

تهیه و ارزیابی نانوذرات اکسید روی توسط روش تخریب حرارتی چارچوب فلز-آلی $[Zn_2(BDC)_2(DABCO)]_n$

نگار معتکف کاظمی*

گروه نانوفناوری پزشکی، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۷/۰۹/۲۰، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۷/۱۱/۱۹، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۷/۱۱/۲۲

چکیده

در این تحقیق چارچوب‌های فلز-آلی بر پایه فلز روی $[Zn_2(BDC)_2(DABCO)]_n$ در دمای محیط با روش محلولی ساده در زمان‌های مختلف و سپس نانوذرات اکسید روی (ZnO) با روش تخریب حرارتی چارچوب فلز-آلی در دمای $550^\circ C$ در ۵ ساعت با حذف بخش آلی بدست آمد. ساختار بلوری نمونه‌ها توسط پراش پرتو ایکس (XRD) برای شکل چارچوب فلز-آلی و نانوذرات تهیه شده مورد بررسی قرار گرفت. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) برای مطالعه اندازه و شکل چارچوب‌های فلز-آلی در زمان‌های مختلف و نانوذرات استفاده شد. بر اساس نتایج میکروسکوپ الکترونی نانوذرات کروی شکل و یکدست اکسید روی با اندازه میانگین قطر حدود ۸۰-۱۰۰ nm مشاهده شد. ترکیب شیمیایی نانوذرات توسط طیف‌سنجی توزیع انرژی پرتوی ایکس (EDS) برای تعیین عناصر شامل روی و اکسیژن مطالعه شد. گروه‌های عاملی توسط طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) تعیین شد. فعالیت ضدباکتری نانوذرات اکسید روی علیه اشرشیا کلی (*E. coli*) ارزیابی شد و قطر هاله عدم رشد ۸ mm بود. نتایج حاصله بیان می‌کند که روش تخریب حرارتی چارچوب‌های فلز-آلی بر پایه فلز روی می‌تواند به صورت موفقیت‌آمیز برای تهیه نانوذرات اکسید روی استفاده شود و نانوذرات نهایی دارای فعالیت ضدباکتری مناسب علیه اشرشیا کلی هستند و می‌تواند پتانسیل خوبی برای کاربردهای مختلف داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: چارچوب‌های فلز-آلی، نانوذرات، اکسید روی، تخریب حرارتی.

۱- مقدمه

نانومتر به دلیل خواص منحصر بفرد حاصل از اندازه کوچک و نسبت بالا سطح به حجم در مقایسه با نانو مواد دیگر مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱]. اکسید روی به عنوان عنصر ضروری بدن به دلیل ایمنی و رسمیت توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده یکی از

در سال‌های اخیر، نانوفناوری به دلیل مزایای بالقوه در عرصه‌های مختلف گسترش یافته است و جنبه‌های مختلف دنیای امروز را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. مواد در مقیاس

* **عهده‌دار مکاتبات:** نگار معتکف کاظمی

نشانی: گروه نانوفناوری پزشکی، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

تلفن: ۰۲۱-۲۲۰۰۶۶۶۰، دورنگار: ۰۲۱-۲۲۰۰۶۶۶۰، پست الکترونیکی: motakef@iaups.ac.ir

مقیاس بزرگ در صنایع است [۱۸]. روش تخریب حرارتی چارچوب فلز-آلی با توجه به جدید بودن و گزارش های محدود در این زمینه مورد توجه پژوهش حاضر قرار گرفت. پلیمرهای کئوردینا سیونی اولین بار توسط بیلار مطرح شدند که حاصل تلاش زیاد برای سنتز ترکیب های متخلخل متشکل از فلزها به عنوان بخش معدنی و لیگاندها به عنوان بخش آلی بود. پلیمرهای کئوردیناسیونی سامانه های نامحدودی هستند که با خود تجمعی واحدهای سازنده لیگاندهای آلی و یونها یا کلاسترهای فلزی تشکیل شده و به سرعت رشد می کنند. در شبکه پلیمرهای کئوردیناسیونی، بخش فلزی به عنوان گره و بخش آلی به عنوان اتصال دهنده معرفی می شوند [۱۹،۲۰]. پیوند بین فلز و لیگاند کووالانسی کئوردیناسی "داتیو" است و نتیجه الکترون دهنده گی زوج الکترون آزاد لیگاند به عنوان باز لوئیس (دهنده جفت الکترون) به کاتیون فلزی به عنوان اسید لوئیس (گیرنده جفت الکترون) و برهم کنش های الکترواستاتیک بین فلز مرکزی با بار مثبت و لیگاند قطبی شده با بار منفی می باشد [۲۱].

کئوردینا سیون فلز، ساختار و نوع لیگاند روی شکل و اندازه حفرات تاثیر گذار است. کئوردیناسیون فلز اشاره دارد که چه تعداد لیگاند می تواند به مرکز فلزی متصل شود و چه جهتگیری فضایی داشته باشد. لیگاندها معمولا یک، دو، سه و یا چهار دندانه ای هستند، به عبارتی می توانند یک، دو، و ... پیوند برقرار کنند. لیگاندها به صورت پل بین مراکز فلزی قرار گرفته اند. از آنجا که هر مرکز فلزی به بیش از یک لیگاند متصل است، یک آرایش بی نهایتی از مراکز فلزی را ایجاد می کند. این پلیمرهای کئوردیناسیونی متخلخل یک شبکه نامحدود و مستحکم متشکل از یون های فلزی و لیگاندها هستند. رشد پلیمر توسط برهمکنش های ضعیف غیر کووالانسی مانند هیدروژنی، واندروالسی، پای- پای ($\pi-\pi$)، فلز-فلز، آروماتیک-فلز، و آروماتیک-آروماتیک انجام می شود. شبکه ها در فضا می تواند در یک، دو، یا سه بعد رشد کنند و شبکه های تک بعدی، دو بعدی و سه بعدی تشکیل شود [۲۲-۲۴]. چارچوب های فلز-آلی عبارت از پلیمر

مواد با کاربرد فراوان در صنایع مختلف مخصوصا زیست پزشکی است [۲]. اکسید روی در مقیاس نانومتر می تواند ساختارهایی با شکل های متنوع مانند نانوذره، نانومیله، نانوسیم، نانولوله، نانوشانه، نانوقفس، نانوفتر، نانوتسمه، نانوستون، نانویسکر، بوته و گل شکل داشته باشد و باعث ایجاد خواص متفاوت شود [۳،۴].

نانوذرات اکسید روی (ZnO NPs) به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر بفرد به عنوان یکی از مهمترین نانوذرات اکسید فلزی در زمینه های مختلف کاربرد دارند [۴،۵]. یکی از کاربردهایی که توجه چشمگیر در سراسر جهان شده است، فعالیت های ضدباکتری نانوذرات اکسید روی علیه بسیاری از میکروارگانیسم ها با توجه به کاهش اندازه ذرات و افزایش سطح ذرات است [۶،۷]. فعالیت ضدسرطان، ضدالتهای و تصویربرداری با نانوذرات اکسید روی از جمله پیشرفت کاربردهای زیست پزشکی آن محسوب می شود [۸]. از کاربردهای مهم دیگر نانوذرات اکسید روی می توان خواص فلور سنت [۹]، فوتوکاتالیستی [۱۰،۱۱]، و سدکنندگی اشعه فرابنفش [۵] را نام برد.

روش های متعددی برای سنتز نانوذرات اکسید روی وجود دارد. روش های شیمیایی برای تهیه نانوساختارهای اکسید روی از دیر باز مورد استفاده قرار گرفته است و به دلیل محدودیت های زیاد مانند سمیت استفاده از آنها چندان مورد نظر نیست [۱۲]. امروزه روش سنتز سبز به عنوان یکی از روش های دو ستدار محیط زیست برای تهیه نانوذرات اکسید روی گسترش یافته است [۱۳-۱۶]. تهیه نانوذرات اکسید روی توسط روش لیزر نیز یکی دیگر از روش های مورد توجه است [۱۷]. با این حال، بیشتر روش های سنتز گزارش شده اکسید روی نانومقیاس مانند روش آب گرمایی، روش هم رسوبی و روش مایکروویو بسیار پیچیده است و برای برنامه های کاربردی در مقیاس بزرگ مناسب نیست. از این رو یکی از روش های جدید تهیه نانوساختارهای اکسید روی، تخریب حرارتی است که بدون نیاز به هیچ سورفکتانت و کاتالیزور به صورت ساده و مقرون به صرفه مناسب برای کاربرد در

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد و تجهیزات

استات روی دو آبه ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$, Merck) برای تامین مرکزهای فلزی و لیگاندهای بنزن ۱ و ۴ دی کربوکسیلیک اسید (BDC, Merck) و ۱ و ۴ دی آزابی سیکلو [۲,۲,۲] اکتان (DABCO, Merck) برای تامین پل‌های اتصال دهنده چارچوب فلز-آلی و دی متیل فرمامید (DMF, Merck) به عنوان حلال استفاده شد.

میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل فیلیس XL300-هلمند و میکروسکوپ الکترونی عبوری مدل Zeiss-EM10C-100 KV آلما جهت بررسی شکل و اندازه استفاده شد و تجزیه و تحلیل ساختاری و خصوصیات شیمیایی نمونه توسط طیف‌سنجی توزیع انرژی پرتوی X مدل Tescan-MIRA3 ارزیابی شد. ساختار بلوری توسط پراش پرتو ایکس با دستگاه مدل فیلیس-فرانسه در دو تا ۵ تا ۳۰ برای چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز و ۱۰ تا ۱۰۰ برای نانوذرات اکسید روی با لامپ مس بررسی شد. طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه پرکین المر-آمریکا توسط قرص KBr در دمای اتاق جهت بررسی کیفی گروه‌های عاملی استفاده شد. فعالیت ضدباکتری با روش انتشار دیسک علیه باکتری اشرشیاکلی، ATCC 1399 که از دانشگاه آزاد بدست آمد، با ارائه قطر هاله عدم رشد مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۲- روش سنتز

چارچوب فلز-آلی $[Zn_2(BDC)_2(DABCO)]_n$ با استفاده از مواد سازنده مرکز فلز روی استات (0.132 گرم، 2 میلی مول)، و لیگاندهای BDC (0.1 گرم، 2 میلی مول) و DABCO (0.35 گرم، 2 میلی مول) در 25 میلی لیتر حلال DMF با روش محلولی در دمای محیط [33] در زمان‌های 0.5 ، 1 ، 2 ، 3 ، 4 ، 5 و 6 ساعت سنتز شد. پودر سفید رنگ نهایی ابتدا صاف و سپس سه بار با حلال DMF شستشو داده شد تا مواد اولیه بدون واکنش خارج شوند و در نهایت

کوئوردیناسیونی متخلخل هستند که اولین بار با سنتز MOF-5 مطرح شدند. در دهه‌های اخیر، پژوهش در زمینه چارچوب‌های فلز-آلی توجه بسیاری از پژوهشگران را جلب کرده است. رشد سریع تعداد مقاله‌های چاپ شده در این زمینه نیز بیانگر این مدعا است [۲۵].

پلیمر کوئوردیناسیونی متخلخل در مقایسه با سایر ترکیب‌های متخلخل به دلیل قابل تنظیم بودن اندازه، شکل، ابعاد و گروه‌های عاملی سطح حفره‌ها با تغییر ترکیب لیگاند و یون‌های فلزی دارای کاربردهای امید بخش بسیاری مانند ذخیره‌سازی، جداسازی، کاتالیست، انتخاب‌گری انانتیومری، حسگر، مغناطیس، لومینسانس، اپتوالکترونیک، دارورسانی، و سنتز نانوساختارها هستند [۲۶، ۲۷]. سنتز نانوساختارها بر اساس تخریب حرارتی پلیمر کوئوردیناسیونی متخلخل گزارش شده است. به عنوان مثال تهیه نانوذرات مس از چارچوب فلز-آلی $[Cu_3(BTC)_2]$ (BTC=بنزن ۱، ۳، ۵ تری کربوکسیلات) [۲۸]، ذرات ZnO از MOF-5 با فرمول $Zn_4O(1,4-BDC)_3$ [۲۹]، نانوذرات اکسید روی از $Zn_2(NDC)_2(DMF)_2 \cdot (H_2O)_4$ (NDC=۲ و ۶ نفتالین دی کربوکسیلیک‌اسید) [۳۰] و نانوذرات اکسید پالادیوم (PdO) از چارچوب فلز-آلی بر پایه پالادیوم و تترا پیریدیل پورفیرین [۳۱] را می‌توان نام برد.

یکی از پلیمرهای کوئوردیناسیونی متخلخل پر کاربرد به دلیل مساحت سطح بالا و اندازه و شکل قابل کنترل چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز روی $[Zn_2(BDC)_2(DABCO)]_n$ است که با روش‌های محلولی و محلول گرمایی سنتز و مشخصه‌یابی شده است [۳۲، ۳۳]. این چارچوب فلز-آلی متشکل از کلاسترهای روی به عنوان مراکز فلزی و لیگاندهای ترفتالیک اسید یا بنزن ۱ و ۴ دی کربوکسیلیک اسید (BDC) با فرمول شیمیایی $C_8H_6O_4$ به عنوان اتصال دهنده و ۱ و ۴ دی آزابی سیکلو [۲,۲,۲] اکتان (DABCO) با فرمول شیمیایی $C_6H_{12}N_2$ به عنوان پل است. در این پژوهش نانوذرات اکسید روی با روش تخریب حرارتی چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز روی $[Zn_2(BDC)_2(DABCO)]_n$ سنتز شده در دمای محیط و حذف بخش‌های آلی لیگاندها تهیه و ارزیابی شد.

صورت کروی شکل و یکدست و همگن با اندازه میانگین قطر 80 nm می‌باشند. نانوذرات اکسید روی کروی شکل در این گزارش با نتایج حاصل سنتز نانوذرات کروی شکل با اندازه حدود $71-96 \text{ nm}$ از چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز روی با توجه به زمان سنتز طولانی‌تر (۴۸ ساعت)، دمای سنتز بالاتر (120°C) و لیگاند متفاوت (NDC) مشابه است [۳۰]. در نتیجه هسته‌ها و کلاسترهای فلزی نقش اساسی برای تعیین اندازه نهایی نانوذرات اکسید روی دارد.

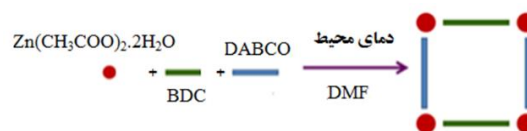
۳-۲- میکروسکوپ الکترونی عبوری

در پژوهش حاضر شکل و اندازه نانوذرات اکسید روی توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری بررسی شد. اندازه ذرات در حدود $80-100 \text{ nm}$ است. بر اساس این نتایج نانوذرات اکسید روی نهایی به صورت کروی شکل و یکدست و همگن است و با نتایج SEM مطابقت دارد. نتایج این گزارش در راستای نتایج حاصل سنتز نانوذرات کروی شکل با میانگین اندازه حدود 117 nm است [۳۴].

۳-۳- پراش پرتو ایکس

ساختار بلوری نانوساختارها توسط آنالیز پراش پرتو ایکس برای چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز روی $[\text{Zn}_2(\text{BDC})_2(\text{DABCO})]_n$ و نانوذرات اکسید روی بررسی شد (شکل ۴). پیک‌های حاصل از نتایج XRD با استاندارد چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز روی [۳۲] و نانوذرات اکسید روی [۵،۳۴] سازگار است و تایید کننده سنتز نمونه با ساختار بلوری و خلوص بالا است. پیک‌های مشخصه نانوذرات اکسید روی در دو تتا به ترتیب $31/73$ ، $34/44$ ، $36/28$ ، $47/55$ ، $56/62$ ، $62/83$ ، و $67/96$ درجه به ترتیب مربوط به صفحه‌های بلوری با اندیس‌های (100) ، (002) ، (101) ، (102) ، (110) ، (103) و (112) است که با الگوی استاندارد اکسید روی با شماره (JCPDS361451) مطابقت می‌کند [۳۴].

خشک شد. شکل ۱ طرح‌واره تهیه چارچوب فلز-آلی $[\text{Zn}_2(\text{BDC})_2(\text{DABCO})]_n$ به روش محلولی در دمای محیط را نشان می‌دهد.



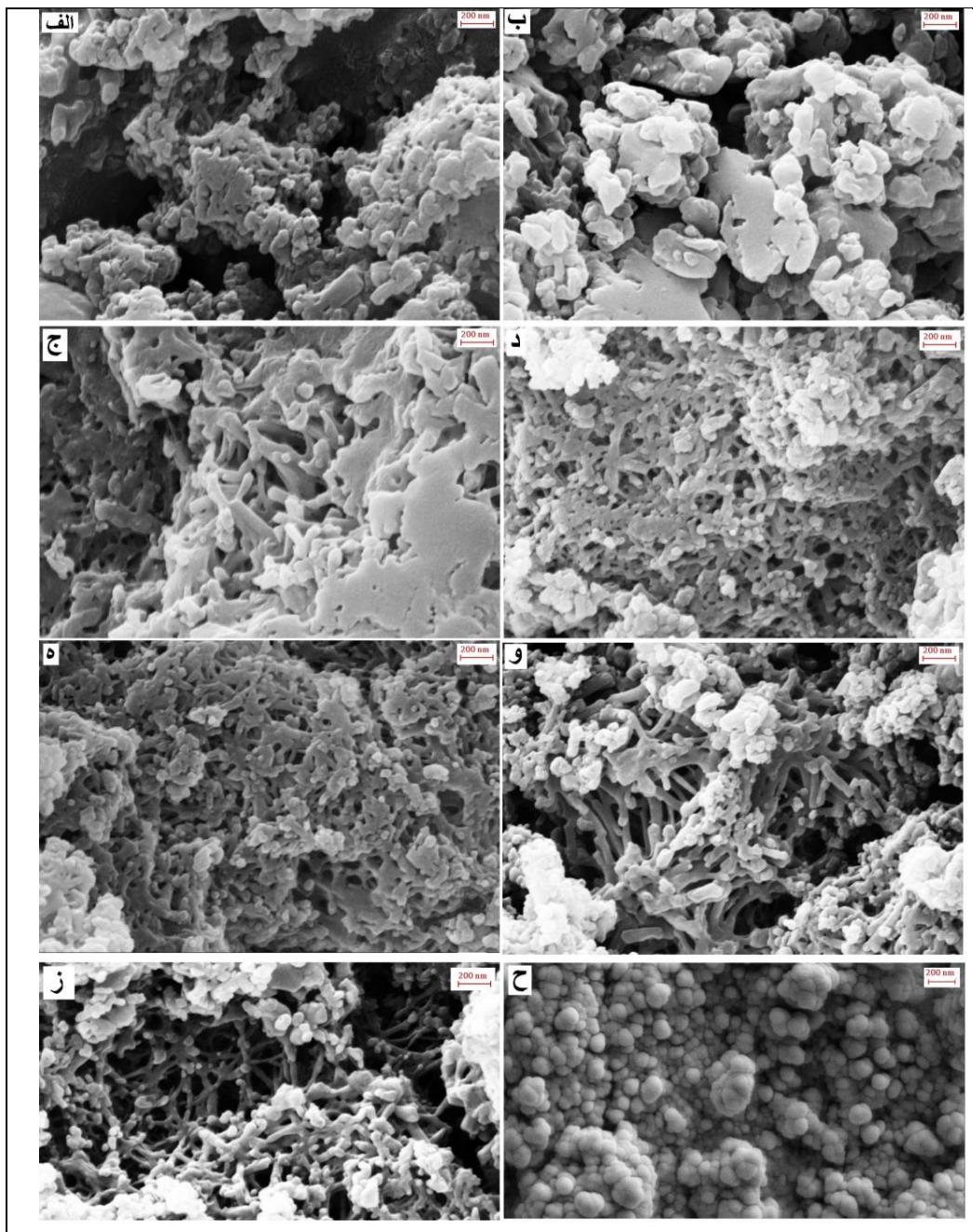
شکل ۱: طرح‌واره تهیه MOF بر پایه فلز روی $[\text{Zn}_2(\text{BDC})_2(\text{DABCO})]_n$

نانوذرات اکسید روی توسط تخریب حرارتی چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز روی $[\text{Zn}_2(\text{BDC})_2(\text{DABCO})]_n$ در کوره با دمای 550°C به مدت ۵ ساعت با تشکیل رسوب خاکستری رنگ تهیه شد.

۳- نتایج و بحث

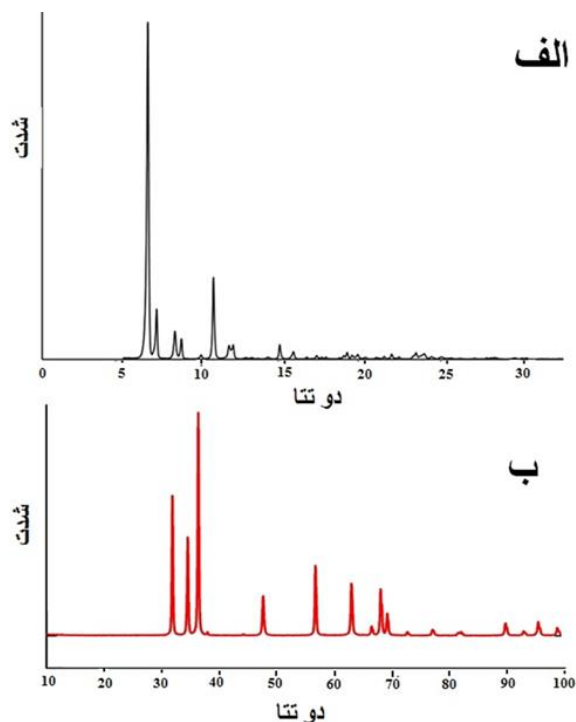
۳-۱- میکروسکوپ الکترونی روبشی

در پژوهش حاضر شکل و اندازه ذرات توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. شکل ۲ چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز روی در زمان‌های ۵، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، و ۶ ساعت و نانوذرات اکسید روی تهیه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج تصاویر SEM چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز روی $[\text{Zn}_2(\text{BDC})_2(\text{DABCO})]_n$ از ابتدا تشکیل و با گذشت زمان ذرات اولیه MOF تشکیل شده به صورت نانومیله مشاهده می‌شوند. در حقیقت رشد آنیزوتروپی شبکه به دلیل ماهیت هسته مرکزی فلز روی و لیگاندهای اتصال دهنده باعث رشد و افزایش طول یک جهت نانومیله‌های MOF می‌شود. بر اساس نتایج میکروسکوپ الکترونی روبشی کمترین زمان تشکیل شبکه اولیه مناسب میله‌ای شکل ۳ ساعت است. سپس تهیه نانوذرات اکسید روی با روش تخریب حرارتی چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز روی $[\text{Zn}_2(\text{BDC})_2(\text{DABCO})]_n$ تشکیل شده در ۳ ساعت انجام شد. نانوذرات اکسید روی نهایی به



شکل ۲: تصویر SEM برای MOFs در الف) ۰/۵، ب) ۱، ج) ۲، د) ۳، ه) ۴، و) ۵، ز) ۶ ساعت و ح) نانوذرات اکسید روی.

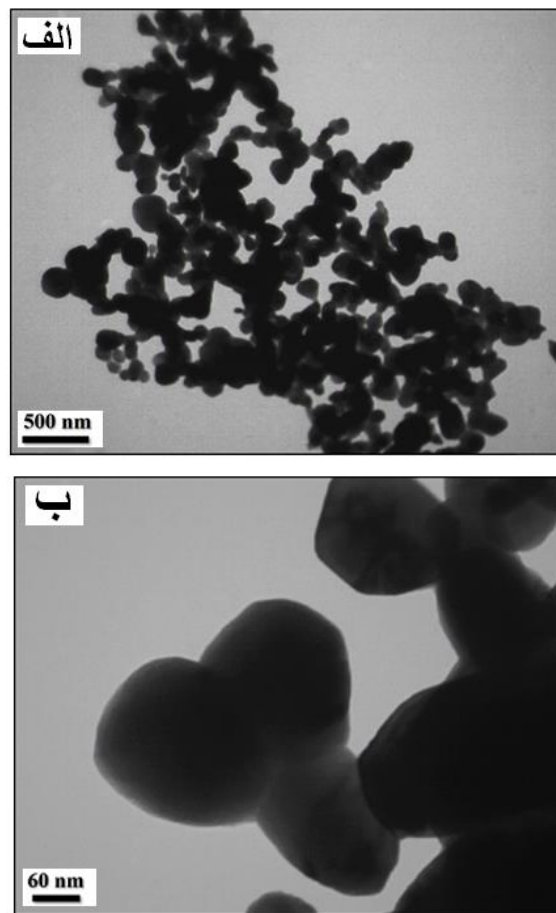
پیک ارتعاشی قوی در محدوده طول موج $400-600 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به پیوند Zn-O است. نتایج طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز روی [۳۲] و نانوذرات اکسید روی [۳۵] با گزارش های قبل مطابقت دارد.



شکل ۴: طیف XRD برای الف) MOF و ب) نانوذرات اکسید روی.

۳-۵- طیف سنجی توزیع انرژی پرتوی ایکس

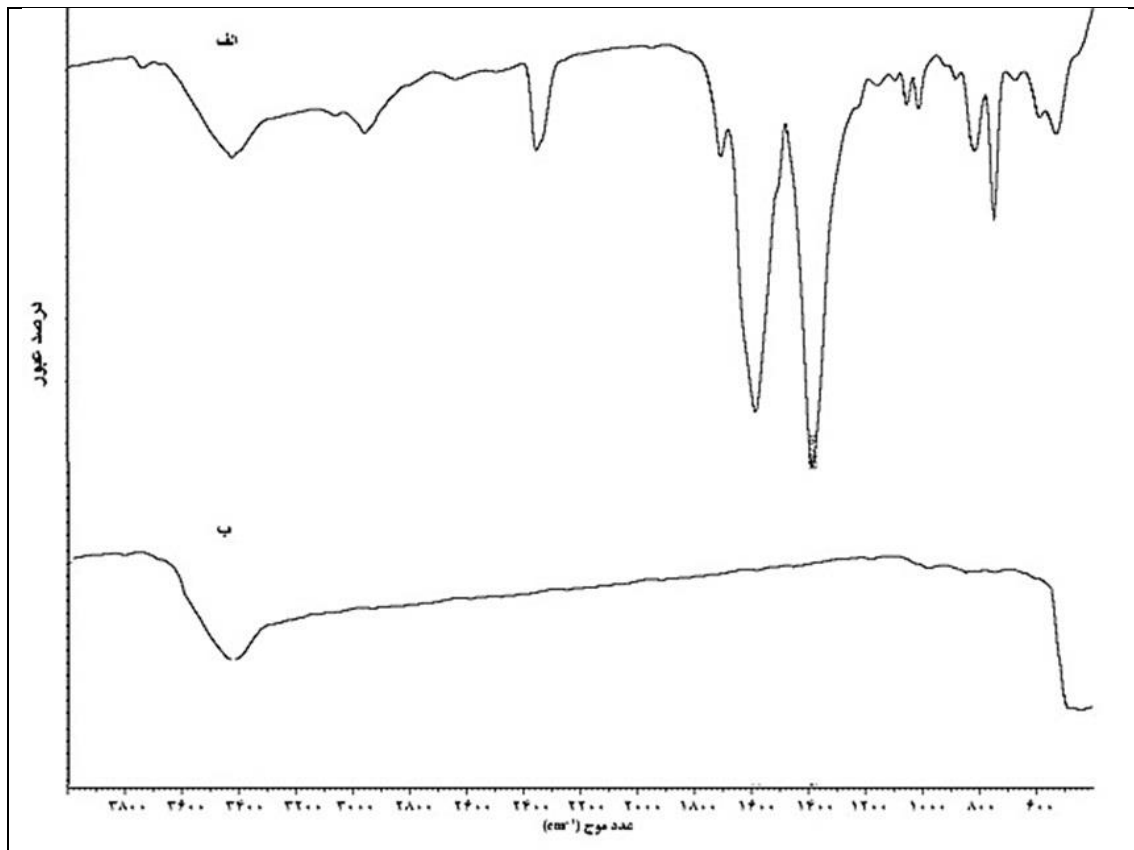
آنالیز طیف سنجی توزیع انرژی پرتوی ایکس برای بررسی ترکیب شیمیایی و خلوص نمونه با تاباندن شعاع الکترون به سطح نمونه و تهییج عنصرهای موجود در سطح نمونه صورت می گیرد. هر عنصر اشعه ایکس خفیفی با انرژی خاصی که مشخصه آن عنصر است از خود متصاعد می کند. نتایج آنالیز EDS پیک های عنصر روی (Zn) در انرژی حدود ۱ و ۸/۵ keV و اکسیژن (O) را نشان می دهد (شکل ۶). بر اساس این نتایج نمونه نهایی نانوذرات اکسید روی خلوص بالا دارد و محدوده انرژی عنصر روی و اکسیژن برای نانوذرات ZnO با گزارش های قبل مطابقت دارد [۳۴].



شکل ۳: تصویر TEM نانوذرات اکسید روی با اسکال بار الف) ۵۰۰ nm و ب) ۶۰ nm.

۳-۴- طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه

طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه محدوده طیفی در گستره طول موج $400-4000 \text{ cm}^{-1}$ در حالت جذب با استفاده از سیستم تداخل سنج و تجزیه و تحلیل نتایج جهت بررسی و شناسایی گروه های عاملی و پیوندهای موجود در نمونه چارچوب فلز-آلی و نانوذرات اکسید روی استفاده شد (شکل ۵). پیک های مشخصه چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز روی $[Zn_2(BDC)_2(DABCO)]_n$ شامل پیک پهن در 3400 cm^{-1} مربوط به حالت کششی گروه هیدروکسیل (O-H) است و مشاهده دو پیک باریک در طول موج های 1619 cm^{-1} و 1390 cm^{-1} مربوط به گروه کربوکسیل (C=O) است پیک های مشخصه نانوذرات اکسید روی پیک پهن در 3400 cm^{-1} مربوط به حالت کششی گروه هیدروکسیل و

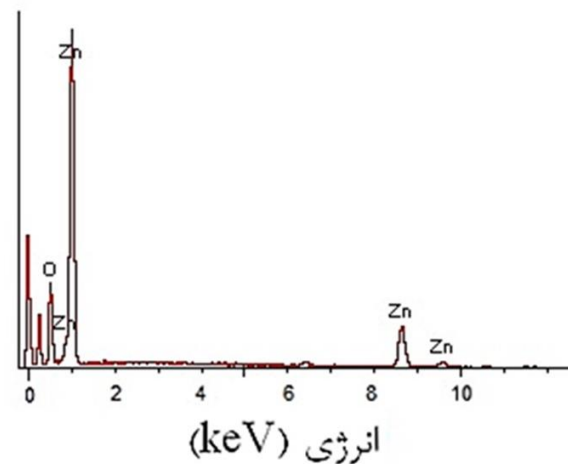


شکل ۵: طیف FTIR برای الف) MOF و ب) نانوذرات اکسید روی.

نانوذره (۰/۰۱ گرم بر میلی لیتر) بررسی شد. بر اساس نتایج قطر هاله عدم رشد باکتری ۸ میلیمتر اندازه گیری شد که نشان دهنده اثر خوب ضدباکتری نانوذرات نهایی است. بر این اساس نتایج ضدباکتری مشاهده شده در راستای نتایج گزارش شده است [۷].

۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر نانوذرات اکسید روی با روش تخریب حرارتی چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز روی $[Zn_2(BDC)_2(DABCO)]_n$ تهیه شدند. بر اساس نتایج SEM نانوذرات کروی شکل با اندازه میانگین قطر ۸۰ nm از چارچوب فلز-آلی بر پایه فلز روی $[Zn_2(BDC)_2(DABCO)]_n$ نانومیله ای شکل تهیه شد. طیف



شکل ۶: طیف EDS نانوذرات اکسید روی.

۳-۶- ضدباکتری

فعالیت ضدباکتری نانوذرات اکسید روی علیه اشرشیا کلی به عنوان باکتری گرم منفی با روش انتشار دیسک و غلظت ثابت

- [13] H. Agarwal, S. Venkat-Kumar, S. Rajeshkumar, *Resource-Efficient Technologies*, **3**, 2017, 406.
- [14] H. Agarwal, S. Venkat-Kumar, S. Rajeshkumar, *Resource efficient technologies*, **3**, 2017, 406.
- [15] S. Ahmed, Annu, S.A. Chaudhry, Saiqalkram, *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, **166**, 2017, 272.
- [16] N. Matinisea, X.G. Fukua, K. Kaviyarasua, N. Mayedwaa, M. Maaza, *Applied Surface Science*, **406**, 2017, 339.
- [17] G. Al-Dahash, W. MubdirKhilkala, *Iran. J. Chem. Chem. Eng.*, **37**, 2018, 11.
- [18] F. Shahangi-Shirazi, K. Akhbari, *Inorganic a chimica acta*, **436**, 2015, 1.
- [18] J.C. Bailar, *Prep inorg. React.*, **1**, 1964, 1.
- [19] J.Y. Cheng, Y.B. Dong, R.Q. Huang, M.D. Smith, *Inorgchimacta*, **358**, 2005, 891.
- [20] C. Janiak, *Journal chem soc dalton trans*, **21**, 2000, 3885.
- [21] A.N. Khlobystov, A.J. Blake, N.R. Champness, D.A. Lemenovskii, A.G. Majouga, N.V. Zyk, M. Schroder, *Coord chem rev.*, **222**, 2001, 155.
- [22] M. Du, X.J. Zhao, *Inorg chem commun*, **7**, 2004, 1056.
- [23] B.F. Hoskins, R. Robson, *Journal am chemsoc*, **111**, 1989, 5962.
- [24] S. Keskin, S. Kizilel, *Industrial and engineering chemistry research*, **50**, 2011, 1799.
- [25] S. Qiu, G. Zhu, *Coordination chemistry rev*, **253**, 2009, 2891.
- [26] M.R. Mehmandoust, N. Motakef-Kazemi, F. Ashouri, *Iranian journal of science and technology, Transactions a: science*, **18**, 2018, 1.
- [27] L. Chen, Y. Shen, *J. Solid State Chem*, **182**, 2009, 2298.
- [28] L. Zhang, Y.H. Hu, *J. Phys. Chem. C*, **114**, 2010, 2566.
- [29] F. Shahangi-Shirazi, K. Akhbari, *Inorganica Chimica Acta*, **436**, 2015, 1.
- [30] V. Bagchi, D. Bandyopadhyay, *J. Organomet. Chem.*, **694**, 2009, 1259.
- [31] N. Motakef-Kazemi, S.A. Shojaosadati, A. Morsali, *Microporous and mesoporous materials*, **186**, 2014, 73.
- [32] N. Motakef-Kazemi, S.A. Shojaosadati, A. Morsali, *Journal of the iranian chemical society*, **13**, 2016, 1205.
- [33] M.I. Khalil, M.M. Al-Qunaibit, A.M. Al-Zahem, J. P. Labis, *Arabian journal of chemistry*, **7**, 2014, 1178.
- [34] K.N. Handore, S. Bhavsar, A. Horne, P. Chhattise, *Journal of Macromolecular Science Part A Pure and Applied Chemistry*, **51**, 2014, 941.

XRD خلوص نانوذرات اکسید روی بلوری و طیف EDS حضور عنصرهای روی و اکسیژن را تایید کرد. مشاهده فعالیت ضدباکتری علیه اشرشیاکولی چشم‌انداز آینده گسترش تحقیقات نانوذرات اکسید روی در صنایع مختلف مانند پزشکی، دارویی، غذایی، و آرایشی و بهداشتی را بیش از گذشته نشان می‌دهد.

مراجع

- [1] Z. Huang, H. Chen, A. Yip, G. Ng, F. Guo, Z.K. Chen, M.C. Roco, *Journal of nanoparticle research*, **5**, 2003, 333.
- [2] J.W. Rasmussen, E. Martinez, P. Louka, D.G. Wingett, *Expert opinion on drug delivery*, **7**, 2010, 1063.
- [3] Y. Chen, R. Yu, Q. Shi, J. Qin, F. Zheng, *Materials letters*, **61**, 2007, 4438.
- [4] A. Kołodziejczak-Radzimska, T. Jesionowski, *Materials*, **7**, 2014, 2833.
- [5] S. Hajiashrafi, N. Motakef-Kazemi, *Nanomed res j*, **3**, 2018, 44.
- [6] A. Singh, N.B. Singh, S. Afzal, T. Singh, I. Hussain, *Journal of materials science*, **53**, 2018, 185.
- [7] A. Sirelkhatim, S. Mahmud, A. Seenii, N. Haida Mohamad-Kaus, L. Chuo Ann, S. Khadijah Mohd-Bakhori, H. Hasan, D. Mohamad, *Nano-micro letters*, **7**, 2015, 219.
- [8] J. Jiang, J. Pi, J. Cai, *Bioinorganic Chemistry and Applications*, **2018**, 2018, 1.
- [9] A.N. UIHaq, A. Nadhman, I. Ullah, G. Mustafa, M. Yasinza, I. Khan, *Journal of Nanomaterials*, **2017**, 2017, 1.
- [10] Z. Zheng, M. Mounsamy, N. Lauth-de Viguerie, Y. Coppel, S. Harrisson, M. Destarac, C. Mingotaud, M.L. Kahn, J.D. Marty, *Polymer Chemistry*, **1**, 2019, 1.
- [11] I. Kitsou, P. Panagopoulos, T. Maggos, A.Tsetsekou, *Applied Surface Science*, **473**, 2019, 40.
- [12] E. Ferdosi, H. Bahiraei, D. Ghanbari, *Separation and Purification Technology*, **211**, 2019, 35.