

سنتز سبز نانوساختار مشبک صفحه‌ای روی اکسید با پودر جلبک قرمز گراسیلاریا و

بررسی عملکرد فتوکاتالیزوری و الکتروکاتالیزوری آن

راضیه حسینی، زهرا صولتی دالکی*، مجید هاشمی و صدیقه هاشم‌نیا

گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه خلیج فارس، ۷۵۱۶۸، بوشهر، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۲۲

تاریخ تصحیح: ۹۶/۰۴/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۰۲

چکیده

سنتز سبز روی اکسید با پودر جلبک قرمز گراسیلاریا کورتیکاتا انجام گرفت. روی اکسید تهیه شده با استفاده از روش‌های *FESEM*، *XRD* و *EDX* شناسایی شد. بررسی نمونه با روش میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی *FESEM* نشان دهنده مورفولوژی نانوساختار مشبک صفحه‌ای برای *ZnO* با متوسط ضخامت صفحات در حدود ۳۱ نانومتر می‌باشد. بر اساس نتایج پراش پرتوی ایکس *XRD*، نمونه سنتز شده تک فاز و دارای ساختار ورتزیت است. طیف‌سنجی تفرق انرژی *EDX* نشان می‌دهد که علاوه بر روی اکسید، پودر جلبک نیز همراه نمونه وجود دارد. روی اکسید سنتز شده به عنوان فتوکاتالیزور در تخریب رنگ سبز مالاثیت تحت تابش نور خورشید مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از آن برای اصلاح الکتروکاتالیزور خیمیر کربن برای اندازه‌گیری دوپامین با استفاده از ولتامتری چرخه‌ای استفاده شد.

کلمات کلیدی: روی اکسید، سنتز سبز، نانوساختار مشبک صفحه‌ای، فتوکاتالیزور، الکتروکاتالیزور.

۱- مقدمه

روی اکسید ترکیبی معدنی است که بدلیل خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر بفردش مانند پایداری شیمیایی بالا، جذب دامنه وسیعی از تابش و پایداری در برابر نور بسیار مورد توجه می‌باشد. پایداری مکانیکی و گرمایی بالای آن در دمای اتاق، آن را برای استفاده در تکنولوژی لیزر، الکترونیک و اپتوالکترونیک جذاب ساخته است [۱]. خواص پیزوالکتریک و پیروالکتریک روی اکسید باعث شده است که از آن به عنوان حسگر، مبدل، مولد انرژی و در سلول‌های خورشیدی استفاده شود [۷-۲]. نانوذرات و نانوکامپوزیت‌های روی اکسید، بدلیل دارا بودن شکاف انرژی باریک، به عنوان فوتوکاتالیزور در فرآیندهای تخریب آلاینده‌های مختلف به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۹].

اندازه، سطح و مورفولوژی نانوذره‌ی روی اکسید از عوامل مهمی هستند که بر فعالیت آن در زمینه‌های مختلف تاثیر می‌گذارند و بستگی به روش سنتز آن دارند [۸]. ساختار صفحه‌ای در مقیاس نانو به دلیل خواصی مانند انباشتگی کمتر و داشتن سطح نسبتاً وسیع، بسیار مورد توجه قرار دارد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که روی اکسید با این ساختار، فعالیت فوتوکاتالیزوری بالایی دارد [۱۰].

روش‌های سنتزی مختلفی برای تهیه نانوکامپوزیت‌ها و نانوذرات روی اکسید تاکنون گزارش شده است. سنتز سبز نانوذرات روی اکسید با استفاده از عصاره‌ی گیاهان نسبتاً ارزان، دوستدار محیط زیست و دارای کاربردهای زیست پزشکی است [۱۱]. همچنین می‌توانند به راحتی برای سنتز در مقیاس بزرگ بکاربرده شوند. به نظر می‌رسد این روش، جایگزین موثر روش‌های مرسوم فیزیکی و شیمیایی پرهزینه‌تر برای سنتز نانوذرات روی اکسید شود. تاکنون سنتز سبز نانوذره روی اکسید با استفاده از گیاهان مختلفی گزارش شده است. در این میان می‌توان از عصاره برگ و ژل آلوورا، عصاره گیاه استبرق، عصاره گشنیز، عصاره علف ستاره و روغن پالم نام برد [۱۶-۱۲]. از میکرو جلبک‌ها ی مختلف مانند جلبک قهوه‌ای سارگاسوم و پدینا، قرمز ردوفیتا و سبز کلروفیتا نیز در تهیه‌ی نانوذرات و نانوکامپوزیت‌های روی اکسید استفاده شده است. [۱۸-۱۷]. اما بر اساس تحقیقات ما تاکنون با استفاده از جلبک قرمز گلاسیلاریا، نانوکامپوزیت روی اکسید سنتز نشده است.

در این مقاله سنتز آسان نانوساختاری از روی اکسید با مورفولوژی صفحه‌ای با بکارگیری جلبک قرمز گراسیلاریا، که از سواحل خلیج فارس بوشهر جمع‌آوری شده، گزارش شده است. این نانوساختار روی اکسید به عنوان فوتوکاتالیزور برای تخریب رنگ سبز مالاشیت تحت تابش نور خورشید بکار برده شد. به‌علاوه نانوساختار فوق به عنوان اصلاحگر در تهیه الکتروود خمیر کربن برای سنجش دوپامین بطریق ولتامتری مورد استفاده قرار گرفت.

۲-بخش تجربی

۲-۱-تهیه پودر جلبک خشک شده

جمع‌آوری جلبک‌ها در اواسط فصل زمستان در منطقه‌ی ساحل دریای خلیج فارس بندر بوشهر صورت گرفت. جلبک‌های جمع‌آوری شده از دریا ابتدا با آب شهر و بعد با آب مقطر شستشو داده شدند، سپس به مدت ۴ ساعت در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد در آون قرار داده شدند تا آب آنها گرفته شود. بعد از خشک شدن جلبک‌ها در سایه و در دمای اتاق به‌صورت پودر بسیار نرمی آسیاب شدند.

۲-۲-سنتز نانوساختار روی اکسید

۵/۷۵ گرم از نمک $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ در ۵۰ میلی لیتر آب مقطر حل شد و ۰/۵ گرم از جلبک پودر شده به آن اضافه شد. مخلوط به دست آمده به مدت ۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شد. پس از سرد کردن مخلوط واکنش تا

دمای اتاق، ۱۰ میلی لیتر محلول ۶ مولار سدیم هیدروکسید تازه تهیه شده به آن اضافه گردید و به مدت ۲۴ ساعت بهم زده شد. بعد از گذشت این مدت رسوب بدست آمده صاف و با مقدار زیادی آب مقطر شسته شد تا سود اضافی کاملاً شسته شود. پس از آن رسوب به دست آمده به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد در آون حرارت داده شد.

۲-۳- بررسی فعالیت فتوکاتالیزوری روی اکسید سنتز شده

تخریب رنگ سبز مالاشیت با کمک روی اکسید به عنوان فتوکاتالیزور، تحت تابش نور خورشید انجام گرفت. محلول آبی ۸ میکرومولار از رنگ سبز مالاشیت تهیه شد. به ۱۰ میلی لیتر از محلول رنگ در یک بشر، ۱/۵ میلی گرم روی اکسید اضافه شد و قبل از اینکه تحت تابش قرار گیرد، برای رسیدن به تعادل جذب و واجذب بین رنگ و فتوکاتالیزور، بمدت ۱۵ دقیقه در تاریکی بهم زده شد. سپس مخلوط فوق بمدت ۹۰ دقیقه تحت تابش مستقیم نور خورشید قرار گرفت. جداسازی روی اکسید از محلول رنگ با استفاده از سانتریفوژ انجام گرفت. تغییر جذب محلول رنگ با استفاده از دستگاه طیف سنج مرئی-فرابنفش اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی پایداری نوری رنگ، در آزمایشی دیگر و در شرایط مشابه، محلول رنگ در غیاب روی اکسید تحت تابش نور مستقیم خورشید قرار گرفت. برای استفاده از نور خورشید تمام نمونه های مورد آزمایش، در ساعت ۱۲ ظهر و در فصل شهریور ماه در محوطه دانشگاه خلیج فارس بوشهر به مختصات جغرافیایی ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی قرار داده شدند.

۲-۴- تهیهی الکتروکد خمیر کربن و سنجش دوپامین با ولتامتری چرخه ای

الکتروکد خمیر کربن از مخلوط کردن ۶۵ درصد پودر گرافیت و ۳۵ درصد روغن پارافین تهیه شد. الکتروکد اصلاح شده نیز با روش مشابه تهیه گردید، با این تفاوت که به آن درصدی از روی اکسید اضافه شد و به همان نسبت درصد پودر گرافیت کاهش داده شد. خمیرهای آماده شده در لوله پلاستیکی به قطر ۲ میلی متر و طول ۵ میلی متر انباشته شدند و سطح الکتروکد با کاغذ سمباده‌ی نرم صاف شد. به منظور برقراری اتصال الکتریکی با دستگاه از رابط فلزی استفاده گردید. الکتروکدهای آماده شده به روش فوق برای سنجش دوپامین با روش ولتامتری چرخه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. بر اساس نتایج بدست آمده بهترین پاسخ با الکتروکد خمیر کربن حاوی ۶۰ درصد پودر گرافیت، ۵ درصد روی اکسید و ۳۵ درصد روغن پارافین بدست آمد.

۲-۵- اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی

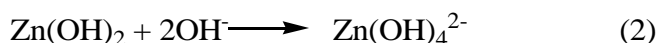
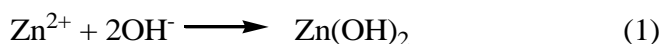
اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی با استفاده از دستگاه پتانسیواستات/گالوانواستات زانر (ZAHNER) انجام گرفت. سامانه الکتروشیمیایی سه الکترودی شامل الکتروکد مرجع نقره/نقره کلرید، الکتروکد کمکی پلاتین و الکتروکد کار برای این کار مورد استفاده قرار گرفت. ثبت تمامی ولتاموگرام‌ها در سرعت پیمایش ۰/۱۰۰ ولت بر ثانیه و در محدوده‌ی پتانسیل ۰/۳- تا ۰/۸ ولت انجام

گرفت. ثبت ولتاموگرام‌ها با قراردادن الکترودها در محلول الکترولیت حاوی بافر فسفات با $\text{pH} = 7$ و پس از افزایش دوپامین به محلول الکترولیت صورت گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- سنتز نانوساختار روی اکسید

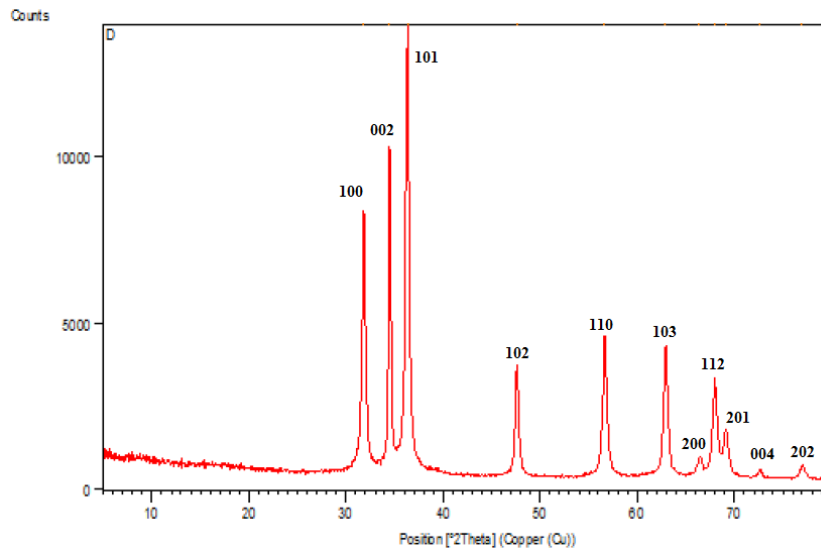
در محیط قلیایی یون Zn^{2+} مطابق واکنش زیر به کمپلکس تتراهیدروکسوزینکات تبدیل می‌شود.



این پیش ماده در اثر حرارت تشکیل رسوب ZnO می‌دهد [۱۸]. جلبک با داشتن ترکیبات مختلفی مانند پلی فنل‌ها و آلژینات به سطح ذرات روی اکسید متصل شده و مانع از تجمع ذرات روی اکسید می‌شود.

۳-۲- شناسایی نانوساختار روی اکسید

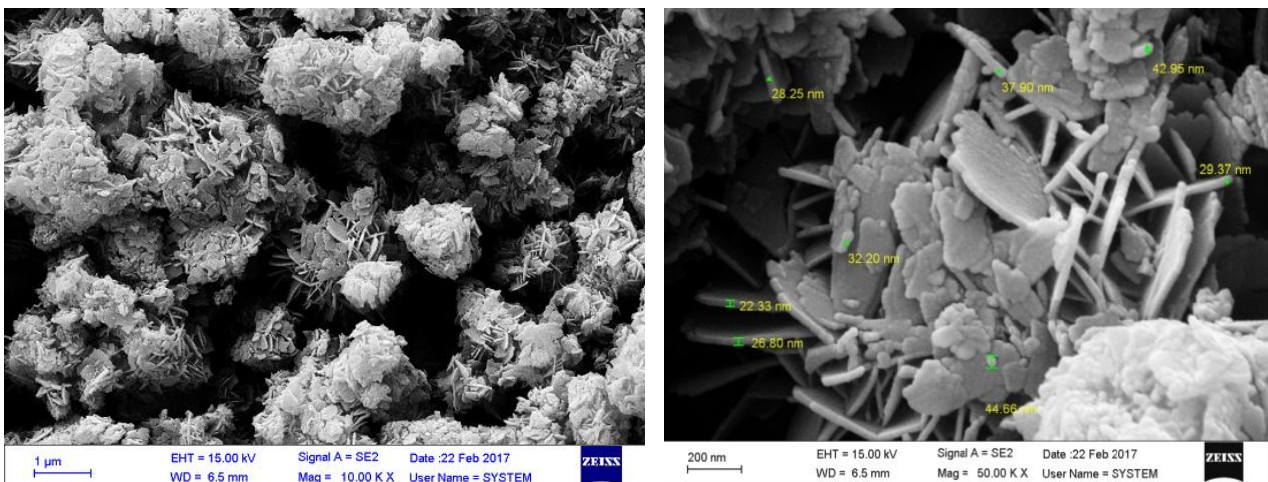
در الگوی XRD نانوکامپوزیت روی اکسید که در شکل (۱) نشان داده شده است، زوایای پراش $31/81$ ، $34/48$ ، $36/30$ ، $47/85$ ، $56/62$ ، $62/89$ ، $66/38$ ، $67/97$ ، $69/10$ ، $72/61$ و $72/96$ دیده می‌شود که به ترتیب به صفحات انعکاسی 100 ، 002 ، 101 ، 102 ، 110 ، 103 ، 200 ، 112 ، 201 ، 004 و 202 مربوط است و در انطباق با (JCPDS (Card No ۳۶-۱۴۵۱) است. نانوذرات روی اکسید با خلوص خوب در ساختار ورتزیت متبلور شده‌اند. اندازه متوسط بلورها با استفاده از پهنای قویترین پیک در زاویه پراش $36/30$ درجه مطابق با معادله شرر $D(\text{Å}) = K\lambda/(\beta\cos\theta)$ محاسبه شد. در این معادله D اندازه متوسط ذرات بر حسب آنگستروم، K یک ثابت (فاکتور شکل برابر با $0/9$)، λ طول موج پرتو ایکس بر حسب آنگستروم مربوط به تابش $\text{Cu K}\alpha$ مس ($1/5406 \text{ Å}$)، β تصحیح شده‌ی پهنای نیمه خط طیفی بر حسب رادیان و θ زاویه پراش است. اندازه متوسط بلورها با استفاده از این معادله در حدود 28 نانومتر بدست آمد.



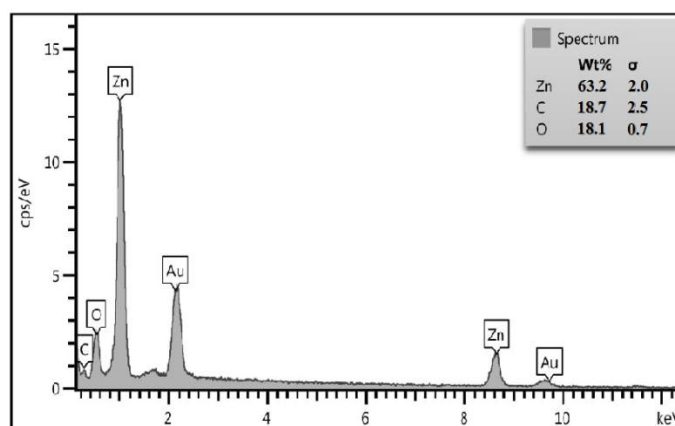
شکل ۱- الگوی XRD نانوساختار روی اکسید

شکل (۲) تصویر FESEM نانوساختار روی اکسید تشکیل شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد مورفولوژی ذرات مشبک صفحه‌ای می‌باشد. ضخامت نانو صفحات روی اکسید در محدوده ۲۶ تا ۴۳ نانومتر می‌باشد.

شکل (۳) طیف EDX روی اکسید و داده‌های تجزیه‌ای مربوطه را نشان می‌دهد. این طیف خط C K را در ۰/۵۱، خط O K را در ۰/۳، خط Zn L را در ۱ و خط Zn K را در ۸/۳ کیلو الکترون ولت نشان می‌دهد. خط در حدود ۲ کیلو الکترون ولت مربوط به پوشش دهی نمونه با طلا است که هنگام تهیه طیف انجام می‌گیرد. این میزان کربن (۰/۱۸/۷) نشان دهنده وجود پودر جلبک همراه با روی اکسید است.



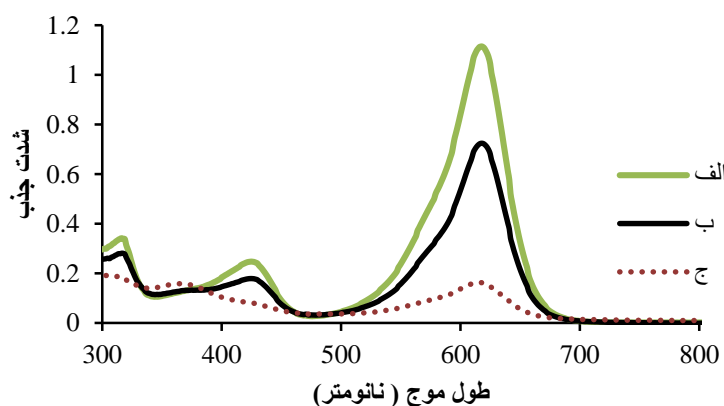
شکل ۲- تصویر FESEM نانوساختار مشبک صفحه ای روی اکسید با بزرگنمایی‌های مختلف



شکل ۳- طیف EDX نمونه روی اکسید

۳-۳- فعالیت فتوکاتالیزوری نانو ساختار روی اکسید

بررسی فعالیت فتوکاتالیزوری نانو ساختار روی اکسید در فرایند تخریب رنگ سبز مالاشیت، تحت تابش نور مستقیم خورشید انجام گرفت. ابتدا روی اکسید به محلول رنگی سبز مالاشیت افزوده شد و بعد از رسیدن به تعادل جذب-واجذب، شدت جذب محلول رنگ با دستگاه طیف سنجی مرئی-فرا بنفش در طول موج جذب ماکزیمم اندازه گرفته شد. سپس مخلوط رنگ و فتوکاتالیزور در زیر نور خورشید قرار داده شد. پیک جذب ماکزیمم رنگ سبز مالاشیت در ناحیه مرئی ۶۲۱ نانومتر قرار دارد. با اندازه گیری شدت جذب این پیک قبل و بعد از تابش (شکل ۴) و با استفاده از فرمول $R\% = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$ درصد تخریب رنگ محاسبه شد. C_0 جذب اولیه محلول رنگ بعد از برقرار شدن تعادل جذب-واجذب بر روی سطح روی اکسید بدون تابش نور خورشید است. C_t جذب محلول رنگ پس از تخریب فتوکاتالیزوری پس از زمان های ۲۰ و ۹۰ دقیقه است. درصد تخریب رنگ پس از بیست دقیقه تابش برابر با ۳۵ و پس از ۹۰ دقیقه برابر با ۸۵ درصد بدست آمد در حالی که درصد تخریب رنگ در غیاب فتوکاتالیزور و در شرایط کاملاً مشابه بعد از ۹۰ دقیقه برابر با ۱۰ درصد بدست آمد.



شکل ۴- تغییر طیف جذبی رنگ سبز مالاشیت در حضور فتوکاتالیزور. (الف) قبل از تابش نور خورشید، (ب) ۲۰ دقیقه پس از تابش، (ج) ۹۰ دقیقه پس از

تابش نور خورشید

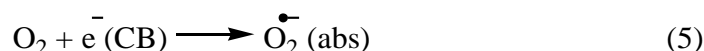
تخریب رنگ با استفاده از روی اکسید می‌تواند به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم انجام پذیرد. الف) مسیر غیر مستقیم شامل:
 ۱- تحریک نوری نیمه هادی و تولید جفت الکترون-حفره است. در نانوذرات روی اکسید تحت تابش نور مستقیم خورشید، الکترون از نوار ظرفیت (VB) روی اکسید به نوار هدایت (CB) انتقال می‌یابد و در نتیجه یک حفره (h^+) در باند ظرفیت بجا می‌گذارد (معادله ۳).



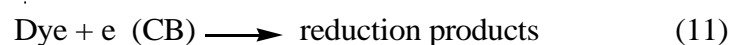
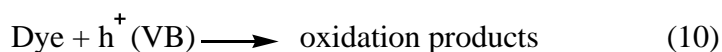
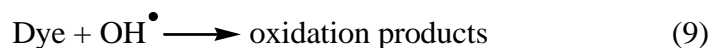
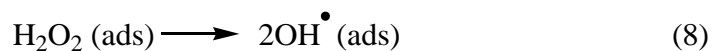
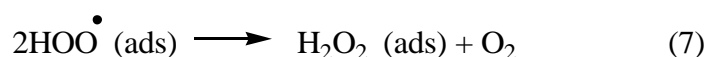
۲- حفره (h^+) به عنوان یک عامل اکسید کننده با آب موجود در سطح ذرات روی اکسید (ads) واکنش داده و رادیکالهای هیدروکسیل ایجاد می‌کند. رادیکال هیدروکسیل اکسید کننده قوی بوده و می‌تواند رنگ را اکسید کند (معادله ۴).



۳- الکترون انتقال یافته به نوار هدایت، می‌تواند اکسیژنی که جذب سطح نانوذره شده را احیا کند. این واکنش، علاوه بر اینکه احتمال ادغام مجدد حفره و الکترون را کاهش می‌دهد، با تولید سوپراکسید فعال می‌تواند تخریب رنگ را انجام دهد (معادله ۵).

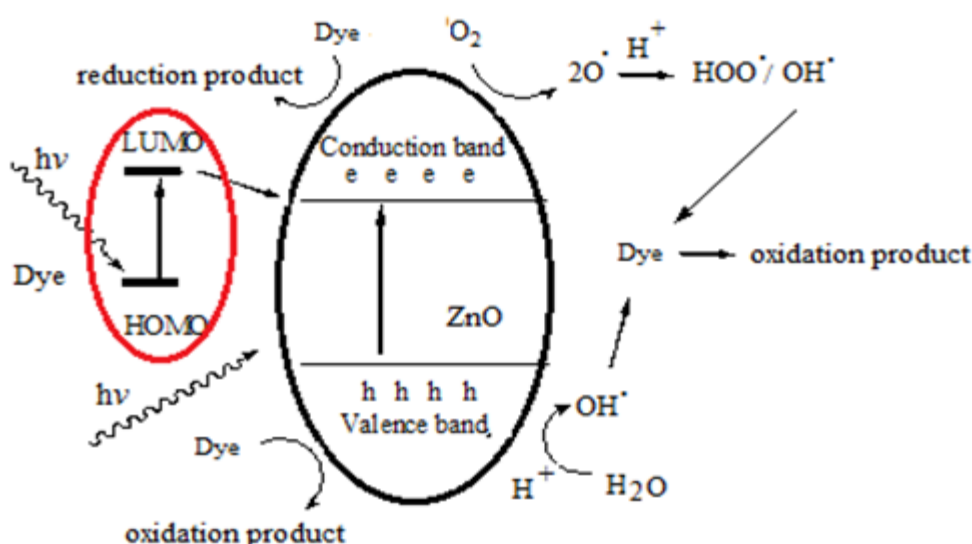


۴- سوپر اکسید می‌تواند با گرفتن پروتون، رادیکال هیدروپروکسیل و سپس پروکسید هیدروژن که بعداً به رادیکال هیدروکسیل تفکیک می‌شود را تولید کند (معادله ۶-۱۱).



ب) در فرایند مستقیم تخریب رنگ (طرح ۱)، تهییج رنگ در اثر تابش نور از حالت پایه به حالت برانگیخته انجام می‌پذیرد. از تراز برانگیخته رنگ تهییج شده، الکترون به نوار هدایت فتوکاتالیزور انتقال می‌یابد و رنگ اکسید می‌گردد. الکترون در نوار هدایت توسط اکسیژن بدام افتاده و رادیکال آنیون سوپراکسید و سپس رادیکال هیدروکسیل تولید می‌کند که اساساً عامل اکسیداسیون ترکیبات آلی در فرایندهای فتوکاتالیزوری می‌باشد.

ترکیباتی از جلبک که سطح ذرات روی اکسید را پوشانده‌اند می‌توانند به دو طریق فعالیت فتوکاتالیزوری روی اکسید را افزایش دهند. از یک طرف با گرفتن الکترون از باند هدایت روی اکسید، مانع از ترکیب مجدد حفره و الکترون شوند و از طرف دیگر به عنوان حساس ساز عمل کنند. تحت تابش نور تهییج الکترون در حساس ساز صورت می‌گیرد و الکترون از حساس ساز به باند هدایت روی اکسید انتقال می‌یابد. بنابراین با انرژی کمتری نسبت به انرژی گاف اکسید روی عمل تخریب رنگ صورت می‌گیرد [۱۸].

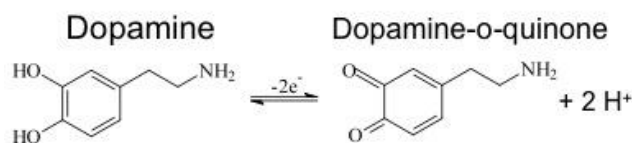


طرح ۱- نمایش تخریب رنگ توسط نانو ساختار اکسید روی تحت تابش نور خورشید

۳-۳- فعالیت الکتروشیمیایی نانو ساختار روی اکسید

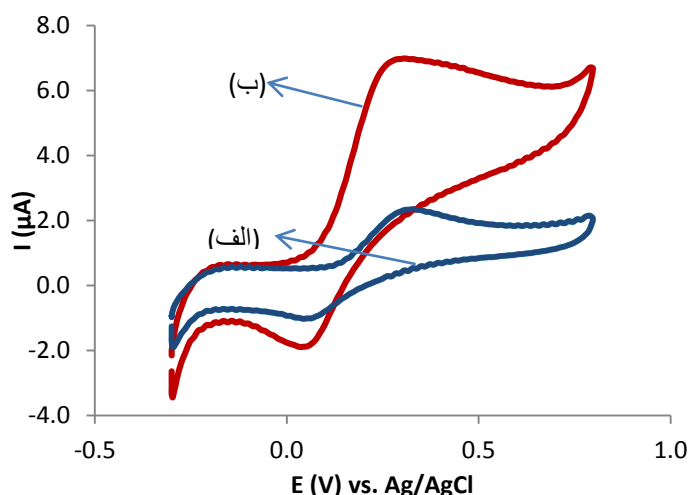
به منظور بررسی رفتار الکتروشیمیایی نانو ساختار روی اکسید، الکتروود خمیر کربن اصلاح شده با نانوذره‌های فوق تهیه و برای سنجش دوپامین به روش ولتامتری چرخه ای استفاده شد.

دوپامین یک پیام رسان عصبی در غده‌ی هیپوفیز است و غلظت آن در خون بر فعالیت ها و متابولیسم بدن انسان اثر زیادی دارد. بنابراین کنترل غلظت دوپامین در خون اهمیت زیادی دارد. دوپامین یک ترکیب الکترواکتیو است که می‌تواند بطریق الکتروشیمیایی در سطح الکتروود به فرم دوپامین کوئینون اکسید شود طرح(۲).



طرح ۲- نمایش تبدیل دوپامین به دوپامین کوئینون در اثر اکسید شدن.

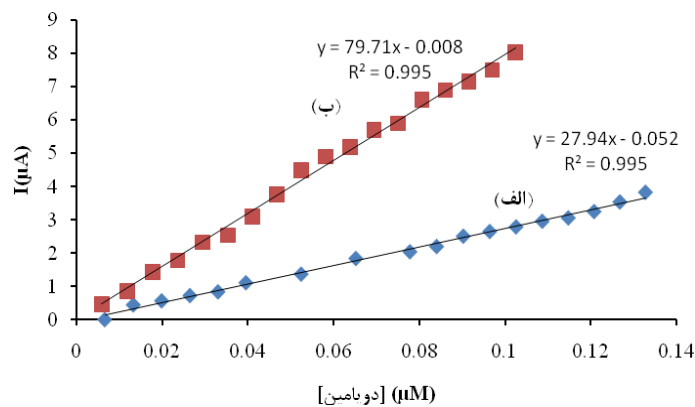
شکل (۵) ولتاموگرام‌های حاصل از انتقال الکترون بین دوپامین (۱۰۰ میکرومولار) و سطح الکتروکد خیمیر کربن خالص (الف) و سطح الکتروکد خیمیر کربن اصلاح شده با روی اکسید (ب) را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد شدت جریان پیک‌های آندی و کاتدی در مورد الکتروکد اصلاح شده به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر بوده و جدایی بین پیک کاتدی و آندی کمتر می‌باشد. مقایسه رفتار الکتروشیمیایی دوپامین در سطح دو الکتروکد در جدول (۱) نشان داده شده است. افزایش شدت جریان قابل ملاحظه پیک آندی، کاهش اختلاف پتانسیل کاتدی و آندی و مقدار پتانسیل فرمال گزارش شده برای الکتروکد خیمیر کربن اصلاح شده به خوبی نشان دهنده نقش الکتروکاتالیتیک نانوکامپوزیت‌های روی اکسید در سنجش دوپامین می‌باشد. شکل (۶) نمودار تغییر شدت جریان آندی بر حسب غلظت دوپامین را برای الکتروکد خیمیر کربن خالص (الف) و الکتروکد اصلاح شده (ب) نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد هر دو الکتروکد در محدوده ۵/۰ تا ۱۵۰/۰ میکرومولار از دوپامین پاسخ خطی را نشان می‌دهند با این تفاوت که شیب خط راست پاسخ به دوپامین در سطح الکتروکد اصلاح شده (۷۹/۸۱ میکروآمپر بر میکرومولار) به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از الکتروکد خیمیر کربن خالص (۲۷/۹۴ میکروآمپر بر میکرومولار) می‌باشد. به عبارت دیگر حساسیت پاسخ الکتروکد اصلاح شده به دوپامین ۲/۸ برابر بیشتر می‌باشد.



شکل ۵- ولتاموگرام چرخه ای دوپامین ۱۰۰ میکرومولار در بافر فسفات ۰/۱ مولار (pH = ۷)، پتاسیم کلرید ۰/۰۵ مولار و سرعت روبش برابر با ۰/۱ با الکتروکد خیمیر کربن خالص و الکتروکد اصلاح شده با روی اکسید.

جدول ۱- مقایسه رفتار الکتروشیمیایی دوپامین در سطح الکتروود خمیر کربن خالص و خمیر کربن اصلاح شده

الکتروود	پتانسیل آندی (ولت)	پتانسیل کاتدی (ولت)	شدت جریان آندی (میکروآمپر)	شدت جریان کاتدی (میکروآمپر)	تفاضل پتانسیل آندی و کاتدی (ولت)	پتانسیل فرمال (ولت)
الکتروود خمیر کربن خالص	۰/۳۱۹	۰/۰۵۴	۱/۸۲	-۱/۳۸	۰/۲۶۵	۰/۱۸۷
الکتروود خمیر کربن اصلاح شده	۰/۲۸۶	۰/۰۳۲	۶/۸۳	-۱/۹۰	۰/۲۵۴	۰/۱۵۹



شکل ۶- نمودار پاسخ الکتروود الف) خمیر کربن خالص ب) الکتروود اصلاح شده با روی اکسید نسبت به دوپامین در پتانسیل ۰/۳ ولت، در بافر فسفات ۰/۱ مولار (pH = ۷) و پتاسیم کلرید ۰/۰۵ مولار و پتانسیل روبش ۰/۱ ولت بر ثانیه.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش سنتز ساده، ارزان و سازگار با محیط زیست نانوساختاری از روی اکسید با استفاده از پودر جلبک قرمز گراسیلاریا، که به وفور در سواحل دریای خلیج فارس یافت می شود، انجام گرفت. نتایج حاصل از EDX نشان دهنده‌ی همراه بودن ۱۸/۷ درصد کربن با روی اکسید سنتز شده است. بر اساس نتایج حاصل از FESEM روی اکسید تهیه شده متشکل از صفحاتی با ضخامت ۳۱ نانومتر می باشد. این نانوساختار فعالیت فتوکاتالیزوری خوبی در تخریب رنگ سبز مالاشیت، تحت تابش مستقیم نور خورشید، نشان داد. همچنین با این نانوساختار الکتروود خمیر کربن اصلاح شده تهیه و در سنجش دوپامین به طریق الکتروشیمیایی چرخه‌ای استفاده شد. حساسیت الکتروود اصلاح شده نسبت به الکتروود خمیر کربن خالص در حدود ۲/۸ برابر بیشتر است.

۵- تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه خلیج فارس صمیمانه تشکر می نمایند.

۶-مراجع

- [1] A. Umar, M. S. Chauhan, S. Chauhan, R. Kumar, G. Kumar, S. A. Al-Sayari, S. W. Hwang, A. Al-Hajry, *J. Colloid Interface Sci.* **363** (2011) 521.
- [2] U. Özgür, Y. I. Alivov, C. Liu, A. Teke, M. A. Reshchikov, S. Dogan, V. Avrutin, S. J. Cho, H. Morkoc, *J. Appl. Phys.* **98** (2005) 041301.
- [3] Z. L. Wang, R. Yang, J. Zhou, Y. Qin, C. Xu, Y. Hu, S. Xu, *Mater. Sci. Eng., R* **70** (2010) 320.
- [4] T. Y. Wei, P. H. Yeh, S. Y. Lu, Z. L. Wang, *J. Am. Chem. Soc.* **131** (2009) 17690.
- [5] P. H. Yeh, Z. Li, Z. L. Wang, *Adv. Mater.* **21** (2009) 4975.
- [6] J. Zhou, Y. D. Gu, Y. F. Hu, W. J. Mai, P. H. Yeh, G. Bao, A. K. Sood, D. L. Polla, Z. L. Wang, *Appl. Phys. Lett.* **94** (2009) 191103.
- [7] P. Aurang, O. Demircioglu, F. Es, R. Turan, H. E. Unalan, *J. Am. Ceram. Soc.* **96** (2013) 1253.
- [۸] مرادی، رضا؛ عربی، هادی؛ کریمی مله، حسن، دانشگاه سمنان، مجله شیمی کاربردی، شماره ۳۱ (۱۳۹۳)، ۱۰۱.
- [9] T. Lin, M. Thirumavalavan, T. Y. Jiang, J. F. Lee, *Carbohydr. Polym.* **105** (2014) 1.
- [10] F. Xu, Z. Y. Yuan, G. H. Du, M. Halasa, B. L. Su, *Appl. Phys., A* **86** (2007) 181.
- [11] Y. Zhang, T. R. Nayak, H. Hong, W. Cai, *Curr. Mol. Med.* **13** (2013) 1633.
- [12] G. Sangeetha, S. Rajeshwari, R. Venkatesh *Materials Research Bulletin.* **46** (2011) 2560
- [13] C. Vidya, H. Shilpa, M. N. Chandraprabha, M. A. L. Antonyraj, I. V. Gopal, A. Jain, K. Bansal, *J. Curr. Eng. Technol.* **9** (2013) 118.
- [14] D. Gnanasangeetha, T. D. Sarala, *Res. J. Material Sci.* **1** (2013) 1.
- [15] P. Rajiv, S. Rajeshwari, R. Venkatesh, *Spectrochim. Acta, Part A.* **112** (2013) 384.
- [16] D. Ramimoghdam, M. Z. B. Hussein, Y. H. Taufiq-Yap, *Chem. Cent. J.* **7** (2013) 71.
- [17] N. Sangeetha, A. K. Kumarguru, *J. Nanobiotechnology* **11** (2013) 39.
- [18] R. Pandimurugan, S. Thambidurai, *Adv. Powder Technol.* **4** (2016) 1062.
- [19] C. Yang, Y. Li, G. Xu, X. Ma, *J. Mater. Sci. Technol.* **23** (2007) 583.

