

Investigation of the Effects of Polydopamine and Polycatechol on the Electrooxidation of Serotonin

Serotoninin Elektroyükseltgenmesine Polidopamin ve Polikatekolün Etkilerinin İncelenmesi

Tuğba ATICI¹, Ayşenur YILMAZ KABACA², Merve YILMAZ¹
Melike BİLGİ KAMAÇ^{1,*}

¹Chemistry Department, Science Faculty, Çankırı Karatekin University, 18100, Çankırı, Turkey

²Medical Laboratory Techniques Department, Eldivan Vocational School of Health Services, Çankırı Karatekin University, 18100, Çankırı, Turkey

Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article

Geliş tarihi / Received

14.12.2022

Kabul tarihi / Accepted

23.12.2022

Yayın tarihi / Published

31.12.2022

Anahtar kelimeler

Serotonin, Polidopamin,
Polikatekol,
Elektroyükseltgenme

Keywords

Serotonin, Polydopamine,
Polycatechol, Electrooxidation

Abstract

1,2-Dihydroxy benzene derivatives are frequently used as redox mediators in electrochemical sensors and biosensors due to the quinone-hydroquinone redox conversion. In this study, the 1,2-dihydroxy benzene derivatives dopamine and catechol were electrochemically polymerized on the screen-printed carbon electrodes and their effects on the electrooxidation of serotonin were investigated. Morphological characterizations of the prepared electrodes were applied with scanning electron microscopy (SEM), and electrochemical characterizations were performed with cyclic voltammetry (CV) in ferri-ferro redox probe (FF). It was concluded that polydopamine (PDA) and polycatechol (PCA) were successfully modified on screen-printed carbon electrodes. Examination of the effects of PDA and PCA on the electrooxidation of serotonin was applied by the CV. It has been observed that PDA and PCA have an electrocatalytic effect by decreasing the electrooxidation potential of serotonin, and increase the electronic conductivity by increasing the oxidation peak currents. The electrocatalytic effect of PCA was found to be greater than that of PDA in the electrooxidation of serotonin. It was concluded that PDA and PCA can be used as redox mediators in the electrooxidation of serotonin and in the preparation of serotonin sensor. Diffusion coefficients and electron transfer coefficients were also calculated for the electrooxidation of serotonin on PDA and PCA modified electrodes.

Özet

1,2-Dihidroksi benzen türevleri, kinon-hidrokinon redoks dönüşümü nedeniyle elektrokimyasal sensör ve biyosensörlerde redoks medyatörleri olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 1,2-dihidroksi benzen türevleri olan dopamin ve katekol, yüzey baskılı karbon elektrotlar üzerinde elektrokimyasal olarak polimerleştirilmiş ve serotoninin elektroyükseltgenmesine olan etkileri incelenmiştir. Hazırlanan elektrotların morfolojik karakterizasyonları taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile, elektrokimyasal karakterizasyonları ise ferri-ferro redoks probunda (FF) dönüşümlü voltametri (CV) ile gerçekleştirilmiştir. Polidopamin (PDA) ve polikatekolün (PCA) yüzey baskılı karbon elektrotlar üzerine başarılı olarak modifiye edildiği sonucuna varılmıştır. PDA ve PCA'nın serotoninin elektroyükseltgenmesine etkilerinin incelenmesi CV ile yapılmıştır. PDA ve PCA'nın, serotoninin elektroyükseltgenme potansiyelini düşürerek elektrokatalitik etki yaptığı, yükseltgenme pik akımlarını yükselterek ise elektronik iletkenliği artırdığı gözlenmiştir. PCA'nın elektrokatalitik etkisinin, PDA'ya göre daha fazla olduğu bulunmuştur. PDA ve PCA'nın serotoninin elektroyükseltgenmesinde ve serotonin sensörü hazırlanmasında redoks medyatörü olarak kullanabileceği sonucuna varılmıştır. Serotoninin, PDA ve PCA modifiyeli elektrotlar üzerinde elektroyükseltgenmesinde difüzyon katsayıları ve elektron transfer katsayıları da hesaplanmıştır.

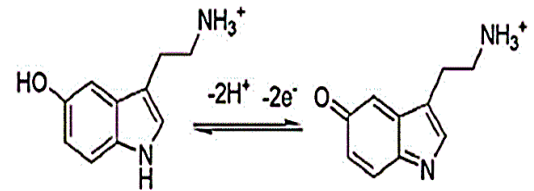
1. INTRODUCTION

5-hidroksitriptamin olarak da bilinen serotonin, beyin, bağırsak ve omurilikte sentezlenen monoamin nörotransmitterlerinden biridir (Purves *et al.*, 2001). İnsan vücudunda bir dizi merkezi ve periferik fonksiyona aracılık eden anahtar bir habercidir. Bağırsak hareketlerinin nöronal kontrolüne ve bağırsak sıvılarının salgılanmasına katkıda bulunur (Shajib, 2017). Ruh hali, uyku, kusma, cinsellik ve iştah gibi çok sayıda davranışsal ve fizyolojik işlevin düzenlenmesinde hayati bir rol oynar (Young and Leyton, 2002). Düşük serotonin seviyeleri, depresyon, anksiyete, migren, düzensiz hemostaz, kan pıhtılaşması, ani bebek ölümü sendromu ve karsinoid sendromu gibi birçok hastalık ve bozuklukla ilişkilidir (Jones and Blackburn 2002; Maximino, 2012; Lin *et al.* 2014; Moon *et al.* 2018). Yüksek serotonin seviyeleri ise, belirgin toksisiteye ve serotonin sendromu olarak bilinen potansiyel olarak ölümcül etkilere neden olabilir (Birmes *et al.* 2003; Buckley *et al.* 2014). Bu nedenle çeşitli hastalıkların teşhisinde ve bazı nörolojik bozukluklarda, biyobelirteç olarak serotoninin tayini büyük önem taşımaktadır.

Serotoninin vücut sıvılarında tayini için spektrofotometri (Darwish and Refaat 2006) yüksek performanslı sıvı

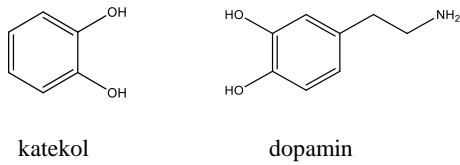
kromatografisi (He *et al.* 2019), kemilüminesans (Ma *et al.* 2020), floresans (Zhao *et al.* 2020), elektroforez (Roychoudhury *et al.* 2020) gibi geleneksel metotların yanı sıra elektrokimyasal teknikler de kullanılmaktadır.

Serotoninin elektrokimyasal tayini için birçok çalışma mevcuttur (Selvarajan *et al.* 2018; Lavanya and Sekar 2019; Samie *et al.* 2019). Serotoninin elektrokimyasal tayini için elektroyükseltgenmesinin incelemesi de önem arz etmektedir. Şekil 1'de verilen reaksiyonunda görüldüğü gibi, serotoninin elektroyükseltgenmesi 2 elektronlu, 2 protonlu bir prosesdir (Sharma *et al.* 2018).



Şekil 1. Serotoninin elektrooksidasyonu (Sharma *et al.* 2018)

1,2-Dihidroksi benzen türevleri, kinon-hidrokinon redoks dönüşümü nedeniyle elektrokimyasal sensör ve biyosensörlerde redoks medyatörleri olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Bilgi *et al.*, 2018; Bilgi Kamaç ve Gylyjova, 2021). Dopamin ((4-(2-aminoethyl)benzen-1,2-diol), nörotransmitter görevi gören, katekolamin grubu bileşiklerden olan önemli bir biyomoleküldür. İnsan vücuduna zararsız olan polidopamin (PDA), GOx bazlı biyoanot için medyatör olarak kullanılmıştır (Liu *et al.* 2013; Zhong *et al.* 2015; Barclay *et al.* 2017). Katekol (benzen-1,2-diol), dihidroksibenzenin bir izomeridir ve örneğin pestisit üretimi, parfüm ve ilaç yaratıcısı gibi çeşitli uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır (Rao *et al.* 2018). Dopamin ve katekolün kimyasal yapıları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Dopamin ve katekolün kimyasal yapıları

Bu çalışmada 1,2-dihidroksi benzen türevleri olan dopamin (DA) ve katekol (CA), tek kullanımlık yüzey baskılı karbon elektrotlar üzerinde (SPCE) polimerleştirilerek modifiye edilmiştir. Hazırlanan SPCE/PDA ve SPCE/PCA elektrotlarının morfolojik ve

elektrokimyasal karakterizasyonları yapılmış ve serotoninin elektroyükseltgenmesine olan etkileri incelenmiştir. PDA ve PCA’nın serotoninin elektroyükseltgenmesine olan etkisi daha önce incelenmemiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada yüksek analitik saflıkta kimyasallar kullanılmış olup, kimyasalların isimleri, molekül formülleri ve temin edilen firmalar Çizelge 1’de yer almaktadır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan yüksek analitik saflıktaki kimyasalların isimleri, molekül formülleri ve temin edilen firmalar

| Kimyasal | Molekül formülü | Temin edilen firma |
|-----------------------------|--|--------------------|
| Serotonin | C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O | Sigma |
| Dopamin | C ₈ H ₉ (OH) ₂ -CH ₂ -CH ₂ -NH ₂ | Sigma |
| Katekol | C ₆ H ₆ O ₂ | Sigma |
| Potasyum hekzasiyano ferrit | K ₄ Fe(CN) ₆ | Sigma |
| Potasyum hekzasiyano ferrat | K ₃ Fe(CN) ₆ | Sigma |
| Potasyum klorür | KCl | Merck |
| Potasyum dihidrojen fosfat | KH ₂ PO ₄ | Merck |
| Potasyum hidrojen fosfat | K ₂ HPO ₄ | Merck |
| Asetik asit | CH ₃ COOH | Merck |
| Borik asit | H ₃ BO ₃ | Merck |
| Fosforik asit | H ₃ PO ₄ | Merck |
| Sodyum hidroksit | NaOH | Merck |

Serotoninin elektroyükseltgenmesinin incelenmesi Metrohm DropSens firmasından temin edilen DRP110 kodlu tek kullanımlık SPCE’ler ile

gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal ölçümlerde DropSens μ Stat 400 Bipotentiostat/Galvanostat kullanılmıştır. Elektrotların potansiyostata olan bağlantısı konnektörler (DropSens) ile sağlanmıştır. Elektrotların morfolojik karakterizasyonları ZEISS Gemini 1 SEM cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Çözeltiler Millipore Milli-Q Direct Q-3 cihazından elde edilen ultra saf su ile hazırlanmıştır. Tampon çözeltilerin hazırlanmasında Mettler-Toledo pH-metre kullanılmıştır.

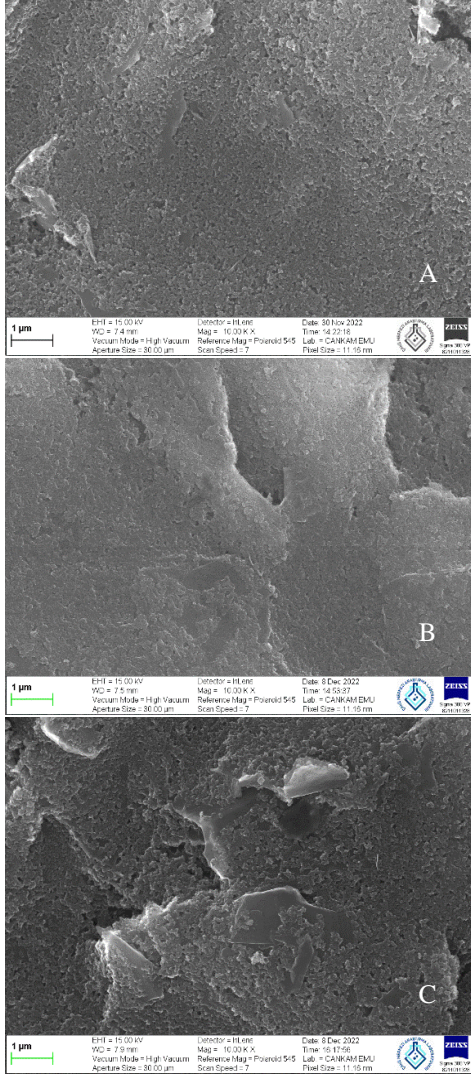
2.2. Metot

SPCE'lerin temizlenmesi için 50 mM pH 7,4 fosfat tamponu (0,1 M KCl) içerisinde +1,8 V'da 300 saniye boyunca potansiyel uygulanmıştır (Bilgi ve Ayrancı, 2016). DA'nın elektropolimerizasyonu 0,5 mM dopamin çözeltisine 20 döngü dönüşümlü voltametri (CV) metodu (-0,5 V ile +0,5 V, 20 mV s⁻¹), CA'nın elektropolimerizasyonu 1 mM katekol çözeltisine 30 döngü CV metodu (-0,6 V ile +0,8 V, 50 mV s⁻¹) uygulanarak gerçekleştirilmiştir (Kanyong *et al.* 2016). Elektrokimyasal karakterizasyonlar 1 M KCl içeren 5 mM ferri-ferro redoks prob çözeltisinde (FF) gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

2.3. PDA ve PCA modifiyeli elektrotların morfolojik karakterizasyonları

Yalın SPCE, SPCE/PDA ve SPCE/PCA elektrotlarının morfolojik karakterizasyonları için SEM görüntüleri alınmış ve Şekil 3A, 3B ve 3C'de verilmiştir. Yalın SPCE'nin SEM görüntüsünde kısmen pürüzsüz bir yüzey görülmekte iken, elektrot yüzeyleri PDA ve PCA ile kaplandığında yüzey morfolojisinin değiştiği SEM görüntülerinden (Şekil 3B ve 3C) anlaşılmaktadır. SPCE/PDA elektroduna ait SEM görüntüsündeki (Şekil 3B) katmanlı yapılar, SPCE yüzeyine PDA'nın kaplandığını (Amiri *et al.* 2015), SPCE/PCA elektroduna ait SEM görüntüsünde (Şekil 3C) ise blok şeklindeki katmanlı yapılar PCA'nın SPCE yüzeyine kaplandığını göstermektedir.



Şekil 3. A) Yalın SPCE B) SPCE/PDA ve C) SPCE/PCA elektrotlarının SEM görüntüleri

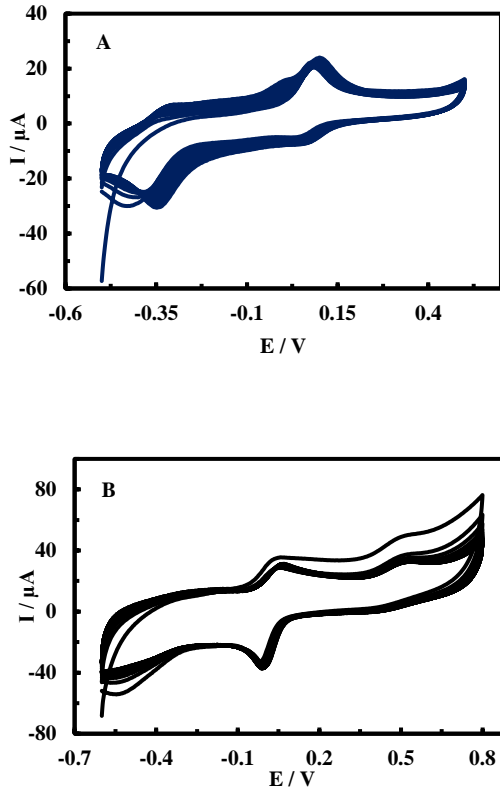
2.4. PDA ve PCA modifiyeli elektrotların elektrokimyasal karakterizasyonları

1,2-Dihidroksi benzen türevleri olan DA ve CA'nin SPCE'ler üzerindeki elektropolimerizasyonları sırasında elde edilen CV'ler sırasıyla Şekil 4A ve 4B'de verilmiştir. Şekil 4A incelendiğinde, 1,2-dihidroksi benzen türevi olan DA'nın anodik ve katodik piklere sahip olduğu görülmektedir. Voltamogramlara göre ilk

döngüdeki anodik pik potansiyeli +0,078 V, katodik pik potansiyeli ise +0,042 V'da gözlenmiştir. Kanyong ve arkadaşları da 2016 yılında SPCE üzerine DA'nın elektropolimerizasyonunu gerçekleştirmiş ve elektrokimyasal guanin tayini yapmışlardır.

DA'nın elektropolimerizasyonunun 30 döngü CV metodu ile (-0,5 ile +1,5 V, 100 mV s⁻¹) yapıldığı bildirilmiştir. DA'nın anodik pik potansiyelini +0,4 V civarında, katodik pik potansiyelini ise +0,2 V civarında gözlemişlerdir.

Voltamogramların, PDA'da bulunan katekol ve kinonun oksidasyonu ve indirgenmesine atfedilen redoks türlerinin varlığını doğruladığını bildirmişlerdir (Kanyong *et al.* 2016). PDA mekanizmasıyla alakalı yarı oksitlenmiş/yarı indirgenmiş formları da dâhil olmak üzere o-kinon ve o-hidrokinon alt birimlerinden oluştuğu konusunda genel bir fikir birliği olduğu bilinmektedir (Lynge *et al.* 2011; Dreyer *et al.* 2013; Mrówczyński *et al.* 2014). Çalışmamızda dopaminin elektropolimerizasyonu başarı ile gerçekleştirilmiş, elektropolimerizasyon mekanizmasının da literatürde olduğu gibi gerçekleştiği düşünülmüştür.

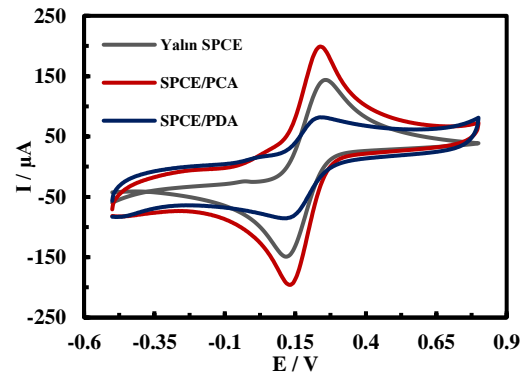


Şekil 4. A) PDA'nın yalın SPCE üzerindeki B) PCA'nın yalın SPCE'lerdeki elektropolimerizasyonu sırasında elde edilen dönüşümlü voltamogramları

Şekil 4B'de 1,2-dihidroksi içeren başka bir bileşik olan katekolün elektropolimerizasyonunda elde edilen voltamogramlar incelendiğinde ilk döngüde +0,048 V civarında monomerin oksidasyon piki, -0,022 V civarında ise monomerin indirgenme piki gözlenmiştir. İlk döngüden itibaren döngü sayısı arttıkça monomerin oksidasyon ve indirgenme pik yüksekliği azalmaktadır. Polimerin oksidasyon piki +0,492 V civarında gözlenmiştir. İlk döngüden itibaren döngü sayısı arttıkça polimerin oksidasyon pik yüksekliği artmaktadır. Monomerin oksidasyon ve indirgenme pik yüksekliklerindeki azalma, polimerin oksidasyon pikindeki artış polimer filminin

oluşturduğunun bir göstergesidir. Pourghobadi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada katekolün polimerleşme mekanizmasını, katekolün yükseltgenmesi sonucu oluşan katekol radikalinin kinonun 2 pozisyonuna atak yapması sonucunda oluştuğunu açıklamışlardır (Pourghobadi *et al.* 2020). Bu da voltamogramlardaki katekolün ve kinonun oksidasyonu ve indirgenmesine atfedilen redoks türlerin varlığını doğrulamaktadır. Çalışmamızda katekolün elektropolimerizasyonu başarı ile gerçekleştirilmiştir.

Yalın SPCE, SPCE/PDA ve SPCE/PCA elektrotlarının elektrokimyasal karakterizasyonları 5 mM FF çözeltisinde CV ile gerçekleştirilmiş, elde edilen dönüşümlü voltamogramlar Şekil 5'de verilmiştir. CV'lerden elde edilen anodik ve katodik pik akımları (I_{pa} ve I_{pc}), anodik ve katodik pik potansiyelleri (E_{pa} ve E_{pc}) Çizelge 2'de verilmiştir.



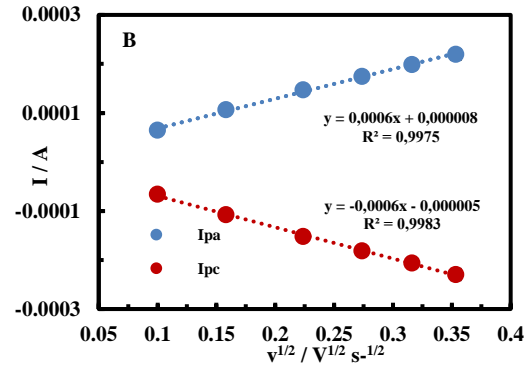
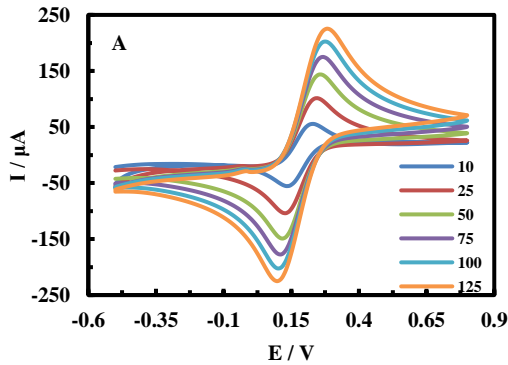
Şekil 5. Yalın SPCE, SPCE/PCA ve SPCE/PDA modifiyeli elektrotların 5 mM FF çözeltisinde elde edilen dönüşümlü voltamogramları

Çizelge 2. PDA ve PCA ile modifiye edilmiş elektrotların 5 mM FF çözeltisindeki CV'lerden elde edilen veriler

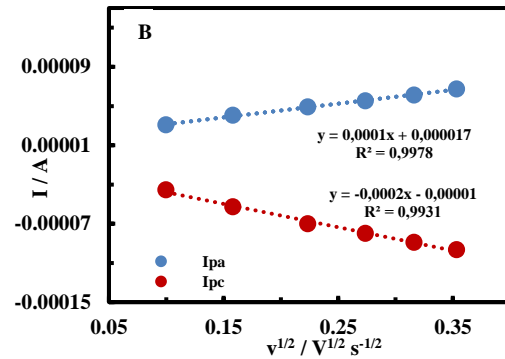
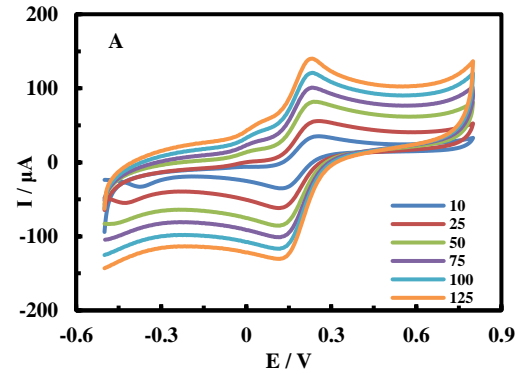
| Formülasyon | Ipa (µA) | Ipc (µA) | Epa (V) | Epc (V) |
|-------------|----------|----------|---------|---------|
| SPCE | 146,79 | -152,18 | 0,258 | 0,116 |
| SPCE/PDA | 49,05 | -70,05 | 0,240 | 0,130 |
| SPCE/PCA | 172,94 | -185,77 | 0,240 | 0,130 |

SPCE'lerin yüzeyi PDA ile kaplandığında, difüzyonun azalması ile anodik ve katodik pik akımlarında düşüş gözlenmiştir. SPCE/PCA elektrotunda ise Ipa ve Ipc değerleri hem SPCE hem de SPCE/PDA elektrotuna göre önemli derecede artmıştır. SPCE/PDA ve SPCE/PCA elektrotlarının Epa değerleri aynıdır ve SPCE'ye göre daha düşük potansiyeldedir. Bunun nedeni, PDA ve PCA'nın yapısında bulunan 1,2-dihidroksi benzen türevleri nedeniyle gerçekleşen kinon-hidrokinon redoks reaksiyonudur.

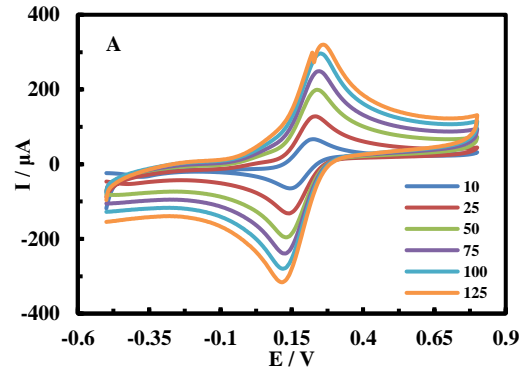
Yalın SPCE, SPCE/PDA ve SPCE/PCA elektrotlarının 5 mM FF çözeltisinde farklı tarama hızlarında CV'leri alınmış ve CV'ler Şekil 6A, 7A ve 8A'da, Ipa-v^{1/2} grafikleri ise Şekil 6B, 7B ve 8B'de verilmiştir.

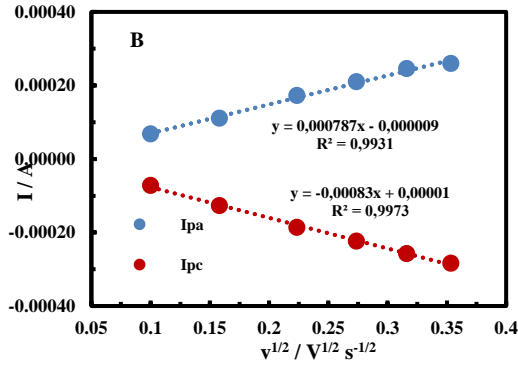


Şekil 6. A) Yalın SPCE'deki 5 mM FF çözeltisinde çeşitli tarama hızlarında elde edilen dönüşümlü voltamogramları B) I_p-v^{1/2} grafiği



Şekil 7. A) SPCE/PDA elektrodunun 5 mM FF çözeltisinde çeşitli tarama hızlarında elde edilen dönüşümlü voltamogramları, B) I_p-v^{1/2} grafiği





Şekil 8. A) SPCE/PCA elektrodunun 5 mM FF çözeltisinde çeşitli tarama hızlarında elde edilen dönüşümlü voltamogramları, B) I_p - $v^{1/2}$ grafiği

Tarama hızlarındaki artış ile akımlarının da doğrusal olarak arttığı CV'lerden anlaşılmaktadır. Bu nedenle gerçekleşen elektrokimyasal proses difüzyon kontrollüdür. Randles-Sevcik eşitliği kullanılarak (Bard and Faulkner 2022) elektrotların yüzey alanları hesaplanmış, yalın SPCE, SPCE/PDA ve SPCE/PCA elektrotları için sırasıyla $0,1479 \text{ cm}^2$, $0,0342 \text{ cm}^2$ ve $0,1925 \text{ cm}^2$ olarak bulunmuştur. En yüksek elektroaktif yüzey alanı, SPCE/PCA elektrotunda elde edilmiştir.

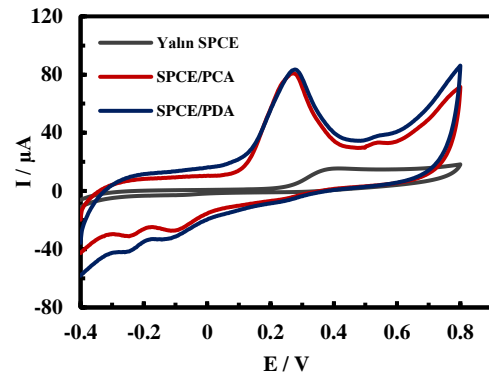
2.5. PDA ve PCA modifiyeli elektrotlarda serotoninin elektrokimyasal davranışı

Serotoninin elektroyükseltgenmesine 1,2-dihidroksi benzen türevlerinin etkisini incelemek için 1 mM serotonin (50 mM pH 7,4 PBS) çözeltisinde dönüşümlü voltamogramlar (-0,4 V ile +0,8 V, 50 mV s^{-1}) alınmıştır. Yalın SPCE, SPCE/PDA ve SPCE/PCA elektrotlarında elde edilen

CV'ler sırasıyla Şekil 9'da, CV'lerden elde edilen I_{pa} ve E_{pa} değerleri ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. PDA ve PCA ile modifiye edilmiş elektrotların 1 mM serotonin çözeltisindeki CV'lerinden elde edilen veriler

| Formülasyon | I_{pa} (μA) | E_{pa} (V) |
|-------------|----------------------------|--------------|
| SPCE | 12,25 | 0,330 |
| SPCE/PDA | 56,86 | 0,280 |
| SPCE/PCA | 60,58 | 0,272 |

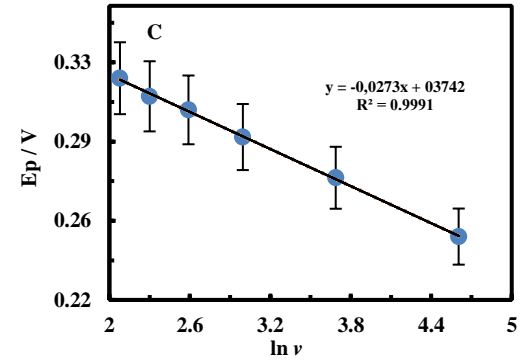
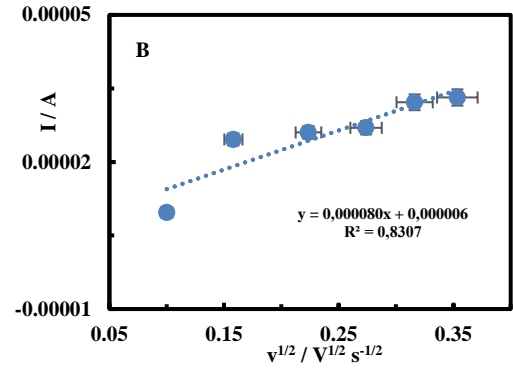
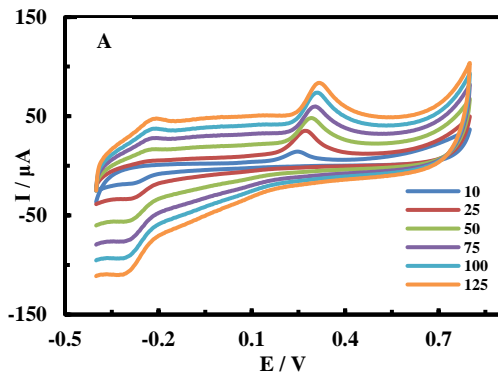


Şekil 9. Yalın SPCE, SPCE/PDA ve SPCE/PCA modifiyeli elektrotların 1 mM serotonin çözeltisindeki elde edilen dönüşümlü voltamogramları

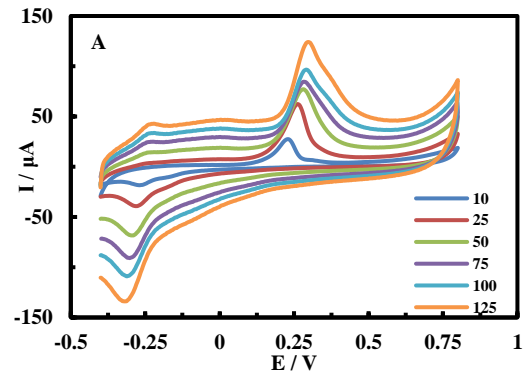
DA'nın molekül yapısındaki 1,2-dihidroksil gruplarının varlığı ile kinon-hidrokinon redoks dönüşümü nedeniyle, SPCE/PDA elektrotu serotoninin elektrooksidasyonunda elektrokatalitik etki göstererek E_{pa} değerini 50 mV azaltmıştır. PDA'nın yapısındaki π konjuge yapıları nedeniyle de elektronik iletkenlik artmış ve I_{pa} değerinde 44.61 μA 'lık bir yükselme gözlenmiştir. SPCE/PCA elektrodunda ise I_{pa} değeri 60,58 μA ve E_{pa} değeri 0,272 V olarak ölçülmüştür. DA'da olduğu gibi katekolün molekül yapısındaki 1,2-dihidroksil

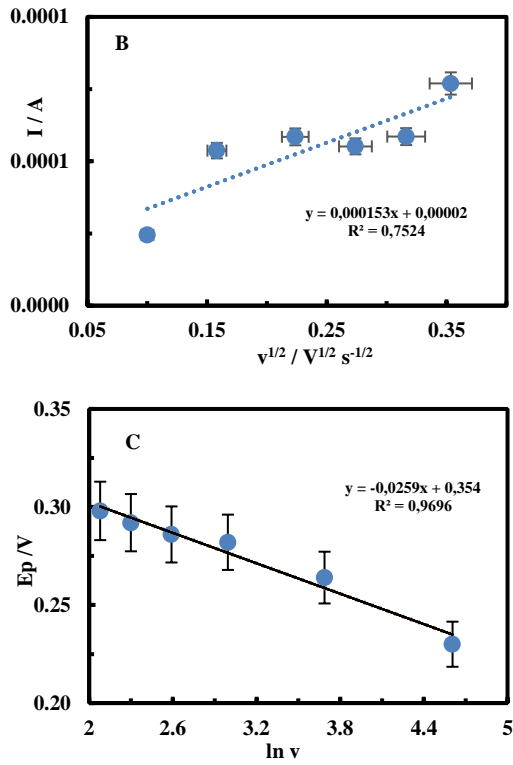
gruplarının varlığı ile kinon-hidrokinon redoks dönüşümü, PCA'nın serotoninin elektrooksidasyonunda elektrokatalitik etki göstererek E_{pa} değerini 58 mV azaltmıştır. PCA'nın yapısındaki π konjuge yapıları nedeniyle de elektronik iletkenlik artmış ve I_{pa} değerinde 48,32 μA 'lık bir yükselme olmuştur. Serotoninin elektroyükseltgenmesinde PCA'nın elektrokatalitik etkisinin, PDA'ya göre daha fazla olduğu gözlenmiştir.

SPCE/PDA ve SPCE/PCA elektrotlarına 100 μM serotonin çözeltisinde çeşitli tarama hızlarında (10-125 $mV s^{-1}$) CV uygulanmış ve CV'ler sırasıyla Şekil 10A ve 11A'da verilmiştir. Tarama hızlarındaki artış ile pik akımlarının da doğrusal olarak arttığı CV'lerden görülmektedir. Şekil 10B ve 11B'de $I_{pa}-v^{1/2}$ grafikleri, Şekil 10C ve 11C'de ise $E_{pa}-\ln v$ grafikleri verilmiştir.



Şekil 10. A) SPCE/PDA elektrodunun 100 μM serotonin çözeltisinde çeşitli tarama hızlarında elde edilen dönüşümlü voltamogramları B) $I_{p}-v^{1/2}$ grafiği C) $E_{pa}-\ln v$ grafiği





Şekil 11. A) SPCE/PCA elektrodunun $100 \mu M$ serotonin çözeltisinde elde edilen dönüşümlü voltamogramları B) $I_p-v^{1/2}$ grafiği C) $E_p-\ln v$ grafiği

$I_p-v^{1/2}$ grafiklerinin lineer olması, SPCE/PDA ve SPCE/PCA elektrotlarında serotoninin elektroyükseltgenmesinin difüzyon kontrollü gerçekleştiğini kanıtlamaktadır. $100 \mu M$ serotoninin modifiye elektrotlardaki difüzyon katsayıları (D) ve elektron transfer katsayıları (α) ilgili eşitlikler (Harrison and Khan 1970; Bilgi *et al.* 2018) kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. $100 \mu M$ serotoninin modifiye elektrotlardaki difüzyon katsayıları (D) ve elektron transfer katsayıları (α)

| Formülasyon | D (cm^2/s) | α |
|-------------|-----------------------|----------|
| SPCE/PDA | $2,92 \times 10^{-9}$ | 0,4626 |
| SPCE/PCA | $1,07 \times 10^{-8}$ | 0,4876 |

Serotoninin elektroyükseltgenme reaksiyonunda difüzyon katsayısı ve transfer edilen elektron sayısı, SPCE/PCA elektrotunda, SPCE/PDA elektrotuna göre daha yüksek olduğu bulunmuştur.

4. SONUÇ

1,2-Dihidroksi benzen türevleri olan dopamin ve katekol, yüzey baskılı karbon elektrotlar üzerinde elektrokimyasal olarak başarılı olarak polimerleştirilmiş, morfolojik ve elektrokimyasal karakterizasyonları yapılmıştır. PDA ve PCA ile modifiye edilen elektrotların, serotoninin elektroyükseltgenmesinde elektrokatalitik etki yaptığı ve elektronik iletkenliği artırdığı gözlenmiştir. PCA’nın elektrokatalitik etkisinin PDA’dan daha fazla olduğu görülmüştür. PDA ve PCA’nın serotonin sensörü hazırlanmasında redoks medyatörü olarak kullanabileceği sonucuna varılmıştır.

Yazar Katkısı

Bu çalışma Tuğba ATICI’nın Yüksek Lisans Tez çalışmasından üretilmiştir. Tüm yazarlar bu çalışmaya katkıda bulunmuşlardır. Yazarlar makalenin son halini okuyup onaylamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir, Proje numarası: FF100522L02.

Kaynaklar

Amiri M, Amali E & Nematollahzadeh A (2015). Poly-dopamine thin film for voltammetric sensing of atenolol. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 216, 551-557.

Barclay T G, Hegab H M, Clarke S R & Ginic-Markovic M (2017). Versatile surface modification using polydopamine and related polycatecholamines: Chemistry, structure, and applications. *Advanced Materials Interfaces*, 4(19), 1601192.X.

Bard A J, Faulkner L R & White H S (2022). *Electrochemical methods: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons.

Bilgi M & Ayranci E (2016). Biosensor application of screen-printed carbon electrodes modified with nanomaterials and a conducting polymer: Ethanol biosensors based on alcohol dehydrogenase. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 237, 849-855.

Bilgi M, Sahin E M & Ayranci E (2018). Sensor and biosensor application of a new redox mediator: Rosmarinic acid modified screen-printed carbon electrode for electrochemical determination of NADH and ethanol. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 813, 67-74.

Buckley N A, Dawson A H & Isbister G K (2014). Serotonin syndrome. *British Medical Journal*, 348.

Darwish I A & Refaat I H (2006). Spectrophotometric analysis of selective of serotonin reuptake inhibitors based on formation of charge-transfer complexes with tetracyanoquinodimethane and chloranilic acid. *Journal AOAC International*, 89(2), 326-333.

Dreyer D R, Miller D J, Freeman B D, Paul D R & Bielawski C W (2013). Perspectives on poly (dopamine). *Chemical Science*, 4(10), 3796-3802.

Harrison J A & Khan Z A (1970). The oxidation of hydrazine on platinum in acid solution. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, 28(1), 131-138.

He Q, Li M, Wang X, Xia Z, Du Y, Li Y, Wei L, Shang J (2019). A Simple, Efficient and Rapid HPLC–UV

- Method for the Detection of 5-HT in RIN-14B Cell Extract and Cell Culture Medium. *BMC Chem.* 13, 76.
- Jones B J & Blackburn T P (2002). The medical benefit of 5-HT research. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 71(4), 555-568.
- Kamaç M B & Gylyjova G (2021). Mediator effect of luteolin on electrooxidation of NADH. *Sakarya University Journal of Science*, 25(2), 453-465.
- Kanyong P, Rawlinson S & Davis J (2016). Fabrication and electrochemical characterization of polydopamine redox polymer modified screen-printed carbon electrode for the detection of guanine. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 233, 528-534.
- Lavanya N & Sekar C (2019). SnO₂-SnS₂ nanocomposite as electrocatalyst for simultaneous determination of depression biomarkers serotonin and tryptophan. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 840, 1-9.
- Lin S H, Lee L T & Yang Y K (2014). Serotonin and mental disorders: a concise review on molecular neuroimaging evidence. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, 12(3), 196.
- Liu X, Cao J, Li H, Li J, Jin Q, Ren K & Ji J (2013). Mussel-inspired polydopamine: a biocompatible and ultrastable coating for nanoparticles in vivo. *ACS nano*, 7(10), 9384-9395.
- Lynge M E, van der Westen R, Postma A & Städler B (2011). Polydopamine—a nature-inspired polymer coating for biomedical science. *Nanoscale*, 3(12), 4916-4928.
- Ma L, Zhao T, Zhang P, Liu M, Shi H & Kang W (2020). Determination of monoamine neurotransmitters and metabolites by high-performance liquid chromatography based on Ag (III) complex chemiluminescence detection. *Analytical biochemistry*, 593, 113594.
- Maximino C (2012). Serotonin and anxiety: Neuroanatomical, pharmacological, and functional aspects. Springer Science & Business Media.
- Moon J M, Thapliyal N, Hussain K K, Goyal R N & Shim Y B (2018). Conducting polymer-based electrochemical biosensors for neurotransmitters: A review. *Biosensors and Bioelectronics*, 102, 540-552.

- Mrówczyński R, Bunge A & Liebscher J (2014). Polydopamine—an organocatalyst rather than an innocent polymer. *Chemistry—A European Journal*, 20(28), 8647-8653.
- Pourghobadi R, Nematollahi D, Baezzat M R, Alizadeh S & Goljani H (2020). Electropolymerization of catechol on wireless graphite electrode. Unusual cathodic polycatechol formation. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 866, 114180.
- Purves D, Augustine G J, Fitzpatrick D, Hall W C & Lamantia A S (2007). *Neurociencia. Editorial médica panamericana*, 891, Madrid.
- Rao M M, Settu R, Chen S M, Alagarsamy P, Chen T W & Hong I S (2018). Electrochemical determination of catechol using functionalized multiwalled carbon nanotubes modified screen printed carbon electrode. *Int. J. Electrochem. Sci*, 13, 6126-6134.
- Roychoudhury A, Francis K A, Patel J, Jha S K, Basu S (2020). A Decoupler-Free Simple Paper Microchip Capillary Electrophoresis Device for Simultaneous Detection of Dopamine, Epinephrine and Serotonin. *RSC Adv.*10, 25487–25495.
- Samie H A & Arvand M (2019). RuO₂ nanowires on electrospun CeO₂-Au nanofibers/functionalized carbon nanotubes/graphite oxide nanocomposite modified screen-printed carbon electrode for simultaneous determination of serotonin, dopamine and ascorbic acid. *Journal of Alloys and Compounds*, 782, 824-836.
- Selvarajan S, Suganthi A & Rajarajan M. (2018). A novel highly selective and sensitive detection of serotonin based on Ag/polypyrrole/Cu₂O nanocomposite modified glassy carbon electrode. *Ultrasonics Sonochemistry*, 44, 319-330.
- Shajib M S, Baranov A & Khan W I (2017). Diverse effects of gut-derived serotonin in intestinal inflammation. *ACS Chemical Neuroscience*, 8(5), 920-931.
- Sharma S, Singh N, Tomar V & Chandra R (2018). A review on electrochemical detection of serotonin based on surface modified electrodes. *Biosensors and Bioelectronics*, 107, 76-93.
- Young S N & Leyton M (2002). The role of serotonin in human mood and social interaction: insight from altered tryptophan

levels. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 71(4), 857-865.

Zhao Y Y, Li H, Ge Q M, Cong H, Liu M, Tao Z & Zhao J L (2020). A chemosensor constructed by nanohybrid of multifarene [3, 3] and rGO for serotonin hydrochloride with dual response in both fluorescence and voltammetry. *Microchemical Journal*, 158, 105145.

Zhong X, Yang K, Dong Z, Yi X, Wang Y., Ge C & Liu Z (2015). Polydopamine as a biocompatible multifunctional nanocarrier for combined radioisotope therapy and chemotherapy of cancer. *Advanced Functional Materials*, 25(47), 7327-7336.