



The determination of uric acid in the presence of ascorbic acid and dopamine using [(1H-1,2,4-triazole-3-ylimino)methyl]naphthalene-2-ol modified platinum electrode

Feyza Tatlı¹, Tuğba Tabanlıgil Calam^{2*}, Demet Uzun³, Erdoğan Hasdemir³

¹Marmara University, Department of Chemistry Teacher Education, 34722, Istanbul, Turkey

²Gazi University, Vocational School of Technical Sciences, 06374, Ankara, Turkey

³Gazi University, Faculty of Science, Department of Chemistry, 06500, Ankara, Turkey

Highlights:

- CV, RAIRS and CAM characterizations were performed for bare Pt and TMN-2-ol/Pt electrode surfaces.
- A new voltammetric sensor was developed for the determination of uric acid.
- The TMN-2-ol/Pt electrode was used for determination of UA in blood serum samples.

Keywords:

- Electrode modification,
- reflection adsorption infrared spectroscopy,
- square wave voltammetry,
- platinum electrode,
- uric acid

Article Info:

Research Article

Received: 11.02.2019

Accepted: 19.05.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.525552

Correspondence:

Author: Tuğba Tabanlıgil

Calam

e-mail:

ttabanligil@gazi.edu.tr

phone: +90 312 354 8401

Graphical/Tabular Abstract

In this study [(1H-1,2,4-triazole-3-ylimino) methyl]naphthalene-2-ol (TMN-2-ol) was deposited at the platinum electrode to fabricate a new sensor and used for the determination of uric acid in the presence of ascorbic acid (AA) and dopamine (DA). Electrochemical activity against uric acid (UA) was determined using modified electrode. Comparing with the bare Pt and TMN-2-ol modified Pt (TMN-2-ol/Pt) electrode, the TMN-2-ol/Pt electrode has higher catalytic activities towards the oxidation of UA in the presence of AA and DA. Figure A shows that electrode modification provided 5.54-fold increase at the precision.

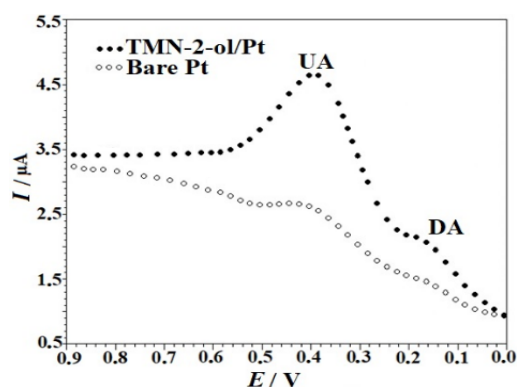


Figure A. Square wave voltammograms of UA in the presence of AA and DA at the Pt and TMN-2-ol/Pt electrode

Purpose: The aim of this study to develop a new and applicable sensor in real samples used for the determination of uric acid in the presence of ascorbic acid and dopamine.

Theory and Methods:

After the mid-1970s, modified electrodes became active research areas in electrochemistry owing to their low cost, rapid response, low detection limit and selectivity and high sensitivity. Therefore, modified electrodes have a wide range of applications such as biosensors, electro-analysis, protection against corrosion, fuel cells, etc. Modified electrodes have acquired wide applications in various physical, chemical and electrochemical methods are available for coating electrode surfaces with organic or inorganic materials. Modification of electrode surfaces with redox-active organic molecules that contain heteroatom has become an important process. Among the coating molecules on electrode surfaces, triazole and its derivatives have been preferred because of their advantages of having high redox activity and quietly good thermal stability.

Results:

The calibration curve and limit of detection (LOD) were obtained in the range of 1.23×10^{-6} – 1.51×10^{-5} and 1.56×10^{-8} M at the TMN-2-ol/Pt electrode, respectively. The effects of various anions and cations on this method were investigated. In addition, the obtained electrode showed satisfactory results when applied to the determination of UA in serum samples with low relative standard deviation values at the modified electrode by standard addition method.

Conclusion:

This study has indicated that the TMN-2-ol modified Pt electrode exhibits highly electrocatalytic activity to UA oxidation in the presence of AA and DA in 0.1 M pH 7.2 PBS buffer. The prepared electrode was successfully used to the determination of UA with no interference from common species present in real samples.



[(1H-1,2,4-triazol-3-ylimin)metil]naftalen-2-ol modifiye platin elektrodu ile askorbik asit ve dopamin varlığında ürik asit tayini

Feyza Tatlı¹, Tuğba Tabanlıgil Calam^{2*}, Demet Uzun³, Erdoğan Hasdemir³

¹Marmara Üniversitesi, Kimya Öğretmenliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 06374, Ankara, Türkiye

³Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Yalın Pt ve TMN-2-ol/Pt elektrot yüzeyleri CV, RAIRS ve CAM ile karakterize edildi
- Ürik asit tayini için yeni bir voltametrik sensör geliştirildi
- TMN-2-ol/Pt elektrodu kan serumu örneklerinde UA tayininde kullanıldı

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 11.02.2019

Kabul: 19.05.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.525552

Anahtar Kelimeler:

Elektrot modifikasyonu,
yansıtma absorpsiyon
infrared spektroskopisi,
kare dalga voltametri,
platin elektrot,
ürik asit.

ÖZET

Bu çalışmada, bir triazol türevi olan [(1H-1,2,4-triazol-3-ylimin)metil]naftalen-2-ol (TMN-2-ol) Schiff bazı ile platin (Pt) elektrot yüzeyi kaplanarak; TMN-2-ol/Pt elektrodu hazırlanmıştır. Kaplama işlemi, dönüşümlü voltametri (CV) yöntemi kullanılarak 1×10^{-3} M TMN-2-ol çözeltisi içerisinde, 100 mV s^{-1} tarama hızıyla -0,8 V ile +2,0 V potansiyelleri arasında, 40 çevrim sayısı ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan modifiye yüzey, CV, temas açısı (CAM) ve yansıtma absorpsiyon infrared spektroskopisi (RAIRS) yöntemleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Hazırlanan ve karakterize edilen elektrodun askorbik asit (AA) ve dopamin (DA) varlığında ürik aside (ÜA) olan elektrokatalitik duyarlılığı, kare dalga voltametri (SWV) yöntemiyle incelenmiştir. Destek elektrolit, pH gibi optimum çalışma şartları belirlenmiştir. En uygun çalışma ortamı 0,1 M pH 7,2 fosfat tamponu (PBS) olarak bulunmuştur. TMN-2-ol/Pt elektrot ile ÜA için çalışma aralığı $1,23 \times 10^{-6}$ – $1,51 \times 10^{-5}$ M ve gözlenebilir sınırları (LOD) $1,56 \times 10^{-8}$ M olarak belirlenmiştir. ÜA'nın pik akımı üzerine çeşitli anyon ve katyonların girişim etkileri incelenmiştir. Modifiye elektrotla, insan kan serumunda standart ekleme yöntemi kullanarak düşük bir bağıl standart sapma değerleri ile ÜA analizi gerçekleştirilmiştir.

The determination of uric acid in the presence of ascorbic acid and dopamine using [(1H-1,2,4-triazole-3-ylimino)methyl]naphthalene-2-ol modified platinum electrode

H I G H L I G H T S

- CV, RAIRS and CAM characterizations were performed for bare Pt and TMN-2-ol/Pt electrode surfaces
- A new voltammetric sensor was developed for the determination of uric acid
- The TMN-2-ol/Pt electrode was used for the determination of UA in blood serum samples

Article Info

Research Article

Received: 11.02.2019

Accepted: 19.05.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.525552

Keywords:

Electrode modification,
reflection adsorption infrared
spectroscopy,
square wave voltammetry,
platinum electrode,
uric acid

ABSTRACT

In this study, a modified electrode was developed via coating to platinum electrode (Pt) surface with a [(1H-1,2,4-triazole-3-ylimino)methyl]naphthalene-2-ol (TMN-2-ol) film. Deposition of TMN-2-ol was performed by cyclic voltammetry scanning from -0.8 V to +2.0 V at a sweep rate of 100 mV s^{-1} for 40 cycles in 1×10^{-3} M TMN-2-ol solution. The modified electrode was characterized by cyclic voltammetry (CV), reflection adsorption infrared spectroscopy (RAIRS) and contact angle measurements (CAM). The electrocatalytic activity of the prepared and characterized modified electrode against UA in the presence of ascorbic acid (AA) and dopamine (DA) was determined by square wave voltammetry (SWV). The optimum working conditions were determined such as supporting electrolyte, pH. It was found that, the appropriate supporting electrolyte medium was 0.1 M pH 7.2 phosphate buffer (PBS). The calibration curve and limit of detection (LOD) were obtained in the range of 1.23×10^{-6} – 1.51×10^{-5} M and 1.56×10^{-8} M at the TMN-2-ol/Pt electrode, respectively. The effects of various anions and cations on the peak current of UA were investigated. The UA analysis was performed in human serum with low relative standart deviation values at the modified electrode by standard addition method.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: feyzatatl@gmail.com, *ttabanligil@gazi.edu.tr, demetuzun@gazi.edu.tr, hasdemir@gazi.edu.tr /

Tel: +90 312 354 8401

2014

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ürik asit (ÜA), kimyasal adı 2,6,8-trihidroksipurin olan, pürin metabolizmasının son ürünüdür. ÜA'nın kan ve idrardaki seviyesi insan metabolizması açısından önemlidir [1]. İdrarda ÜA normal seviyesi 1,4 ile 4,4 mM; serumda ise 240 ile 520 µM arasında değişmektedir [2]. ÜA'nın anormal değerleri böbrek yetmezliği, kan zehirlenmesi ve gut gibi bazı hastalıkların varlığını ve gebelik durumunu işaret etmektedir. Epidemiyolojik çalışmalar, serumda bulunan ÜA'nın kardiyovasküler hastalıklar için büyük bir tehdit ve aynı zamanda dolaşım sistemine etkileri olduğunu göstermiştir [3].

Dopamin hidroklorür, nörotransmitter bir katekolamindir ve merkezi sinir sistemi fonksiyonlarının sürdürülmesinde hayati rol oynar [4]. Askorbik asit antioksidan özelliğe sahiptir. AA vücudun fizyolojik işleyişinde önemlidir ve demir emilimine yardım, kapiler direnç, soğuk algınlığından korunmak gibi birçok biyolojik süreçte rol alır [5]. ÜA, DA ve AA molekülleri insan vücut sıvılarında bir arada bulunurlar. Bu biyolojik türlerin miktarlarının belirlenmesi, klinik teşhis ve farmakolojik analizler için önemlidir [6].

Elektrokimyasal yöntemlerle yapılan tayin işlemleri diğer analitik yöntemlere kıyasla, daha ucuz cihaz ve ekipmanla gerçekleştirilebilir [7]. Elektrokimyasal yöntemler genellikle zaman kaybına sebep olacak herhangi bir ön işlem gerektirmemesi sebebiyle tercih edilmektedir. Elektrokimyasal yöntemler kullanılarak yapılan tayin işlemleri, ucuz, pratik ve hızlıdır [8]. Bu nedenle literatürde ÜA, DA ve AA türlerinin düşük derişimlerinin tayini için yapılan metot geliştirme çalışmalarında elektrokimyasal yöntemler tercih edilmektedir [9, 10]. Yalnız elektrot yüzeylerinde DA, AA ve ÜA'ya ait yükseltgenme pikleri yakın potansiyellerde çıktığı için birbirine girişim yapmaktadır. Bu durum, türün derişiminin belirlenmesine engel olmaktadır [11]. Bu nedenle, geliştirilen modifiye elektrotlar daha hızlı, yüksek seçicilik ve hassasiyette analitik sonuçlar alınmasını sağlar.

Platin (Pt), Altın (Au), camısı karbon (GCE) gibi elektrotlar kullanarak yüzeylerinin organik ve inorganik moleküller ile kaplanması sonucunda modifiye elektrotlar hazırlanmaktadır. Bu modifiye elektrotlar, sahip oldukları kimyasal kararlılık ve geniş yüzey alanı gibi özellikleri sayesinde düşük miktarlardaki türlerin tayinine olanak sağlar. Bu sebeple modifiye elektrotlar yalnız elektrotlara göre daha çok uygulama alanlarına sahiptir. Yaygın olarak biyolojik moleküllerin ve çeşitli inorganik türlerin tayininde kullanılmaktadırlar. Aynı zamanda, modifikasyon işlemi ile korozyona karşı dirençli yüzeyler elde edilebilmektedir. Kaplama moleküllü olarak polimerik filmler [12], karbon nanotüpler [13] ve Schiff bazları [14] gibi çeşitli bileşikler kullanılabilmektedir. Triazol ve türevleri, antimikrobiyal ve antitümör gibi özellikleri nedeniyle kaplama molekülleri olarak oldukça önem teşkil etmektedir [15]. Literatürde AA, DA ve ÜA tayinleri ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır.

Retna Raj ve Ohsaka, yalnız Au elektrodu kendiliğinden düzenlenen tek tabakalar yöntemini kullanarak merkaptobenzimidazole (MBI) ile kaplamış ve modifiye ettiği MBI-Au elektrot ile AA varlığında ÜA tayinini SWV ile gerçekleştirmişlerdir [16]. Shan Ye vd., camısı karbon (GC) elektrodu karbon nanotüp ile modifiye etmiş ve AA varlığında ÜA tayinini diferansiyel puls voltametrisini (DPV) kullanarak yapmışlardır [17]. Uzun vd., GC elektrodu N,N'-bis(indol-3-karboksaldimin)-1,2-diaminosikloheksan (ICDACH) ile kaplamışlar ve modifiye ettikleri elektrodun karakterizasyonunu gerçekleştirdikten sonra DPV ile ÜA ve AA varlığında DA tayini yapmışlardır [18]. Reddy vd. [19], polidipikolinik asit/SiO₂/Fe₃O₄ esaslı elektrokimyasal sensor geliştirmişlerdir. Hazırladıkları sensor ile AA ve DA varlığında ÜA tayin etmişlerdir. Optimum şartlarda ÜA için elektrodun çalışma aralığını 1,2-8,2 µM; tayin sınırını ise 1,2 µM olarak bulmuşlardır. Ancak AA pikini elimine eden çalışmalar oldukça azdır [20-22]. Bu çalışma ile AA'ya karşı modifiye elektrodun hassasiyetinin olmaması sayesinde, AA'nın girişim etkisi olmadan ÜA tayininin kolayca yapılabilmesi ile literatüre katkıda bulunulmak amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, susuz ortam olan 0,1 M tetrabütülamonyum tetrafloroborat (TBATFB) içeren asetonitril (ACN) çözeltilinde Pt yüzeyi, bir triazol türevi olan TMN-2-ol ile kaplanarak TMN-2-ol/Pt modifiye elektrot geliştirilmiştir. Modifiye elektrot, dönüşümlü voltametri (CV), yansıtımlı absorpsiyon infrared spektroskopisi (RAIRS) ve temas açısı ölçümleri (CAM) ile karakterize edilmiştir. TMN-2-ol/Pt modifiye elektrot, pH 7,2 PBS ortamında AA ve DA varlığında ÜA'nın SWV yöntemiyle tayini için kullanılmıştır. TMN-2-ol/Pt elektrot AA yükseltgenme akımını görmezken, DA'nın girişim etkisini engelleyerek ÜA'nın seçici tayinine olanak sağlamıştır. TMN-2-ol filmi ÜA'nın yükseltgenmesinde oldukça iyi elektrokatalitik etki göstermiştir. TMN-2-ol/Pt elektrot ile sentetik ve kan serumu numunelerinde ÜA tayinleri, uygun sonuçlar ile yapılmıştır.

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

2.1. Kullanılan Kimyasallar (Chemicals)

ACN, TBATFB, AA, DA, sodyum dihidrojen fosfat ve disodyum hidrojen fosfat Merck firmasından, ÜA ise Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. Bu çalışmada, TMN-2-ol derişimi 1×10^{-3} M olacak şekilde 0,1 M TBATFB içeren ACN çözeltilinde hazırlanmıştır. 10^{-2} M DA ve AA çözeltileri sırasıyla 0,0189 g ve 0,0176 g DA ve AA ile çözelti hacmi ayrı ayrı 10 mL olacak şekilde saf su ile, 10^{-2} M ÜA çözeltisi 0,0168 g tartılarak 2 mL 0,1 M NaOH çözeltisinde çözülüp ve saf suyla 10 mL'ye tamamlanarak hazırlanmıştır. DA, ÜA ve AA çözeltileri günlük hazırlanmıştır. CV deneyi ile karakterizasyonlarda kullanılan redoks probleminin derişimi $1,0 \times 10^{-3}$ M'dir. Dopamin ve askorbik asit, 0,1 M H₂SO₄'te, ferrosen 0,1 M TBATFB içeren ACN'de, ferrisiyanür (K₃[Fe(CN)₆]) çözeltisi ise 0,1 M KCl çözeltisinde çözülerek hazırlanmıştır.

Sulu çözeltileri hazırlamak ve elektrot temizliği için kullanılan saf su (18.3 MΩ.cm direncinde) Human Power I⁺ Scholor saflaştırma sistemi ile elde edilmiştir. Elektrokimyasal ölçümlerden önce çözelti ortamındaki çözünmüş oksijen gazını uzaklaştırmak amacıyla yüksek saflıkta (%99,999) argon gazı kullanılmıştır. Tüm deneyler oda sıcaklığında (25±1°C) gerçekleştirilmiştir.

2.2. Elektrokimyasal Ölçümler (Electrochemical measurements)

Elektrokimyasal çalışmalarda üç elektrotlu sistem kullanılmıştır. Hazırlanan modifiye elektrotlar, çalışma elektrodu olarak bağlanarak bilgisayar kontrollü CH Instrument Model 660B potansiyostat kullanılmıştır. Çalışma elektrodu olarak 1,6 mm yarıçapında platin elektrot (BAS MF-2013) modifiye edilmiş, referans elektrot olarak susuz ortamda Ag/Ag⁺ elektrodu (BAS MF-2062), sulu ortamda Ag/AgCl/KCl_{doy} elektrot (BAS MF-2079) kullanılmıştır. pH ölçümleri için Thermo marka Orion 5 Star model dijital pH metre kullanılmıştır.

2.3. TMN-2-ol/Pt Modifiye Elektrodunun Hazırlanması (Preparation of TMN-2-ol/Pt modified electrode)

Sonuçların doğru ve güvenilir çıkması açısından modifikasyon işleminden önce Pt elektrodun temizlenme işlemi uygulanmıştır. Bunun için öncelikle, Pt elektrot, 4000'lik Buehler zımpara kâğıdı kullanılarak saat yönüne ve tersine olmak üzere, eşit sayıda dairesel hareketlerle temizlenmiştir. Elektrot saf su ile yıkandıktan sonra, Buehler® marka sırasıyla 0,3 ve 0,05 µm boyutlarına sahip süspansiyon şeklindeki alümina tozları ile eşit sayıda dairesel hareketlerle temizlenmiştir [23]. Ardından, önce saf suda sonra ACN içerisinde 10 dakika ultrasonik banyoda bekletilmiştir. Yüzeyde kalma ihtimali olan diğer safsızlıklar yüksek basınçlı azot gazı yardımıyla uzaklaştırılmıştır. Yüzeyi temizlenmiş ve parlatılmış olan Pt elektrot, modifikasyon için hazır hale gelmiştir. Modifikasyon işlemi

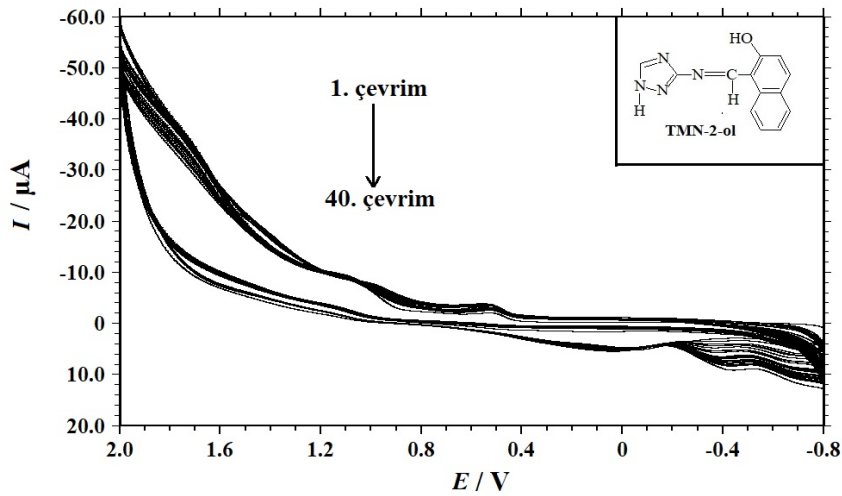
için, Şekil 1'de açık formülü verilen TMN-2-ol Schiff bazı, 0,1 M TBATFB içeren ACN çözeltisinde derişimi 1×10^{-3} M olacak şekilde çözülmüştür. Yüzeyi temizlenmiş Pt elektrot hazırlanan 1×10^{-3} M TMN-2-ol çözeltisine daldırılmıştır. Pt yüzeyinin TMN-2-ol molekülü ile kaplama işlemi -0,8-2,0 V potansiyel aralığında 100 mV/s tarama hızı ile CV yöntemi kullanılarak 40 döngülik çevrim sayısı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de Pt yüzeyinin TMN-2-ol ile modifiye edilmesi sırasında elde edilen voltamogram verilmiştir. Voltamogramda TMN-2-ol molekülünün ilk döngüde 0,52 V ve 1,07 V'da yükseltgenme piki görülmektedir. Döngü sayısının artması ile 1,07 V'daki pik 0,98 V'a kadar kaymıştır. Ayrıca ilk döngüde görülmeyen ancak döngü sayısının artması ile 1,74 V'da bir omuz şeklinde ortaya çıkan yükseltgenme piki görülmektedir. 0,02 V civarında ilk döngüden itibaren ve ilk döngüde olmayan ancak döngü sayısının artması ile ortaya çıkıp akımı artan -0,44 V ve -0,66 V'da indirgenme pikleri elde edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. TMN-2-ol/Pt Yüzeyinin Elektrokimyasal Yöntem ile Karakterizasyonu

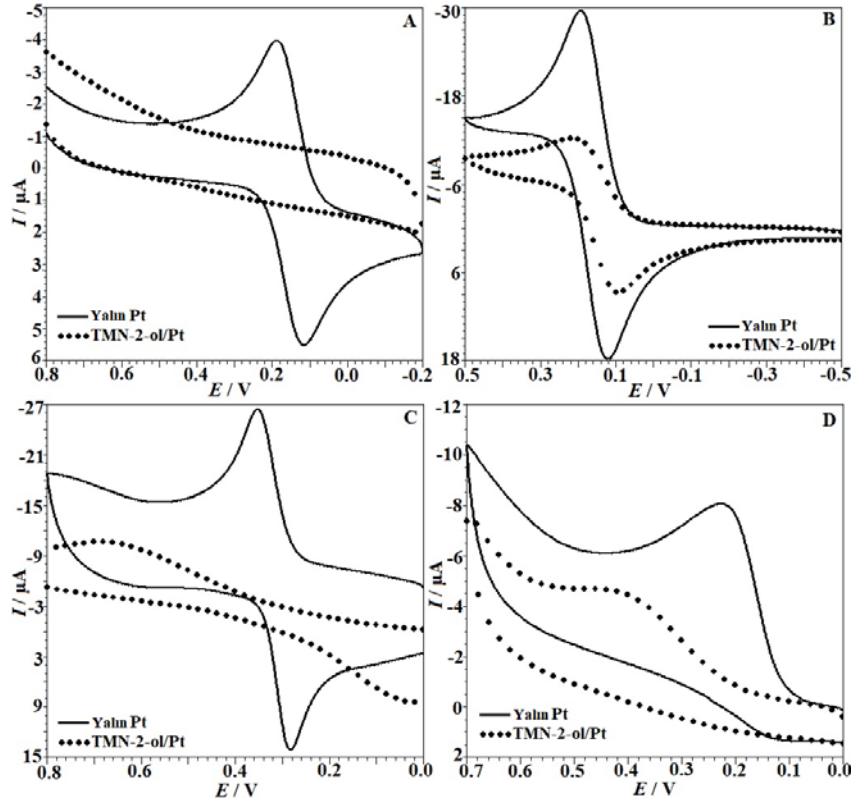
(Characterization of TMN-2-ol/Pt Surface with Electrochemical Method)

Ferrisiyanür, ferrosen, askorbik asit ve dopamin redoks problemlerinin yalnız Pt ve TMN-2-ol/Pt elektrot yüzeyinde gösterdikleri elektrokimyasal davranışlarına ait voltamogramlar Şekil 2'de verilmiştir. Ferrisiyanürün elektron transferi, TMN-2-ol/Pt elektrot yüzeyinde (yaln Pt elektrottan farklı olarak) tamamen engellendiği Şekil 2A'da görülmektedir. Ferrosen (Şekil 2B), dopamin (Şekil 2C) ve askorbik asit (Şekil 2D) redoks problemlerinin ise elektron transferi kısmen engellenmiştir. Bu nedenle, modifiye yüzeyde askorbik asit, dopamin ve ferrosenin elektron aktarımı, yüzeyde bulunması muhtemel pinhollerden dolayı az bir miktar gerçekleşmektedir [24]. Ferrisiyanür, ferrosen,



Şekil 1. 1×10^{-3} M TMN-2-ol molekülünün 0,1 M TBATFB içeren ACN ortamında Pt elektrot yüzeyine modifikasyon voltamogramı.

(Modification voltammogram of the 1×10^{-3} M TMN-2-ol molecule to the Pt electrode surface in ACN medium containing 0.1 M TBATFB.)



Şekil 2. Pt ve TMN-2-ol/Pt yüzeylerinin, A) 1×10^{-3} M ferrisiyanürün, 0,1 M H_2SO_4 çözeltisinde, B) 1×10^{-3} M ferrosenin, 0,1 M TBATFB içeren asetonitril çözeltisinde, C) 1×10^{-3} M dopaminin 0,1 M H_2SO_4 çözeltisinde D) 1×10^{-3} M askorbik asidin, 0,1 M KCl çözeltisinde, dönüşümlü voltamogramları.

(Cyclic voltammograms of bare Pt and TMN-2-ol/Pt surfaces A) in 1×10^{-3} M ferricyanide solution, B) in 1×10^{-3} M ferrocene in ACN solution containing 0.1 M TBATFB, C) 1×10^{-3} M dopamine in 0.1 M H_2SO_4 solution, D) 1×10^{-3} M ascorbic acid in 0.1 M KCl solution.)

askorbik asit ve dopamin redoks problemlerinin elektrokimyasal davranışlarının yalnız Pt ve TMN-2-ol/Pt elektrot yüzeyinde farklı olması yalnız Pt yüzeyinin TMN-2-ol molekülleri ile başarılı bir şekilde kaplandığını göstermektedir.

3.2. TMN-2-ol/Pt Yüzeyinin Yansıtımlı Absorpsiyon Infrared Spektroskopisi (RAIRS) Tekniği ile Karakterizasyonu

(Characterization of TMN-2-ol/Pt Surface by Reflection Absorption Infrared Spectroscopy (RAIRS) Technique)

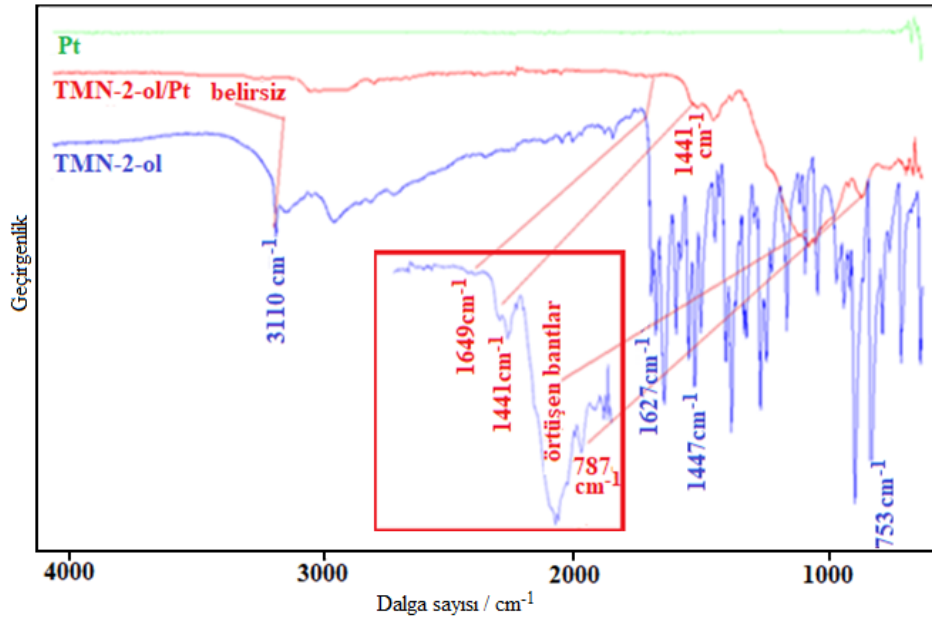
Yansıtımlı absorpsiyon infrared spektroskopisi (RAIRS) deneyleri, Pt yüzeyinin TMN-2-ol ile modifiye olduğunu ispatlamak, yüzeyde bulunması muhtemel grupları tespit edebilmek amacıyla yapılmıştır. Bu deneyde, Bruker Vertex 80 IR Spectrometer marka cihaz kullanılmıştır. RAIRS ile TMN-2-ol/Pt yüzeyin karakterizasyonunda öncelikle yalnız Pt yüzeyin RAIR spektrumu alınmış ve bu spektrumun TMN-2-ol/Pt yüzeyin RAIR spektrumundan matematiksel olarak çıkarılması suretiyle yüzeydeki filmin RAIR spektrumu elde edilmiştir. Şekil 3'de yalnız Pt ve TMN-2-ol/Pt yüzeyleri ile TMN-2-ol katısının ve 4000 cm^{-1} ile 500 cm^{-1} aralığında elde edilen RAIR spektrumları verilmiştir. TMN-2-ol katısının RAIR spektrumunda N-H gerilmesi 3110 cm^{-1} 'de gözlenirken [25], TMN-2-ol/Pt yüzeyinde N-H gerilmesine ait belirgin bir bant görülmemiştir. Bu durumun, N-H moleküllerinin Pt yüzeyine yönelimlerinden

kaynaklandığı düşünülmüştür. Aromatik C-H gerilme titreşimleri TMN-2-ol katısında $3072\text{-}2970 \text{ cm}^{-1}$ 'de, TMN-2-ol/Pt yüzeyinde ise $2977\text{-}2941 \text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir. TMN-2-ol'de 1627 cm^{-1} 'de azometin (C=N) grubuna ait güçlü bir bant görülmektedir [26]. Ancak, modifiye yüzeyde bu bant 1649 cm^{-1} dalga sayısı değerinde ve düşük bir şiddette gözlenmiştir. TMN-2-ol/Pt yüzeyinde $1168\text{-}845 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığı örtüşmelerden ötürü net bir şekilde incelenememektedir. TMN-2-ol ve TMN-2-ol/Pt yüzeyine ait spektrumlar karşılaştırıldığında, TMN-2-ol'da 1447 cm^{-1} 'de görülen aromatik C=C bandı, TMN-2-ol/Pt yüzeyinde 1441 cm^{-1} değerinde gözlenmiştir. Ayrıca, 753 cm^{-1} 'de görülen C-H eğilme titreşimleri [27] modifikasyon sırasında fenil hidrojenlerin değişimi ile 787 cm^{-1} 'de gözlenmiştir. Bütün bu gözlemler TMN-2-ol molekülünün Pt yüzeye bağlandığını göstermiştir.

3.3. TMN-2-ol/Pt Yüzeyinin Temas Açısı ile Karakterizasyonu

(Characterization of TMN-2-ol/Pt Surface with Contact Angle)

Temas açısı yüzeyin polaritesi, hidrofilitesi ve heterojenliği hakkında bilgi veren bir yöntemdir; ayrıca temas açısı ölçümleri ile yüzeyin enerjisi de hesaplanabilir [28]. Temas açısı ölçümleri Angle Micrometer (Surface Electro Optics PHX 150 model, S.E.O. Co. LTD., Korea) cihazı kullanılarak alınmıştır. Temas açısı ölçümleri yalnız Pt ve



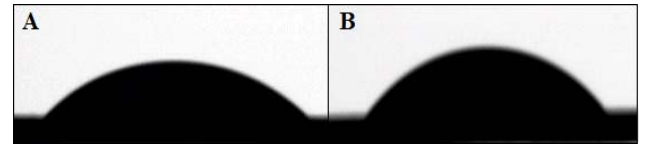
Şekil 3. Pt yüzey, TMN-2-ol katısı ve TMN-2-ol/Pt yüzeye ait RAIIR spektrumları.
(Figure 4. RAIIR spectra of Pt surface, TMN-2-ol solid and TMN-2-ol/Pt surface.)

TMN-2-ol/Pt yüzey üzerine 5 μL saf su (18 $\text{M}\Omega\text{ cm}$) damlatılarak 3 ölçüm sonucunun ortalaması olarak verilmiştir. Yaptığımız temas açısı ölçümlerinde yüzeye damlatılan su yüzeyde yayılma göstermemiştir (Şekil 4). Ölçümler sonucunda çıplak Pt yüzeyinde suyun temas açısı $81,97 \pm 3,2^\circ$ iken TMN-2-ol/Pt yüzeyinde $131,95 \pm 4,1^\circ$ 'dir. Bu artış yüzeyin kaplama işlemi ile beraber daha hidrofobik hale geldiğini, böylelikle yalnız Pt yüzeyinde, TMN-2-ol moleküllü ile kaplanması sonucunda farklılık oluştuğu anlaşılmıştır. Birçok küçük organik veya biyolojik moleküller yüzeylere hidrofobik etkileşim veya $\pi-\pi$ etkileşim yoluyla adsorbe edilebilir. ÜA, ÜA molekülünün hidrofobik kısmı ile TMN-2-ol filmi arasındaki hidrofobik etkileşim nedeniyle TMN-2-ol/Pt yüzeyine, AA'ya kıyasla daha kolay adsorbe edilebilir [29-31]. Böylelikle TMN-2-ol/Pt yüzeyinde ÜA yükseltgenmesi AA'ya göre daha kolay gerçekleşerek; ÜA'nın daha düşük derişimleri tayin edilebilir.

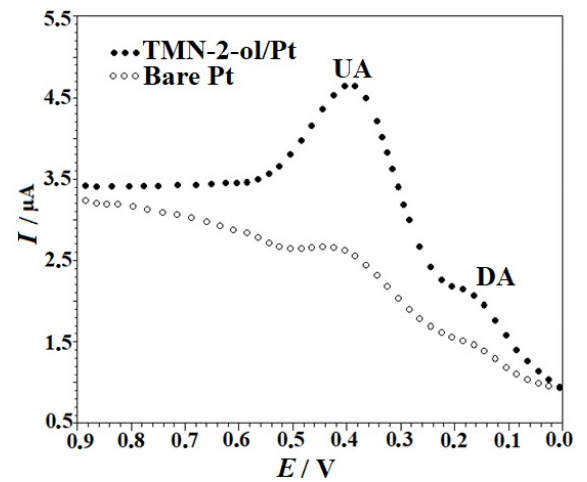
3.4. TMN-2-ol/Pt Modifiye Elektrodun Analitik Uygulaması (Analytical Application of TMN-2-ol/Pt Modified Electrode)

TMN-2-ol/Pt ve Pt elektrotları ile $\text{pH}=7,2$ fosfat tamponunda ÜA'nın AA ve DA varlığında SWV'leri alınmıştır. Bu voltamogram Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5'de verilen voltamogramlar incelendiğinde TMN-2-ol elektrodu ile elde edilen ÜA'nın yükseltgenme pik akımı yalnız Pt elektrodu ile elde edilen değerden 5,54 kat büyüktür. ÜA ve AA yalnız elektrotlarda hemen hemen aynı potansiyelde yükseltgenmelerine rağmen, TMN-2-ol/Pt yüzeyinde farklı adsorpsiyon özelliklerine sahiptirler. Sonuç olarak, TMN-2-ol/Pt yüzeyi ÜA'nın kuvvetli adsorpsiyonundan kaynaklı elektron transfer reaksiyon hızını arttırmıştır. Bununla birlikte, TMN-2-ol filmi, zayıf adsorpsiyonundan dolayı AA'nın elektrokimyasal yükseltgenmesini sınırlamıştır [32].

Bu sayede ÜA, DA ve AA'nın yapabileceği girişim etkileri etkin bir şekilde ortadan kaldırılmıştır. Bu durum TMN-2-ol/Pt yüzeyinin AA ve DA varlığında ÜA tayinini olanaklı hale getirmiştir.



Şekil 4. A) Pt ve B) TMN-2-ol/Pt yüzeylerinin su ile temas açısı ölçümleri. (Measurements of contact angle of A) Pt and B) TMN-2-ol/Pt surfaces with water.)



Şekil 5. Yalnız Pt ve TMN-2-ol/Pt elektrotları ile AA ve DA varlığında ÜA'nın yükseltgenme pikini gösteren kare dalga voltamogramı (Tarama hızı: 200mV/s)
(Square wave voltammogram showing the oxidation peak of UA in the presence of AA and DA on the Pt and TMN-2-ol/Pt electrodes)

3.4.1. Destek elektrolit ortamlarının etkisi (Influences of the supporting electrolyte solutions)

Genellikle, destek elektrolit çözeltisinin türü ve pH değeri, tayin edilen türün pik akımına etki ederek, tayinin hassasiyetini etkiler [33, 34]. Ortam çalışmasının amacı, belirli derişimlerdeki AA, DA ve ÜA'nın, farklı ortamlarda TMN-2-ol/Pt elektrodu ile pik akımları değişimlerini inceleyerek, en uygun tayin ortamını seçmektir. Ortamda 1×10^{-5} M AA, 1×10^{-5} M DA ve 6×10^{-5} M ÜA varken TMN-2-ol/Pt ile farklı ortamlarda -0,4 V ile 1,0 V arası SWV'ler alınmıştır. Bu ortamlarda AA ve DA varlığında ÜA'nın pik akımlarındaki değişimlere bakılmıştır. pH 2 HClO₄, pH 2 H₂SO₄ ve pH 7,2 fosfat tamponu ortamında ÜA pik akımları incelenmiş ve pik akımının en yüksek olduğu ortam olan 7,2 fosfat tamponu ortamında ÜA tayini gerçekleştirilmiştir.

3.4.2. Çalışma aralığı ve tayin sınırı (Linear range and limit of detection)

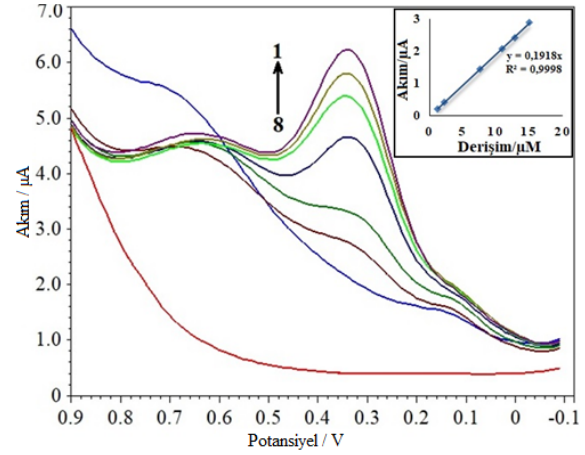
ÜA tayininde TMN-2-ol/Pt elektrodunun duyarlılığını belirlemek için LOD ve LOQ değerleri belirlenmiştir. LOD ve LOQ değerleri, Eş. 1 ve Eş. 2 kullanılarak hesaplanmıştır [34].

$$LOD = \frac{3s}{m} \quad (1)$$

$$LOQ = \frac{10s}{m} \quad (2)$$

TMN-2-ol/Pt elektrot ile 1×10^{-5} M AA ve 1×10^{-5} M DA varlığında farklı derişimlerde hazırlanan ÜA standart çözeltilerinden belirli hacimlerde ilaveler yapılmış; doğrusal olan kısım için Şekil 6'da verilen voltamogramlar ve kalibrasyon grafiği elde edilmiştir. Ortamda AA ve DA varken, ÜA'ya ait elde edilen kalibrasyon grafiğindeki doğru denklemi $I(\mu A) = 5,21[\text{ÜA}](\mu M)$ ($R^2 = 0,9998$) şeklindedir. LOD değeri $1,56 \times 10^{-8}$ M, LOQ $5,20 \times 10^{-8}$ M ve doğrusal çalışma aralığı $1,23 \times 10^{-6} - 1,51 \times 10^{-5}$ M olarak belirlenmiştir. TMN-2-ol/Pt elektrodun çalışma aralığı ve gözlenebilme sınırları, Tablo 1'de farklı elektrotlarla karşılaştırılmıştır.

Buna göre TMN-2-ol/Pt elektrot, düşük derişimdeki ÜA miktarlarının tayinine olanak sağlamaktadır.



Şekil 6. 0,1 M pH 7,2 PBS ortamında 10 µM AA ve 10 µM DA varlığında ÜA ilaveleri ile elde edilen SWV ve kalibrasyon grafiği, 1. 0, 2. 10 µM AA ve 10 µM DA ilavesi, 3. 1,23, 3. 2,26 µM, 4. 7,65 µM, 5. 10,94 µM, 6. 12,87 µM, 7. 15,09 µM ÜA.

(Square wave voltammograms and the calibration curves of UA presence of 10 µM AA and 10 µM DA at 0,1 M pH 7,2 PBS, 1. 0, 2. 10 µM AA and 10 µM DA, 3. 1,23, 3. 2,26 µM, 4. 7,65 µM, 5. 10,94 µM, 6. 12,87 µM, 7. 15,09 µM UA.)

3.4.3. Girişim çalışması (Interference studies)

Ürik asidin pH 7,2 fosfat tamponu ortamında kare dalga voltametri ile tayinine çeşitli anyon ve katyonların etkileri araştırıldı. ÜA derişimi $9,804 \times 10^{-6}$ M olduğunda anyon ve katyonların ÜA derişimine göre aşağıda belirtilen katların üzerinde dopamin ve ürik aside ait yükseltgenme piklerinde kaymalar, küçülmeler ve bozulmalar meydana geldi. Bunun sebebinin, ortama ilave edilen türün ÜA'nın yapısını bozarak yeni bir yapı meydana getirmeleri olduğu düşünülmektedir. incelenen türlerin ÜA'nın yükseltgenme pikine bozucu etki yaptığı sınır değerler Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 2'de verilen girişim yapması olası türlerin sınır miktarlarının ilavesi sonucunda okunan ÜA'ya ait pik akım değerlerini gösteren grafik Şekil 7'de verilmiştir.

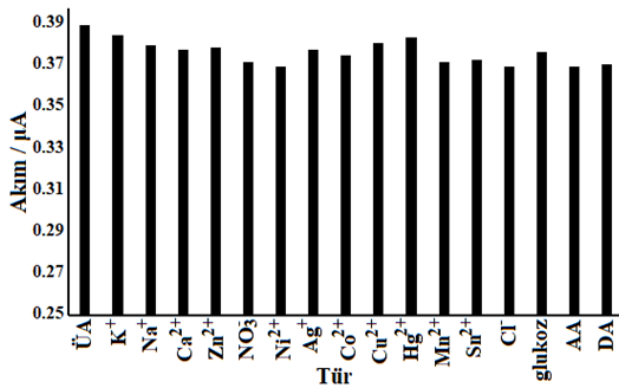
Tablo 1. ÜA tayininde TMN-2-ol elektrodunun diğer çalışmalarla karşılaştırması
(Comparison of proposed TMN-2-ol/Pt electrode with different modified electrodes for UA determination.)

Elektrot	Çalışma aralığı (µM)	Tayin sınırı (µM)	Kaynaklar
Graphene flowers/CFE ^a	3,78-183,87	2	[35]
HNCMS ^b /GCE ^c	5-30	0,04	[36]
GNPs ^d /Pimox ^e /GCE	6-486	0,5	[37]
PDDA@HCNTs ^f /GCE	5-175	0,22	[38]
P-4-ABA ^g /GCE	1-80	0,5	[39]
DNA/Pp-ABSA ^h /GCE	0,3-10	0,11	[40]
TMN-2-ol/Pt	1,23-15,1	0,0156	Bu çalışma

^aKarbon lif elektrot, ^bİçi boş azot katkılı karbon mikroküreler, ^cCamsı karbon elektrot, ^dAltın nanopartikül, ^eOksitlenmiş poliiimidazol, ^fDialil dimetilamoniyum klorür@sarman karbon nanotüp, ^g4-aminobütirik asit, ^hpoli(p-aminobenzen-sülfonik asit)

Tablo 2. 10 µM ÜA pikine bazı türlerin girişim etkileri
(The interference effects of some species to 10 µM UA peak)

Tür	Bozucu etki yapan sınır miktar
K ⁺ , Na ⁺	200 kat
Mg ²⁺	500 kat
Ca ²⁺	1000 kat
Zn ²⁺ , NO ₃ ⁻	400 kat
Ni ²⁺ , Ag ⁺ , Co ²⁺ ,	40 kat
Cu ²⁺ , Hg ²⁺ , Mn ²⁺ , Sn ²⁺	20 kat
Cl ⁻	1000 kat
glukoz	300 kat
AA, DA	50 kat

**Şekil 7.** Bozucu etki yapan bazı türlerin belirlenen sınır miktarlarının ilavesi sonucunda 10 µM ÜA'nın okunan pik akım değerlerini

(The peak current values of 10 µM UA were added as a result of the addition of the determined limit amounts of some species with disruptive effects)

3.4.4. Sentetik numunelerde ÜA tayini (Determination of UA in synthetic samples)

1×10⁻⁵ M AA ve 1×10⁻⁵ M DA varlığında ÜA tayini için, TMN-2-ol/Pt modifiye elektrodun analitik performansı, kalibrasyon yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bu amaçla, TMN-2-ol/Pt elektrot ile 1×10⁻⁵ M AA ve 1×10⁻⁵ M DA içeren 0,1 M pH 7,2 fosfat tamponu destek elektrolit çözeltisine standart ÜA çözeltisinden (1×10⁻³ M) belirli hacimlerde ilaveler yapılmış ve 0,9-(-0,2) V arasında SWV'leri alınmıştır. Elde edilen SWV'lerinden yararlanarak kalibrasyon grafikleri oluşturulmuştur. İçeriğinde DA ve AA bulunduran sentetik numunelerde ÜA tayini yapılmış ve sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. %90 güven seviyesiyle elde edilen sonuçlar, düşük hata ve bağıl standart sapma değerleri ile oldukça iyidir.

3.4.5. Gerçek numunede ÜA tayini (Determination of UA in real sample)

İlave olarak, TMN-2-ol/Pt elektrot ile ÜA tayini için geliştirilen yöntemin, gerçek örnek ortamlarına uygulanabilirliğini araştırmak amacıyla üç farklı kan serumu örneğinde standart ekleme yöntemi ile ÜA tayini yapılmıştır.

Bu amaçla kan serumu örneklerinden alınan belirli miktarlar destek elektrolit olarak kullanılan 10 mL 0,1 M pH 7,2 fosfat tamponu çözeltisine ilave edilmiş ve üzerine derişimi 1×10⁻³ M olan ÜA standart çözeltilerinden belirli hacimlerde eklemeler yapılarak kan serumu numunelerindeki ÜA miktarları ve hata değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar 3 deney tekrarı için %90 güven seviyesi ile Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3. TMN-2-ol/Pt çalışma elektrodu ile 0,1 M pH 7,2 fosfat tamponunda 1×10⁻⁵ M AA ve 1×10⁻⁵ M DA varlığında sentetik numunelerde ÜA tayini.

(Determination of UA in the presence of 1×10⁻⁵ M AA ve 1×10⁻⁵ M DA in synthetic samples at the TMN-2-ol/Pt electrode in 0,1 M pH 7,2 PBS.)

Sentetik Numune	Eklenen (µM)	Bulunan (µM)	% Bağıl Hata	% BSS
1	2,00	2,05±0,02	2,5	0,98
2	5,00	5,03±0,01	0,6	0,20
3	10,00	10,11±0,13	1,1	1,28

*%90 güven seviyesinde 3 deney sonucu için.

Tablo 4. TMN-2-ol/Pt çalışma elektrodu ile kan serumunda ÜA tayini

(Determination of UA in blood serum at the TMN-2-ol/Pt electrode)

Numune	Eklenen (µM)	Bulunan (µM)	% Bağıl Hata	% BSS
1	5,24	5,38±0,21	2,67	3,90
2	5,78	5,82±0,29	0,69	4,98
3	6,17	6,31±0,26	2,27	4,21

* %90 güven seviyesinde 3 deney sonucu için.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan çalışmada, [(1H-1,2,4 - triazol - 3 - ylimin) metil]naftalen-2-ol (TMN-2-ol) Schiff bazı kullanılmış ve elektrokimyasal yükseltgeme yöntemiyle Pt elektrot yüzeyine bağlanarak yeni bir modifiye yüzey elde edilmiştir. Hazırlanan modifiye yüzeyin karakterizasyonunda elektrokimyasal, spektroskopik yöntemler ve mikroskopik yöntemler kullanılmıştır. Çeşitli redoks problemler kullanılarak CV yöntemi ile gerçekleştirilen elektrokimyasal karakterizasyon çalışmalarında modifiye yüzeyde türlerin difüzyonuna kısmen imkân sağlayan pinhollerin bulunduğu tespit edilmiştir. Bu durum modifiye yüzeyin seçici elektrot olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. RAIRS çalışmaları, TMN-2-ol ve TMN-2-ol/Pt yüzeyleri için değerlendirilmiş ve modifiye yüzeyin spektrumunda TMN-2-ol molekülüne ait bazı karakteristik fonksiyonel grupların bantlarının çıkması, frekans değerlerinde kayma olması ve bazı grupların görünmemesi, yüzeyin TMN-2-ol ile kaplandığını desteklemiştir. Temas açısı ölçümleri, modifiye yüzey için elde edilen daha yüksek açı değerinden dolayı TMN-2-ol molekülüyle Pt yüzeyin kaplandığını desteklemiştir, aynı zamanda da TMN-2-ol/Pt yüzeyin yalnız Pt yüzeye kıyasla hidrofobik karakterde olduğunu göstermiştir. Çalışmada hazırlanan ve karakterizasyonu yapılan modifiye Pt elektrot, biyolojik sıvılarda elektrokimyasal tayinleri yükseltgenme piklerinin örtüşmesi sebebiyle problemlili olan ÜA'nın DA ve

AA varlığında tayinini gerçekleştirmek amacıyla kullanılmıştır. Pt elektrot kullanılarak AA, DA ve ÜA'nın bir arada bulunduğu koşullarda birbirine girişimleri sebebiyle kantatif tayinlerinin mümkün olmadığı, TMN-2-ol/Pt elektrot kullanıldığında ise, DA ve AA varlığında ÜA tayininin kare dalga voltametri yöntemiyle mümkün olduğu görülmüştür. TMN-2-ol/Pt elektrodun çalışma elektrodu olarak kullanımı ile ÜA tayini için, geliştirilen ucuz ve basit kantitatif tayin yöntemi kan serumu numunelerinde kullanılmıştır. Böylelikle geliştirilen yöntemin gerçek numunelere uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

Sonuç olarak bu çalışma ile biyoanalitik çalışmalara ön hazırlık gerektirmeden kullanımı mümkün olan, kolay, ucuz, pratik ve aynı zamanda da maliyeti düşük yeni bir çalışma yüzeyi elde edilmiştir. Bunların dışında geliştirilen yöntemin çeşitli elektrokimyasal tekniğin bir arada kullanılmasına imkân sağlaması ve hazırlanan yüzeyin kendine bir uygulama alanı bulabilmiş olması sebebiyle yeni çalışmalara olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Abellán-Llobregat A., Ayán-Varela M., Vidal L., Paredes J. I., Villar-Rodil S., Canals A., Morallón E., Flavin mononucleotide-exfoliated graphene flakes as electrodes for the electrochemical determination of uric acid in the presence of ascorbic acid, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 783, 41–48, 2016.
2. Choukairi M., Bouchta D., Bounab L., Benatyah M., Elkhamlichi R., Chaouket F., Raissouni I., Rodriguez I. N., Electrochemical detection of uric acid and ascorbic acid: Application in serum, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 758, 117–124, 2015.
3. Jiang J., Du X., Sensitive electrochemical sensors for simultaneous determination of ascorbic acid, dopamine, and uric acid based on Au@Pd-reduced graphene oxide nanocomposites, *Nanoscale*, 6 (19), 11303–11309, 2014.
4. Zhang X., Chen X., Kai S., Wang H. Y., Yang J., Wu F. G., Chen Z., Highly sensitive and selective detection of dopamine using one-pot synthesized highly photoluminescent silicon nanoparticles. *Analytical Chemistry*, 87 (6), 3360–3365, 2015.
5. Zhang W., Liu L., Li Y., Wang D., Ma H., Ren H., Shi Y., Han Y., Ye B.-C., Electrochemical sensing platform based on the biomass-derived microporous carbons for simultaneous determination of ascorbic acid, dopamine, and uric acid, *Biosensors and Bioelectronics*, 121, 96–103, 2018.
6. Veera Manohara Reddy Y., Sravani B., Agarwal S., Kumar Gupta V., Madhavi G., Electrochemical sensor for detection of uric acid in the presence of ascorbic acid and dopamine using the poly(DPA)/SiO₂@Fe₃O₄ modified carbon paste electrode, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 820, 168–175, 2018.
7. Madhuchandra H.D., Kumara Swamy B.E., Electrochemical determination of Adrenaline and Uric acid at 2-Hydroxybenzimidazole modified carbon paste electrode Sensor: A voltammetric study, *Materials Science for Energy Technologies*, 3, 464–471, 2020.
8. Manjunatha J.G., Deraman M., Basri N.H., Talib I.A., Fabrication of poly (Solid Red A) modified carbon nano tube paste electrode and its application for simultaneous determination of epinephrine, uric acid and ascorbic acid, *Arabian Journal of Chemistry*, 11, 149–158, 2018.
9. Mohibul Islam K. Md., Haque Al-M. J., Kim K., Electrochemical determination of uric acid in the presence of ascorbic acid on electrochemically reduced graphene oxide modified electrode, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 700, 54–59, 2013.
10. Tatli F., Uzun D., Calam T.T., Gündüzalp A.B., Hasdemir E., Preparation and characterization of 3-[(1H-1,2,4-triazole-3-ylimino)methyl]naphtalene-2-ol film at the platinum surface for selective voltammetric determination of dopamine in the presence of uric acid and ascorbic acid, *Surface and Interface Analysis*, 1–9, 2018.
11. Lei R., Ni H., Chen R., Gu H., Zhang B., Electrochemical analysis of ascorbic acid and uric acid on defect-engineered carbon nanotube networks with increased exposure of graphitic edge planes, *Electrochemistry Communications*, 93, 20–24, 2018.
12. Motshakeri M., Travas-Sejdic J., Phillips A. R. J., Kilmartin P. A., Rapid electroanalysis of uric acid and ascorbic acid using a poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-modified sensor with application to milk, *Electrochimica Acta*, 265, 184–193, 2018.
13. Rohani T., Taher M. A., Novel functionalized multiwalled carbon nanotube-glassy carbon electrode for simultaneous determination of ascorbic acid and uric acid, *Arabian Journal of Chemistry*, 11, 214–220, 2018.
14. Gorczyński A., Pakulski D., Szymański M., Kubicki M., Bułat K., Łuczak T., Patroniak V., Electrochemical deposition of the new manganese(II) Schiff-base complex on a gold template and its application for dopamine sensing in the presence of interfering biogenic compounds, *Talanta* 149, 347–355, 2016.
15. Zhang S., Xu Z., Gao C., Ren Q.-C., Chang L., Lv Z.-S., Feng L.-S., Triazole derivatives and their anti-tubercular activity, *European Journal of Medicinal Chemistry*, 138, 501–513, 2017.
16. Raj C. R., Ohsaka T., Voltammetric detection of uric acid in the presence of ascorbic acid at a gold electrode modified with a self-assembled monolayer of heteroaromatic thiol, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 540, 69–77, 2003.
17. Ye J.-S., Wen Y., Zhang W. D., Gan M., Xu Q., Sheu F.-S., Selective Voltammetric Detection of Uric Acid in the Presence of Ascorbic Acid at Well-Aligned Carbon Nanotube Electrode, *Electroanalysis*, 15 (21), 1693–1698, 2003.
18. Uzun D., Gündüzalp A.B., Hasdemir E., Selective determination of dopamine in the presence of uric acid and ascorbic acid by N,N'-bis(indole-3-carboxaldehyde)-1,2-diaminocyclohexane thin film modified glassy carbon electrode by differential pulse voltammetry, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 747, 68–76 2015.

19. Veera Manohara Reddy Y., Sravani B., Agarwal S., Kumar Gupta V., Madhavi G., Electrochemical sensor for detection of uric acid in the presence of ascorbic acid and dopamine using the poly(DPA)/SiO₂@Fe₃O₄ modified carbon paste electrode, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 820, 168–175, 2018.
20. Wei M., Sun L.G., Xie Z.Y., Zhii J.F., Fujishima A., Einaga Y., Fu D.G., Wang X.M., Gu Z.Z., Selective determination of dopamine on a boron-doped diamond electrode modified with gold nanoparticle/polyelectrolyte-coated polystyrene colloids, *Advanced Functional Materials*, 18, 1414–1421, 2008.
21. Hu G., Liu Y., Zhao J., Cui S., Yang Z., Zhang Y., Selective response of dopamine in the presence of ascorbic acid on L-cysteine self-assembled gold electrode, *Bioelectrochemistry*, 69, 254–257, 2006.
22. Wang Y., Li Y., Tang L., Lu J., Li J., Application of graphene-modified electrode for selective detection of dopamine, *Electrochemistry Communications*, 11, 889–892, 2009.
23. Asan G., Çelikkın H., Electrochemical analysis of ascorbic acid with MoS₂ based electrode, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (3), 617–625, 2017.
24. Danyıldız Z., Uzun D., Tabanlıgil Calam T., Hasdemir E., A voltammetric sensor based on glassy carbon electrode modified with 1H-1,2,4-triazole-3-thiol coating for rapid determination of trace lead ions in acetate buffer solution, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 805, 177–183, 2017.
25. Sherif E.-S. M., El Shamy A.M., Ramla M.M., El Nazhawy A.O.H., 5-(Phenyl)-4H-1,2,4-triazole-3-thiol as a corrosion inhibitor for copper in 3.5% NaCl solutions, *Materials Chemistry and Physics*, 102, 231–239, 2007.
26. Issa R.M., Gaber M., Al-Wakiel N. Abd-E., Fathalla S. K., Synthesis, Spectral, Thermal and Biological Studies of Mn(II), Co(II), Ni(II) and Cu(II) Complexes with 1-(((5-Mercapto-1H-1,2,4-triazol-3-yl)imino)-methyl)naphthalene-2-ol, *Chinese Journal of Chemistry*, 30, 547–556, 2012.
27. Komrovsky F., Sperandeo N.R., Mariano D., Vera A., Caira M.R., Mazzeri M.R., X-ray, DFT, FTIR and thermal study of the antimicrobial N-benzenesulfonyl-1H-1,2,3-benzotriazole, *Journal of Molecular Structure*, 1164, 200–208, 2018.
28. Uzun D., Arslan H., Gündüzalp A.B., Preparation of modified glassy carbon surface with N-(1-H-indole-3-yl) methylene thiazole-2-amine and its characterization, *Surface & Coatings Technology*, 239, 108–115, 2014.
29. Oha J.-W., Yoon Y.W., Heo J., Yu J., Kim H., Hyun T., Electrochemical detection of nanomolar dopamine in the presence of neurophysiological concentration of ascorbic acid and uric acid using charge-coated carbon nanotubes via facile and green preparation, *Talanta* 147, 453–45, 2016.
30. Brillians Revin S., Abraham John S., Selective determination of l-tyrosine in the presence of ascorbic and uric acids at physiological pH using the electropolymerized film of 3-amino-5-mercapto-1,2,4-triazole, *Sensors and Actuators B*, 161, 1059–1066, 2012.
31. Wu S., Lan X., Zhao W., Li Y., Zhang L., Wang H., Han M., Tao S., Controlled immobilization of acetylcholinesterase on improved hydrophobic gold nanoparticle/Prussian blue modified surface for ultra-trace organophosphate pesticide detection.
32. Rodríguez M.C., Sandoval J., Galicia L., Gutiérrez S., Rivas G.A., Highly selective determination of uric acid in the presence of ascorbic acid at glassy carbon electrodes modified with carbon nanotubes dispersed in polylysine, *Sensors and Actuators B*, 134, 559–565, 2008.
33. Tabanlıgil Calam T., Hasdemir E., Application of 1,6-hexanedithiol and 1-hexanethiol self-assembled monolayers on polycrystalline gold electrode for determination of Fe(II) using square wave voltammetry, *Gazi University Journal of Science*, 31 (1), 53–64, 2018.
34. Tabanlıgil Calam T., Investigation of the electrochemical behavior of phenol using 1H-1, 2, 4-triazole-3-thiol modified gold electrode and its voltammetric determination, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (2), 835-844, 2019.
35. Du J., Yue R., Ren F., Yao Z., Jiang F., Yang P., Du Y., Novel graphene flowers modified carbon fibers for simultaneous determination of ascorbic acid, dopamine and uric acid, *Biosensors and Bioelectronics*, 53, 220–224, 2014.
36. Xiao C., Chu X., Yang Y., Li X., Zhang X., Chen J., Hollow nitrogen-doped carbon microspheres pyrolyzed from self-polymerized dopamine and its application in simultaneous electrochemical determination of uric acid, ascorbic acid and dopamine, *Biosensors and Bioelectronics*, 26 (6), 2934–2939, 2011.
37. Wang C., Yuan R., Chai Y., Chen S., Hu F., Zhang M., Simultaneous determination of ascorbic acid, dopamine, uric acid and tryptophan on gold nanoparticles/overoxidized-polyimidazole composite modified glassy carbon electrode, *Analytica Chimica Acta*, 741, 15–20, 2012.
38. B. Zhang, Huang D., Xu X., Alemu G., Zhang Y., Zhan F., Shen Y., Wang M., Simultaneous electrochemical determination of ascorbic acid, dopamine and uric acid with helical carbon nanotubes, *Electrochimica Acta*, 91, 261–266, 2013.
39. Zheng X., Zhou X., Ji X., Lin R., Lin W., Chemical Simultaneous determination of ascorbic acid, dopamine and uric acid using poly (4-aminobutyric acid) modified glassy carbon electrode, *Sensors and Actuators B*, 178, 359–365, 2013.
40. Lin X., Kang G., Lu L., DNA/Poly (p-aminobenzenesulfonic acid) composite bi-layer modified glassy carbon electrode for determination of dopamine and uric acid under coexistence of ascorbic acid, 70, 235–244, 2007.