



## کاربرد الکتروود اصلاح شده با نانو کامپوزیت نانو ذرات اکسید مس / نانو لوله‌های کربنی چند جداره برای تعیین هم‌زمان دوپامین و روتین در نمونه‌های حقیقی

طاهره روحانی: گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، (\* نویسنده مسئول) th\_rohani@yahoo.com

### چکیده

#### کلیدواژه‌ها

روتین،  
دوپامین،  
اکسیداسیون الکتروکاتالیزوری،  
نانو ذرات اکسید مس،  
نانولوله‌های کربنی چند جداره

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۲۰

**زمینه و هدف:** در این کار، روش جدیدی برای اندازه‌گیری هم‌زمان دوپامین و روتین در الکتروود کربن شیشه‌ای اصلاح شده با نانولوله‌های کربنی دوپ شده با نانو ذرات اکسید مس (CuO/MWCNT/GCE) ارائه شده است. این الکتروود فعالیت الکتروکاتالیکی عالی در مورد اکسیداسیون روتین در محلول بافر استات (pH= 5) نشان می‌دهد. الکتروود اصلاح شده اضافه ولتاژ مربوط به واکنش اکسیداسیون روتین را حدود ۵۰۰ میلی ولت کاهش می‌دهد و این ویژگی الکتروود اصلاح شده را برای اندازه‌گیری مقادیر میکرومولار دوپامین در حضور روتین مناسب می‌سازد.

**روش کار:** در ابتدا رفتار الکتروشیمیایی نانو ذرات مس وارد شده در الکتروود اصلاح شده بررسی شد. سپس اکسیداسیون روتین و دوپامین در الکتروود اصلاح شده به روش ولتامتری پالس تفاضلی مورد مطالعه قرار گرفت.

**یافته‌ها:** گستره خطی منحنی کالیبراسیون برای روتین ۵۸۰ - ۰/۰۵ میکرو مولار و برای دوپامین ۶۰۰ - ۰/۰۹ میکرو مولار به دست آمد. حد تشخیص برای روتین ۰/۰۱۳ و برای دوپامین ۰/۰۲۱ محاسبه شد. انحراف استاندارد نسبی جهت ۱۰ اندازه‌گیری تکراری برای روتین و دوپامین به ترتیب ۱/۲۰٪ و ۱/۵۳٪ به دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** حساسیت بالا، حدتشخیص کم و تکرار پذیری الکتروود اصلاح شده، این الکتروود را برای اندازه‌گیری دوپامین در حضور روتین در نمونه‌های دارویی مناسب کرده است.

**تعارض منافع:** گزارش نشده است.

**منبع حمایت کننده:** حامی مالی نداشته است.

شیوه استناد به این مقاله:

Rohani T. Application of CuO nano particle/multi-walled carbon nanotube nanocomposite modified electrode for simultaneous determination of dopamine and rutin in real samples. Razi J Med Sci. 2019;26(4):22-31.

\*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با 1.0 CC BY-NC-SA صورت گرفته است.



Original Article

## Application of CuO nano particle/multi-walled carbon nanotube nanocomposite modified electrode for simultaneous determination of dopamine and rutin in real samples

† Tahereh Rohani, Department of Chemistry, Payame Noor University, Tehran, Iran (\*Corresponding author) th\_rohani@yahoo.com

### Abstract

**Background:** In this work, a new method was developed for simultaneous determination of dopamine and rutin at glassy carbon electrode modified with CuO nanoparticles doped multi-walled carbon nanotubes (CuONPs–MWNT/GCE). This modified electrode has shown excellent electrocatalytic activity toward the oxidation of rutin in acetate buffer solution (pH=5). The modified electrode lowered the overpotential of the reaction by ~500 mV, and this advantage of modified electrode made it appropriate to measure trace values of dopamine in the presence of rutin.

**Methods:** First, the electrochemical behavior of CuO nanoparticles, incorporated in the modified electrode, was studied. Then, the behavior of oxidation of rutin and dopamine at the modified electrode was investigated by differential puls voltammetry.

**Results:** A linear calibration plot was obtained over the range of 0.05-580  $\mu\text{mol L}^{-1}$  rutin and 0.09-600  $\mu\text{mol L}^{-1}$  for dopamine. Detection limits of 0.013  $\mu\text{mol L}^{-1}$  rutin and 0.021  $\mu\text{mol L}^{-1}$  dopamine were obtained. The relative standard deviation of ten replicate measurements for rutin and dopamine was measured 1.2% and 1.53% respectively.

**Conclusion:** The high sensitivity, low detection limit and reproducibility of the modified electrode, made the proposed electrode suitable for the determination of dopamine in the presence of rutin in pharmaceutical samples.

**Conflicts of interest:** None

**Funding:** None

### Keywords

Rutin,  
Dopamine,  
Electrocatalytic  
oxidation,  
CuO nanoparticles,  
Multi-walled carbon  
nanotubes

Received: 10/12/2018

Accepted: 08/04/2019

### Cite this article as:

Rohani T. Application of CuO nano particle/multi-walled carbon nanotube nanocomposite modified electrode for simultaneous determination of dopamine and rutin in real samples. Razi J Med Sci. 2019;26(4):22-31.

This work is published under [CC BY-NC-SA 1.0 licence](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



کربن اصلاح شده با مایعات یونی به روش ولتامتری چرخه‌ای، موفق به اندازه‌گیری روتین شدند. محدوده خطی منحنی کالیبراسیون در این روش  $10^{-7} \times 10^{-4}$  - مولار و حد تشخیص روش  $3/58 \times 10^{-7}$  مولار و انحراف استاندارد نسبی این روش برای ۱۰ اندازه‌گیری ۴/۲٪ گزارش شده است (۶). در سال ۲۰۰۸، آنا کریستینا فرانزویی و همکارانش، مقدار روتین موجود در نمونه‌های دارویی را با استفاده از الکتروکدکس کربن اصلاح شده با پلی (وینیل پیرولیدین) تعیین کردند. محدوده خطی منحنی کالیبراسیون در این روش  $10^{-7} \times 10^{-5}$  - مولار و حد تشخیص روش  $3/9 \times 10^{-7}$  مولار و انحراف استاندارد نسبی این روش برای ۵ اندازه‌گیری ۳/۳٪ گزارش شده است (۳). در سال ۲۰۱۰، ژیهنگ ژو و همکارانش، مقدار روتین موجود در قرص‌های روتین را با استفاده از الکتروکدکس کربن اصلاح شده توسط مایع یونی و نانولوله‌های کربنی تک جداره با روش‌های ولتامتری چرخه‌ای و دیفرانسیلی پالسی به دست آوردند. ولتاموگرام کالیبراسیون در دامنه غلظتی  $10^{-7} \times 10^{-4}$  - مولار روتین خطی بود و حد تشخیص روش  $7/0 \times 10^{-8}$  مولار گزارش شده است (۷). در سال ۲۰۱۳، جینگ آن و همکارانش، از الکترودهای کربن شیشه‌ای اصلاح شده با فیلم‌های گرافن و چیتوسان برای تعیین روتین استفاده کردند. این روش، ابتدا گرافن را به چیتوسان ۰/۵ درصد اضافه کردند، سپس فیلم حاصل را روی الکتروکدکس کربن شیشه‌ای قرار دادند و رفتار الکتروشیمیایی روتین را با استفاده از این الکتروکدکس بررسی کردند. منحنی کالیبراسیون در محدوده غلظتی  $10^{-7} \times 10^{-4}$  - مولار کالیبراسیون در سال ۲۰۱۸ روحانی و همکاران با استفاده از الکتروکدکس کربن اصلاح شده با نانوذرات نقره مقادیر بسیار کم روتین را در نمونه‌های حقیقی اندازه‌گیری کردند (۹). نیو و همکارانش در سال ۲۰۱۸ از الکتروکدکس کربن شیشه‌ای اصلاح شده برای تعیین حساس روتین در نمونه‌های مختلف استفاده کردند (۱۰). گلی وند و همکارانش در سال ۲۰۱۶ از

روتین (ویتامین p) ماده جامدی با کریستال‌های سوزنی شکل، دارای رنگ زرد و فرمول مولکولی  $C_{27}H_{30}O_{16}$  و جرم مولکولی  $610/52 \text{ g mol}^{-1}$  می‌باشد. روتین برای اولین بار، سال ۱۸۴۲ توسط یک شیمیدان آلمانی به نام آگوست وایس، از گیاه سداب استخراج شد. اصطلاح "روتین" از سداب مشتق شده است. روتین خواص بیولوژیکی زیادی دارد که برای سلامت انسان مفید است و در مواد غذایی مانند سیب، مرکبات و چای وجود دارد. اندازه‌گیری روتین به دلیل خواص بیولوژیکی آن از اهمیت زیادی برخوردار است (۱ و ۲). از تکنیک‌های متعددی برای تعیین روتین، در نمونه‌های مختلف، استفاده می‌شود که می‌توان به روش‌هایی مانند کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا، الکتروفورز موئینه‌ای و اسپکتروفتومتری اشاره نمود (۳). برخی از این روش‌ها وقت گیر و پرهزینه است و نیاز به مراحل پیچیده آماده‌سازی دارند که مانع از به کار گیری مجدد آنها می‌شود. روتین یک ماده الکترو فعال با چهار گروه هیدروکسیل در ساختار مولکولی خود است که می‌تواند به وسیله روش‌های الکتروشیمیایی آشکارسازی شود. روش‌های الکتروشیمیایی به علت سطح اطمینان بالا، عملکرد ساده، زمان پاسخ سریع، هزینه پایین، حساسیت و گزینش پذیری بالا بر سایر روش‌ها مقدم هستند (۴). روش‌های الکتروشیمیایی بر پایه الکترودهای اصلاح شده توجهات بسیاری را به خود جلب کرده‌اند و تعیین روتین توسط الکترودهای اصلاح شده، در طول چند سال گذشته مورد توجه قرار گرفته است که در زیر به برخی از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه اشاره می‌شود. در سال ۲۰۰۶، جینگ لین هی و همکارانش، مقدار روتین موجود در ادرار را توسط الکتروکدکس اصلاح شده با نانولوله کربنی دوپ شده با  $\beta$  - سیکلو دکسترین، به روش ولتامتری چرخه‌ای تعیین کردند. منحنی کالیبراسیون در دامنه غلظتی  $10^{-7} \times 10^{-3}$  - مولار روتین خطی بود و حد تشخیص روش  $2/0 \times 10^{-7}$  مولار گزارش شده است (۵). در سال ۲۰۰۸، وی سون و همکارانش، توسط الکتروکدکس

علت نزدیکی پتانسیل اکسایش با روتین، محدودیت دارد، در کار حاضر روشی ساده، انتخاب پذیر و حساس جهت اندازه گیری روتین و دوپامین در حضور هم ارائه شده است.

## روش کار

**دستگاه‌ها و مواد:** برای ثبت ولتاموگرامها از دستگاه پلاروگراف مدل 797 VA Computrace ساخت شرکت متروم کشور سوئیس مجهز به پردازنده کامپیوتری و نرم افزار کنترل کننده 797PC نسخه ی ۲/۰ نصب شده در سیستم عامل XP و دارای یک سل سه الکتروودی شامل الکتروود کار، الکتروود مرجع Ag/AgCl و الکتروود کمکی پلاتین استفاده شد. نانولوله های کربنی چند دیواره با درجه خلوص ۹۵٪ با قطر بیرونی متوسط ۲۰-۳ نانومتر، قطر داخلی ۱۰-۱۰ μm ، طول ۱۰-۱ μm تعداد دیواره ۱۵-۳ و مساحت سطح  $350 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  از شرکت پلاسما کم آلمان خریداری شد. دوپامین، روتین، نفیون و نیترات مس با درصد خلوص بالا، شرکت مرک آلمان خریداری شد.

**تهیه محلول‌های مورد نیاز:** محلول ۰/۱ مولاردوپامین: ۰/۰۴۰ گرم از دوپامین، وزن و دربالن ژوژه ۱۰/۰ میلی لیتری با آب مقطر به حجم رسانده شد و در محیطی دور از نور نگهداری شد. محلول ۰/۱ مولارد روتین: ۰/۶۱۰۵ گرم از روتین، وزن و در بالن ژوژه ۱۰/۰ میلی لیتری با آب مقطر به حجم رسانده شد و در محیطی دور از نور نگهداری شد. محلول ۰/۱ مولارد بافر استات با pH های مختلف: برای تهیه ۵۰۰ میلی لیتر از هر محلول بافر دقیقاً ۴/۳۱۰ گرم استات سدیم در یک بشر ۵۰۰ میلی لیتری ریخته و با آب مقطر تا حدود ۴۰۰ میلی لیتر رقیق سازی شد. در ادامه با افزودن محلول NaOH یا HCl غلیظ pH محلول های مورد نظر تنظیم گردید. در نهایت محلول حاصل به یک بالن حجمی ۵۰۰ میلی لیتری منتقل و به حجم رسانده شد.

**عامل دار کردن نانولوله های کربنی با اکسید مس:** قبل از استفاده، نانولوله های کربنی با گروه های کربوکسیلیک اسید عامل دار شدند. برای این کار نانولوله های کربنی با محلول اسید سولفوریک و اسید نیتریک به نسبت های ۱ به ۳ مخلوط شده و به مدت

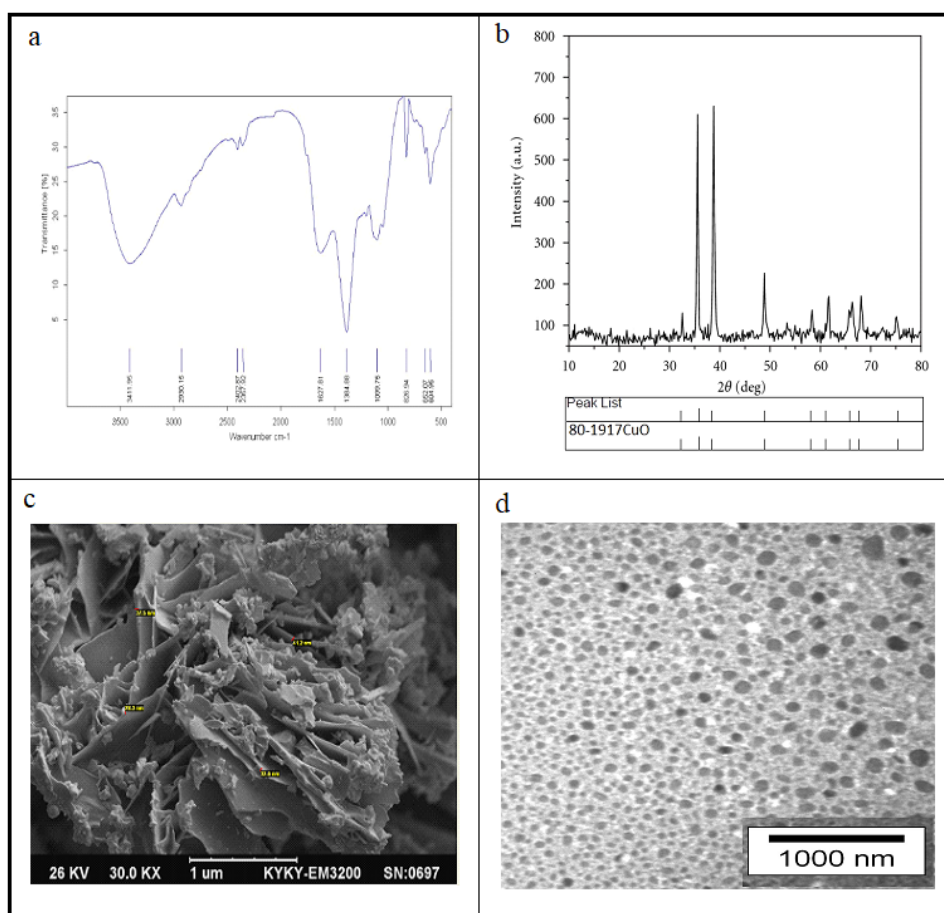
الکتروود اصلاح شده با نانوتیوب اصلاح شده برای تعیین مقادیر کم روتین استفاده کرد (۱۱).

دوپامین (DA) یکی از مهمترین کتکول آمین‌هاست که متعلق به خانواده انتقال دهنده‌های پیامهای عصبی شیمیایی می‌باشد. دوپامین روی همه فرایندهای مغز مثل کنترل حرکتی، پاسخهای احساسی و توانایی احساس درد و لذت، تاثیر می‌گذارد. اختلال در حد نرمال DA ممکن است باعث بیماریهای جدی مثل پارکینسون شود (۱۲). روشهای متعددی برای اندازه گیری دوپامین بررسی شده است. در سال ۲۰۰۷ ویکتوریا کاررا و همکارانش اندازه گیری همزمان اپی نفرین و نور اپی نفرین و دوپامین را به روش HPLC-MS انجام دادند (۱۳). روش کمی لومینسانس نیز برای اندازه گیری مقادیر کم دوپامین مورد استفاده قرار گرفته است (۱۴) و وانگ و همکارانش دوپامین را به تنهایی و در نمونه های دارویی به روش فلوریمتری اندازه گیری کردند (۱۵، ۱۶). روشهای الکتروشیمیایی در زمینه تعیین دوپامین در نمونه های مختلف بیولوژیکی استفاده شده است. راج و همکارانش دوپامین را با استفاده از الکتروود اصلاح شده در حضور اسکوربات اندازه گیری کردند (۱۷) در سال ۲۰۱۲ از الکتروود اصلاح شده با نانو ذرات برای اندازه گیری دوپامین و اپی نفرین و اوریک اسید استفاده شد (۱۸). در سال ۲۰۱۰ سنسوری بر پایه کالیزارین برای تعیین دوپامین استفاده شد (۱۹). در سال ۲۰۰۷ الکتروود اصلاح شده با هیبرید طلا و پلاتین برای اندازه گیری همزمان دوپامین و آسکوربیک اسید و اوریک اسید استفاده شد (۲۰). بلیدی و همکارانش در سال ۲۰۱۵ از میکرو الکتروودهای اصلاح شده برای آشکارسازی همزمان آسکوربیک اسید و دوپامین و اوریک اسید استفاده کردند (۲۱). در سال ۲۰۱۰ از الکتروود کربن شیشه ای اصلاح شده با پلی پیرول همراه با نانو ذرات مس برای اندازه گیری همزمان دوپامین و اوریک اسید استفاده شد (۲۲).

طبق بررسی های انجام شده تا به حال مطالعه ای در زمینه اندازه گیری همزمان دوپامین و روتین انجام نشده است و از آنجا که امکان حضور همزمان این دو ترکیب فعال الکتروشیمیایی در نمونه های بیولوژیکی وجود دارد و از طرفی تعیین الکتروشیمیایی دوپامین به

**خصوصیات طیفی MWCNT و CuO**  
 MWCNT: شکل (۱a) طیف FT-IR مربوط به نانولوله های کربنی چند دیواره کربوکسیله شده را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌کنید طیف مربوط به نانولوله های کربنی کربوکسیله سه پیک مشخص در طول موج های نزدیک ۱۴۰۰، ۱۷۰۰ و  $3500\text{ cm}^{-1}$  نشان می‌دهد که به ترتیب مربوط به گروه های آروماتیک ( $\text{C}=\text{C}$ )، گروه های کربونیل ( $\text{C}=\text{O}$ )، اسیدهای کربوکسیلیک ( $\text{COOH}$ ) و گروه های الکلی ( $\text{COH}$ ) یا گروه های هیدروکسیل ( $\text{OH}$ ) اسیدهای کربوکسیلیک می‌باشند. شکل (۱b) طیف XRD مربوط به نانولوله های کربنی عامل دار شده با اکسید مس ( $\text{CuO/MWCNT}$ ) را در محدوده  $2\theta$  از ۱۰ تا ۸۰ درجه را نشان می‌دهد که حضور  $\text{CuO}$  را در نانولوله های کربنی اثبات می‌کند. تصویر SEM و TEM مربوط به  $\text{CuO/MWCNT}$  در شکل (۱c) و (۱d) نشان داده

۱۲ ساعت روی همزن قرار داده شد. در نتیجه این فرایند، نانولوله های کربنی اکسید شده و سرهای بسته آنها باز می‌شوند که منجر به افزایش سطح نانولوله ها و قدرت جذب آنها می‌شود. اتصال گروه  $\text{COOH}$  بر روی سطح نانولوله ها از دیگر نتایج این فرایند خواهد بود. سپس نانولوله های کربنی بر روی کاغذ صافی جمع آوری شده و اسید نیتریک اضافی از سطح نانولوله‌ها با آب دوبار تقطیر تا هنگامی که در زیر صافی pH نزدیک به خنثی به دست آید شسته می‌شود. بعد از آن نانولوله‌ها در دمای محیط خشک و در ظرف های در بسته نگهداری شدند. سپس، ۱۰ میلی لیتر محلول نیترات مس تهیه شده به ۰/۵ گرم از نانولوله ها اضافه شده و به مدت ۷۲ ساعت روی همزن قرار داده می‌شود، سپس محلول راصف کرده و برای مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۱۸۰ درجه قرار داده شد تا خشک شود.



**شکل ۱- (a)** طیف FT-IR، نانولوله های کربنی چند دیواره کربوکسیله شده، (b) طیف XRD، نانولوله های کربنی عامل دار شده با نانوذرات اکسید مس، (c) تصویر SEM نانولوله های کربنی عامل دار شده با نانوذرات اکسید مس (d)؛ تصویر TEM نانو تیوب دوپ شده با اکسید مس

شده است.

الکتروود ها مورد استفاده قرار گرفت.

**ساخت الکتروود کربن شیشه اصلاح شده با نانو لوله های دوپ شده با اکسیدمس:** قبل از پوشش، الکتروود کربن شیشه ای بر روی صفحه پولیش با پودر آلومینا خوب صیقل داده شد و سپس با آب دوبار تقطیر به خوبی شسته و در ادامه، الکتروود برای مدت ۲ دقیقه در استون در اولتراسونیک قرار گرفت. این کار باعث می شود سطح الکتروود به خوبی تمیز و در ادامه، ذرات آلومینای احتمالی چسبیده به آن به کمک امواج اولتراسونیک از سطح جدا شوند. سپس الکتروود با آب دوبار تقطیر شسته و خشک شد. سپس ۰/۲ میلی گرم از CuO/MWCNT به ۱ میلی لیتر نفیون اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه در اولتراسونیک قرار داده شد تا محلول یکنواختی از نانو ذرات تهیه شود. ۵ میکرو لیتر از محلول یکنواخت CuO/MWCNT با استفاده از میکرو پیپت روی سطح الکتروود کربن شیشه ای صیقل داده شده، چکانده شد. در ادامه، اجازه داده شد تا حلال موجود بر روی الکتروود در دمای محیط تبخیر شود. به این ترتیب الکتروود اصلاح شده با نانو لوله های کربنی عامل دار شده، CuO/MWCNT تهیه شد. الکتروود اصلاح شده با نانو لوله های کربنی عامل دار نشده، MWCNT، نیز به روشی مشابه وبا استفاده از نانو لوله های اصلاح نشده به جای نانو لوله های اصلاح شده ساخته شد و به عنوان الکتروودی جهت مقایسه رفتار

### یافته ها

#### بررسی پایداری الکتروود CuO/MWCNT/GCE:

بررسی های آزمایشگاهی نشان داد که الکتروود CuO/MWCNT/GCE در محلول الکتروولیت، تقریباً پایدار است و ارتفاع و پتانسیل پیک الکتروود اصلاح شده پس از روبش های مکرر تقریباً بدون تغییر باقی ماند. در صد پایداری الکتروود CuO/MWCNT/GCE با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد:

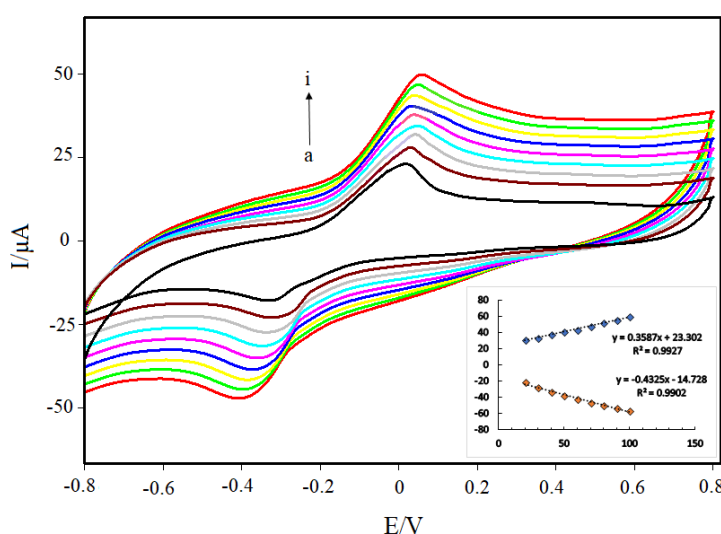
$$(1) \quad \text{درصد پایداری} = (I_{pn}/I_{p1}) \times 100$$

$I_{pn}$  و  $I_{p1}$  اولین و  $n$  امین جریان پیک آندی یا کاتدی هستند.

در صد پایداری پس از ۳۰ بار اندازه گیری بیشتر از ۹۰ بود. این نتایج، پایداری نسبتاً خوبی را برای فعالیت اکسایش - کاهش اکسید مس در الکتروود CuO/MWCNT/GCE نشان می دهد.

#### اثر سرعت روبش در رفتار الکتروود:

CuO/MWCNT/GCE: جهت بررسی بیشتر رفتار الکتروشیمیایی مس در داخل نانولوله ها، اثر سرعت روبش بر CuO/MWCNT/GCE بررسی شد. جهت این امر الکتروود در محلول بافر استات قرار گرفت و ولتاموگرام هایی با سرعت های روبش مختلف ( $mV s^{-1}$ )



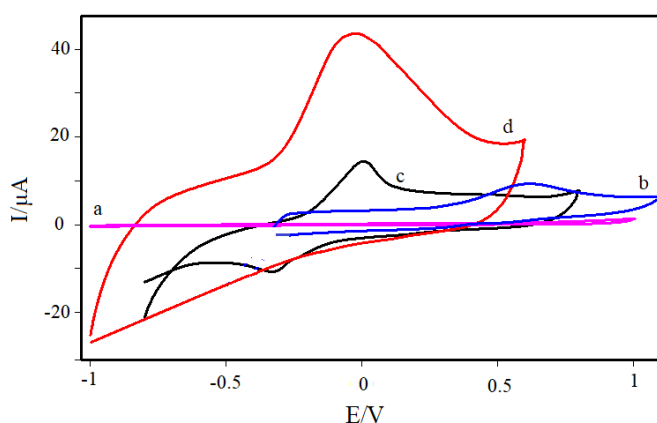
**شکل ۲-** ولتاموگرام های چرخه ای در محلول الکتروولیت (۲۰ میلی لیتر بافر استات ۰/۱ مولار، pH=۵)، در سرعت های اسکن مختلف ( $20$  تا  $100 mV s^{-1}$ ): شکل داخلی: نمودار جریان پیک آندی و کاتدی بر حسب سرعت های روبش گوناگون.

نمی گرفت در هوای آزاد نگهداری می شد. اکسیداسیون الکتروکاتالیزی روتین در  $\text{CuO/MWCNT/GCE}$ : ولتاموگرام های چرخه ای الکتروداصلاح شده و اصلاح نشده در محلول الکترولیت (بافر استات  $\text{pH}=5$ ) با سرعت اسکن  $30 \text{ mVs}^{-1}$  ثبت شدند. شکل (۳)، ولتاموگرام های چرخه ای ثبت شده پس از چند روبش مقدماتی را نشان می دهد. الکتروداصلاح نشده در محدوده پتانسیل اعمال شده، هیچ گونه فعالیت الکتروشیمیایی نشان نداد (۳a)، با اصلاح شدن سطح الکترو پیکهای آندی و کاتدی مشخصی در پتانسیل های به ترتیب  $0$  و  $-0.2$  - ظاهر شدند (۳c). با افزودن روتین به محلول بافر جریان پیک آندی برای اکسیداسیون روتین به مقدار قابل توجهی افزایش پیدا کرد (۳d). در حالی که در الکتروداصلاح نشده روتین با جریان بسیار کم در پتانسیلهای حدود  $0.65$  ظاهر می شود (۳b). اکسیداسیون الکترو کاتالیزی روتین در الکتروداصلاح شده راهی را برای اندازه گیری همزمان روتین و دوپامین که در الکتروداصلاح نشده تقریباً در پتانسیل یکسانی ظاهر میشوند پیشنهاد میکند.

**مطالعات الکتروشیمیایی مخلوط دوپامین و روتین با استفاده از الکتروداصلاح  $\text{CuO/MWCNT/GCE}$  در الکتروداصلاح شده و با استفاده از روش ولتامتری پالسی تفاضلی پیکهای این دو دارو کاملاً از هم جدا شده و این دو ترکیب را میتوان در حضور هم به راحتی اندازه گیری کرد. اندازه گیری**

$100$  تا  $20$ ) ثبت گردید. شکل (۲) نتایج حاصل را نشان می دهد. ولتاموگرام های چرخه ای به دست آمده آنالیز و بررسی شدند و جریان پیک های آندی و کاتدی استخراج شد. با افزایش سرعت روبش، جریان پیک های آندی و کاتدی افزایش می یابد و پتانسیل پیک های آندی به سمت اعداد مثبت تر و پتانسیل پیک های کاتدی به سمت اعداد منفی تر شیفیت پیدا می کند. با رسم جریان های کاتدی و آندی بر حسب سرعت روبش رابطه خطی بین این پارامترها مشاهده شد (شکل داخلی ۲)، که نشان دهنده مکانیسم جذب سطحی گونه الکترو فعال در سطح الکتروداصلاح است.

**روش کار تعیین ولتامتری روتین و دوپامین در  $\text{CuO/MWCNT/GCE}$ :** برای آزمایش های ولتامتری چرخه ای روتین،  $20$  میلی لیتر محلول الکترولیت، بافر استات  $0.1$  مولار ( $\text{pH}=5$ ) داخل سل الکتروشیمیایی ریخته شد. جهت خروج گاز اکسیژن داخل محلول، به مدت  $5$  دقیقه گاز نیتروژن از محلول عبور داده شد. الکتروداصلاح شده به همراه الکتروداصلاح نشده و مرجع و کمکی داخل محلول قرار گرفتند. سپس چندین روبش مقدماتی انجام گرفت. پتانسیل از  $-0.8$  تا  $0.8$  روبش شد. جریان پیک مربوط به الکتروداصلاح شده در پتانسیل  $0.236$  ولت ظاهر شد. سپس مقادیر مختلفی از محلول روتین و دوپامین به سل اضافه شد و روبش انجام گرفت. همه اندازه گیری ها در دمای اتاق انجام شد. زمانی که الکتروداصلاح شده مورد استفاده قرار



**شکل ۳-** ولتاموگرام های چرخه ای: (a) الکتروداصلاح نشده در محلول الکترولیت، (b) الکتروداصلاح نشده در محلول الکترولیت و روتین ( $50 \mu\text{M}$  میکرومولار)، (c) الکتروداصلاح شده در محلول الکترولیت، (d) الکتروداصلاح شده در محلول الکترولیت و روتین ( $50 \mu\text{M}$  میکرومولار). شرایط: محلول الکترولیت (بافر استات  $\text{pH}=5$ )، سرعت اسکن  $30 \text{ mVs}^{-1}$ .

تشخیص برابر ۰/۰۲۱ میکرو مولار برای دوپامین و ۰/۰۱۳ میکرو مولار برای روتین بدست آمد. الکتروود اصلاح شده برای تعیین روتین و دوپامین در نمونه‌های سنتزی بیولوژیکی به کار رفت و نتایج رضایت بخشی حاصل شد.

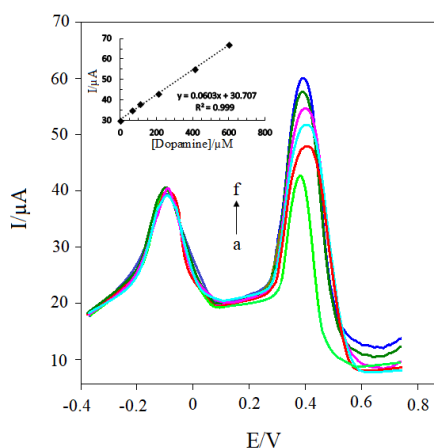
**اندازه‌گیری روتین در نمونه‌های حقیقی:** به منظور ارزیابی الکتروود پیشنهاد شده، بازیابی روتین و دوپامین در نمونه بیولوژیکی سنتزی مورد بررسی قرار گرفت. روش افزایش استاندارد برای اندازه‌گیری روتین در نمونه‌ها به کار رفت. بدین منظور، مقادیر استاندارد روتین و دوپامین به نمونه‌های ادرار رقیق شده (۱۰۰ مرتبه) اضافه شدند و صحت روش با بررسی بازدهی آزمایشات تأیید گردید (جدول ۱). نتایج نشان داد که الکتروود اصلاح شده می‌تواند برای تعیین روتین و دوپامین با نتایج بازیابی رضایت بخش ۹۹/۴۰ تا ۹۶/۶۲ درصد مورد استفاده قرار گیرد.

### بحث و نتیجه‌گیری

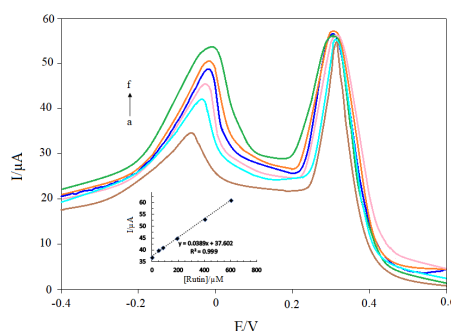
در این تحقیق، از نانولوله‌های دوپ شده با نانو ذرات مس برای اصلاح سطح الکتروود کربن شیشه‌ای استفاده شد. از این الکتروود اصلاح شده جهت اکسایش الکتروکاتالیزی روتین استفاده شد که کاهش اضافه ولتاژ مربوط به اکسیداسیون روتین در سطح الکتروود اصلاح شده می‌تواند باعث افزایش گزینش پذیری در اکسیداسیون آن شود. با کاهش اضافه ولتاژ می‌توان روتین و دوپامین را به طور همزمان در الکتروود اصلاح شده اندازه‌گیری کرد. این دو ترکیب در الکتروود اصلاح نشده پیکهای همپوشانی ایجاد میکنند. اما با استفاده از الکتروود اصلاح شده و روش ولتامتری پالسی تفاضلی پیکهای این دو دارو کاملاً از هم جدا شده و امکان اندازه‌گیری همزمان این دو ترکیب فراهم می‌شود.

**جدول ۱- بازیابی روتین و دوپامین در نمونه‌های ادرار انسان (n=۳)**

نمونه	مقدار روتین افزوده شده (μM)	مقدار روتین اندازه‌گیری شده (μM)	درصد بازیابی
ادرار	۱۰	۱۰/۰۶ ± ۱/۷۱	۱۰۰/۶
	۲۰	۲۰/۰۱ ± ۲/۳۹	۱۰۰/۰۵
	۳۰	۲۹/۹۵ ± ۳/۵۲	۹۹/۸۳
ادرار	۲۰	۱۹/۹۶ ± ۱/۲۱	۹۹/۸۰
	۳۰	۳۰/۰۷ ± ۱/۴۵	۱۰۰/۲۳
	۴۰	۴۰/۱۰ ± ۱/۳۳	۱۰۰/۲۵



**شکل ۴- ولتاموگرامهای پالسی تفاضلی برای مخلوط روتین و دوپامین در غلظت ثابت از روتین ۵۰ میکرو مولار و غلظتهای مختلف دوپامین از ۰/۰۹ تا ۶۰۰ میکرو مولار. شکل داخلی: تغییرات جریان پیک آندی در مقابل غلظت دوپامین. شرایط: محلول الکتروولیت (بافر استات ۰/۱ مولار (pH=۵))، سرعت اسکن  $۳۰ \text{ mV s}^{-1}$ .**



**شکل ۵- ولتاموگرامهای پالسی تفاضلی برای مخلوط روتین و دوپامین در غلظت ثابت از دوپامین ۴۰۰ میکرو مولار و غلظتهای مختلف روتین از ۰/۰۵ تا ۵۸۰ میکرو مولار. شکل داخلی: تغییرات جریان پیک آندی در مقابل غلظت روتین؛ شرایط: مشابه شکل (۴)**

مقادیر میکرومولار دوپامین در حضور روتین شکل (۴) و مقادیر میکرومولار روتین در حضور دوپامین شکل (۵) انجام شد. گستره خطی ۶۰۰-۰/۰۹ میکرو مولار برای دوپامین (شکل (۴) داخلی) و ۵۸۰-۰/۰۵ میکرو مولار برای روتین (شکل (۵) داخلی) و حد

S. Green synthesized silver nanoparticles @ zeolite type A hybridized with carbon ceramic, AgZA-CCE, as a new nano-electrocatalyst for detection of ultra-trace amounts of rutin. *Chem Phys Lett*; 2018. 713:259-265.

10. Niu X, Weng W, Yin C, Niu Y, Li G, Dong R, Men Y, Sun W. Black phosphorene modified glassy carbon electrode for the sensitive voltammetric detection of rutin. *J Electroanal Chem*; 2018. 811(15):78-83.

11. Gholivand MB, Mohammadi-Behzad L, Hosseinkhani H. Application of a Cu-chitosan/multiwalled carbon nanotube film-modified electrode for the sensitive determination of rutin. *Anal Biochem*; 2016. 493:35-43.

12. Di Giovanni G, Esposito E, Di Matteo V. Role of serotonin in central dopamine dysfunction. *CNS Neurosci Ther*; 2010.16(3):179-94.

13. Carrera V, Sabater E, Vilanova E, Sogorb MA. A simple and rapid HPLC-MS method for the simultaneous determination of epinephrine, norepinephrine, dopamine and 5-hydroxytryptamine: Application to the secretion of bovine chromaffin cell cultures. *J Chromatogr B*; 2007. 847(2):88-94.

14. Zhang L, Teshima N, Hasebe T, Kurihara M, Kawashima T. Flow-injection determination of trace amounts of dopamine by chemiluminescence detection. *Talanta*; 1999. 50(3):677-83.

15. Wang HY, Sun Y, Tang B. Study on fluorescence property of dopamine and determination of dopamine by fluorimetry. *Talanta*; 2002. 57(5):899-907.

16. Wang HY, Hui QS, Xu LX, Jiang JG, Sun Y. Fluorimetric determination of dopamine in pharmaceutical products and urine using ethylene diamine as the fluorogenic reagent. *Anal Chim Acta*; 2003. 497(1-2):93-9.

17. Raj CR, Tokuda K, Ohsaka T. Electroanalytical applications of cationic self-assembled monolayers: square-wave voltammetric determination of dopamine and ascorbate. *Bioelectrochemistry*; 2001. 53(2):183-91.

18. Tsai TH, Thiagarajan S, Chen SM, Cheng CY. Ionic liquid assisted synthesis of nano Pd-Au particles and application for the detection of epinephrine, dopamine and uric acid. *Thin Solid Films*; 2012. 520(7):3054-9.

19. Snejdarkova M, Poturnayova A, Rybar P, Lhotak P, Himl M, Flídrova K, Hianik T. High sensitive calixarene-based sensor for detection of dopamine by electrochemical and acoustic methods. *Bioelectrochemistry*; 2010. 80(1):55-61.

20. Thiagarajan S, Chen SM. Preparation and characterization of PtAu hybrid film modified electrodes and their use in simultaneous determination of dopamine. Ascorbic acid and uric acid, *Talanta*; 2007. 74(2): 212-222.

21. Belaidi FS, Civelas A, Castagnola V, Tsopela

گستره خطی در این روش برای روتین در گستره ۰/۰۵-۰/۰۹ میکرو مولار و برای دوپامین ۶۰۰-۰/۰۹ میکرو مولار می باشد. الکتروود اصلاح شده از CuO/MWCNT/GCE از پایداری خوبی برخوردار است. با توجه به اینکه گستره مناسب pH اثر زیادی در حساسیت و صحت اندازه گیری دارد با استفاده از بافر استات محدودده مناسب pH کنترل گردید. آماده سازی الکتروود در کار حاضر بسیار آسان بوده و تکرار پذیری بالایی دارد و می تواند برای تعیین روتین و دوپامین در نمونه های بیولوژیکی مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

## References

1. Yang J, Guo J, Yuan J. In vitro antioxidant properties of rutin. *LWT-Food Sci Technol*; 2008. 41(6):1060-6.

2. Ziaee A, Zamansoltani F, Nassiri-Asl M, Hadigol T, Ghasemi M. Study of hepatoprotective effects of rutin on acetaminophen and carbon tetrachloride-induced liver injury in rats. *Pharm Sci*; 2011. 7:35-42.

3. [3]Franzoi AC, Spinelli A, Vieira IC. Rutin determination in pharmaceutical formulations using a carbon paste electrode modified with poly (vinylpyrrolidone). *J Pharm Biomed Anal*; 2008. 47(4-5):973-7.

4. Sun W, Wang Y, Gong S, Cheng Y, Shi F, Sun Z. Application of poly (acridine orange) and graphene modified carbon/ionic liquid paste electrode for the sensitive electrochemical detection of rutin. *Electro Chim Acta*; 2013. 109:298-304.

5. [5] He JL, Yang Y, Yang X, Liu YL, Liu ZH, Shen GL, Yu RQ.  $\beta$ -Cyclodextrin incorporated carbon nanotube-modified electrode as an electrochemical sensor for rutin. *Sens Actuators B*; 2006. 114(1):94-100.

6. Sun W, Yang M, Li Y, Jiang Q, Liu S, Jiao K. Electrochemical behavior and determination of rutin on a pyridinium-based ionic liquid modified carbon paste electrode. *J Pharm Biomed Anal*; 2008. 48(5):1326-31.

7. Zhu Z, Sun X, Zhuang X, Zeng Y, Sun W, Huang X. Single-walled carbon nanotubes modified carbon ionic liquid electrode for sensitive electrochemical detection of rutin. *Thin Solid Films*; 2010. 519(2):928-33.

8. An J, Bi YY, Yang CX, Hu FD, Wang CM. Electrochemical study and application on rutin at chitosan/graphene films modified glassy carbon electrode. *J Pharm Anal*; 2013. 3(2):102-8.

9. Rohani T, Mohammadi SZ, Karimi MA, Amiri

A, Mazenq L, Gros P, Launay J, Temple-Boyer P. PEDOT-modified integrated microelectrodes for the detection of ascorbic acid, dopamine and uric acid. *Sens. Actuators B: Chemical*; 2015. 214: 1-9.

22. Ulubay S, Dursun Z. Cu nanoparticles incorporated polypyrrole modified GCE for sensitive simultaneous determination of dopamine and uric acid. *Talanta*; 2010. 80(3):1461-1466.