Journal of Military Medicine
2019, Volume 21, Issue 2
Pages: 187-194

Antibacterial comparison between the nanofibers bed of poly vinylidine fluoride–poly vinyl pirilodine containing a sorbent with one metal and two metals

Marziyeh Montazer [1], Rezvan Zendehdel [2*], Fahimeh Goli [1], Zahra Panjali [3], Neda Soleimani [4]

[1] MSc in Occupational Health engineering, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2] Associate Professor, Environmental and Occupational Hazards control Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[3] Ph.D. Candidate, Student Research Committee, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Microbiology, Faculty of Biological Sciences and Technology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 25 March 2018 **Accepted:** 29 April 2019

Abstract

Background and Aim: Developing of antibiotic material is an important new field of research in human health. Antibacterial fibers are used in various areas such as clothing, filters for medical equipment, infection and odor control. Research shows that porous materials containing transition metal have antibacterial activity. In this study, the antibacterial activity was compared for three nanofibers containing zeolite Y with Cu and Zn.

Methods: The ion exchange method was used to produce Cu-zeolite Y, Zn-zeolite Y and Cu, Zn-zeolite Y. The electrospinning technique was used toprepare poly vinylidine fluoride–poly vinyl pirilodine /metal containing zeolite Y nanofibers. Antibacterial properties of nanofibers against *Staphylococcus aureus* and *E-coli* were studied using the zone of inhibition test.

Results: The XRF results demonstrated that 21.86% Cu is loaded in the zeolite Cu Y, 23.25%Zn in the Zn Y and 11.26 % Zn, 8.79% Cu in the Cu, Zn Y from 0.15 M in metals solution. There was homogeneous nanofibers structure in SEM morphology. The average diameter of nano-fibers was 231.91±45 nm. Composite nanofibers showed an inhibitory effect between 11.5 to16 mm for *Staphylococcus aureus* and 11.5 to 15.5 mm for E–coli in zone of inhibition test.

Conclusion: Nanocomposite fiber with Cu, Zn-zeolite Y has a higher zone of inhibition for *Staphylococcus aureus* and *E–coli* than other nanofibers tested in this experiment. Zone of inhibition for Cu-zeolite Y was higher than Zn-zeolite Y. It can be concluded that these fibers can be used to control infections, especially in situations including hospitals, military camps and odor control. However, to validate this, the effectiveness of this nanocomposite and toxicity to humans requires further studies.

Keywords: Antibacterial, Infection Control, Zeolite.

*Corresponding author: **Rezvan Zendehdel**, Email: Zendehdel76@Sbmu.ac.ir

مجله طب نظامی
دوره ۲۱، شماره ۲، خرداد و تیر ۱۳۹۸
صفحات: ۱۹۴-۱۸۷

مقایسه خاصیت آنتی باکتریایی بستر نانوالیاف از پلی وینیلیدین فلوراید/ پلی وینیل پیرولیدون حاوی یک جاذب با ساختارهای تک فلزی و دو فلزی

مرضیه منتظر[۱]، رضوان زنده دل[۲*]، فهیمه گلی[۱]، زهرا پنجعلی[۳]، ندا سلیمانی[۴]

[۱] کارشناس ارشد بهداشت حرفه ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
[۲] دانشیار سم شناسی، مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان آور محیط و کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
[۳] دانشجوی دکتری تخصصی، کمیته تحقیقات و فناوری دانشجویان، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
[۴] استادیار میکروبیولوژی، گروه میکروبیولوژی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: گسترش مواد ضد باکتری یکی از زمینه های تحقیقی مهم در سلامت انسانهاست. فایبرهای ضد باکتری در زمینه های مختلف همچون پارچه های ایده ال و فیلترهای مورد استفاده در وسایل پزشکی، کنترل عفونت و بو کاربرد دارد. مطالعات مختلف نشان می‌دهد ترکیبات حفره دار و حاوی فلزات واسطه خاصیت آنتی باکتریایی مناسبی دارا می باشند. در این مطالعه خاصیت آنتی باکتریایی در سه نانوفایبر حاوی زئولیت Y و شامل فلزات روی و مس مقایسه گردید.

روش‌ها: روش تعویض یونی برای تهیه زئولیتY روی، زئولیتY مس و زئولیتY روی- مس استفاده شد. همچنین تکنیک الکتروریسی برای آماده سازی لیف های پلی وینیلیدین فلوئوراید-پلی وینیل پیرولیدین/زئولیت حاوی فلز استفاده شد. خواص ضدباکتری نانوفایبرها برای باکتری های ای-کلای و استافیلوکک اورئوس با آزمون هاله عدم رشد ارزیابی شد.

یافته‌ها: نتایج XRF نشان داد در محلول ۰/۱۵ مولار از فلزات ۲۱/۸۶ درصد مس درون زئولیت Cu Y و ۲۳/۲۵ درصد روی درون زئولیت Zn Y و ۲۳/۲۶ درصد روی و ۸/۷۹ درصد مس درون زئولیت Zn, Cu Y جاگیر شده است. تصویر SEM ساختاری همگن از نانوفایبرها را تایید نمود. میانگین قطر نانوفایبرها ۴۵ ±۲۳۹/۹۱ نانومتر گزارش شد.کارآیی مهار درکامپوزیت های نانوفایبری ۱۱/۵ تا ۱۶ میلی متر برای استافیلوکک اورئوس و ۱۱/۵ تا ۱۵/۵ میلی متر در ای-کلای و برای آزمون هاله عدم رشد گزارش شد.

نتیجه‌گیری: فایبرهای نانوکامپوزیت حاوی زئولیتY روی- مس بزرگترین هاله عدم رشد را برای استافیلوکک اورئوس و ای-کلای داراست. همچنین هاله عدم رشد در زئولیتY مس بالاتر از زئولیتY روی می باشد.نتایج بدست آمده نشان می دهد استفاده از نانو فایبرها ی زئولیتی حاوی روی و مس می توانند به طور موفقی در مهار عفونت ها به خصوص در بیمارستان های صحرایی، اردوگاه های نظامی و کنترل بو کاربرد داشته باشند.

کلیدواژه‌ها: آنتی باکتریال، کنترل عفونت، زئولیت.

*نویسنده مسئول: **رضوان زنده دل**. پست الکترونیک: Zendehdel76@Sbmu.ac.ir
دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۰۵ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹

مقدمه

با توجه به اهمیت کنترل بیوآئروسل ها و پاتوژن‌ها، در مطالعات مختلف راهکارهای متعددی برای کنترل باکتری ها بکار گرفته شده است. اخیراً فلزات مختلف به عنوان ترکیباتی با خاصیت آنتی باکتریایی قوی در زمینه های مختلف همچون پوشاک و وسایل پزشکی به کار می رود (۱). فلزاتی که خاصیت آنتی باکتری دارند باعث آسیب پذیرشدن غشای باکتری می شوند بطوریکه وزیکول غشایی باکتری ها را حل کرده و سبب پراکنده شدن ترکیبات غشایی بهم ریخته می شوند. اکثریت فلزات خاصیت استرس اکسیداتیو دارا می باشند (۲) و این ترکیبات با آسیب رساندن به غشای باکتری ها باعث کاهش فعالیت برخی آنزیم های غشایی می شوند که در نهایت به مرگ باکتری منجر می گردد ذرات نقره از جمله فلزات مطرح به عنوان یک ترکیب آنتی باکتری است که بر باکتری های گرم منفی و مثبت موثر است (۳, ۴). مطالعات متعدد نشان می دهد که ترکیبات مختلف نقره به طور موفقیت آمیزی مقادیر بالایی از باکتری ها را از بین می برند (۵). از طرفی قیمت زیاد نقره نکته مهمی است و مشکلات اقتصادی مهمترین مانع برای بکارگیری این ترکیب است و جایگزین ساختن فلزات ضد باکتری دیگر به جای نقره در مطالعات مختلف پیشنهاد شده است (۶).

کاربرد مواد آنتی باکتریال برای کنترل عفونت در طب نظامی به دلیل دسترسی محدود به خدمات بهداشتی درمانی بسیار اهمیت دارد. یکی از کاربرد های مواد آنتی باکتریال در الیاف بوده که ضمن حذف عوامل میکروبی در عین حال سمی یا مخاطره آمیز نباشد (۷). اهمیت این مسئله در زمان بروز جراحات در نیروهای نظامی که در اردوگاه های دورافتاده مشغول آموزش یا انجام وظیفه هستند و یا در زمان بروز بحران، جنگ و برپایی بیمارستان های صحرایی بیش از پیش نمایان می شود. لذا بکارگیری مواد آنتی باکتریال با ساختارهای سنتتیک نوین می تواند فرآیند درمان و امداد رسانی را در زمینه کنترل عفونت و عوارض پس از آن تسهیل بخشد (۸–۱۰). در مطالعه مربوط به تاب آوری نظامی از مواد سنتتیک متنوع برای کنترل عفونت ها و افزایش توانایی ضد عفونی استفاده شده است (۱۱). لذا در همین زمینه مطالعات بسیاری صورت گرفته و هدف اغلب آنها تولید یک ساختار آنتی باکتریال برای کنترل عفونت هاست (۱۲–۱۵). به طور مثال Vladkova و همکاران یک بستر آنتی باکتریال سنتتیک را طراحی کرده و کاربرد آن به عامل ضد میکروبی در کاربری های طب نظامی را توضیح داده اند (۱۰).

زئولیت ها ساختارهایی با چارچوب های TO_4 می باشند که T اتم های Si و Al است. این واحدهای چهاروجهی از به اشتراک گذاشتن اتم های اکسیژن اسکلت سه بعدی متخلخل ایجاد می نماید (۱۶). این ساختارهای متخلخل به عنوان جاذب سطحی والک های مولکولی استفاده می گردند (۱۷). ماهیت زئولیت ها از روی خصوصیات حفرات موجود در چارچوب آنها مشخص می شود بطوریکه حجم این حفرات مشخصه ی نوع زئولیت خواهد بود. یون های فلزی بخشی از ساختار زئولیت ها می باشد که امکان جابجایی با یون های فلزی مختلفی را فراهم می نماید (۱۸). باتوجه به این خاصیت در سال های اخیر با جابجا نمودن یون های فلزی با کاتیون های موجود در ساختار زئولیت ها خاصیت آنتی باکتری در این ترکیبات ایجاد شده است (۱۹). وجود ساختارهای حفره دار به گیر انداختن باکتری ها در ساختار زئولیت کمک می کند تا با حضور فلزات درون حفره های زئولیت خاصیت آنتی باکتری به زئولیت های حاوی فلز ببخشد. زئولیتY ترکیب آلومینوسیلیکاتی است که نسبت Si به Al در آن برابر۲/۳ می باشد و در ساختار آن یون سدیم وجود دارد.

با نشاندن ترکیبات آنتی باکتری در ساختارهای نانوپلیمری می‌توان الیافی با کاربردهای متعدد در زمینه های مختلف پزشکی و نساجی ایجاد نمود. یکی از روش های موجود جهت تولید نانوفایبرها روش الکتروریسی است (۲۰). در این روش از محلول مذاب پلیمری و یک منبع تغذیه با ولتاژ بالا استفاده می شود. به منظور تولید نانو الیاف، یکی از الکترودهای منبع تغذیه با ولتاژ بالا به محلول پلیمری و الکترود دیگر به زمین و یا به یک جمع کننده رسانا متصل می گردد. با عبور محلول از درون لوله موئینه، در اثر میدان الکتریکی حاصل از منبع تغذیه پلیمر ازنوک لوله موئینه به سمت جمع کننده کشیده می شود. دراثر حرکت محلول پلیمری، حلال تبخیر شده و رشته هایی با قطر زیر میکرون برروی جمع کننده تولید می گردد و نانو الیاف به صورت لایه هایی به هم پیوسته تولید می شود (۲۱).

مطالعات مختلف نشان می دهد بکارگیری همزمان دو فلز سبب افزایش خاصیت آنتی باکتریایی فلزات می گردد. با بکارگیری ساختارهای دو فلزی همچون نقره – پلاتین (۳) و نقره – مس (۲۲) خاصیت آنتی باکتری فلز نقره افزایش یافته است و با بکارگرفتن مقادیری کمتر از نقره مشکلات به کارگیری این ترکیب به عنوان ماده آنتی باکتری کاهش یافته است. در این مطالعه سه نوع ترکیب زئولیت Y – حاوی فلزات واسطه همچون زئولیت روی، زئولیت مس و زئولیت روی– مس به عنوان ترکیب آنتی باکتری در ساختار نانو فایبر تهیه شده با روش الکتروریسی مورد مطالعه قرار گرفت.

روش‌ها

مطالعه حاضر یک مطالعه آزمایشگاهی بوده که در سال ۱۳۹۷ در دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی انجام شده است. در این مطالعه نانوزئولیتY با توجه به روش ارائه شده در مطالعات قبلی در آزمایشگاه تهیه گردید (۲۳, ۲۴). دی متیل سولفوکسید و نمک های فلزی نیترات روی، نیترات مس از شرکت مرک تهیه گردید. سویه های میکروبی استاندارد استافیلوکک اورئوس ATCC 25922 و ای کُلای ATCC 25923 از شرکت پاتن طب تهیه شد.

تهیه ترکیبات آنتی باکتری نانوزئولیت-Y حاوی فلزات واسطه

برای تهیه نانوزئولیت های فلزی از نانوزئولیت Y روش تبادل یونی استفاده شد (۲۵). به طور خلاصه به ازای هر گرم زئولیت NaY، ۱۵ سی سی از محلول نیترات فلز مورد نظر با غلظت ۰/۱۵ مولار درون یک ظرف تفلون ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در حمام روغن با دمای $^{\circ}C$ ۸۵ رفلاکس شد. بعنوان مثال جهت تهیه زئولیتY روی- مس ۱۵ سی سی محلول حاوی نیترات روی و نیترات مس با غلظت ۰/۱۵مولار از هرکدام استفاده گردید. برای تعیین میزان مس و روی در زئولیت های فلزی از طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) مدل Axford ED2000 استفاده شد.

الکتروریسی نانولیف حاوی ترکیبات آنتی باکتری

۱۶ گرم پلی وینیل پیرولیدون (PVP) و ۴ گرم پلی وینیلیدین فلوراید (PVDf) در ۱۰۰ میلی لیتر از مخلوط استامید و استون (۱:۱) حل گردید و در سه مرحله ۴ درصد از سه نوع ترکیب آنتی باکتری زئولیت روی، زئولیت مس و زئولیت روی- مس به آن اضافه شد و با ولتاژ ۱۸ کیلو ولت در زمان ۴۰ دقیقه با استفاده از دستگاه الکتروریسی مدل ES1000 الیاف حاوی ترکیبات آنتی باکتری تهیه گردید. جهت تعیین مورفولوژی نانوالیاف از دستگاه میکروسکوپ الکترونی SEM مدل EM ۳۲۰۰ استفاده شد.

بررسی فعالیت ضد میکروبی

جهت بررسی خاصیت آنتی باکتریایی نانوذرات از روش انتشار در چاهک و برای نانوالیاف از روش انتشار آگار در دیسک و محیط کشت مولر هینتون آگار استفاده شد. برای این منظور توسط سوآپ استریل از میکروارگانیسم های استاندارد کشت سفره ای بر روی محیط کشت مولر هینتون آگار تهیه شد. جهت تعیین خاصیت ضد میکروبی نانو فایبرها دیسک هایی با قطر ۰/۵ سانتی متر از نانوفایبرها تهیه شد و بر روی دیسک های بلانک قرار داده شد و در پلیت های حاوی محیط کشت سفره ای قرار داده شد. در بررسی فعالیت آنتی باکتری نانو ذرات چاهک هایی به قطر ۶×۴ میلی متر در محیط کشت سفره ای فراهم شد سپس ۱۰ میکرولیتر از سوسپانسیون نانو ذرات با غلظت ۰/۲ درصد در دی متیل سولفوکسید درون چاهک ها ریخته شد. پلیت ها به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد انکوبه شد و هاله عدم رشد بر حسب میلی متر اندازه گیری گردید. هر آزمایش سه بار تکرار شد و میانگین قطر هاله مهاری محاسبه گردید.

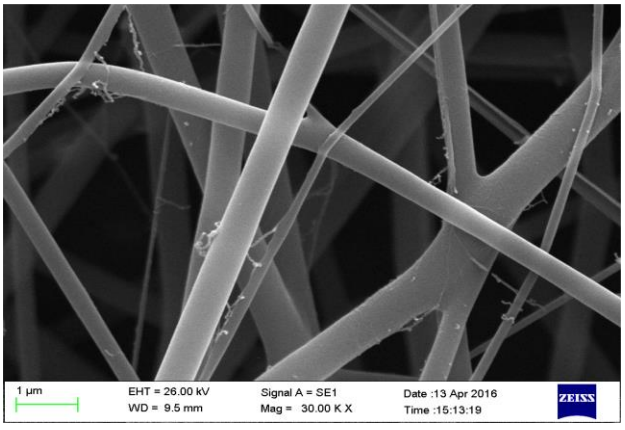
نتایج

نتایج بررسی مورفولوژی نانو ذرات زئولیت Y حاوی فلزات نشان می دهد میانگین اندازه ذرات ۱۵۴/۳۴±۴۰/۰۹ نانومترمی باشد. نتایج مربوط به آنالیز عنصری درسه نوع نانو زئولیت بررسی شده در جدول-۱ مشخص گردیده است. بررسی ها مشخص می گردد که با بکارگیری غلظت مشخص از نمک های فلزی و به میزان ۰/۱۵ مولار بطور میانگین ۲۲ درصد فلز درون زئولیت Yجایگزین شده است.

نانوذرات آنتی باکتری بر روی نانو لیف هایی از پلی وینیل پیرولیدون و پلی وینیلیدین فلوراید الکتروریسی شد. شکل-۱ مورفولوژی SEM تهیه شده از نانو الیاف را مشخص ساخته است. نتایج SEM نشان می دهد میانگین قطر نانو الیاف ۲۳۱/۹۱ نانومتر می باشد و در طول الیاف شکستگی خاصی دیده نمی شود.

جدول-۱. آنالیز عنصری نانو زئولیت های فلزی

نوع زئولیتY	Si/Al (وزنی/وزنی)	نوع فلز	درصد فلز(وزنی/وزنی)
زئولیت مس – روی	۳/۷۰۲۰	روی – مس	۸/۷۹-۱۱/۲۶
زئولیت مس	۳/۸۶۰۲	مس	۲۱/۸۶
زئولیت روی	۳/۷۰۷۲	روی	۲۳/۲۵

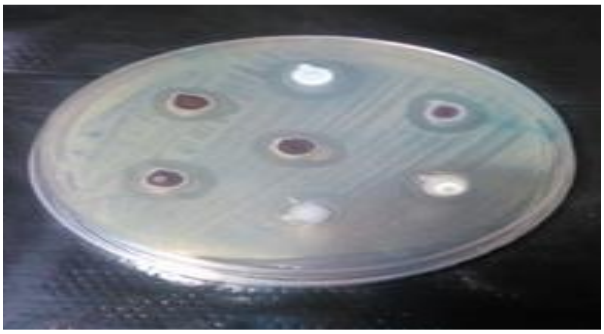


شکل-۱. تصویر SEM از نانو الیاف

خاصیت آنتی باکتریایی نانوزئولیت های حاوی فلزات واسطه و نمونه های نانو الیاف در دو سویه باکتری های استافیلوکوکوس اورئوس و ای کلای بررسی شد. نتایج حاصل از آزمون هاله عدم رشد در شکل-۲ نشان داده شده است.

یافته ها نشان می دهد قطر هاله عدم رشد برای نانو ذرات زئولیت مس - روی بیشترین مقدار است (جدول-۲) بطوریکه در استافیلوکوکوس اورئوس به میزان ۲/۲±۱۶ میلی متر و برای ای کلای ۰/۷۱±۱۵/۵ می باشد. همچنین خاصیت آنتی باکتریایی تمامی ذرات بررسی شده در باکتری استافیلوکوکوس اورئوس بیشتر از باکتری ای کُلای می باشد.

فعالیت ضدباکتری در نانو الیاف حاوی نانو ذرات زئولیت مس بیشتر از نانو الیاف روی در هر دو سویه از باکتری های می باشد (جدول-۳).



شکل-۲. بررسی هاله عدم رشد

جدول-۲. هاله عدم رشد برای نانوذرات آنتی باکتری

نانو ذره	هاله عدم رشد استافیلوکوکوس اورئوس(mm) میانگین±پراکندگی(با۳ تکرار)	هاله عدم رشد ای کلای(mm) میانگین±پراکندگی(با۳ تکرار)
زئولیت مس	۱۴±۱/۴	۱۳/۵±۰/۷۱
زئولیت روی	۱۱/۵±۰/۷۱	۱۱/۵±۲/۱
زئولیت مس-روی	۱۶±۲/۲	۱۵/۵±۰/۷۱

جدول-۳. هاله عدم رشد برای نانوالیاف آنتی باکتری

نانو ذرات	هاله عدم رشد استافیلوکوکوس اورئوس (mm)	هاله عدم رشد ای کلای (mm)
زئولیت مس	۱۱/۵±۰/۵۷	۱۲/۳۳±۱/۴
زئولیت روی	۱۰/۵±۰/۷۱	۱۲/۶۷±۰
زئولیت مس و روی	۱۲/۶۷±۲/۱۲	۱۵±۰/۵۷۷

بحث

رشد سریع و کنترل نشده میکروارگانیسم ها می تواند منجر به بروز مشکلات جدی شود. به هنگام بکارگیری مواد ضدباکتری با ایجاد تغییراتی در ساختار باکتری ها این پاتوژن ها نسبت به مواد آنتی باکتری مقاومت پیدا می کنند و به همین دلیل درکاربرد آنها مشکل ایجاد می گردد. جهت غلبه بر این مشکل تهیه مواد ضدباکتری جدید با کارآیی مناسب اهمیت زیادی دارد. مطالعات مختلف نشان می دهد استفاده از نانو ذرات در از بین بردن پاتوژن های باکتریایی موفقیت آمیز است (۱۰،۲۶).

استفاده از نانوذرات فلزی به عنوان ترکیبات ضدباکتری در مطالعات مختلف مشخص گردیده است (۲۷, ۲۸). یکی از مشکلات فلزات سمیت آنها در سیستم های بیولوژیک است. سمیت فلزات مختلف (۲۹،۳۰) استفاده از آنها را به عنوان ترکیبات ضد باکتری با تردید همراه نموده است لذا محبوس نمودن فلزات در ترکیبات کم خطرتر همچون جاذب ها سمیت فلزات را کاهش می دهد و امکان آزادسازی فلزات را در محیط و ایجاد سمیت در بدن انسان را کاهش می دهد. با توجه به حضور یون سدیم در ساختار مولکولی زئولیت Y در این مطالعه با کمک روش تعویض یونی کاتیون های مس و روی درون ساختار زئولیت قرار گرفت و خاصیت ضد باکتری آنها ارزیابی گردید. با توجه به حضور حفره در ساختار زئولیت به کارگیری فلز درون جاذب زئولیتی امکان افزایش خاصیت آنتی باکتری برای فلزات را داراست. وجود حفره در ساختار زئولیت احتمال گیراندازی پاتوژن ها در ساختار جاذب را افزایش می دهد لذا فرصت کافی برای ایجاد بر هم کنش بین باکتری و ترکیبات فلزی فراهم می گردد.

نتایج این مطالعه نشان داد زئولیت Y-روی دارای کمترین هاله عدم رشد برای باکتری های استافیلوکوکوس و ای کُلای می باشد. بنابراین زئولیت حاوی روی فعالیت ضد باکتریایی کمتری نسبت به زئولیت Y مس و زئولیت Y مس-روی داراست. به کارگیری همزمان دو فلز خاصیت آنتی باکتریایی تک فلز را افزایش

می دهد (۳۱،۳۲). نتایج این مطالعه همراستا با این مطالعات است (۳۳) و هاله عدم رشد برای باکتری های ای کلای و استافیلوکوکوس اورئوس در ساختار زئولیت Yروی- مس نسبت به ساختار زئولیت تک فلزی افزایش یافته است. نتایج بدست آمده در نانوفایبرهای آنتی باکتری کاملاً مشابه با نانوذرات می باشد این قضیه نشان می دهد نانوذرات فلزی در ساختار نانوفایبرها خاصیت ضدباکتری خود را حفظ می نمایند.

بررسی ها نشان می دهد با پوشش دهی الیاف آنتی باکتری حاوی مس بر روی پنبه وسایل و تجهیزات پارچه ای برای کاربری های پزشکی ساخته می شود و به طور موفق برای کنترل باکتری ای کولای و استافیلوکک ارئوس مورد استفاده قرار می گیرد (۳۴). همچنین در مطالعه دیگری برای ساخت لباس سربازان نیروی دریایی از الیاف نانوکامپوزیتی حاوی مس به طور موفقی استفاده شد (۳۵). در مطالعه مروری Patara و Gouda کاربرد نانوالیاف آنتی باکتری به طور وسیع مورد بررسی قرار گرفته که در این حوزه از مهمترین کاربردهای آن به کاربرد نظامی اشاره شده است. بر اساس این تحقیق نانوکامپوزیت ها به دلیل افزایش سطح کارآمدتر از ترکیبات مشابه در اندازه بزرکتر هستند و همچنین فیبرهای نانوکامپوزیتی استحکام سازه ای بیشتری نسبت به انواع غیر فیبری داشته و استفاده از آن را ساده تر می نماید (۳۶). همچنین در یک مطالعه مروری دیگر استفاده از نانوکامپوزیت های آنتی باکتری ساخته شده از مس به عنوان جایگزینی برای فلز نقره مورد بررسی قرار گرفته است که اهمیت به کار گیری ترکیبات سنتتیک و عدم سمیت برای سلول های انسانی را نشان می دهد. این ترکیبات به طور موفقی در کاربردهای طب ، مهندسی و پوشاک نظامی به کار گرفته شده و تجاری سازی شده اند. به عنوان مثال شرکت ®CUPRON به عنوان تولیدکننده تجاری انواع این نانوکامپوزیت ها فعال می باشد (۳۷)

بر اساس نتایج هاله عدم رشد در باکتری های استافیلوکک اورئوس و ای کلای خاصیت ضد باکتری در نانو الیاف مورد بررسی تغییر یافته است. به این ترتیب زئولیت Y مس-روی دارای بیشترین هاله عدم رشد میکروبی و زئولیت Y-روی دارای کمترین هاله عدم رشد میکروبی بوده است.خاصیت آنتی باکتری الیاف مورد استفاده در ای کلای (باکتری گرم منفی) بیشتر از استافیلوکک اورئوس (باکتری گرم مثبت) می باشد. این قضیه بدین دلیل توجیه می گردد که باکتری های گرم مثبت نسبت به انواع گرم منفی دیواره ضخیم تری از پپتید وگلیکان دارند و در نتیجه نفوذ به داخل دیواره و از بین بردن این باکتری ها نسبت به انواع منفی سخت تر می باشد.

تولید نانوکامپوزیت های آنتی باکتریال یکی از تولیدات عصر مدرن است که کاربردهای وسیعی می تواند داشته باشد. با توجه به خاصیت ضد میکروبی استفاده از آنها برای کنترل عفونت در وقوع بحران، جنگ یا بلایای طبیعی تا رسیدن به منطقه امن توصیه می شود. همچنین حالت لیفی این ساختار ها به خوبی قابل پوشش دهی بر روی سطوح پارچه بوده و برای بانداژ زخم ها در رفع جراحات مجروحین مناسب است. همچنین استفاده از این ساختار ها در لباس پرسنل درمانی که با اغلب عفونت ها سرکار دارند و نیز افرادی نظامی که مجبور به استفاده طولانی مدت از لباس ها هستند به عنوان کنترل کننده بو و آلودگی میکروبی به کار پیشنهاد می گردد (۳۷). از کاربردهای دیگر این ترکیبات می توان به فیلترهای هوا در بیمارستان ها و مراکز تحقیقاتی اشاره کرد. در صورتی که این نانوکامپوزیت ها بر روی فیلتر های معمولی پوشش دهی شوند علاوه بر کنترل ذرات و غبارات می توان انتظار داشت که بخش قابل توجهی از عوامل باکتریایی و قارچ ها نیز کنترل گردند. این امر به خصوص در شیوع بیماری های عفونی در فضای داخل بیمارستان و نیز در اتاق های پاک (اتاق عمل و مراکز حساس تحقیقاتی) اهمیت می یابد (۳۸). از آنجایی احتمال حملات تروریستی با منشاء میکروبی در مراکز درمانی ، تحقیقاتی و نظامی کشورمان دور از انتظار نیست و بهترین محل پخش یک عامل میکروبی سیستم تهویه می باشد لذا مجهز کردن فیلتر ها در سیستم های کنترلی هوا می تواند ریسک چنین اقداماتی را تا حد قابل توجهی کاهش دهد.

از محدودیت های این مطالعه استفاده از زئولیت سنتزی است که مقرون به صرفه نمی باشد.تولید الیاف آنتی باکتری که برای بدن انسان کمترین سمیت سلولی را داشته باشند، دست آورد مطلوبی در نظر گرفته می شود (۳۹). برای اطمینان از این عدم آسیب و سمیت نیاز به طراحی مطالعات سم شناسی و میدانی وجود دارد که در نهایت می توان به طور قطعی میزان ایمنی محصول را تضمین کرد و برای کاربردهای طبی به کار گرفت. لذا پیشنهاد می شود برای تحقیقات آتی ساختار این جاذب ها از نظر سمیت سلولی و حیوانی مورد بررسی قرار گیرند.همچنین با بکارگیری فلزات در ساختارهای زئولیت طبیعی امکان تجاری سازی این ترکیبات تسهیل می گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه مشخص ساخت نانوذرات آنتی باکتری از زئولیت فلزی با روش الکتروریسی به خوبی بر روی پلیمرهای از جنس پلی وینیل پیرولیدون و پلی وینیلیدین فلوراید قرار می گیرد. در یک نتیجه گیری کلی نانولیف های حاوی زئولیت مس-روی فعالیت ضد باکتری مناسبی داراست و بکارگیری آن در صنایع مختلف همچون صنعت نساجی، صنایع پزشکی و همچنین کاربری های نظامی آن می تواند بسیار منفعت داشته باشد.

تشکر و قدردانی: بدینوسیله ازهمکاری دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت و ایمنی برای فراهم کردن هزینه های لازم جهت اجرای پروژه تشکر می گردد.

همچنین از همکاری کارشناسان گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی در دانشکده بهداشت و ایمنی کمال تشکر به عمل می آید. این مطالعه حاصل طرح پژوهشی با مرکز تحقیقات عوامل زیان آور محیط و کار در دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی با قرارداد پژوهشی به شماره ۴۴۹۷۹/و/۱۳۹۵ مورخ ۹۵/۷/۳ با کد اخلاق 27 IR. SBMU.PHNS.REC.1395. می باشد.

تضاد منافع: بدین وسیله نویسندگان مطالعه حاضر تصریح می نمایند که هیچگونه تضاد منافعی در این مقاله وجود ندارد.

منابع

1. Lee SJ, Heo DN, Moon J-H, Ko W-K, Lee JB, Bae MS, et al. Electrospun chitosan nanofibers with controlled levels of silver nanoparticles. Preparation, characterization and antibacterial activity. Carbohydrate polymers. 2014;111:530-7.
2. Zendehdel R, Shetab-Boushehricd SV, Azaria MR, Hosseinia V, Mohammadi H. Chemometrics models for assessment of oxidative stress risk in chrome-electroplating workers.2015;38(2):174-179.
3. Boomi P, Prabu HG, Mathiyarasu J. Synthesis and characterization of polyaniline/Ag–Pt nanocomposite for improved antibacterial activity. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2013;103:9-14.
4. Perito B, Giorgetti E, Marsili P, Muniz-Miranda M. Antibacterial activity of silver nanoparticles obtained by pulsed laser ablation in pure water and in chloride solution. Beilstein journal of nanotechnology. 2016;7:465.
5. Sohrabnezhad S, Pourahmad A, Moghaddam MM, Sadeghi A. Study of antibacterial activity of Ag and Ag 2 CO 3 nanoparticles stabilized over montmorillonite. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2015;136:1728-33.
6. Biswas FB, Roy TG, Rahman MA, Emran TB. An in vitro antibacterial and antifungal effects of cadmium (II) complexes of hexamethyltetraazacyclotetradecadiene and isomers of its saturated analogue. Asian Pacific journal of tropical medicine. 2014;7:S534-S9.
7. FEI Y, GAO W, WANG H, WANG Y, CHEN Y. Preparation and Antibacterial Performance of TP-PLA Composite Nanofiber Films [J]. Materials Review. 2010;16.
8. McDonald LC. Trends in antimicrobial resistance in health care–associated pathogens and effect on treatment. Clinical infectious diseases. 2006;42 (Supplement_2):S65-S71.
9. Control CfD, Prevention. Acinetobacter baumannii infections among patients at military medical facilities treating injured US service members, 2002-2004. MMWR Morbidity and mortality weekly report. 2004;53(45):1063.
10. Nur Q, Sari N, editors. Development of Geopolymers Composite Based on Metakaolin-Nano ZnO for Antibacterial Application. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2017: IOP Publishing.
11. Chandrasekera RM, Lesho EP, Chukwuma U, Cummings JF, Waterman PE. The state of antimicrobial resistance surveillance in the military health system: a review of improvements made in the last 10 years and remaining surveillance gaps. Military medicine. 2015;180(2):145-50.
12. Zhou Y, Deng Y, He P, Dong F, Xia Y, He Y. Antibacterial zeolite with a high silver-loading content and excellent antibacterial performance. Rsc Advances. 2014;4(10):5283-8.
13. Egger S, Lehmann RP, Height MJ, Loessner MJ, Schuppler M. Antimicrobial properties of a novel silver-silica nanocomposite material. Appl Environ Microbiol. 2009;75(9):2973-6.
14. Fang M, Chen J-H, Xu X-L, Yang P-H, Hildebrand HF. Antibacterial activities of inorganic agents on six bacteria associated with oral infections by two susceptibility tests. International Journal of Antimicrobial Agents. 2006;27(6):513-7.
15. Krishnani K, Zhang Y, Xiong L, Yan Y, Boopathy R, Mulchandani A. Bactericidal and ammonia removal activity of silver ion-exchanged zeolite. Bioresource technology. 2012;117:86-91.
16. Lutz W. Zeolite Y: Synthesis, modification, and properties-A case revisited. Advances in Materials Science and Engineering. 2014;2014.
17. Xu X, Wang J, Long Y. Zeolite-based materials for gas sensors. Sensors. 2006;6(12):1751-64.
18. Wang S, Peng Y. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. Chemical Engineering Journal. 2010;156(1):11-24.
19. Ferreira L, Guedes JF, Almeida-Aguiar C, Fonseca AM, Neves IC. Microbial growth inhibition caused by Zn/Ag-Y zeolite materials with different amounts of silver. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2016;142:141-7.
20. Bounioux C, Avrahami R, Vasilyev G, Patil N, Zussman E, Yerushalmi–Rozen R. Single-step electrospinning of multi walled carbon nanotubes–Poly (3-octylthiophene) hybrid nano-fibers. Polymer. 2016;86:15-21.
21. Beachley V, Wen X. Polymer nanofibrous structures: Fabrication, biofunctionalization, and cell interactions. Progress in polymer science. 2010; 35(7):868-92.
22. Valodkar M, Modi S, Pal A, Thakore S. Synthesis and anti-bacterial activity of Cu, Ag and Cu–Ag alloy nanoparticles: a green approach. Materials Research Bulletin. 2011;46(3):384-9.
23. Kalhor M, Khodaparast N, Zendehdel M. Facile synthesis of 2-arylbenzimidazoles by nano-CuY zeolite as an efficient and eco-friendly nanocatalyst. Letters in Organic Chemistry. 2013;10(8):573-7.
24. Zhao C, Zhou Y, de Ridder DJ, Zhai J, Wei Y, Deng H. Advantages of TiO2/5A composite catalyst for photocatalytic degradation of antibiotic oxytetracycline in aqueous solution: comparison

between TiO2 and TiO2/5A composite system. Chemical Engineering Journal. 2014;248:280-9.
25. Guczi L, Bazin D. Structure and selectivity of metal catalysts: revisiting bimetallic zeolite systems. Applied Catalysis A: General. 1999;188(1):163-74.
26. Varaprasad K, Raghavendra GM, Jayaramudu T, Seo J. Nano zinc oxide–sodium alginate antibacterial cellulose fibres. Carbohydrate polymers. 2016;135: 349-55.
27. Etacheri V, Michlits G, Seery MK, Hinder SJ, Pillai SC. A highly efficient TiO2–x C x nano-heterojunction photocatalyst for visible light induced antibacterial applications. ACS applied materials & interfaces. 2013;5(5):1663-72.
28. Perelshtein I, Lipovsky A, Perkas N, Gedanken A, Moschini E, Mantecca P. The influence of the crystalline nature of nano-metal oxides on their antibacterial and toxicity properties. Nano Research. 2015;8(2):695-707.
29. San Miguel SM, Opperman LA, Allen EP, Zielinski JE, Svoboda KK. Antioxidant combinations protect oral fibroblasts against metal-induced toxicity. Archives of Oral Biology. 2013;58(3):299-310.
30. Crisponi G, Nurchi VM. Metal ion toxicity. Encyclopedia of Inorganic and Bioinorganic Chemistry. 2016.
31. Nazeruddin G, Prasad R, Shaikh Y, Shaikh A. Synergetic effect of Ag-Cu bimetallic nanoparticles on antimicrobial activity. Der Pharmacia Lettre. 2014;3:129-36.
32. Jaiswal AK, Gangwar M, Nath G, Yadav R. Antimicrobial Activity of Bimetallic Cu/Pd Nanofluids. Journal of Advanced Chemical Engineering. 2016;6(2):151.
33. Paszkiewicz M, Gołąbiewska A, Rajski Ł, Kowal E, Sajdak A, Zaleska-Medynska A. The Antibacterial and Antifungal Textile Properties Functionalized by Bimetallic Nanoparticles of Ag/Cu with Different Structures. Journal of Nanomaterials. 2016.
34. El-Nahhal IM, Zourab SM, Kodeh FS, Selmane M, Génois I, Babonneau F, editors. Nanostructured copper oxide-cotton fibers : synthesis , characterization , and applications2012.
35. Anyaogu KC, Fedorov AV, Neckers DC. Synthesis, characterization, and antifouling potential of functionalized copper nanoparticles. Langmuir. 2008;24(8):4340-6.
36. Patra JK, Gouda S. Application of nanotechnology in textile engineering: An overview. Journal of Engineering and Technology Research. 2013;5(5):104-11.
37. Tamayo L, Azócar M, Kogan M, Riveros A, Páez M. Copper-polymer nanocomposites: An excellent and cost-effective biocide for use on antibacterial surfaces. Materials Science and Engineering: C. 2016;69:1391-409.
38. Martins NC, Freire CS, Pinto RJ, Fernandes SC, Neto CP, Silvestre AJ, et al. Electrostatic assembly of Ag nanoparticles onto nanofibrillated cellulose for antibacterial paper products. Cellulose. 2012; 19(4):1425-36.
39. Sedighi A, Montazer M. Tunable shaped N-doped CuO nanoparticles on cotton fabric through processing conditions: synthesis, antibacterial behavior and mechanical properties. Cellulose. 2016;23(3):2229-43.