

## اثرات ضدمیکروبی نانوذرات اکسیدروی بر پایه سیلیکاژل تهیه شده با روش نمک مذاب

محمد قربان پور

استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

نویسنده مسئول مکاتبات: Ghorbanpour@uma.ac.ir

(دریافت مقاله: ۹۴/۱۰/۲۹ پذیرش نهایی: ۹۶/۶/۲۱)

### چکیده

هدف از تحقیق حاضر ارائه روشی جدید جهت تهیه نانوکامپوزیت اکسیدروی/سیلیکاژل می باشد. بدین منظور، از غوطه‌ور کردن سیلیکاژل در نمک مذاب سولفات روی در دمای ۵۶۰ درجه سلسیوس استفاده شد. برای سنتز این نانوکامپوزیت از هیچ عامل احیا کننده و یا ماده شیمیایی به غیر از سولفات روی استفاده نشد و با این روش سنتز نانوذرات و تثبیت آن‌ها بر روی پایه در زمانی کمتر از ۶۰ دقیقه میسر گردید. نانوکامپوزیت اکسیدروی/سیلیکاژل ساخته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی و اسپکترومتر فرابنفش-مرئی مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج میکروسکوپ الکترونی روبشی مشخص شد که تماس سیلیکاژل با نمک مذاب منجر به تشکیل نانوذرات بر روی سطح سیلیکاژل شده است. از سوی دیگر، افزایش زمان تماس موجب بزرگ‌تر شدن نانوذرات اکسید روی شد. نتایج حاصل از کشت میکروبی نشان دادند که با تماس ۶۰ دقیقه‌ای مابین سیلیکاژل و نمک مذاب نانوکامپوزیت بهینه با کشندگی بالای ۹۹/۸۵ درصد علیه باکتری /شریشیا کولای به دست آمد. تست آب‌شویی نیز بر پایداری نانوکامپوزیت‌های ساخته شده دلالت داشت و میزان رهاسازی روی در آب کمتر از ۱/۵ درصد بود.

**واژه‌های کلیدی:** اکسیدروی، پایداری، سیلیکاژل، ضدمیکروب، نانوکامپوزیت

## مقدمه

استفاده مستقیم از نانوذرات به دلیل اندازه بسیار کوچک آن‌ها می‌تواند برای سلامتی انسان و یا محیط زیست مضر باشد. در صورتی که نانوذرات به طور مستقیم به آب افزوده شوند، هرچند آب به خوبی را ضد عفونی می‌کنند، ولیکن حذف خود این نانوذرات از آب بسیار دشوار و مسئله ساز است. بنابراین، ترکیب نانوذرات با یک پایه زیست سازگار، پایدار و بی اثر ضروری می‌باشد تا از مزایای نانوذرات در کاربردهای مختلف بتوان استفاده نمود. بنابراین، نانوذرات را با توجه به خاصیت آنتی باکتریال آن‌ها می‌توان با پایه‌های گوناگون مخلوط کرد و نانوکامپوزیت حاصل را در تصفیه آب استفاده نمود. لازم به ذکر است اگرچه تثبیت نانوذرات بر روی پایه به دلیل کاهش سطح آن‌ها می‌تواند منجر به کاهش خاصیت ضد میکروبی آن‌ها شود، لذا نانوکامپوزیت حاصل خواص ضد میکروبی قابل قبول علیه انواع میکروب‌ها دارد. تاکنون پایه‌های مختلفی همانند شیشه، بنتونیت، زئولیت و پلیمرهای مصنوعی برای تهیه نانوکامپوزیت‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (Stani *et al.*, 2010; Ghorbanpour and Lotfiman, 2016). از میان این پایه‌ها، سیلیکاژل ماده‌ای بی اثر، آب دوست و ارزان قیمت با سطح نسبتاً زیاد می‌باشد. کامپوزیت نانوذرات اکسید فلز بر پایه سیلیکاژل را می‌توان با روش‌های متنوعی تهیه نمود. در حال حاضر، روش تهیه بر پایه روش‌هایی از قبیل فرآیند تبادل یونی، اشعه گاما، سنتز هیدروترمال، احیای شیمیایی، سولوترمال، آب کاری الکترولس، هیدروترمال و سل ژل می‌باشد (Moritz and Geszke-Moritz, 2013). اکثر این روش‌ها شامل چندین مرحله همراه با

تهیه سطوح ضد میکروبی یکی از کاربردهای فن آوری نانو در صنایع غذایی می‌باشد. در حال حاضر تحقیقات زیادی برای استفاده از نانوتکنولوژی در زمینه ضد عفونی آب انجام می‌شود. بر اساس تحقیقات انجام شده، تعدادی از یون‌های فلزی (روی، مس و نقره) و نانوذرات اکسیدهای فلزی (اکسیدتیتانیوم و اکسیدروی) دارای خاصیت ضد میکروبی می‌باشند (Moritz and Geszke-Moritz, 2013; Gilani *et al.*, 2016; Payami *et al.*, 2016). اکسیدروی به عنوان یک ماده نیمه هادی با خصوصیات نوری و الکتریکی مختلف مطرح است که می‌تواند کاربردهای متنوعی داشته باشد (Srivastava *et al.*, 2013). نانوذرات اکسیدروی دارای خاصیت ضد میکروبی می‌باشند هرچند مکانیسم دقیق عملکرد آن‌ها ناشناخته می‌باشد. سوسپانسیون اکسیدروی و نانوذرات اکسیدروی می‌توانند اجزای واکنش دهنده اکسیژنی و مخصوصاً رادیکال‌های هیدروکسید و اکسیژن تنها با اثرات ضد میکروبی تولید کنند (Yang *et al.*, 2010; Ma *et al.*, 2009). مکانیسم اصلی تأثیر نانوذرات بر روی باکتری‌ها از طریق آسیب بر روی DNA، پروتئین‌ها و تخریب دیواره سلولی می‌باشد (Zhang *et al.*, 2010). تاکنون فعالیت ضد میکروبی نانوذرات اکسیدروی علیه باکتری‌های مربوط به غذا یعنی باسیلوس سابتیلیس، اش‌ریشیا کولای، سالمونلا اینترتیدیس و سودوموناس فلورسانس مورد مطالعه قرار گرفته است (Jiang *et al.*, 2009; Jin *et al.*, 2009; Top and Ülku, 2004; Malachová *et al.*, 2011; Stani *et al.*, 2010).

- شناسایی نانوکامپوزیت سیلیکاژل/اکسیدروی  
تغییرات مورفولوژی نانوکامپوزیت سیلیکاژل/اکسید  
روی توسط دستگاه SEM (LEO 1430VP, Germany) بررسی شد. طیف جذب نور سیلیکاژل و نانوکامپوزیت سیلیکاژل/اکسیدروی تهیه شده، قبل و بعد از تثبیت نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم توسط دستگاه اسپکتروفتومتر طیف جذبی (Sinco S4100, Korea) و تفرق اشعه ایکس (Equinox 3000) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی پایداری نانوکامپوزیت‌های تهیه شده از تست آب‌شویی استفاده شد. مقدار ۰/۲ گرم نانوکامپوزیت در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته و در ۳۰ درجه سلسیوس و ۲۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد (Bagchi et al., 2013). پس از ۳ و ۶ ساعت نمونه برداری شده، نمونه‌ها در ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شده و میزان روی موجود در سوپرناتانت حاصل توسط دستگاه اسپکترومتر جذب اتمی (Varian AA 240, USA) ارزیابی شد.

آنالیز طیف‌نگاری میکروفلوئورسانس اشعه ایکس (EDXRF) توسط دستگاه (XMF-104 X-ray Micro Analyzer) انجام شد. برای این منظور نمونه‌ها در یک محل مشخص و ارتفاع ثابت از پایه نگه‌دارنده قرار گرفتند. دما طی انجام آزمایشات در محدوده ۳۲-۳۴ درجه سلسیوس کنترل شد. ولتاژ و جریان دستگاه به ترتیب ۳۰ KV و ۳۰۰  $\mu$ A به مدت ۵۰ ثانیه تنظیم شد (Ghorbanpour and Falamaki, 2012).

#### - خاصیت ضد میکروبی

برای این منظور، از کشت تازه باکتری‌های *شریشیا کولای* کدورت نیم مک‌فارلند تهیه و از رقت یک‌دهم به لوله آزمایش حاوی ۵ میلی‌لیتر محیط کشت مایع مولر-

رفلاکس با اسید قوی در حضور اولتراسوند و هم‌زدن می‌باشد و چند ساعت تا چند روز طول می‌کشد. هدف از این تحقیق معرفی روشی ساده و سریع برای ساخت نانوکامپوزیت اکسیدروی/سیلیکاژل می‌باشد. بدین منظور، از غوطه‌ورسازی ذرات سیلیکاژل در نمک مذاب روی و از *شریشیا کولای* برای بررسی خواص ضد میکروبی نانوکامپوزیت اکسیدروی/سیلیکاژل استفاده شد.

#### مواد و روش‌ها

سیلیکاژل، نوترینت آگار، مولر هینتون براث و سولفات روی از شرکت مرک و سوش *شریشیا کولای* (PTCC 1270) از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران تهیه شدند.

#### - تهیه نانوکامپوزیت سیلیکاژل/اکسیدروی

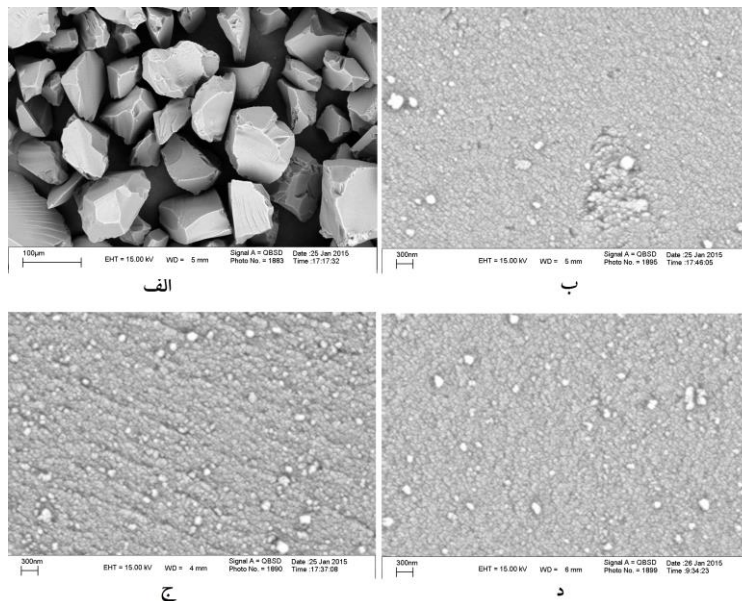
سیلیکاژل در حمام نمک مذاب از سولفات روی (با نسبت وزنی ۱:۱) به مدت ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه در کوره (آسان‌گداز، ایران) با دمای حدود ۵۶۰-۵۷۰ درجه سلسیوس غوطه‌ور شد. پس از زمان مورد نظر و سرد شدن، نمونه‌ها توسط ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول آبکی کلرید سدیم ۰/۱ مولار و سپس مقدار کافی آب با کمک حمام اولتراسوند (نویدآزما پژوهش، ایران) و توان ۶۰ وات و فرکانس ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۲۰ دقیقه شسته شده و در آون (شیماز، ایران) در دمای ۳۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. سیلیکاژل اولیه و نانوکامپوزیت‌های اکسیدروی/سیلیکاژل حاصل بر اساس مدت زمان تماسی که با نمک مذاب داشته‌اند به ترتیب ۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۹۰ نامیده شدند.

می‌دهد. طبق شکل (۱)، با قرار دادن سیلیکاژل‌ها در نمک مذاب، نانوذرات اکسیدروی بر روی سطح آن‌ها تشکیل شده است. با افزایش زمان تماس با نمک مذاب، تعداد نانوذرات تثبیت شده افزایش یافته است. از سوی دیگر، افزایش زمان تماس موجب بزرگ‌تر شدن نانوذرات ZnO می‌شود. به‌طور خلاصه، زمان تماس تأثیر مستقیمی بر روی تعداد ذرات از یک‌سو و هم‌چنین بر روی اندازه نانو ذرات از سوی دیگر داشته است. کاهش اندازه ذرات باعث تغییر ویژگی‌های ساختاری و فیزیکوشیمیایی آن‌ها می‌گردد.

هیئتون براث استریل افزوده شد. سپس مقدار ۰/۰۵ گرم از هر نانوکامپوزیت داخل لوله آزمایش ریخته و لوله‌ها در ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. از لوله‌های فوق رقت سریال تهیه شد و از هر رقت ۱۰۰ میکرون بر روی محیط کشت جامد نوترینت آگار کشت داده شد.

### یافته‌ها

رنگ و شکل ظاهری سیلیکاژل پس از تثبیت ذرات اکسیدروی تغییر فراوانی نداشت. شکل (۱) عکس‌های SEM نانوکامپوزیت اکسیدروی/سیلیکاژل را نشان



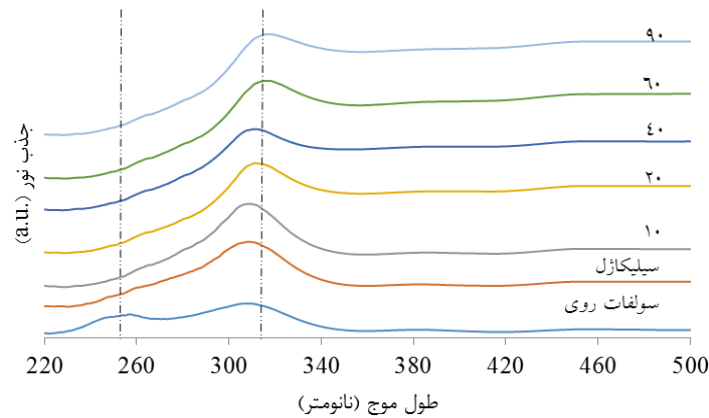
شکل (۱) - عکس SEM سیلیکاژل (الف) و نمونه‌های ۱۰ (ب)، ۴۰ (ج) و ۶۰ (د)

طیف جذبی تمامی نانوکامپوزیت‌ها حذف شده است. با افزایش زمان تماس با نمک مذاب، پیک ۳۰۵ نانومتر دچار تغییر می‌شود. پیک حدود ۳۰۵ نانومتر برای نمونه ۱۰ دقیقه تقریباً متقارن می‌باشد. افزایش بیشتر زمان تماس موجب عدم تقارن این پیک شده است. بر اساس

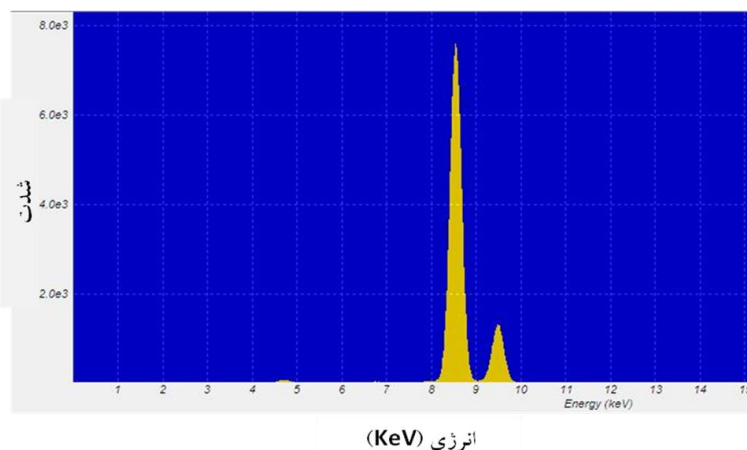
نمودار (۱) طیف جذب نانوکامپوزیت‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود سولفات روی دارای دو پیک در طول موج‌های حدود ۲۵۰ و ۳۰۵ نانومتر می‌باشد. سیلیکاژل نیز دارای یک پیک در طول موج حدود ۳۰۵ نانومتر نشان داد. پیک ۲۵۰ نانومتر در

گزارشات موجود، شکل نمودار طیف جذب نانوذرات با اندازه و توزیع اندازه ذرات تناسب دارد. هر اندازه توزیع اندازه ذرات یکنواخت تر باشد پیک حاصل تیزتر و متقارن تر خواهد بود (Ghorbanpour and Falamaki, 2013). بر این اساس نانوکامپوزیت های حاصل از زمان تماس بیش از ۲۰ دقیقه، موجب غیریکنواختی توزیع اندازه ذرات می شود. این نتایج با نتایج حاصل از SEM (شکل ۱) مطابقت دارد. از سوی دیگر، با افزایش زمان

تماس طول موج بیشینه به سمت طول موج های بلندتر حرکت می کند. این امر با بزرگتر شدن اندازه نانوذرات تشکیل شده بر روی سطح سیلیکاژل ارتباط دارد (Ghorbanpour and Lotfiman, 2016). نمودار (۲) طیف میکرو فلورسانس اشعه ایکس نمونه ۶۰ را نمایش می دهد. پیک موجود در انرژی حدود ۸/۵ eV به اکسیدروی سوار شده بر روی سیلیکاژل ارتباط دارد.



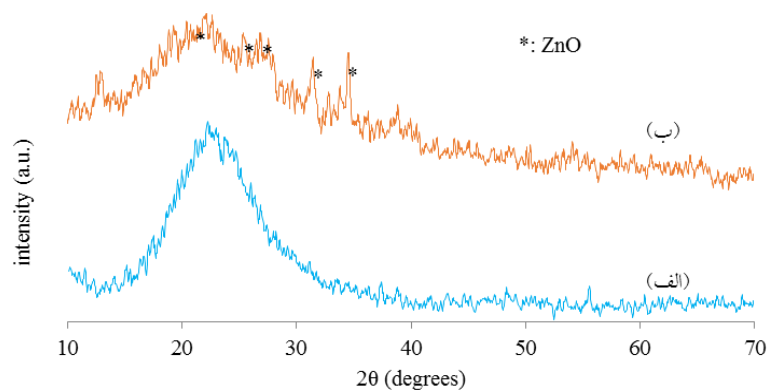
نمودار (۱)- نمودار طیف جذب سولفات روی، سیلیکاژل و نانوکامپوزیت های اکسیدروی/سیلیکاژل



نمودار (۲)- طیف میکرو فلورسانس اشعه ایکس نمونه ۶۰

تغییر و تعدادی پیک جدید در نمودار آشکار می‌شود. بنابراین، این الگو نشانگر تشکیل موفقیت‌آمیز نانوکامپوزیت‌های اکسیدروی/سیلیکاژل است. بنابه گزارشات موجود پیک‌های حاضر در زوایای  $21^\circ$ ،  $25^\circ$ ،  $26^\circ$ ،  $32^\circ$ ،  $33^\circ$  و  $38^\circ$  با فازهای اکسیدروی تطابق دارد (Pouraboulghasem *et al.*, 2016a).

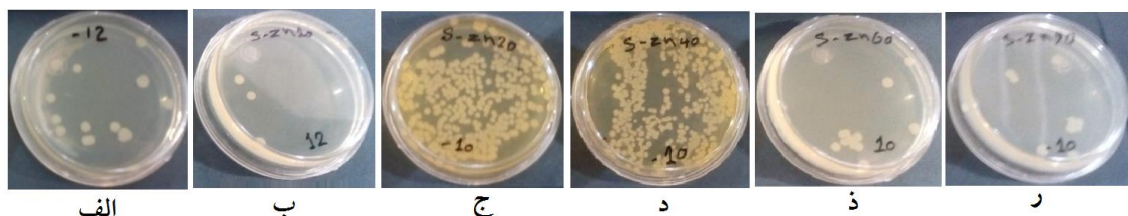
نمودار (۳) پراش اشعه ایکس نانوکامپوزیت‌های اکسیدروی/سیلیکاژل حاصل را نمایش می‌دهد. در این نمودار پیک موجود در زوایای مابین  $15^\circ$  تا  $30^\circ$  درجه سلسیوس نشان دهنده سیلیکاژل می‌باشد (۲۲-۲۴). پس از تشکیل نانوذرات بر روی سیلیکاژل، پیک موجود در زوایای مابین  $15^\circ$  تا  $30^\circ$  باقی می‌ماند هرچند با کمی



نمودار (۳) - منحنی پراش اشعه ایکس سیلیکاژل (الف) و نانوکامپوزیت اکسیدروی/سیلیکاژل نمونه ۶۰ (ب)

درصد کشندگی نانوکامپوزیت‌ها علیه *شریشیا کولای* را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این جدول مشخص می‌شود سیلیکاژل فاقد خاصیت ضد میکروبی است.

شکل (۲) نتایج آزمایش کشت اولیه *شریشیا کولای* و تماس این باکتری با نانوکامپوزیت‌های اکسید روی/سیلیکاژل را نشان می‌دهد. هم‌چنین جدول (۱)



شکل (۲) - نتایج کشت اولیه *شریشیا کولای* (الف) و کشت این باکتری پس از تماس با نمونه‌های ۱۰ (ب)، ۲۰ (ج)، ۴۰ (د)، ۶۰ (ذ) و ۹۰ (ر) به مدت ۲۴ ساعت (الف و ب رقت  $10^{-12}$  و شکل ج تا د رقت  $10^{-10}$  را نشان می‌دهند).

درصد کسندگی نمونه ۶۰ و ۹۰ تغییر فراوانی باهم ندارند (درصد کسندگی معادل ۹۹/۸۴ درصد). این امر را می‌توان به این صورت تفسیر نمود که پس از ۶۰ دقیقه، تقریباً سطح سیلیکاژل از نانوذرات اکسیدروی پر شده است و بیشترین بارگذاری نانوذرات بر روی پایه سیلیکاژل حاصل شده است. بر اساس نتایج حاصل نمونه ۶۰ دارای خاصیت ضد میکروبی بهینه می‌باشد.

از بین نانوکامپوزیت‌های اکسیدروی/سیلیکاژل نمونه ۱۰ دارای کم‌ترین درصد کسندگی به میزان ۲۵/۳۳ درصد می‌باشد. مابقی نمونه‌ها دارای درصد کسندگی به میزان بیش از ۹۸ درصد می‌باشند. با افزایش زمان تماس مابین روی و سیلیکاژل در ساخت نانوکامپوزیت‌های اکسیدروی/سیلیکاژل درصد کسندگی افزایش می‌یابد. با دقت در نتایج مشخص می‌شود که

جدول (۱)- درصد کسندگی نانوکامپوزیت‌های اکسیدروی /سیلیکاژل علیه /شریشیا کولای

نمونه (دقیقه)	تعداد باکتری باقیمانده	درصد کسندگی
۰	$7/5 \times 10^{14}$	۰
۱۰	$5/6 \times 10^{14}$	۲۵/۳۳
۲۰	$1 \times 10^{13}$	۹۸/۶۷
۴۰	$5/2 \times 10^{12}$	۹۹/۳۰
۶۰	$1/2 \times 10^{12}$	۹۹/۸۴
۹۰	$1 \times 10^{12}$	۹۹/۸۶

صنعتی معمولاً از جریان آرام استفاده می‌شود، بنابراین تنش کمتری نسبت به جریان متلاطم مورد استفاده در این آزمایش بر روی نانوکامپوزیت‌ها وارد می‌کند. همان‌طور که جدول (۲) نشان می‌دهد مقدار رهایش روی از تمامی نانوکامپوزیت‌ها بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی می‌باشد.

نتایج تست آب‌شویی نانوکامپوزیت‌های اکسیدروی /سیلیکاژل در جدول (۲) آورده شده است. این نانوکامپوزیت برای میکروپکشی تهیه شده است. از سوی دیگر، هر اندازه پایداری نانوکامپوزیت‌ها بیشتر باشد عمر آن‌ها بیشتر می‌شود. این تست شرایط شدیدتری را نسبت به شرایط استفاده در صنعت بر روی نانوکامپوزیت‌ها اعمال می‌کند. در سیستم‌های

جدول (۲)- نتایج تست آب‌شویی نانوکامپوزیت‌های اکسیدروی/سیلیکاژل پس از ۳ و ۶ ساعت تماس با آب

زمان تماس (ساعت)	غلظت روی آزاد شده در آب (ppm)		
	سیلیکاژل	۲۰	۴۰
۳	۰	۰/۹۶	۰/۹۹
۶	۰	۱/۳۶	۱/۵۲

## بحث و نتیجه گیری

روش های متداول تهیه نانو مواد بر پایه واکنش های شیمیایی و تجهیزات فیزیکی می باشد. واکنش های شیمیایی همانند سل-ژل، احیای شیمیایی و سولوترومال معمولاً شامل چندین مرحله همراه با رفلاکس با اسید قوی در حضور امواج اولتراسوند و هم زدن و چند ساعت تا چند روز زمان می باشد. لذا، تولید نانو مواد فرآیندی زمان بر و پرهزینه می باشد. همچنین، این روش ها معمولاً نیاز به استفاده از احیا کننده سمی همانند سدیم بور هیدرات و حلال های آلی مضر همانند  $N,N$ -دی متیل فرم آمید و یا تتراهیدروفوران دارد (Moritz and Geszke-Moritz, 2013; Jin et al., 2009). این ترکیبات در صورتی که در آب تصفیه شده رها شوند می توانند برای سلامتی مضر باشند. تجهیزات فیزیکی هم بسیار گران بها بوده (Ghorbanpour and Falamaki, 2014) و در اکثر موارد نیاز به استفاده از خلأ های پائین و یا فشارهای بالا دارد (Ghorbanpour, 2016). در این تحقیق، زمان تولید نانوکامپوزیت بهینه ۱ ساعت می باشد و کل فرآیند تولید (توزین مواد و شستشوی محصولات) کمتر از ۲ ساعت طول می کشد. علاوه بر این، در فرایند تولید مطالعه حاضر تنها از سولفات روی به عنوان ماده شیمیایی استفاده شده است و هیچ عامل دیگری مورد استفاده قرار نگرفت. در نتیجه این روش ارزان، دوست دار محیط زیست و قابل صنعتی سازی می باشد. بر اساس نظر سازمان بهداشت جهانی، غلظت قابل قبول روی در آب آشامیدنی  $3-5 \text{ mg/l}$  می باشد. بر اساس نتایج به دست آمده، نانوکامپوزیت های تهیه شده در این تحقیق کمتر از  $2 \text{ mg/l}$  فلز روی در آب

رها می کنند (جدول ۲). در نتیجه استفاده از نانوکامپوزیت اکسیدروی/سیلیکاژل در تصفیه آب، خطری برای سلامتی ایجاد نمی کند (Ma et al., 2010; Motshekga et al., 2013).

بر اساس گزارشات موجود، خاصیت ضدباکتری نانوکامپوزیت اکسیدروی/سیلیکاژل با یون های روی آزاد شده ارتباط دارد (Sondi and Salopek-Sondi, 2004). بر اساس نتایج تست آب شویی تفاوت قابل ملاحظه ای بین یون های روی آزاد شده از نانوکامپوزیت های مختلف تهیه شده وجود ندارد (جدول ۲)، لذا خاصیت ضد میکروبی این نانوکامپوزیت های تفاوت زیادی دارد (جدول ۱). بنابراین، هر چند که یون های روی آزاد شده در خاصیت ضد میکروبی مؤثر هستند، عامل اصلی خاصیت ضد میکروبی این نانوکامپوزیت ها را باید در اتصال مستقیم نانوکامپوزیت ها به دیواره باکتری و تداخل در عملکرد طبیعی دیواره جستجو کرد (Grass et al., 2011). با این استدلال تفاوت موجود در خاصیت ضد میکروبی نانوکامپوزیت های مختلف قابل تفسیر می باشد. زمان های بالاتر قرار دادن سیلیکاژل در نمک مذاب منجر به تشکیل نانوذرات اکسیدروی بر روی سطح سیلیکاژل می شود (شکل های ۱ و ۲). بنابراین در این نمونه ها امکان تماس نانوذرات اکسیدروی با دیواره باکتری بیشتر می شود. در نمونه ۶۰ دقیقه، سطح سیلیکاژل تقریباً به طور کامل از نانوذرات پوشانده شده، بنابراین حداکثر خاصیت ضد میکروبی حاصل می شود. در نتیجه، افزایش بیشتر زمان قرار دادن سیلیکاژل در نمک مذاب موجب افزایش خاصیت ضد میکروبی نشده است.



## سپاسگزاری

## تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی برای اعلام ندارند.

از آقای ابراهیم شرقی کارشناس محترم آزمایشگاه میکروبی‌شناسی دانشکده دامپزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز قدردانی می‌گردد.

## منابع

- Aghazade Choras, F., Ghorbanpour, M. and Shayegh, R. (2015). A novel and quick method for synthesis of antibacterial bentonite/titanium dioxide nanocomposites, *Iranian Journal of Surface Science and Engineering*, 12(29): 1-9. [In Persian]
- Bagchi, B., Kar, S., Dey, S.K., Bhandary, S., Roy, D., Mukhopadhyay, T.K., Das, S. et al. (2013). In situ synthesis and antibacterial activity of copper nanoparticle loaded natural montmorillonite clay based on contact inhibition and ion release. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 1(108): 358-365.
- Gilani, S., Ghorbanpour, M and Jadid, A.P. (2016). Antibacterial activity of ZnO films prepared by anodizing. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 6(2): 1-7.
- Ghorbanpour, M. (2016). Amine accessibility and chemical stability of Silver SPR chips silanised with APTES via vapour phase deposition method. *Journal of Physical Science*, 27(1), 39–51.
- Ghorbanpour, M. and Falamaki, C. (2012). Micro energy dispersive x-ray fluorescence as a powerful complementary technique for the analysis of bimetallic Au/Ag/glass nanolayer composites used in surface plasmon resonance sensors. *Applied Optics*, 51(32): 7733-7738.
- Ghorbanpour, M. and Falamaki, C. (2013). A novel method for the production of highly adherent Au layers on glass substrates used in surface plasmon resonance analysis: substitution of Cr or Ti intermediate layers with Ag layer followed by an optimal annealing treatment. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 3: 1-7.
- Ghorbanpour, M. and Falamaki, C. (2014). A novel method for the fabrication of ATPES silanized SPR sensor chips: Exclusion of Cr or Ti intermediate layers and optimization of optical/adherence properties, *Applied Surface Science*, 301, 544-550.
- Grass, G., Rensing, C. and Solioz M. (2011). Metallic copper as an antimicrobial surface. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(5): 1541–1547.
- Ghorbanpour, M. and Lotfiman, S. (2016). Solid-state immobilisation of titanium dioxide nanoparticles onto nanoclay. *Micro & Nano Letters*, 11(11): 684-687.
- Ghorbanpour, M., Moghimi, M. and Lotfiman, S. (2017). Silica-supported copper oxide nanoleaf with antimicrobial activity against *Escherichia coli*. *Journal of Water and Environmental Nanotechnology*, 2(2): 112-117.
- Jiang, W., Mashayekhi and H., Xing B. (2009). Bacterial toxicity comparison between nano- and micro-scaled oxide particles. *Environmental Pollution*, 157(5): 1619–1625.
- Jin, T., Sun, D., Su, Y., Zhang, H. and Sue H.J. (2009). Antimicrobial efficacy of zinc oxide quantum dots against *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* and *Escherichia coli* O157: H7. *Journal of Food Science*, 74(1): 46–52.

- Lotfiman, S. and Ghorbanpour. M. (2017). Antimicrobial activity of ZnO/silica gel nanocomposites prepared by a simple and fast solid-state method. *Surface and Coatings Technology*, 310:129-33.
- Ma, Y.L., Yang, B., Guo, T. and Xie, L. (2010). Antibacterial mechanism of Cu<sup>2+</sup>-ZnO/cetylpyridinium-montmorillonite in vitro. *Applied Clay Science*, 50(3): 348–353.
- Malachová, K., Praus, P., Rybková, Z. and Kozák O. (2011). Antibacterial and antifungal activities of silver, copper and zinc montmorillonites. *Applied Clay Science*, 53(4): 642–645.
- Moritz, M. and Geszke-Moritz, M. (2013). The newest achievements in synthesis, immobilization and practical applications of antibacterial nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 228(15): 596–613.
- Motshekga, S.C., Ray, S.S., Onyango, M. and Momba, M.N.B.J. (2013). Microwave-assisted synthesis, characterization and antibacterial activity of Ag/ZnO nanoparticles supported bentonite clay. *Journal of Hazardous Materials*, 15(262): 439-446.
- Payami, R., Ghorbanpour, M. and Jadid, A.P. (2016). Antibacterial silver-doped bioactive silica gel production using molten salt method. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 6(3): 215-221.
- Pouraboulghasem, H., Ghorbanpour, M., Shayegh, R., Lotfiman, S. (2016a). Synthesis, characterization and antimicrobial activity of alkaline ion-exchanged ZnO/bentonite nanocomposites, *Journal of Central South University*, 23(4): 787-792.
- Pouraboulghasem, H., Ghorbanpour, M., Shayegh, R., Lotfiman, S. (2016b). Antibacterial activity of copper-doped montmorillonite nanocomposites prepared by alkaline ion exchange method. *Journal of Physical Science*, 27(2): 1-12.
- Sondi, I. and Salopek-Sondi, B. (2004). Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. *Journal of Colloid and Interface Science*, 275(1): 177–182.
- Srivastava, V., Gusain, D. and Sharma Y.C. (2013). Synthesis, characterization and application of zinc oxide nanoparticles (n-ZnO). *Ceramics International*, 39(8): 9803–9808.
- Stani, V., Dimitrijevi, S., Anti-Stankovi, J., Mitri, M., Joki, B., Plećačs, et al. (2010). Synthesis, characterization and antimicrobial activity of copper and zinc-doped hydroxyapatite nanopowders. *Applied Surface Science*, 256(20): 6083–6089.
- Top, A. and Ülkü, S. (2004). Silver, zinc and copper exchange in a Na-clinoptilolite and resulting effect on antibacterial activity. *Applied Clay Science*, 27(1-2): 13– 19.
- Yang, H, Liu, C, Yang, D, Zhang, H and Xi, Z. (2009). Comparative study of cytotoxicity, oxidative stress and genotoxicity induced by four typical nanomaterials: the role of particle size, shape and composition, *Journal of applied Toxicology*, 29(1): 69-78.
- Zhang, L., Jiang, Y., Ding, Y., Daskalakis, N., Jeuken, L. and Povey M. (2010). Mechanistic investigation into antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles against *E. coli*. *Journal of Nanoparticle Research*, 12(5): 1625-1636.

## **Antibacterial property of silica-supported Zinc Oxide prepared by molten salt method**

**Ghorbanpour, M.**

Assistant Professor of Department of Chemical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Corresponding Author's e.mail: ghorbanpour@uma.ac.ir

(Received: 2016/1/19 Accepted: 2017/9/12)

### **Abstract**

The aim of this study was to introduce a new method for producing ZnO/silica gel nanocomposites ZnO/silica gel. Nanocomposites were synthesized by inserting silica gels in a molten bath of zinc sulfate (at 560 °C) for different contact times. Except for zinc sulfate, no reduction agent or chemical material was used for the preparation of nanocomposite. In this method, synthesis of nanoparticles and their immobilization on the substrate were carried out in a period of time less than 60 minutes. The ZnO/silica gel nanocomposites were studied by scanning electron microscopy (SEM) and UV-visible diffusive reflectance spectrometer (UV-Vis DRS). The SEM micrograph showed that the contact of silica gel with molten salt resulted in the formation of nanoparticles on the silica gel surface. On the other hand, by increasing the contact time, ZnO nanoparticles loading was increased. The antibacterial test against *E. coli* revealed that nanocomposites produced by 60 min contact duration, reached a mortality rate of 99.85%. The leaching test demonstrated the stability of the nanocomposites, and the delivery of zinc in water was less than 1.5% for all samples.

**Conflict of interest:** None declared.

**Keywords:** ZnO, Stability, Silica gel, Antibacterial, Nanocomposite