

تهیه و ارزیابی نانوجندسازه پلی‌وینیل الکل حاوی نانوذره‌های روی اکسید و مونت‌موریلونیت

نگار معتکف کاظمی^{۱*}، الهه ملاکبری داریان^۲ و راحله حلبیان^۳

۱. دانشیار گروه نانوفناوری پزشکی، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده داروسازی، علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳. دانشیار مرکز تحقیقات میکروبیولوژی کاربردی، موسسه زیست‌شناسی و مسمومیت سیستم‌ها، دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌الله، تهران، ایران.

دریافت: مرداد ۱۴۰۱ بازنگری: دی ۱۴۰۱ پذیرش: دی ۱۴۰۱

doi 10.30495/JACR.2022.1964438.2049

20.1001.1.17359937.1401.16.4.3.1

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، بررسی ویژگی‌های مکانیکی، پادباکتری، و سمیت سلولی نانوجندسازه زیست‌سازگار پلی‌وینیل الکل (PVOH) اصلاح‌شده با نانوذره‌های روی اکسید (ZnO) و مونت‌موریلونیت (MMT) برای تهیه فیلم به‌منظور کاربرد در بسته‌بندی مواد غذایی است. نانوذره‌های اکسید روی به روش آب‌گرمایی با فرایند کاهش شیمیایی سنتز شد. در این روش، نمک روی استات به‌عنوان پیش‌ساز فلز، سود به‌عنوان کاهنده و آب به‌عنوان حلال به‌مدت ۱ ساعت در دمای 80°C به‌کار رفت. شناسایی نمونه‌ها با پراش پرتو ایکس (XRD) برای ارزیابی ساختار بلوری، و میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FESEM) برای بررسی اندازه و شکل نانوساختارها انجام شد. ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌ها بررسی شد و برپایه نتیجه‌ها در فیلم پهنه، رطوبت به $10^{-8} \times 17008$ گرم بر مترمکعب کاهش، استحکام کششی به $0/492$ مگاپاسکال و مدول یانگ به $24/1$ پاسکال افزایش یافت. فعالیت پادباکتری علیه *شرشیاکلی* با روش چاهک آگار ارزیابی شد و نانوجندسازه نهایی بیشترین ویژگی پادباکتری با مساحت هاله عدم رشد $0/64$ میلی‌متر را نشان داد. سمیت سلولی نمونه‌ها با روش سنجش MTT بر رده سلولی HEK293 پس از یک، سه و پنج روز ثبت شد. بیشترین درصد زنده‌مانی سلول‌های نرمال در غلظت $0/25$ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نمونه مشاهده شد و نانوجندسازه نهایی بیشترین زنده‌مانی سلولی را نشان داد. برپایه نتیجه‌های به‌دست آمده، نانوجندسازه حاوی نانوذره‌های روی اکسید و مونت‌موریلونیت می‌تواند قابلیت خوبی برای کاربرد در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی، پلی‌وینیل الکل، مونت‌موریلونیت، نانوذره‌های روی اکسید، نانوجندسازه.

مقدمه

بسته‌بندی مواد غذایی برای محافظت در برابر اکسیژن، میکروبها و دیگر عوامل مخرب خارجی توصیه می‌شود. در سال‌های اخیر، فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر در بسته‌بندی مورد توجه قرار گرفته‌اند، اما به علت مشکلاتی مانند شکنندگی و جلوگیری ضعیف تبادل گاز، کاربردهای محدودی دارند [۱]. نانوچندسازه‌های بسیار به دلیل تجزیه‌پذیری زیستی و ویژگی‌های بهبود یافته، برای کاربرد در صنایع غذایی به سرعت در حال گسترش هستند [۲]. پرکننده‌های نانومقیاس مانند نانوذره‌های نقره [۳]، منیزیم اکسید [۴]، روی اکسید [۵]، رس [۶]، و مونت‌موریلونیت (MMT) [۷] برای اصلاح بسپارها در بسته‌بندی به کار می‌روند. نانو ساختارهای پادباکتری توانایی فعالیت در برابر عامل‌های بیماری‌زا قابل انتقال از مواد غذایی را دارند [۸]، و موجب نابودی میکروبها و افزایش فاز تأخیر در دوره رشد ریزاندامگان‌ها می‌شوند. در نتیجه مانع رشد آن‌ها یا موجب کاهش سرعت رشد آن‌ها و افزایش ماندگاری می‌شود و ایمنی و کیفیت غذا حفظ می‌شوند [۹]. رس با تولید یون‌های فعال، تبادل و انتقال آن‌ها به دیواره ریزاندامگان‌ها و در پایان واکنش یون‌های فعال با پروتئین‌ها یا اسیدهای نوکلئیک ریزاندامگان‌ها، منجر به تخریب و نابودی باکتری می‌شود [۱۰]. پلی‌وینیل الکل به‌عنوان بسپار سنتزی محلول در آب مزایای بسیاری برای تهیه نانوچندسازه دارد [۱۱]. فیلم‌های نانوچندسازه‌ای پلی‌وینیل الکل ویژگی‌های فراوانی مانند پایداری، زیست‌سازگاری و زیست‌تخریب‌پذیری برای بهبود ویژگی مکانیکی [۱۲ و ۱۳] و پادباکتری [۱۴ و ۱۵] دارند. برپایه گزارش‌ها نانوچندسازه پلی‌وینیل الکل اصلاح‌شده با تیمول [۱۶]، نانوبلور سلولز [۱۷]، پلی‌اتیلن گلیکول [۱۸]، گرافن اکسید [۱۹]، رس [۲۰]، مونت‌موریلونیت [۲۱]، و نقره [۲۲ و ۲۳] برای بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند.

اثرشیمیایی به‌عنوان باسیل گرم منفی، پاتوژن قابل انتقال از مواد غذایی شناخته شده است. بیشتر سویه‌های این باکتری، بی‌آزار و بخشی از ریزگان^۲ عادی روده هستند، ولی برخی از آن‌ها موجب مسمومیت غذایی و اسهال می‌شوند [۲۴]. از این رو گسترش فیلم‌های چندسازه‌ای بر پایه نانومواد در بسته‌بندی مواد غذایی با هدف بهبود ویژگی پادباکتری حائز اهمیت است [۲۵ و ۲۶]. سم‌شناسی در نانوفناوری به مطالعه برهم‌کنش‌های نانومواد با سامانه‌های زیستی می‌پردازد تا رابطه‌ای منطقی بین ویژگی فیزیکیوشیمیایی نانومواد و پاسخ‌های زیستی ارائه دهد. از آنجا که فعالیت زیستی و سمیت نانومواد با ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی آن‌ها مانند اندازه، شکل، نسبت سطح به حجم، تراکم، نقص‌های سطحی و ساختاری ارتباط مستقیم داشته، مطالعه اثرات سمیت نانومواد مورد توجه پژوهشگران است [۲۶]. برپایه گزارش‌ها تاکنون تهیه نانوچندسازه پلی‌وینیل الکل - روی اکسید با روش آسیاب مکانیکی [۲۷]، و ارزیابی ویژگی‌های نوری غیرخطی فیلم‌های نانوچندسازه‌ای پلی‌وینیل الکل اصلاح‌شده با روی اکسید [۲۸] انجام شده است. همچنین، اثرات پادباکتری و ویژگی فیزیکی فیلم‌های نانوچندسازه‌ای مبتنی بر PVOH اصلاح‌شده با مونت‌موریلونیت [۲۹]، پایداری فیزیکیوشیمیایی فرمول‌های آرایشی نانوچندسازه‌های PVOH اصلاح شده با نشاسته و مونت‌موریلونیت [۳۰]، کارایی هیدروژل‌های نانوچندسازه پلی‌وینیل الکل اصلاح‌شده با ZnO برای پانسمان زخم [۳۱]، و نانو ساختارهای هیبریدی PVOH اصلاح‌شده با ZnO و Na-MMT با فرایند اکستروژن مستقیم ماده مذاب برای تهیه فیلم‌های بسته‌بندی فعال [۵] ارائه شده است. هدف و نوآوری مطالعه حاضر، بهبود فعالیت پادباکتری، سمیت سلولی، و ویژگی‌های مکانیکی نانوچندسازه پلی‌وینیل الکل اصلاح‌شده با نانوذرات روی اکسید و مونت‌موریلونیت به روش آسان، ارزان و سریع به‌صورت درجا برای

1. Montmorillonite (MMT)

2. Flora

شد. در نهایت، دیسک کاغذی آغشته به نمونه‌های تهیه شده با غوطه‌ورسازی در فاصله مناسب در بشقاب قرار گرفت. بشقاب به مدت ۲۴ ساعت در یک گرم‌خانه با دمای 37°C گذاشته شد تا هاله عدم رشد بررسی شود. سمیت سلولی با دستگاه ELISA plate Reader مدل ۳۲۰۰ شرکت آپرنس آمریکا ارزیابی شد. همچنین، گرم‌خانه برای ساخت فیلم مدل IH-100 انگلیس، آون مدل KM25 شرکت پارس آزما ایران، گرم‌کن همزن‌دار مدل IKA 0008 شرکت IKA-RCT Basic آمریکا، گریزانه مدل EBA-200 شرکت Hettich EBA آمریکا، ترازو مدل HR200 شرکت A&D ژاپن، و دم‌فشار سازمان پژوهش‌های صنعتی ایران استفاده شد. آزمون روش سنجش زنده‌مانی MTT، روش ساده‌ای برای تعیین سلول‌های زنده و در حال رشد در مقایسه با سلول‌های مرده است. سلول‌های در حال رشد تحت تاثیر داروهای متفاوت، عامل‌های سمی و ترکیب‌های اثرگذار بر رشد سلولی هستند. برای انجام این آزمون ابتدا 1×10^4 سلول به درون هر کدام از خانه‌های ۹۶ خانه‌ای کشت داده شد و ۲۰۰ میکرولیتر محیط RPMI^۲ حاوی ده درصد FBS^۳ به آن‌ها افزوده شد. در ادامه به مدت یک شب در گرم‌خانه 37°C با ۵ درصد CO_2 نگهداری شد. سلول‌ها با غلظت‌های مشخص مواد موردنظر تیمار شدند (هر آزمون ۳ بار تکرار شد). پس از گذشت زمان لازم، محیط چاهک‌ها خارج و ۱۰ میکرولیتر از محلول MTT (Sigma, USA) (با غلظت ۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)، همراه با ۹۰ میکرولیتر محیط کشت به سلول‌های موجود در هر چاهک افزوده شد. بشقاب حاوی سلول‌ها و MTT به مدت ۴ ساعت در گرم‌خانه 37°C و ۵ درصد CO_2 ، دور از نور نگهداری شد. سپس محیط چاهک‌ها خارج و ۱۲۵ میکرولیتر محلول نمک فسفات و ۲۵ میکرولیتر دی‌متیل سولفوکسید (DMSO^۴) به هر چاهک افزوده شد.

بسته‌بندی مواد غذایی برپایه استانداردهای بین‌المللی برای بهبود کیفیت آن‌ها با قابلیت بازیافت دوباره است.

بخش تجربی

مواد و روش‌های شناسایی

پلی‌وینیل الکل با درجه بسپارش ۷۲۰۰۰ و روی استات دو آبه $(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ از مرک آلمان خریداری شدند. مونت‌موریلونیت از پاسارگارد نوین و اتانول ۹۶ درصد از پارس الکل تهیه شد. پراش پرتو ایکس با پراش‌سنج مدل XRD d8 ساخت شرکت Bruker آلمان برای ارزیابی ساختار بلوری نمونه‌ها استفاده شد. مولد پرتو ایکس CuK_{α} در 40 kV و 40 mA تنظیم شد. میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی با مدل MIRA3 ساخت شرکت TESCAN جمهوری چک برای بررسی شکل و اندازه نمونه‌ها استفاده شد. آزمون ویژگی مکانیکی با دستگاه مدل Roell FR 010 شرکت Zwick آلمان و تنش‌سنج مدل 64 SR شرکت Spectrum technology آمریکا بررسی شد. فعالیت پادباکتری با روش انتشار دیسک علیه باکتری /شرشیاکلی به‌عنوان باکتری گرم منفی، ATCC 1399، به‌دست‌آمده از دانشگاه آزاد اسلامی بررسی شد. محیط کشت جامد مولر هینتون آگار برای انجام آزمون‌های میکروبی برپایه دستور کار کارخانه سازنده، مرک، تهیه شد. مقدار ۳۴ گرم پودر محیط کشت در ۱ لیتر آب مقطر حل شد و با گرمای ملایم به مدت ۱ دقیقه جوشانده شد. محلول یکنواخت و شفاف به‌دست آمده به مدت ۱۵ دقیقه در دم‌فشار 121°C سترون و سپس تا دمای 45°C تا 50°C سرد شد. مقدار ۵۰ میلی‌لیتر از آن در هر بشقاب سترون ریخته و تا دمای اتاق سرد شد. مقدار کشت میکروبی موردنیاز برای انجام آزمایش‌های میکروبی ۱ میلی‌لیتر از محیط کشت مایع با $10^8 \times$ (۱-۲) باکتری بود. سپس، تعلیق باکتری /شرشیاکلی با سنبه^۱ سترون بر محیط مولر هینتون آگار به‌صورت چمنی کشت داده

1. Swab

2. Roswell Paek Memorial Institute (RPMI)

3. Fetal bovine serum (FBS)

4. Dimethyl sulfoxide (DMSO)

برای تهیه نانوجندساز پلی وینیل الکل حاوی نانوذره‌های روی اکسید، ۵ گرم پلی وینیل الکل در ۲۰ میلی لیتر اتانول و ۳۰ میلی لیتر آب مقطر حل شد. سپس، به محلول نهایی، پیش‌سازهای مورد نیاز برای تهیه نانوذره‌های روی اکسید شامل ۰/۲ گرم روی استات دو آبه و ۱۰ میلی لیتر سود ۱ مولار به صورت هم‌زمان (روش درجا) افزوده شد و به مدت ۱ ساعت تحت همزن مغناطیسی در دمای 80°C قرار گرفت. از این رو، برپایه روش درجا امکان تغییر نسبت و درصد نانوذره‌های روی اکسید در نانوجندساز نیست. در نهایت محلول به دست آمده در دمای محیط سرد و در بشقاب ریخته شد تا در آن تحت خلأ به مدت ۶ ساعت خشک شود. برپایه روش سنتز درجا، امکان تغییر نسبت و درصد نانوذره‌های روی اکسید در نانوجندساز نیست.

تهیه نانوجندساز پلی وینیل الکل حاوی مونت‌موریلونیت

برای تهیه نانوجندساز پلی وینیل الکل حاوی مونت-موریلونیت، مقدار ۰/۲۵ گرم مونت‌موریلونیت در ۲۰ میلی لیتر اتانول و ۸۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت برای پراکندگی کامل تحت همزن مغناطیسی قرار گرفت. لازم به ذکر است، امکان تغییر نسبت و درصد مونت‌موریلونیت وجود دارد، ولی نسبت آن ثابت در نظر گرفته شد تا اثر حضور دو نانوساختار بررسی شود. سپس ۵ گرم پلی وینیل الکل به ترکیب‌های یادشده افزوده شد و مانند روش‌های پیشین در دمای 80°C به مدت ۱ ساعت با همزن مغناطیسی، هم‌زده شد. محلول به دست آمده را در بشقاب ریخته و در آن تحت خلأ در مدت ۶ ساعت خشک شد.

تهیه نانوجندساز پلی وینیل الکل حاوی نانوذره‌های روی اکسید و مونت‌موریلونیت

برای تهیه نانوجندساز پلی وینیل الکل حاوی نانوذره‌های روی اکسید و مونت‌موریلونیت، ابتدا ۰/۲۵ گرم مونت‌موریلونیت در ۲۰ میلی لیتر اتانول و ۶۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت تا پراکندگی کامل مونت‌موریلونیت با همزن مغناطیسی، هم‌زده شد. سپس، ۵ گرم پلی وینیل الکل و پیش‌سازهای

بشقاب درون دستگاه صفحه‌خوان^۱ ELISA قرار داده شد و جذب نمونه در طول موج ۵۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که سلول‌های زنده قادر به تبدیل MTT به فرمازون هستند، در حالی که سلول‌های مرده قادر به ایجاد این تغییر دگرگشتی نیستند. بنابراین، مقدار سمیت سلولی و بقاء هر نمونه از گروه آزمون با نمونه واپایش مقایسه شد. درصد سلول‌های زنده از تقسیم تعداد سلول‌های زنده بر مجموع سلول‌های زنده و مرده ضرب در ۱۰۰ محاسبه شد.

تهیه نانوذره‌های روی اکسید

از آنجا که شرایط سنتز بر بازده، شکل و اندازه نانوساختارها اثر دارد، روش آب‌گرمایی با فرایند کاهش شیمیایی برای تهیه نانوذره‌های اکسید روی برای اصلاح پارچه پنبه‌ای برپایه مطالعه‌های پیشین استفاده شد. بدین منظور ابتدا ۰/۲ گرم استات روی دو آبه در ۴۰ میلی لیتر آب مقطر به عنوان پیش‌ساز فلز حل شد. سپس ۱۰ میلی لیتر سود ۱ مولار به عنوان کاهنده به آن افزوده شد. در ادامه برای تسریع واکنش و افزایش هسته‌زایی نمونه به مدت ۱ ساعت در دمای 80°C قرار گرفت. در پایان گریزانه و شسته شد و رسوب سفیدرنگ در آن تحت خلأ در مدت ۶ ساعت خشک شد [۳۲].

تهیه بستر بسیار پلی وینیل الکل

برای آماده‌سازی بستر بسیار، ۵ گرم پلی وینیل الکل در ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۲۰ درصد اتانول حل شد و به مدت ۱ ساعت تحت همزن مغناطیسی در دمای 80°C قرار گرفت. محلول به دست آمده در دمای محیط خنک و در بشقاب ریخته شد تا در آن تحت خلأ در مدت ۶ ساعت خشک شود. لازم به ذکر است هدف این پژوهش، تهیه فیلم‌هایی بر پایه پلی وینیل الکل با روش ریخته‌گری بدون پیونددهنده‌های عرضی برپایه گزارش پیشین [۲۹] برای کاربرد در صنایع غذایی بود.

تهیه نانوجندساز پلی وینیل الکل حاوی نانوذره‌های روی اکسید

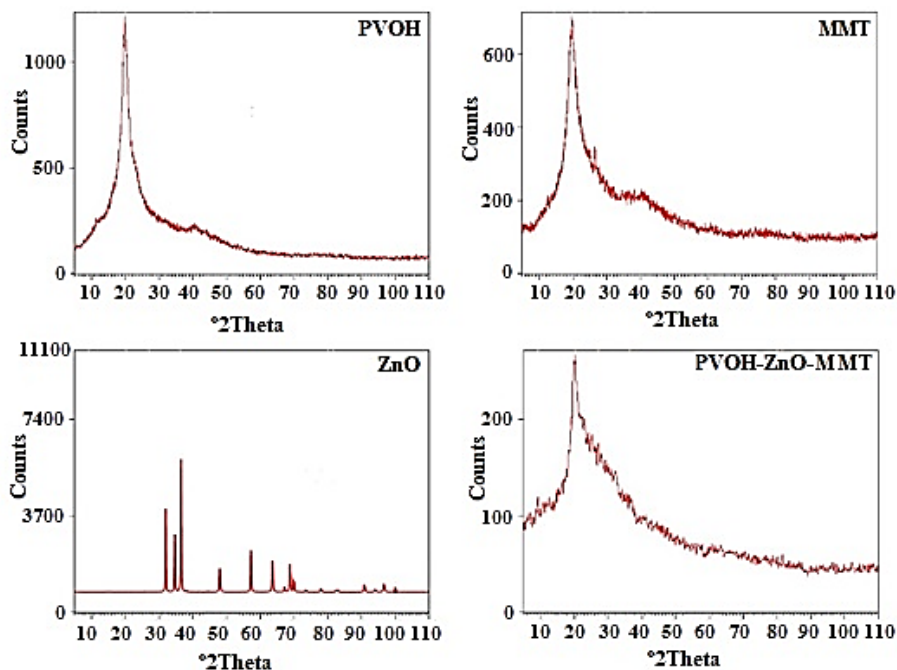
1. Plate reader

الگوهای پراش پرتو ایکس

الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه‌ها که برای مطالعه ساختار بلوری آن‌ها به کار گرفته شد، در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. الگوهای مونتموریلونیت و پلی‌وینیل الکل پیکی قوی در 2θ برابر با 20° دارند که مربوط به ماهیت نیم‌بلوری این ترکیب‌ها است. الگوی نانوذره‌های ZnO با الگوی استاندارد (JCPDS No.= 36-1451) همخوانی دارد [۳۳ و ۳۴]. ضعیف بودن شدت پیک‌های نانوذره‌های روی اکسید در نانوچندسازه تهیه‌شده مربوط به درصد کم آن‌ها است. با توجه به این الگوها تهیه نانوچندسازه موردنظر تایید شد.

موردنیاز برای تهیه نانوذره‌های روی اکسید شامل 0.2 گرم روی استات دو آب و 10 میلی‌لیتر سود 1 مولار به صورت هم‌زمان به محلول یادشده افزوده شد و مانند روش پیشین در دمای 80°C به مدت 1 ساعت با هم‌زن مغناطیسی، هم‌زده شد. سپس، محلول به دست‌آمده را داخل بشقاب ریخته و در آون تحت خلأ در مدت 6 ساعت خشک شد. لازم به ذکر است، هدف مطالعه مقایسه اثر حضور نانوذره‌های روی اکسید و مونتموریلونیت در نانوچندسازه پلی‌وینیل الکل بود. از این رو، درصد مونتموریلونیت نیز ثابت باقی ماند.

نتیجه‌ها و بحث



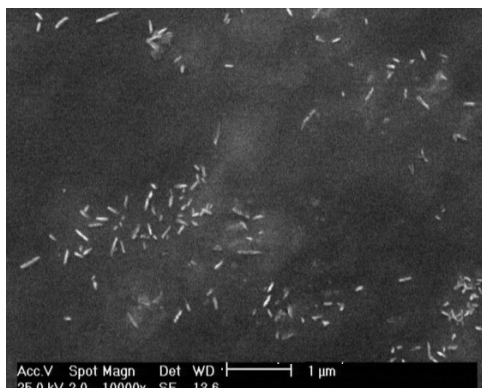
شکل ۱ الگوهای XRD مونتموریلونیت، پلی‌وینیل الکل، نانوذره‌های روی اکسید، و نانوچندسازه پلی‌وینیل الکل حاوی نانوذره‌های روی اکسید- مونتموریلونیت

تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی برای مشاهده شکل و اندازه نمونه‌ها با پوشش‌دهی لایه نازک

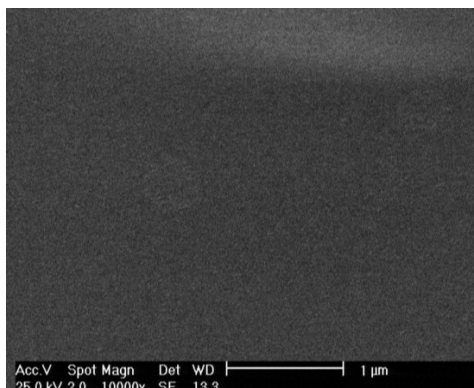
میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی

رشد همسانگرد و تشکیل ساختارهای کروی شکل نانوذره‌های روی اکسید شده است. در حقیقت سود در سه بعد اثر یکسان بر صفحه‌های رشد گذاشته و موجب تشکیل نانوذره‌های کروی روی اکسید به جای نانوساختارهای میله‌ای شکل در حضور آمونیاک شده است. نانوذره‌های روی اکسید به صورت یکنواخت در نانوجندسازه پخش و فیلم پلی‌وینیل الکل مانع کلوخه شدن نانوذره‌ها شده است. مونتموریلونیت نیز به صورت یکنواخت در نانوجندسازه توزیع شده است. از طرفی، خروج حلال از شبکه موجب تغییر شکل فیلم و ایجاد ساختار متخلخل شده است.

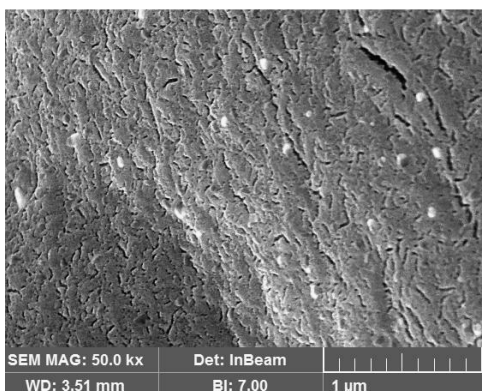
طلا تهیه شدند. برپایه این تصویرها صفحه‌های مونتموریلونیت در اندازه یک میکرومتر و نانوذره‌های روی اکسید کروی شکل و با میانگین اندازه ۸۰ نانومتر مشاهده شد (شکل ۲). در گزارش پیشین روی استات دو آبه به عنوان پیش‌ساز روی و محلول آبی آمونیاک به عنوان کاهنده استفاده شد. آمونیاک موجب رشد یک جهته و ناهمسان‌گرد روی اکسید و تشکیل نانوساختارهای میله‌ای شکل شد [۵]. در این پژوهش، روی استات دو آبه به عنوان پیش‌ساز روی و محلول آبی سود به عنوان کاهنده استفاده شد. سود مانع رشد یک جهته و موجب



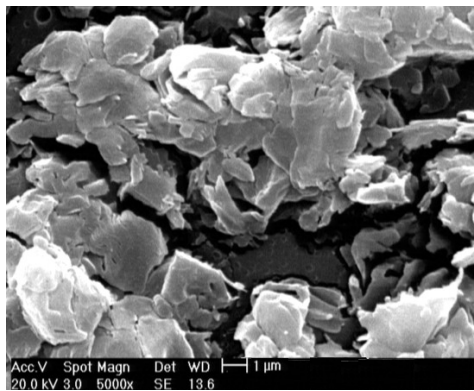
ب



الف

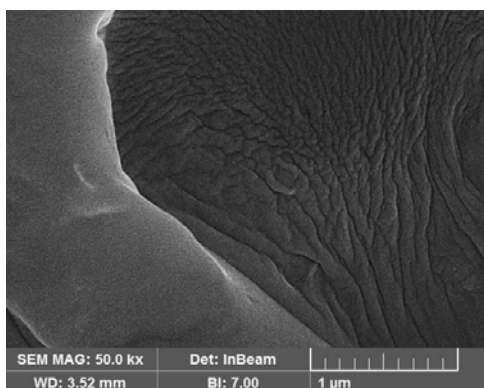


د

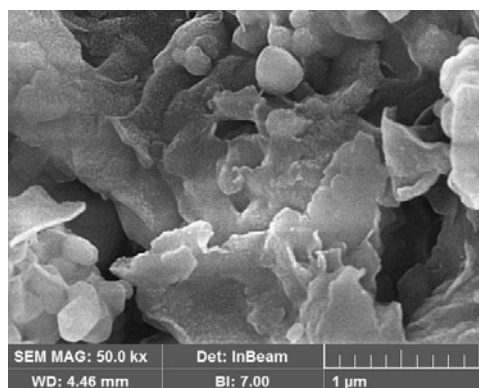


ج

شکل ۲ تصویرهای FESEM پلی‌وینیل الکل (الف)، مونتموریلونیت (ب)، نانوذره‌های روی اکسید (ج)، نانوجندسازه پلی-وینیل الکل حاوی نانوذره‌های روی اکسید (د)، نانوجندسازه پلی‌وینیل الکل حاوی مونتموریلونیت (ه)، نانوجندسازه پلی‌وینیل الکل حاوی نانوذره‌های روی اکسید و مونتموریلونیت (و)



و



ه

ادامه شکل ۲ تصویرهای FESEM پلی‌وینیل الکل (الف)، مونت‌موریلونیت (ب)، نانوذره‌های روی اکسید (ج)، نانوجندسازه پلی‌وینیل الکل حاوی نانوذره‌های روی اکسید (د)، نانوجندسازه پلی‌وینیل الکل حاوی مونت‌موریلونیت (ه)، نانوجندسازه پلی‌وینیل الکل حاوی نانوذره‌های روی اکسید و مونت‌موریلونیت (و)

حاوی نانوذره‌های روی اکسید و پلی‌وینیل الکل حاوی مونت-موریلونیت، نفوذپذیری به تقریب یکسانی نشان دادند و بین آن‌ها تفاوت معناداری مشاهده نشد.

جدول ۱ آمار توصیفی مربوط به نفوذپذیری به بخار آب*
فیلم‌های نانوجندسازه‌ای برحسب گرم بر مترمکعب $\times 10^{-8}$

فیلم	انحراف معیار \pm میانگین
PVOH	1.54 ± 0.40
PVOH-MMT	1.35 ± 0.30
PVOH-ZnO	1.31 ± 0.52
PVOH-ZnO-MMT	1.01 ± 0.07

* هر آزمون ۳ بار تکرار شد.

برپایه نتیجه‌های نفوذپذیری بخار آب، حضور نانوذره‌های روی اکسید و مونت‌موریلونیت در پلی‌وینیل الکل موجب افزایش طول مسیر عبور و کاهش نفوذپذیری بخار آب شد کاهش نفوذپذیری با نانوذره‌های روی اکسید بیشتر از مونت‌موریلونیت مشاهده شد. همچنین، نانوذره‌های کروی شکل روی اکسید در مقایسه با نانومیله‌های روی اکسید کاهش نفوذپذیری را نشان دادند [۳۶]. افزایش سطح و پرشدن فضاهای خالی بستر توسط

ویژگی مکانیکی

مقدار نفوذپذیری نمونه‌های تهیه‌شده به بخار آب، با روش استاندارد ملی آمریکا ASTM E96-05 برپایه وزن‌سنجی تعیین شد. فنجانک‌های مربوط به این آزمون با آب پر شدند به گونه‌ای که حدود ۱/۵ سانتی‌متر، بین سطح آب و دهانه فنجانک‌ها فاصله بود. از نمونه‌های موردنظر فیلم‌هایی به اندازه دهانه فنجانک‌ها بریده و به کمک خمیر بازی روی دهانه فنجانک‌ها ثابت شدند. در ابتدا وزن اولیه این فنجانک‌ها با ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه‌گیری شد و سپس درون خشکانه پر شده با سیلیکاژل برای تولید رطوبت نسبی صفر درصد قرار گرفتند. پس از آن هر ۲ ساعت یک بار فنجانک‌ها توزین شدند تا هفت نقطه به‌دست آید. سپس، سرعت انتقال بخار آب از فیلم با رسم نمودار وزن نسبت به زمان محاسبه شد [۳۵].

جدول ۱ نفوذپذیری نسبت به بخار آب در فیلم‌های نانوجندسازه‌ای را نشان می‌دهد ($p < 0.05$). برپایه این نتیجه‌ها کمترین نفوذپذیری به بخار آب در فیلم پلی‌وینیل الکل-مونت-موریلونیت-نانوذره‌های روی اکسید و بیشترین نفوذپذیری در بسپار خالص پلی‌وینیل الکل مشاهده شد. فیلم‌های پلی‌وینیل الکل

پلی وینیل الکل موجب افزایش استحکام کششی فیلم‌های نانوجندسازه‌ای شد. استحکام کششی بیشتر نانوجندسازه حاوی مونت‌موریلونیت، به دلیل ویژگی‌های رس نسبت به نانوجندسازه حاوی نانوذره‌های روی اکسید است. به عبارتی مونت‌موریلونیت به دلیل ساختار صفحه‌ای موجب افزایش بیشتر استحکام کششی نسبت به نانوذره‌های روی اکسید کروی شکل می‌شود که نتیجه‌ها در راستای گزارش پیشین است [۳۵]. همچنین، کاهش استحکام کششی نانوذره‌های کروی شکل روی اکسید نسبت به روی اکسید نانومیله‌ای به دلیل کاهش نفوذپذیری بخار آب و کاهش انعطاف‌پذیری است [۵ و ۳۶]. به طور کلی افزایش نفوذپذیری بخار آب موجب کاهش استحکام کششی می‌شود، ولی این روند همیشه ثابت نیست. مدول یانگ (کششی) بیانگر مقدار سختی فیلم‌ها و عاملی به دست آمده از شیب در ناحیه خطی منحنی تنش-کرنش است. نتیجه‌های مدول یانگ فیلم‌های نانوجندسازه‌ای با تفاوت معنادار آماری در جدول ۳ ارائه شده است ($p < 0.05$).

جدول ۳ آمار توصیفی مربوط به مدول یانگ* بر حسب پاسکال فیلم‌های نانوجندسازه‌ای

فیلم	انحراف معیار \pm میانگین
PVOH	5.1 ± 0.32
PVOH-MMT	33.3 ± 0.57
PVOH-ZnO	12.05 ± 0.28
PVOH-ZnO-MMT	24.1 ± 0.85

* هر آزمون ۳ بار تکرار شد.

بیشترین مدول یانگ در نانوجندسازه حاوی مونت‌موریلونیت و سپس نانوجندسازه پلی وینیل الکل حاوی مونت‌موریلونیت و نانوذره‌های روی اکسید و در نهایت نانوجندسازه پلی وینیل الکل حاوی نانوذره‌های روی اکسید مشاهده می‌شود. کمترین مدول یانگ در فیلم شاهد یعنی پلی وینیل الکل است. با افزودن مونت-موریلونیت و نانوذره‌های روی اکسید به بستر بسپار پلی وینیل الکل،

نانوساختار و واکنش با گروه‌های هیدروکسیل و ایجاد محدودیت در اتصال با آب، نشان می‌دهد که نتیجه‌های به دست آمده با گزارش پیشین همخوانی دارد [۳۶]. همچنین، نتیجه‌های فیلم‌های پلی وینیل الکل تهیه شده از راه فرایند مذاب-اکستروژن حاوی روی اکسید نانومیله‌ای (با روش پس از سنتز) و مونت‌موریلونیت در راستای گزارش پیشین است [۵]. در مطالعه حاضر روش تهیه در مقیاس آزمایشگاهی به صورت ساده و در دسترس نسبت به فرایند مذاب-اکستروژن ارائه شد. نانوذره‌های کروی شکل روی اکسید با روش درجا تهیه شدند. آزمون استحکام کششی برای ارزیابی تغییر شکل کششی در سرعت ثابت برای یک نمونه با ابعاد استاندارد است، و نیروی لازم برای پارگی نمونه با آن اندازه‌گیری می‌شود. این عامل‌ها با منحنی نیرو در مقابل جابه‌جایی تعیین می‌شود. جدول ۲ تفاوت معنادار استحکام کششی فیلم‌های نانوجندسازه‌ای را نشان می‌دهد ($p < 0.05$). برپایه این آزمون، بیشترین استحکام کششی در فیلم پلی وینیل الکل حاوی مونت‌موریلونیت و سپس، نانوجندسازه پلی وینیل الکل حاوی مونت‌موریلونیت و نانوذره‌های روی اکسید و در نهایت نانوجندسازه پلی وینیل الکل حاوی نانوذره‌های روی اکسید مشاهده شد. فیلم شاهد پلی وینیل الکل خالص کمترین استحکام کششی را نشان داد.

جدول ۲ آمار توصیفی مربوط به استحکام کششی* فیلم‌های نانوجندسازه‌ای بر حسب مگاپاسکال

فیلم	انحراف معیار \pm میانگین
PVOH	0.374 ± 0.0036
PVOH-MMT	0.843 ± 0.0020
PVOH-ZnO	0.464 ± 0.0050
PVOH-ZnO-MMT	0.492 ± 0.0030

* هر آزمون ۳ بار تکرار شد.

برپایه نتیجه‌های استحکام کششی، افزودن مونت‌موریلونیت و نانوذره‌های اکسیدفلزی روی به بستر

فلزی با محدودیت دسترسی نشان داد [۳]. از این رو، نانوذره‌های روی اکسید عملکرد بهتری در فعالیت پادباکتری نشان دادند.

جدول ۴ نتیجه بررسی فعالیت پادباکتری نمونه‌ها

فیلم	باکتری اثرشیاکلی*	مساحت هاله عدم رشد باکتری اثرشیاکلی (میلی متر مربع) 10^3
PVOH	+	0 ± 0
PVOH-MMT	-	0.11 ± 0.20
PVOH-ZnO	-	0.44 ± 0.23
PVOH-ZnO-MMT	-	0.64 ± 0.21

* - : عدم رشد باکتری و + : رشد باکتری

سمیت سلولی

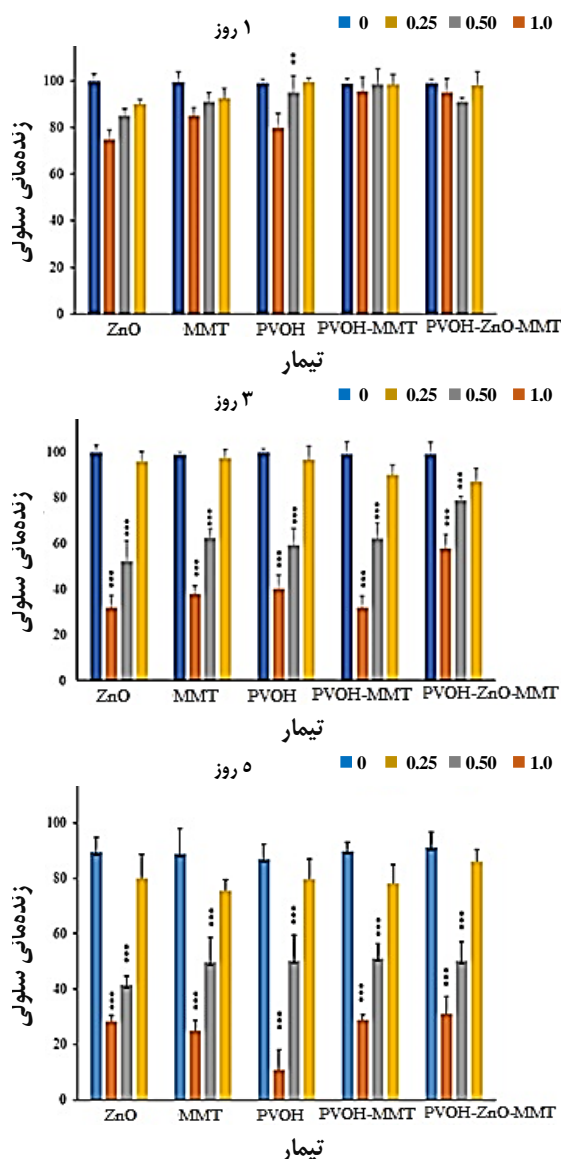
آزمایش سمیت سلولی با روش سنجش MTT مطابق با استاندارد ISO 10993-5 بر رده سلولی سالم HEK293 کلیه جنینی انسان انجام شد. در کارهای پژوهشی برای بررسی سموم سلول‌های سالم کلیه یا فیبروبلاست یا اپیتلیال پوست برای بررسی سموم انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است که مطالعه و بررسی سمیت ابتدا بر کبد و سپس بر کلیه حائز اهمیت است و به دلیل در دسترس نبودن سلول‌های کبدی از این رو سلول‌های کلیوی انتخاب شد. اثر کشندگی وابسته به غلظت و زمان برپایه نتیجه‌های آزمون MTT با استفاده از تحلیل وردایی زنده‌مانی سلول‌ها در سطح احتمال 0.001 درصد بر حسب غلظت طی یک، سه و پنج روز در سلول‌های مذکور در غلظت‌های متفاوت مشاهده شد ($P < 0.001$) (شکل ۳). با افزایش غلظت و مدت تیمار، کشندگی نمونه‌ها افزایش یافت و مدت ۵ روز (۱۲۰ ساعت) بیشترین اثر کشندگی را نشان داد. برپایه نتیجه‌ها، در همه روزهای مورد مطالعه، بیشتر مقدار درصد زنده‌مانی سلول‌ها در غلظت ۰ و 0.25 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نمونه‌ها مشاهده شد. بین غلظت‌های مذکور در همه تیمارها، تفاوت معنادار آماری به لحاظ مقدار زنده‌مانی سلول‌ها، برای همه روزهای مورد مطالعه، مشاهده نشد. اما بین غلظت‌های 0.5

مدول یانگ افزایش یافت و مونت‌موریلونیت موجب افزایش بیشتر مدول یانگ نسبت به نانوذره‌های روی اکسید شد، که نتیجه‌ها موید گزارش پیشین است [۳۵].

با توجه به رابطه مستقیم مدول یانگ با استحکام کششی، مونت‌موریلونیت به دلیل ساختار صفحه‌ای موجب افزایش بیشتر مدول یانگ نسبت به نانوذره‌های روی اکسید کروی شکل شده است. همچنین، کاهش مدول یانگ نانوذره‌های کروی شکل روی اکسید نسبت به روی اکسید نانومیله‌ای مشاهده شد [۵].

پادباکتری

فعالیت پادباکتری نمونه‌ها در برابر باکتری *اثرشیاکلی* به‌عنوان باکتری گرم منفی، مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۹۴۶ با روش انتشار دیسک و غلظت ثابت نانوذره (0.1 گرم بر میلی‌لیتر) بررسی شد. برپایه نتیجه‌های به دست‌آمده (جدول ۴)، افزودن مونت‌موریلونیت و نانوذره‌های روی اکسید به پلی‌وینیل الکل به‌طور معنی‌دار مانع رشد طبیعی *اثرشیاکلی* شد، و ویژگی پادباکتری با تفاوت معنادار بین تیمارها مشاهده شد ($p < 0.001$). فیلم‌های حاوی مونت-موریلونیت و نانوذره‌های روی اکسید در مقایسه با تیمار شاهد (پلی‌وینیل الکل) دارای ویژگی پادباکتری خوبی در برابر *اثرشیاکلی* بودند و این عدم رشد باکتری در فیلم ترکیبی حاوی نانوذره‌های اکسید روی و مونت‌موریلونیت، بیشتر از حالت جداگانه آن‌ها مشاهده شد. البته اثر پادباکتری بیشتری، در نانوذره‌های روی اکسید نسبت به مونت‌موریلونیت مشاهده شد. نتیجه‌ها در راستای گزارش پیشین است [۳]. برپایه نتیجه‌های نمونه‌ها فعالیت پادباکتری در برابر باکتری *اثرشیاکلی* مشاهده شد. سازوکارهای اصلی فعالیت پادباکتری نانوذره‌های روی اکسید شامل تماس با دیواره سلولی و تخریب سلولی آن، تولید گونه‌های فعال اکسیژن و آزادسازی یون‌های Zn^{+2} به‌عنوان یک یون پادمیکروبی است [۳۷]. مونت‌موریلونیت فعالیت پادباکتری ضعیفی به دلیل گروه هیدروکسیل و کاتیون‌های



شکل ۳ مقدار زنده‌مانی سلولی در رده سلولی کلیه موش در مواجهه با نمونه‌ها در روز اول، سوم و پنجم

برپایه نتیجه‌های روز پنجم، بیشترین اثر کشندگی به‌ترتیب در پلی‌وینیل الکل، مونت‌موریلونیت، نانوذره‌های روی اکسید، نانوجندساز پلی‌وینیل الکل-مونت‌موریلونیت، و نانوجندساز پلی‌وینیل الکل-مونت‌موریلونیت-نانوذره‌های روی اکسید

و ۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تیمارهای مورد مطالعه (بجز روز اول و فقط برای تیمار پلی‌وینیل الکل) به لحاظ درصد زنده‌مانی سلول‌ها طی روزهای نگهداری، تفاوت معناداری در سطح ۰/۰۰۱ مشاهده شد. در روز اول کمتر مقدار زنده‌مانی سلول‌ها (۸۰ درصد) در تیمار پلی‌وینیل الکل در غلظت ۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر مشاهده شد، و تفاوت معنادار بین غلظت ۱ (۸۰ درصد) و ۰/۵ درصد (۹۵ درصد) پلی‌وینیل الکل مشاهده شد، ولی در سایر تیمارها بین غلظت‌های مورد مطالعه، تفاوت معنادار آماری مشاهده نشد ($P > 0.05$). در روز سوم مطالعه، مطابق با روز اول، با افزایش غلظت تیمارها، درصد زنده‌مانی کاهش یافت. در غلظت ۰ و ۰/۲۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نمونه‌های مورد مطالعه، به‌ترتیب بیشترین مقدار زنده‌مانی سلول‌ها با ۹۹/۹ و ۹۹/۶ درصد در نانوذره‌های روی اکسید مشاهده شد. همچنین، در این روز، در غلظت ۰/۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نمونه‌های مورد مطالعه، کمترین و بیشترین درصد زنده‌مانی سلول‌ها به‌ترتیب تیمارهای نانوذره‌های روی اکسید (۵۲/۵) و نانوجندساز پلی‌وینیل الکل-مونت‌موریلونیت-نانوذره‌های روی اکسید (۷۹/۲) مشاهده شد. در غلظت ۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تیمارهای مورد مطالعه، کمترین درصد زنده‌مانی سلول‌ها در نانوذره‌های روی اکسید (۳۲ درصد) و پلی‌وینیل الکل-مونت-موریلونیت (۳۳ درصد) مشاهده شد. در حالی که بیشترین درصد زنده‌مانی سلول‌ها با ۵۸/۱ درصد در نانوجندساز پلی‌وینیل الکل حاوی مونت‌موریلونیت-نانوذرات روی اکسید مشاهده شد. در روز پنجم مطالعه، در غلظت ۰/۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر کمترین (۴۱/۵) و بیشترین (۵۱/۲) درصد زنده‌مانی سلول به‌ترتیب تیمار نانوذره‌های روی اکسید و پلی‌وینیل الکل-مونت-موریلونیت مشاهده شد. برای غلظت ۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در روز آخر، تیمار پلی‌وینیل الکل با ۱۰/۸ درصد، کمترین و نانوذره‌های روی اکسید-مونت‌موریلونیت با ۳۲/۲ درصد، بیشترین مقدار زنده‌مانی سلول‌ها را به خود اختصاص دادند.

پادباکتری علیه *اشرشیاکلی* نمونه‌ها نشان داد که افزودن نانوذره‌های روی اکسید و مونت‌موریلونیت به فیلم بسیار پلی‌وینیل الکل موجب بهبود ویژگی پادباکتری و افزایش مساحت هاله عدم رشد می‌شود. ویژگی سمیت سلولی نمونه‌ها نشان داد که افزایش غلظت نمونه‌ها از ۰ به ۱ میلی‌گرم در هر میلی‌لیتر، موجب کاهش درصد زنده‌مانی سلول‌ها می‌شود. همچنین، با گذشت زمان، درصد زنده‌مانی سلول در تیمارهای مورد مطالعه روند کاهشی نشان داد. با توجه به نتیجه‌ها، بیشترین درصد زنده‌مانی سلول بین غلظت‌های مذکور مربوط به ۰/۲۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر از نمونه‌ها است. همچنین، بیشترین درصد زنده‌مانی سلول و در نتیجه افزایش زیست‌سازگاری سلول در نانوجندسازه پلی‌وینیل الکل - مونت - موریلونیت - نانوذره‌های روی اکسید در مقایسه با سایر تیمارها مشاهده شد. برپایه نتیجه‌های به‌دست‌آمده، نانوجندسازه نهایی، قابلیت بررسی بیشتر برای استفاده در صنایع بسته‌بندی در مقیاس نیم‌صنعتی و صنعتی دارد.

مشاهده شد. از این رو حضور مونت‌موریلونیت و نانوذره‌های روی اکسید موجب افزایش زنده‌مانی سلول‌ها و کاهش سمیت سلولی شد. سمیت سلولی نانوذره‌های روی اکسید ناشی از یون‌های Zn^{2+} منتشر شده از آن است [۳۸]. مونت‌موریلونیت به‌دلیل کاتیون‌های فلزی با محدودیت دسترسی، سمیت سلولی کمتری از نانوذره‌های روی اکسید نشان داد که موید گزارش پیشین است [۳۹].

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نانوجندسازه پلی‌وینیل الکل حاوی نانوذره‌های روی اکسید و مونت‌موریلونیت تهیه و ارزیابی شد. الگوهای پراش پرتو ایکس و تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی به‌ترتیب ساختار بلوری و توزیع یکنواخت نانوذره‌ها را تایید کردند. افزودن نانوذره‌های روی اکسید و مونت‌موریلونیت به فیلم بسیار پلی‌وینیل الکل موجب بهبود ویژگی‌های نفوذپذیری به بخار آب (کاهش رطوبت)، افزایش استحکام کششی و مدول یانگ نانوجندسازه شد. ویژگی

مراجع

- [1] Othman, S.H.; Agric Agric Sci Procedia. 2, 296-303, 2014.
- [2] Bari, S.S.; Chatterjee, A.; Mishra, S.; Polym Rev. 56(2), 287-328, 2016.
- [3] Ebnerasool, F.S.; Motakef Kazemi, N.; AMECJ. 2(2), 5-12, 2019.
- [4] Sanuja, S.; Agalya, A.; Umopathy, M.; Int. J. Polym. Mater. Polym. Biomater. 63(14), 733-740, 2014.
- [5] Salmas, C.; Giannakas, A.; Katapodis, P.; Leontiou, A.; Moschovas, D.; Karydis-Messinis, A.; Nanomaterials 10(6), 1079, 2020.
- [6] Tarapow, J.A.; Bernal, C.R.; Alvarez, V.A.; J. Appl. Polym. Sci. 111(2), 768-778, 2009.
- [7] Hu, C.; Xu, Z.; Xia, M.; Vet. Microbiol. 109(1-2), 83-88, 2005.
- [8] Tayel, A.A.; EL-TRAS, W.F.; Moussa, S.; EL-BAZ, A.F.; Mahrous, H.; Salem, M.F.; Brimer, L.; J. Food Saf. 31(2), 211-218, 2011.
- [9] De Azeredo, H.M.; Int. Food Res. J. 42(9), 1240-1253, 2009.
- [10] Lee, M.; Kim, D.; Kim, J.; Kyun Oh, J.; Castaneda, H.; Ho Kim, J.; ACS Appl. Bio Mater. 3(10), 6672-6679, 2020.
- [12] Aslam, M.; Kalyar, M.A.; Ali Raza, Z.; Polym. Eng. Sci. 58(12), 2119-2132, 2018.
- [12] Cazón, P.; Vázquez, M.; Velazquez, G.; Carbohydr. Polym. 195, 432-443, 2018.
- [13] Jain, N.; Kumar Singh, V.; Chauhan, S.; JMBM. 26(5-6), 213-222, 2017.
- [14] Suganthi, S.; Vignesh, S.; Kalyana Sundar, J.; Raj, V.; Appl. Water Sci. 10, 100-111, 2020.
- [15] Haghghi, H.; Kameni Leugoue, S.; Pfeifer, F.; Wilhelm Siesler, H.; Licciardello, F.; Fava, P.;

- Pulvirenti, A.; Food Hydrocoll. 100, 105419, 2020.
- [16] El Fawal, G.; Shehata, M.; Wang, H.; Egypt. J. Chem. 63(8), 3029-3039, 2020.
- [17] Tan, R.; Li, F.; Zhang, Y.; Yuan, Z.; Feng, X.; Zhang, W.; Liang, T.; Cao, J.; De Hoop, C.F.; Peng, X.; Huang, X.; J. Nanomater. 2021, 1, 2021.
- [18] Musetti, A.; Paderni, K.; Fabbri, P.; Pulvirenti, A.; Al-Moghazy, M.; Fava, P.; Food Sci. 79(4), E577-82, 2014.
- [19] Mohammadi, S.; Babaei, A.; Int. J. Biol. Macromol. 201, 528-538, 2022.
- [20] Jayakumar, A.; Radoor, S.; Nair, I.C.; Siengchin, S.; Parameswaranpillai, J.; Ka, R.E.; Food Packag. Shelf Life 30, 100727, 2021.
- [21] Schiessl, S.; Kucukpinar, E.; Cros, S.; Miesbauer, O.; Langowski, H.C.; Eisner, P.; Front Nutr. 9, 790157, 2022.
- [22] Mathew, S.; Mathew, J.; Radhakrishnan, E.K.; J. Polym. Res. 26(9), 223, 2019.
- [23] Tran Pham, B.T.; Thi Duong, T.H.; Thi Nguyen, T.; Van Nguyen, D.; Dung Trinh, C.; Giang Bach, L.; J. Polym. Res. 28, 1, 2021.
- [24] Paton, J.C.; Paton, A.W.; Clin. Microbiol. Rev. 11(3), 450-479, 1998.
- [25] Tankhiwale, R.; Bajpai, S.; Colloids Surfaces B 90, 16-20, 2012.
- [26] Bruna, J.; Peñaloza, A.; Guarda, A.; Rodríguez, F.; Galotto, M.; Appl. Clay Sci. 58, 79-87, 2012.
- [27] Abd-Elrahman, M.I.; Nanosc Microsc Therm Eng. 17(3), 194-203, 2012.
- [28] Viswanath, V.; Sreedharan Nair, S.; Subodh, G.; Muneera, C.I.; Mater. Res. Bull. 112, 281-291, 2019.
- [29] Liu, G.; Song, Y.; Wang, J.; Zhuang, H.; Ma, L.; Li, C.; LWT-Food Sci Technol. 57(2), 562-568, 2014.
- [30] Chakraborty, S.; Anoop, V.; George, N.; Bhagyasree, T.; Mary, N.L.; SN Appl. Sci. 1(6), 1-13, 2019.
- [31] Khalilipour, A.; Paydayesh, A.; J. Macromol. Sci. Phys. 58(2), 371-384, 2018.
- [32] Mahmoudi Alashti, T.; Motakef-Kazemi, N.; shojaosadati, S.A.; IJCCE. 40(1), 1-9, 2021.
- [33] Hajiashrafi, S.; Motakef-Kazemi, N.; Nanomed Res J. 3(1), 44-50, 2018.
- [34] Hajiashrafi, S.; Motakef-Kazemi, N.; Heliyon. 5, e02152, 2019.
- [35] Li, X.; Xing, Y.; Li, W.; Jiang, Y.; Ding, Y.; FSTI. 16(3), 225-232, 2010.
- [36] Tamimi, L.; Mohammadi Nafchi, A.; Hashemi-Moghaddam, H.; Baghaie, H.; Food Sci Nutr. 9(8), 4497-4508, 2021.
- [37] Sirelkhatim, A.; Mahmud, S.; Seeni, A.; Kaus, N.H.M.; Ann, L.C.; Bakhori, S.K.M.; Hasan, H.; Mohamad, D.; Nano-Micro Lett. 7(3), 219-242, 2015.
- [38] Yang, S.T.; Liu, J.H.; Wang, J.; Yuan, Y.; Cao, A.; Wang, H.; Liu, Y.; Zhao, Y.; J Nanosci Nanotechnol. 10, 8638-8645, 2010.
- [39] Liu, Q.; Liu, Y.; Xiang, S.; Mo, X.; Su, S.; Zhang, J.; Appl. Clay Sci. 51(3), 214-219, 2011.

Preparation and evaluation of polyvinyl alcohol nanocomposite containing zinc oxide nanoparticles and montmorillonite

N. Motakef Kazemi^{1,*}, E. Molaakbari Daryan² and R. Halabian³

1. Associate Professor of Department of Medical Nanotechnology, Faculty of Advanced Sciences and Technology, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Master of Science, Department of Food Sciences and Technology, Faculty of Pharmacy, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3. Associate Professor of Applied Microbiology Research Center, Systems Biology and Poisonings Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Abstract: The purpose of this research is to investigate the mechanical, antibacterial, and cytotoxic properties of biocompatible polyvinyl alcohol (PVOH) nanocomposite modified with zinc oxide (ZnO) nanoparticles and montmorillonite (MMT) to prepare a film for use in food packaging. Zinc oxide nanoparticles were synthesized by hydrothermal method via chemical reduction process. This method was performed using zinc acetate salt as a metal precursor, soda as reductant and water as a solvent for 1 hour at a temperature of 80°C. The samples were characterized by X-ray diffraction (XRD) to evaluate the crystal structure, and field emission scanning electron microscope (FESEM) to check the size of the particles and morphology of the samples. The mechanical properties of the samples were investigated. The obtained results showed that the moisture content in the optimal film was reduced to $1.01 \times 10^{-8} \text{ g/m}^3$ and the tensile strength and Young's modulus were increased to 0.492 MPa and 24.1 Pa, respectively. The antibacterial activity against *Escherichia coli* was evaluated by the agar well method and the final nanocomposite showed the highest antibacterial property with the non-growth halo of 0.64 mm. Cytotoxicity of the samples was recorded using the MTT assay method on the HEK293 cell line after 1, 3, and 5 days. The highest percentage of normal cell viability was observed at the concentration of 0.25 mg/ml of the sample and the final nanocomposite showed the highest cell viability. Based on the obtained results, nanocomposite containing zinc oxide nanoparticles and montmorillonite can have a good potential for use in food packaging industries.

Keywords: Packaging, Polyvinyl alcohol, Montmorillonite, Zinc oxide nanoparticles, Nanocomposite.