elde edilmiştir.

Filmlerin kaplanmasından sonra optik geçirgenlik ölçümlerinde, görünür bölge için % geçirgenliğin en fazla 500 nm de olduğu (Şekil 6 ve Şekil 13) de görülmektedir. 500 nm referans alınarak yapılan in-situ ölçümlerde optik kontrast farkı yaklaşık 20 dir ancak IR bölgede yapılan ölçümde (1000 nm) yaklaşık 40 olduğu (Şekil 12) de görülmektedir. Bu sonuçlar Tablo 3 de verilen renklenme verimi hesabına da yansımaktadır. Renklenme veriminin 1000 nm de daha yüksek olduğu görülmektedir.

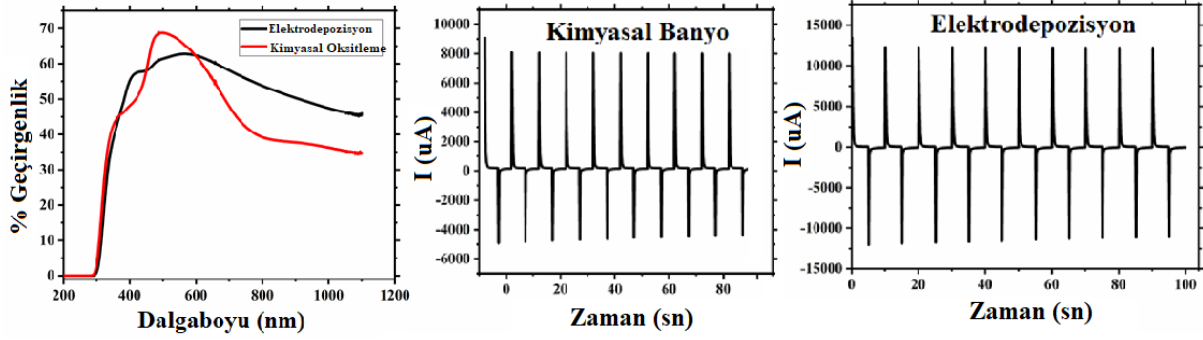


Şekil 12. PANI film renk değişim esnasında 500nm ve 1000nm dalga boylarında optik geçirgenliğin zamana göre değişimi.

Tablo 3. Kimyasal banyo yöntemi ile kaplanan PANI filmlerin farklı dalga boylarında renklenme verimi (Coloration efficiency, CE) değerleri

Dalgaboyu (nm)	Qgiren (mC x cm-2)	Tc (%)	Alan (cm2)
550	1.80182	52.3	1.2
	Qçıkan (mC x cm-2)	Tb (%)	CE (cm2 x C-)
	-0.97441	74.1	193.3706814
Dalgaboyu (nm)	Qgiren (mC x cm-2)	Tc (%)	Alan (cm2)
1000	1.80182	34.6	1.2
	Qçıkan (mC x cm-2)	Tb (%)	CE (cm2 x C-)
	-0.97441	77.3	504.0123429

3.3 Elektrodepozisyon ve kimyasal oksitleme yöntemlerinin karşılaştırılması



Şekil 13. Optik geçirgenlik ve sabit voltaj altında PANI filmlerin davranışları

SONUÇLAR

Isıl işlem filmlerin dayanımlarında ve yük geçişinde dengelenmeye olumlu yönde etki etmiş olsa da filmlerde iyon difüzyonunun azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise daha sıkı bir yapıya kavuşan filmlere iyon girişinin zorlaşmasıdır. Elektrodepozisyon ile geliştirilen filmlerde en iyi parametreler bulunduktan sonra kimyasal oksitleme yöntemiyle PANI filmler üretilmiştir. Benzer şekilde asidik ortamda PANI filmler geliştirilse de oksidasyon aşamasında voltaj yerine APS kullanılmaktadır. Isıl işlem uygulanan elektrodepozisyon ile elde PANI filmlerin kimyasal oksitleme yöntemiyle elde edilen filmlerle benzer özelliklere sahip oldukları gözlemlenmiştir. Isıl işlemsiz filmlere oranla daha sağlam ve uzun ömürlü filmler elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Chen, A. Working Toward the Very Low Energy Consumption Building of the Future, <http://newscenter.lbl.gov/2009/06/02/working-toward-the-very-lowenergy-consumption-building-of-the-future> 13 Şubat 2017
- [2] Andrienko D., Cyclic Voltammetry, 2008, 11.
- [3] Vedharathinam V., Electroanalytic Techniques (Cheonoamperometry/Chronocoulometry), Senter for Electrochemical Engineering Research, 2011, 30.
- [4] Mortimer R. J., and Reynolds J. R., In situ colorimetric and composite coloration efficiency measurements for electrochromic Prussian blue, Journal of Materials Chemistry, 15, pp. 2226-2233, 1.
- [5] Kuo C. G., Chou C. Y., Tung Y. C., and Chen J. H., Experimental Study of the Electrochromic Properties of WO₃ Thin Films Derived by Electrochemical Methods, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 20, No. 4, pp. 365-368, (2012), 366.
- [6] Cardoso M. J. R., Lima M. F. S., Lenz D. M., Polyaniline Synthesized with Functionalized Sulfonic Acids for Blends Manufacture, Materials Research, Vol. 10, No. 4, 425-429, (2009), 426.
- [7] Kalendar O., Anilin ve 3,4-Metilendioksi Anilin' in Elektrokimyasal Polimer Film Eldesi ile TiO₂ Nanopartikül Kompozit Eldelerinin Karşılaştırılması ve Anti-Korozyon Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, (2014)
- [8] Soudagar N. M. Ve diğerleri, Chemically Synthesized Polyaniline Supercapacitor, International Journal of Engineering Research and Technology, ISSN 0974-3154 Volume 10, Number 1 (2017), 588.



ÖZGEÇMİŞ

Esra ZAYİM

1991 yılında Marmara Üniversitesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1994 yılında Yüksek Mühendis ve İstanbul Teknik Üniversitesinden 2002 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1996-2002 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2003-2007 yıllarında yardımcı doçent olarak görev yapmıştır. 2007-2015 yılları arasında Doçent, 2015 yılından beride profesör olarak görev yapmaktadır. Renk değiştiren camlar, akıllı camlar, ince film kaplamaları konularında çalışmaktadır.

İsmail BÜTÜN

2016 yılı İstanbul Teknik Üniversitesi Fizik Mühendisliği bölümü ve 2018 yılı aynı bölümden yüksek lisans mezunudur. Lisanstan itibaren Fizik mühendisliğinde Ultrafast and Nonlinear Optik laboratuvarında Lazer etkili plazma spektroskopisi (LIBS) ve Femtosaniye ve Nanosaniye lazerler ile tarihi eser temizliği üzerine, İnce film araştırma ve geliştirme laboratuvarında CdS, CZTS ince filmlerin kimyasal yöntemlerle geliştirilmesi ve Nano küre litografisi (NSL) üzerine çalışmalar yaptıktan sonra Elektrokimyasal ölçüm laboratuvarında Prof. Dr. Esra Zayim gözetmenliğinde organik elektrokromik malzeme geliştirme, analiz ve elektrokromik uygulamalar yaparak yüksek lisansını tamamlamıştır.