

سنتز نانوذرات اکسید روی با استفاده از مایع یونی و بررسی خواص ضد میکروبی آنها

الهه بدیعی^{۱*}، پروانه سنگ پور^۲، مژگان باقری^۱، محمد پازوکی^۳

^۱ پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشکده نانوفناوری و مواد پیشرفته

^۲ استادیار، پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشکده نانوفناوری و مواد پیشرفته

^۳ دانشیار، پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشکده انرژی

تاریخ ثبت اولیه: ۹۲/۴/۱۳، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۹۲/۸/۲۵، تاریخ پذیرش قطعی: ۹۲/۹/۱۸

چکیده اکسید روی یک نیمه رسانا با گاف انرژی گسترده (۳/۳۷eV) می باشد. نانوذرات اکسید روی به طور انتخابی اثرات سمی روی باکتریها دارند، اما در عین حال، برای سلامت بشری بی خطر هستند. مایعات یونی دسته جدیدی از ترکیبات شیمیایی هستند که به علت خواص فوق العاده خود قادر به ایجاد محیط سبز به منظور انجام فرآیندهای شیمیایی می باشند. بنابراین آنها جایگزینی مناسب برای حلال های آلی و معدنی هستند. در این تحقیق نانوذرات اکسیدروی به روش شیمی سبز بر پایه واکنش استات روی و هیدروکسید سدیم در مایع یونی ۱-بوتیل-۳-متیل ایمیدازولیوم کلرید همراه با اعمال اولتراسونیک سنتز شدند. مورفولوژی سطحی و اندازه نانوذرات بوسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مشخص شد. الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) نشان داد که اکسیدروی حاصله دارای ساختار ورتزیت هگزاگونال می باشد. تشکیل، خلوص و خواص نوری نانوذرات اکسیدروی توسط آزمون های نوری مانند UV-Vis و FT-IR بررسی شد. سطح ویژه و تخلخل نانوذرات سنتز شده به کمک آزمون BET مورد بررسی قرار گرفت. فعالیت ضد میکروبی نانوذرات اکسید روی در مقابل باکتری اشرشیاکلی (E.coli) بررسی شد. نتایج نشان داد که نمونه ها فعالیت ضد میکروبی بالایی دارند.

کلمات کلیدی: ضد میکروبی، اکسیدروی، مایع یونی.

Synthesis of ZnO nanoparticles using an ionic liquid and investigation of their antibacterial activity

E. Badiei^{*1}, P. Sangpour², M. Bagheri², M. Pazouki³

**Nanotechnology and Advanced Materials Department, Materials and Energy Research Center*

Abstract Zinc oxide (ZnO) is a wide band-gap semiconductor oxide (3.37 eV). ZnO nanoparticles have selective toxicity to bacteria but exhibit minimal effects on human cells. Ionic liquids (ILs) are a new class of chemical compounds which have many extraordinary properties and are able to create green chemical environments in order to perform chemical processes and are an appropriate alternative for organic and inorganic solvents.

In this work ZnO nanoparticles were synthesized by a green method based on reaction of zinc acetate and sodium hydroxide in, IL 1-butyl-3-methyl imidazolium chloride under ultrasonic irradiation. Surface morphology and size of ZnO nanoparticles was characterized by scanning electron microscopy (SEM). X-ray diffraction pattern (XRD) indicated that ZnO has hexagonal wurtzite structure. Formation and purity of the ZnO nanoparticles was more confirmed with optical analyses such as UV-Vis spectroscopy and Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). Specific surface area and porosity of synthesized ZnO was investigated by Brunaur-Emmett-Teller (BET) analysis. The antibacterial activity of ZnO nanoparticles against Escherichia coli (E. coli) was studied by a colony forming count (CFU) method. Results confirmed that the sample had high antibacterial activity.

Keywords: Antibacterial, ZnO, Ionic liquid.

*عهده دار مکاتبات

نشانی: کرج، مشکین دشت، پژوهشگاه مواد و انرژی

تلفن: -، دورنگار: -، پیام نگار: ebadiei@ymail.com

۱- مقدمه

کاهش مصرف و تولید مواد سمی، طراحی مواد شیمیایی جدید با کارایی قبلی اما کم خطرتر، استفاده از حلال های بی خطر، طراحی برای استفاده از حداقل انرژی، استفاده از مواد تجدید شذنی، کاهش تولید مواد جانبی، استفاده از کاتالیزور، طراحی روش هایی برای از بین بردن مواد زاید، آنالیز لحظه به لحظه برای پیشگیری از آلودگی، و مواد شیمیایی با خطر کمتر استوار می باشند [۶].

مایعات یونی دسته جدیدی از ترکیبات شیمیایی هستند که با خواص و ویژگی های فوق العاده خود قادر به ایجاد محیط شیمیایی سبز به منظور اجرای فرایندهای شیمیایی و جایگزینی مناسب برای حلال های آلی و معدنی می باشند [۷]. مایعات یونی می توانند به عنوان محیط واکنشی عمل کنند که هر دو کاتیون و آنیون آنها به عنوان تمپلت برای سنتز نانومواد به کار رود. توانایی مایعات یونی در تشکیل پیوند هیدروژنی بین ملکولی، آنها را به ابزار مفیدی برای سنتز مواد جدید نانوساختار تبدیل کرده است.

فرآیندهای شیمیایی به کمک التراسونیک در نتیجه ی تشکیل، رشد و نابودی حبابهای درون مایع از طریق امواج صوتی رخ میدهند. در پی نابودی این حبابها، نقاط داغ و پرفشاری با طول عمر چند میکروثانیه بوجود می آید که این شرایط هدایت کننده واکنش های شیمیایی مانند اکسیداسیون، احیا، انحلال و تجزیه برای تولید انواع نانوذرات می باشند. از آنجائیکه آثار شیمیایی این فرآیندها به شدت وابسته به محتوی حبابها و در واقع نوع حلال است، انتخاب حلال هایی با فشار بخار پایین مثل مایعات یونی برای پیشبرد این واکنش ها مطلوبترند.

تعدادی از محققین تهیه نانوساختارهای اکسید روی در مایعات یونی را به کمک امواج اولتراسونیک توصیف کرده اند [۸-۱۳]. اما تا کنون گزارشی برای استفاده از این مایع یونی به کار برده شده در این تحقیق در این روش سنتزی با استفاده از اولتراسونیک نشده است.

در این تحقیق از روش شیمی سبز با استفاده از مایع یونی ۱-بوتیل-۳-متیل ایمیدازولیوم کلرید، نانوذرات اکسید روی تهیه شدند و خواص ضد میکروبی آنها بررسی شد.

امروزه دستیابی به مواد ضد عفونی کننده و ضد میکروبی که تشکیل محصولات جانبی مضر را در پی نداشته باشند، مسئله ای رو به گسترش در جهان است. به موازات توسعه سریع زندگی بشری، کنترل میکروارگانیسم های مضر هم امری غیر قابل اجتناب است. طیف گسترده ای از میکروارگانیسم ها در تعادل با محیط زندگی انسان ها می باشند، اما رشد سریع و کنترل نشده آن ها می تواند منجر به بروز مشکلات جدی شود [۱]. در تحقیقات قبلی انجام شده برخی از اکسیدهای سرامیکی، اکسید کلسیم، اکسید منیزیم و همچنین بسیاری از نانو ذرات اکسیدهایی چون نانوذرات اکسید روی و مس فعالیت ضد میکروبی قابل توجهی از خود نشان داده اند [۲].

اکسید روی، یک اکسید نیمه رسانا با گاف انرژی گسترده (۳eV) و یک لبه باند هدایت است که تقریباً در سطح یکسان TiO₂ قرار دارد؛ اما میزان تحرک الکترون ZnO، بیشتر از تحرک الکترون TiO₂ است [۳]. رفتار فتوکاتالستی اکسید روی می تواند منجر به تولید انواع اکسیژن فعال شود که توانایی تخریب ویروس ها را داشته و همچنین قادر به از بین بردن غشای سلول باکتریایی می باشد [۴]. نانوذرات اکسید روی فعالیت ضد میکروبی بیشتری نسبت به اکسید روی توده دارد، زیرا اندازه کوچک (کمتر از ۱۰۰ نانومتر) و نسبت سطح به حجم بالای نانوذرات باعث برهمکنش بهتر آن با باکتری می شود. تحقیقات اخیر نشان داده است که این نانوذرات اثر سمی انتخابی بر روی باکتری داشته و اثر سمی کمی بر روی سلول های انسان دارند. نانوذرات اکسید روی فعالیت ضد میکروبی در مقابل محدوده وسیعی از باکتریها هم از نوع گرم مثبت (positive gram) و نیز گرم منفی (gram-negative) دارند [۵].

شیمی سبز طراحی و استفاده از روش هایی است که خطرات زیست محیطی را در ساخت و استفاده از مواد شیمیایی حذف می کند. همچنین، این روش ها برای کاربردهای صنعتی ارزانتر هستند. این روشها بر طبق اصول دوازده گانه شیمی سبز شامل جلوگیری از تولید ضایعات، طراحی روش های مناسب سنتز در جهت افزایش ترکیب تمامی مواد استفاده شده در فرآیند برای تولید محصول نهایی،

۲- نحوه انجام آزمایش

مایع یونی ۱-بوتیل-۳-متیل ایمیدازولیوم کلرید بر اساس واکنش ابوتیل کلرید (شرکت مرک آلمان) و N-متیل ایمیدازول (شرکت مرک آلمان) با نسبت مولی ۱:۱/۱ در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد تهیه شد. واکنش بعد از ۳ روز کامل شده و مایع یونی حاصله برای چندین بار با دی اتیل اتر شسته و در خشک کن خشک گردید. برای تهیه نانوذرات اکسید روی از پیش ماده استات روی از شرکت مرک (MERCK) آلمان با خلوص ۹۹/۵٪، هیدروکسید سدیم (شرکت آنالار (Analar) انگلیس با خلوص ۹۸٪) و مایع یونی سنتز شده به نسبت مولی ۱:۳:۱ استفاده شد. استات روی و هیدروکسید سدیم به طور جداگانه در هاون عقیق سابیده شد. سپس این دو پودر کاملاً با یکدیگر مخلوط شده و مایع یونی به آنها اضافه شده و توسط اولتراسونیک (ساخت آلمان- شرکت Retsch، مدل URI و با توان ۲۴۰W و بسامد KHz ۳۵) به مدت ۱۰ دقیقه سه بار بصورت متناوب و با فاصله ۵ دقیقه بین پالس‌های اعمالی، مخلوط شدند تا مخلوط یکنواختی بدست آمد. سپس مخلوط حاصله چندین بار با آب شسته و سانتریفیوژ شد. در پایان عمل شستشو نیز یکبار با اتانول کامل مرک انجام شده و محصول به مدت دو ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آون، خشک گردید.

جهت بررسی ساختار کریستالی نانوساختارهای

اکسیدروی بدست آمده از تکنیک XRD (Philips PW 3710) با لامپ کبالت و برای بررسی پیوندهای پودر حاصله و نیز وجود ناخالصی‌های احتمالی، از آزمون FTIR با دستگاه Perkin Elmer, Spectrum RXI استفاده گردید. مورفولوژی و ابعاد نانوذرات با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM (VEGA/TESCAN) و خواص نوری نمونه با اسپکتروفتومتر UV-Vis (ساخت آمریکا- PerkinElmer مدل Lambda25) مورد بررسی قرار گرفت. میزان سطح ویژه ی نانوذرات، اندازه و توزیع تخلخل آنها با اندازه گیری ایزوترم جذب مولکول های گاز نیتروژن با استفاده از آزمون BET (BelsorpMill/Gemini2375) بدست آمد.

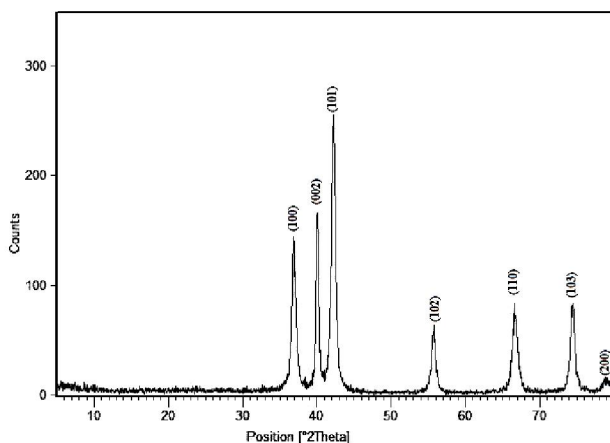
عملکرد ضد میکروبی در مقابل باکتری E.coli با استفاده از

روش واحد کلونی ساز (CFU: Colony forming Unit) مورد

بررسی قرارگرفت. در این روش باکتری تازه (Escherchiacoli ATCC 25922, PTCC) با غلظت 10^5 (CFU/ml) در لوله های آزمایش حاوی ۹ ml از محیط کشت مایع، کشت داده شد. ۰/۰۳ گرم از نانوذرات تهیه شده، به لوله ها اضافه شده و سوسپانسیون حاصل به مدت ۱۲ ساعت و تحت دمای ۳۷ درجه سانتی گراد گرماگذاری (انکوبه) شدند. پس از گرماگذاری سوسپانسیون حاوی نانوذرات و نمونه شاهد به اندازه 10^{-3} ، 10^{-4} و 10^{-5} مرتبه رقیق شده و روی پلیت های آگار، کشت داده شدند. سپس پلیت ها تحت گرماگذاری به مدت ۱۲ ساعت و ۳۷ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. پس از آن تعداد کلونی های ایجاد شده در هر مورد شمارش شده و با نمونه شاهد مقایسه گردید. برای هر رقت، آزمایش سه بار انجام شد [۱۴].

۳- بحث و نتایج

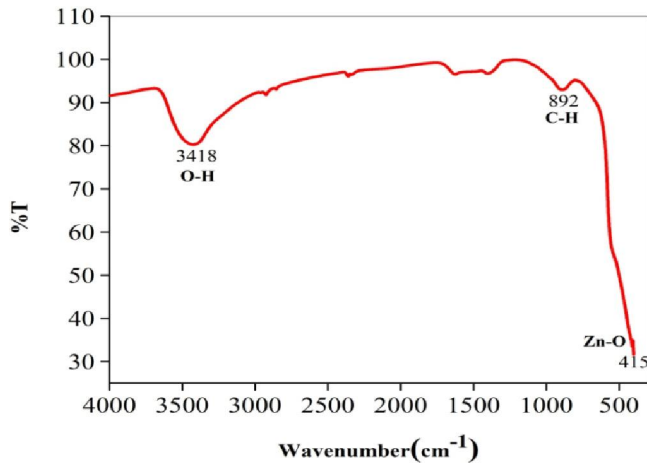
شکل (۱) نشاندهنده الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به نانوساختار بدست آمده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود، نمونه حاصله مطابق با کارت شماره 01-079-0207 دارای ساختار کریستالی هگزاگونال و رتزیت تکفاز بوده و هیچ پیکی مربوط به ناخالصی مشاهده نمی گردد. مقادیر ثوابت شبکه مربوط به ساختار حاصله $a=3/26\text{\AA}$ و $c=5/21\text{\AA}$ می باشد.



شکل ۱. طرح پراش پرتو ایکس از نانوذرات اکسید روی سنتزی.

اندازه بلورک ها با استفاده از رابطه دبای شرر (Debye

Scherrer) $(D=0.9\lambda/\beta\cos\theta)$ محاسبه گردید. در این رابطه،

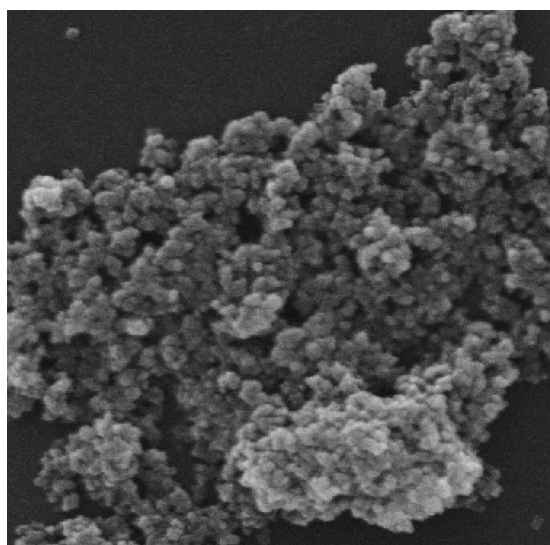


شکل ۲. طیف مادون قرمز تبدیل فوریه نانوذرات اکسید روی حاصله.

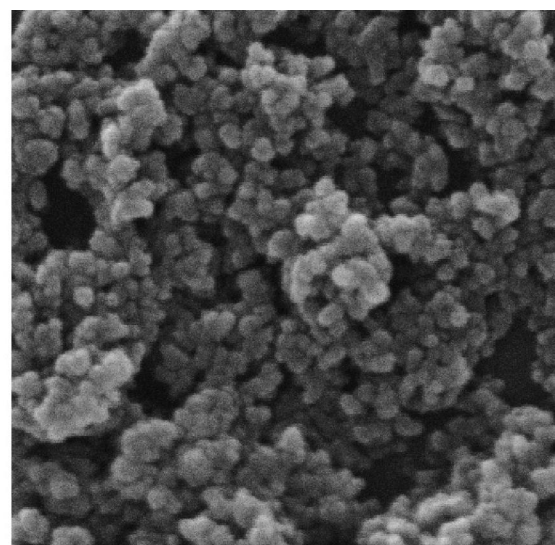
تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مربوط به نانوذرات اکسیدروی حاصله در شکل (۳) آورده شده است. همانطور که در شکل ها مشاهده می شود، نانوذرات از یکنواختی در توزیع اندازه و شکل برخوردار می باشند؛ عمدتاً کروی شکل بوده و متوسط اندازه آنها با استفاده از نرم افزار Image J ۴۵ نانومتر تخمین زده شد.

D متوسط سایز بلورک ها، λ طول موج اشعه ایکس تابیده شده به نمونه (در دستگاه به کار رفته با لامپ کبالت $\lambda=1/78 \text{ \AA}$) و β نصف پهنای پیک در ارتفاع بیشینه است. بر اساس رابطه فوق متوسط اندازه بلورک ها ۲۲/۶ نانومتر محاسبه شد.

طیف FTIR حاصل از پودر در شکل (۲) قابل بررسی است. وجود جذب عریض در ۳۴۱۸ نانومتر مربوط به گروههای هیدروکسیل مولکول های آب است که با پیوند هیدروژنی به سطح نانوذرات اکسید روی متصل هستند. پیک مشاهده شده در عدد موجی ۴۱۵ مشخصه پیوند ارتعاشی اکسیژن - روی می باشد که وجود آنها در کنار نتیجه حاصل از XRD مؤید تشکیل اکسیدروی است. دو پیک ضعیف مشاهده شده در 2917 cm^{-1} و 2850 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی پیوند C-H می باشد. باندهای جذبی در 1622 cm^{-1} و 1382 cm^{-1} حاصل از ارتعاشات کششی متقارن و غیر متقارن پیوند COO^- می باشد [۱۷-۱۵]. همچنین باند مشاهده شده در عدد موجی 891 cm^{-1} احتمالاً مربوط به ارتعاشات خمشی C-H می باشد. به طور کلی پیک های ضعیف مشاهده شده احتمالاً ناشی از باقیمانده بسیار کم استات روی در نمونه اکسید روی حاصله می باشد.



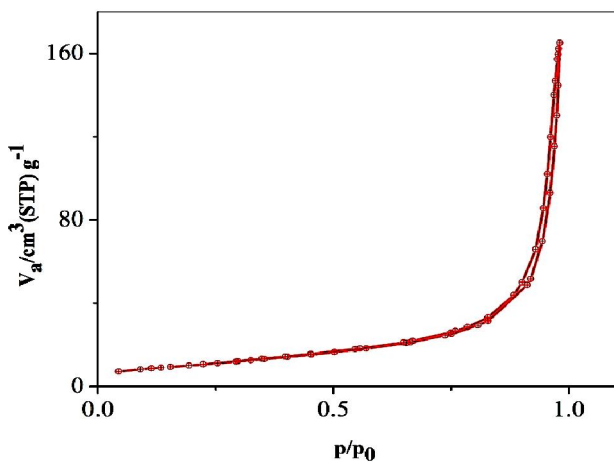
SEM HV: 30.00 kV WD: 5.5532 mm
SEM MAG: 50.00 kx Det: SE
View field: 2.039 μm PC: 16
VEGA\\ TESCAN
500 nm
Performance in nanospace



SEM HV: 30.00 kV WD: 5.5576 mm
SEM MAG: 100.00 kx Det: SE
View field: 1.445 μm PC: 19
VEGA\\ TESCAN
200 nm
Performance in nanospace

شکل ۳. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانوذرات اکسید روی سنتزی

است که آن ماده دارای حفراتی به شکل کروی، استوانه ای و یا شیباری شکل می باشد. سیستم های مشابه شکل (۵) هیچ محدودیتی در جذب حتی در فشارهای بالا ندارند. این شکل در ذراتی دیده می شود که شامل تجمع های صفحه ای شکل هستند و دارای حفرات شیباری می باشند. با توجه به شکل نمودار، می توان نوع منحنی را از نوع III دانست. در ایزوترم نوع III جذب در ابتدا کند است و سپس به علت میعان موئینه سرعت جذب افزایش می یابد.



شکل ۵. نمودار جذب و واجذب هم دمای نانوذررات اکسید روی

نتایج تعیین سطح ویژه، قطر میانگین و حجم کلی تخلخل ها که با استفاده از BET بدست آمد، در جدول (۱) آورده شده است.

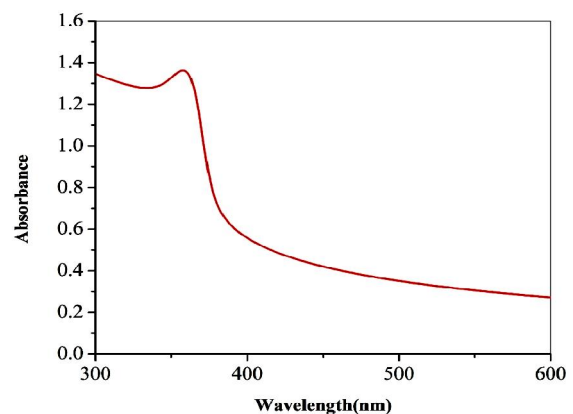
توزیع اندازه تخلخل ها برای نانوذررات با استفاده از تئوری BJH بدست آمده که در شکل (۶) قابل مشاهده است. همانطور که از تصویر قابل استنباط است، نانوذررات حاصله دارای توزیع وسیعی از اندازه تخلخل ها می باشد که محدوده ای تا حدود ۵۰ نانومتر دارد که نشاندهنده متخلخل بودن نمونه می باشد.

جدول ۱. مشخصه های حاصل از آزمون BET مربوط به اکسیدروی

قطر میانگین تخلخل ها (nm)	حجم تخلخل (cm^3g^{-1})	سطح ویژه (m^2g^{-1})
۲۶/۷۴	۰/۲۵۵۴	۳۸/۱۹۹

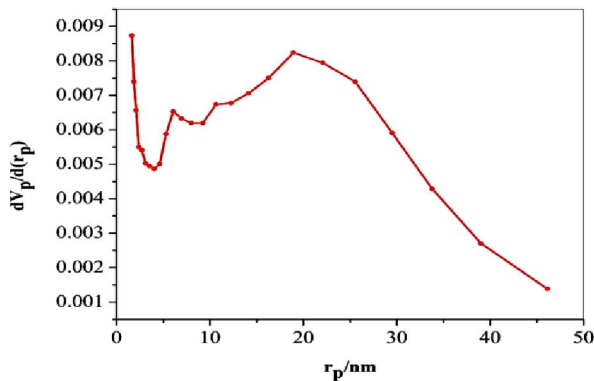
خواص نوری نانوذررات اکسید روی حاصله با استفاده از طیف سنج UV-Vis مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور مقدار معینی از پودر اکسید روی به اتانول اضافه شد و سوسپانسیون حاصله جهت انجام این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، یک قله در محدوده ۳۵۸ نانومتر وجود دارد که در محدوده فرابنفش قرار می گیرد. این پیک به طول موج تهییج اکسیدروی، ناشی از جذب فوتون های تابشی توسط الکترون های نوار ظرفیت نقاط کوانتومی با گاف انرژی ۳/۵eV و انتقال آنها به نوار هدایت نسبت داده می شود [۱۸]. گاف انرژی اکسید روی با استفاده از رابطه پلانک ($E_g = hc/\lambda$) تخمین زده شد. در این رابطه h ثابت پلانک ($h = 4/14 \times 10^{-15} \text{ eVs}$) و c سرعت نور ($c = 2/99 \times 10^8 \text{ m/s}$) و λ طول موج بدست آمده از منحنی مشتق جذب می باشد. با استفاده از این رابطه، انرژی باند گپ برای این نمونه ۳/۵ الکترون ولت تخمین زده شد.

فاصله باند ۳/۳ الکترون ولت در اکسید روی توده یک لبه جذب تقریباً در ۳۸۴ نانومتر دارد. بنابراین در مقایسه با اکسید روی توده، یک شیفت آبی در طول موج جذبی اکسایتونیک (excitonic) به سمت طول موج های کوتاهتر برای اکسید روی سنتز شده دیده می شود. این شیفت به سمت طول موج کمتر دلیلی برای کوچکتر بودن سایز نانوذررات اکسید روی نسبت به اکسید روی توده می باشد [۱۹، ۲۰].



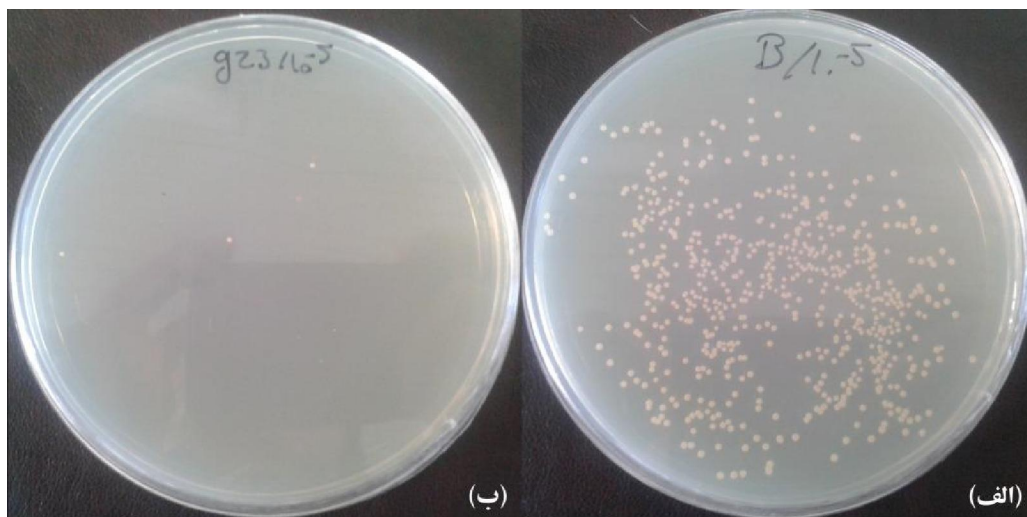
شکل ۴. طیف جذبی UV/Vis نانوذررات اکسید روی حاصله

شکل (۵) نمودار جذب و واجذب هم دمای نانوذررات حاصله را نشان می دهد. وقتی که در نمودارهای جذب-دفع نیتروژن حلقه ای (hysteresis) مشاهده می شود بیانگر این



شکل ۶. نمودار توزیع اندازه قطر تخلخل های اکسیدروی حاصله

همانطور که در قسمت قبل اشاره شد، از روش شمارش واحد کلونی، برای بررسی فعالیت ضد میکروبی نانوذرات در مقابل باکتری اشرشیاکلی (E.Coli) استفاده گردید. ترکیب محیط کشت مورد استفاده شامل پپتون (۱۰ gr/lit)، نمک طعام (۱۰ gr/lit)، عصاره مخمر (۵ gr/lit) و آگار (۲۰ gr/lit) می باشد. برای محاسبه، تعداد کلونی های تشکیل شده روی هرکدام از ظرف حاوی محیط کشت مغذی شمارش شد. تصاویر ظروف محیط کشت باکتری ها در حضور نانوذرات و در غیاب آن (نمونه شاهد) در شکل (۷) قابل مشاهده است.



شکل ۷. محیط کشت باکتری E.Coli با و بدون نانوذرات اکسید روی با غلظت ۳/۳۳ gr/lit؛ (الف) نمونه شاهد، (ب) محیط کشت حاوی نانوذرات

اکسیدروی که در ناحیه فرابنفش قرار دارد، برای عملکرد ضد میکروبی نانوذرات اکسیدروی اشعه فرابنفش برای تهییج الکترون ها و ایجاد جفت الکترون- حفره مورد نیاز می باشد. لذا با توجه به اینکه آزمون ضد میکروبی انجام شده در محیط تاریک و بدون تابش فرابنفش صورت گرفته و نتیجه نهایی فعالیت بالای نانوذرات را نشان می دهد، می توان اینگونه استنتاج نمود که در اینجا نانوذرات اکسیدروی به طور مستقیم غشای باکتری را تخریب کرده و باعث از بین بردن آن شده اند.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق نانوذرات اکسید روی بر اساس روش شیمی سبز با استفاده از مایع یونی ۱-بوتیل-۳-متیل ایمیدازولیوم

فعالیت ضد میکروبی نانوذرات بر اساس رابطه $R=100(B-A)/B$ محاسبه گردید. که در آن، R = درصد کاهش، A = تعداد باکتری های شمارش شده در نمونه (cfu/ml) و B = تعداد کلونی های شمارش شده در نمونه شاهد (cfu/ml) می باشد. بر اساس محاسبات فوق، میانگین عملکرد ضد میکروبی نانوذرات اکسید روی حاصله برای ۳ مرتبه شمارش باکتری ها مقدار ۹۹/۲۳٪ بدست آمد.

تاکنون مکانیزم فعالیت ضد میکروبی به روشنی مشخص نشده است. اما به طور کلی مکانیزم های مختلفی برای خواص ضد میکروبی قوی نانوذرات اکسیدروی ارایه شده است که از آن جمله می توان به تولید فتوکاتالیستی انواع اکسیژن فعال که اجزای سلولی و ویروس ها را تخریب می کند و نیز از بین بردن غشای سلول باکتریایی اشاره کرد (۴). با توجه به گاف انرژی

10. K. Goharshadi E.K, Ding Y, Jorabchi M.N, Nancarrow P, "Ultrasound-assisted green synthesis of nanocrystalline ZnO in the ionic liquid [hmim][NTf₂]" *Ultrasonics Sonochemistry* 16(2009) 120-123.
 11. Alammar T, Mudring A.V, "Sonochemical Synthesis of 0D, 1D, and 2D Zinc Oxide Nanostructures in Ionic Liquids and Their Photocatalytic Activity" *ChemSusChem.*, 4 (2011) 1796-804.
 12. Chen C, Li Q, Nie M, Lin H, Li Y, Wu H, Wang Y, "An efficient room-temperature route to uniform ZnO nanorods with an ionic liquid" *Materials Research Bulletin* 46 (2011) 888-893.
 13. Kowsari E, Ghezelbash MR, Ionic liquid-assisted, facile synthesis of ZnO/SnO nanocomposites, and investigation of their photocatalytic activity" *Mater. Lett.*, 68 (2012) 17-20.
 14. Kavitha T, Gopalan AI, Lee K.P, Park S.Y, "Glucose sensing, photocatalytic and antibacterial properties of graphene-ZnO nanoparticle hybrids" *Carbon* 50 (2012) 2994-3000.
 15. Zhang Y, Zhu F, Zhang J, Xia L, "Converting Layered Zinc Acetate Nanobelts to One-dimensional Structured ZnO Nanoparticle Aggregates and their Photocatalytic Activity" *Nanoscale Res. Lett.*, 3 (2008) 201-204.
 16. Sakohara S, Ishida M, Anderson M.A, "Visible Luminescence and Surface Properties of Nanosized ZnO Colloids Prepared by Hydrolyzing Zinc Acetate" *The Journal of Physical Chemistry B* 102 (1998) 10169-10175.
 17. Choy J.H, Kwon Y.M, et al. "Intra- and inter-layer structures of layered hydroxy double salts, Ni_[1-x]Zn_[2x][OH]_[2](CH_[3]CO_[2])_{[2x].nH₂O}" Amsterdam, PAYS-BAS: Elsevier; 1998.
 18. Yang J.H, Zheng J.H, Zhai H.J, Yang L.L, Zhang Y.J, Lang J.H, et al. "Growth mechanism and optical properties of ZnO nanotube by the hydrothermal method on Si substrates" *Journal of Alloys and Compounds* 475(2009)741-744.
 19. Vatankhah C, Ebadi A. "Quantum Size Effects on Effective Mass and Band gap of Semiconductor Quantum Dots" *Research Journal of Recent Sciences* 2 (2013) 21-24.
 20. S.M. Soosen S.M, George, K.C, "Optical properties of ZnO nanoparticles" *SB Academic Review* (2009) 57-65.
- کلرید تهیه شد. ساختار، مورفولوژی و خواص نوری نانوذرات اکسید روی سنتز شده با استفاده از تکنیک های متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله بیانگر این می باشد که اکسید روی حاصله از نانوذرات کروی با متوسط سایز ۴۵ نانومتر تشکیل شده است. همچنین نمونه به صورت متخلخل بوده و از سطح ویژه نسبتاً خوبی برخوردار می باشد. اکسید روی حاصله تقریباً خالص بوده و فقط ناخالصی بسیار کمی از استات روی در طیف مادون قرمز نمونه مشاهده می شود. خواص ضد میکروبی نمونه بر روی باکتری اشرشیاکلی بررسی شد و نتایج نشان می دهد که نانوذرات اکسید روی حاصله از فعالیت ضد باکتری بالایی (حدود ۹۹٪) برخوردار می باشد.

مراجع

1. Morteza-Semnani K, Saedi M, Mahdavi MR, Rahimi F. "Antimicrobial effects of methanolic extracts of some species of *Stachys* and *Phlomis*", *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 17 (2007) 57-66.
۲. زاده اح. بررسی ضریب حساسیت و کیتیک مرگ اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس نسبت به نانو ذرات اکسید روی و اکسید مس. *مجله دانشکده پزشکی اصفهان*. ۱۳۹۱.
3. Li B, Liu T, Wang Y, Wang Z. "ZnO/graphene-oxide nanocomposite with remarkably enhanced visible-light-driven photocatalytic performance", *J. Colloid Interface Sci.*, 377 (2012) 114-21.
4. Li Q, Mahendra S, Lyon DY, Brunet L, Liga MV, Li D, et al. "Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: Potential applications and implications" *Water Res.*, 42(2008) 591-602.
5. Wahab R, Kim Y.S, Mishra A, Yun S.I, Shin H.S, "Formation of ZnO Micro-Flowers Prepared via Solution Process and their Antibacterial Activity" *Nanoscale Res. Lett.*, 5 (2010)1675-81.
6. Paul T, Anastas J.C.W., "Green Chemistry: Theory and Practice" Oxford University Press. 2000:30.
7. Bosmann A, Datsevich L, Jess A, Lauter A, Schmitz C, Wasserscheid P, "Deep desulfurization of diesel fuel by extraction with ionic liquids" *Chem. Commun.*, 23 (2001) 2494-5.
8. Hou X, Zhou F, Sun Y, Liu W, "Ultrasound-assisted synthesis of dendritic ZnO nanostructure in ionic liquid" *Mater. Lett.*, 61 (2007) 1789-1792.
9. Das S, Ghosh S, "Fabrication of different morphologies of ZnO superstructures in presence of synthesized ethylammonium nitrate (EAN) ionic liquid: synthesis, characterization and analysis" *Dalton Transactions* 42 (2013)1645-56.