مجله بوم شناسی آبزیان

Journal homepage: http://jae.hormozgan.ac.ir

بیونانوکامپوزیت‌های کیتوسان- نانو ذرات اکسید روی: تهیه درجا، شناسایی و بررسی خواص ضدمیکروبی

حجت تویسرکانی*

گروه مهندسی پلیمر، دانشکده شیمی و مهندسی شیمی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۹۶/۱۰/۰۴
اصلاح: ۹۶/۱۲/۰۸
پذیرش: ۹۷/۰۲/۰۸

کلمات کلیدی:
اکسید روی
بیونانوکامپوزیت
خواص ضدمیکروبی
کیتوسان

چکیده

کیتوسان به‌عنوان یک زیست‌پلیمر به دلیل داشتن خواص ضدباکتری، زیست‌سازگاری و زیست تخریب‌پذیری بالا، گزینه مناسب و مؤثری به‌عنوان ماتریکس پلیمری در تهیه مواد کامپوزیتی به شمار می‌آید. از این‌رو، در این پژوهش به تهیه بیونانوکامپوزیت‌های کیتوسان- نانو ذرات اکسید روی (CT-ZnO) با استفاده از روش درجا پرداخته شده است. در این روش با غلظت‌های متفاوتی از استات روی و هیدروکسید سدیم به‌عنوان منبع تولید نانوذرات اکسید روی (ZnO)، با روش رسوب‌دهی مستقیم در شبکه کیتوسان، بیونانوکامپوزیت‌های CT-ZnO به دست آمد. ساختار و ریخت‌شناسی بیونانوکامپوزیت-های تهیه شده توسط طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)، پراش اشعه ایکس (XRD) و آنالیز حرارتی (TGA) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. خواص ضدمیکروبی آن‌ها روی باکتری‌های اشرشیاکلی (*Escherichia coli*) از انواع گروه گرم منفی و استافیلوکوکوس اورئوس (*Staphylococcus aureus*) از انواع گروه گرم مثبت ارزیابی شد. نتایج به‌دست آمده از طیف‌سنجی مادون قرمز و پراش اشعه ایکس حضور نانوذرات اکسید روی را در شبکه کیتوسان اثبات می‌کند. همچنین خواص حرارتی و ضدمیکروبی در مقایسه با کیتوسان خالص بهبود یافته؛ به‌طوری‌که این خواص با افزایش درصد نانوذرات اکسید روی افزایش می‌یابد.

مقدمــه

مطالعات گسترده‌ای بر روی کامپوزیت‌های نانو ساختاری پلیمری با پایه فلزی انجام شده است. از دهه گذشته استفاده از پلیمرهای زیستی علاقه‌مندان زیادی در حوزه تحقیقات علمی و صنعتی به خود معطوف داشته‌اند. برخلاف پلیمرهای سنتزی که از مشتقات نفتی به دست می‌آید پلیمرهای زیستی جایگزین بسیار مناسبی به حساب می‌آیند دلیل علاقه‌مندی را می‌توان از یک طرف به هزینه پایین استحصال آن‌ها از منابع تجدیدپذیر و از طرف دیگر به غیرسمی و دوست‌دار طبیعت بودن آن‌ها مربوط دانست (Croisier and Jérôme, 2013). در سال‌های اخیر، نانوکامپوزیت‌های زیستی (Bionanocomposites) جایگاه خود را در میان پژوهش‌های علمی به دلیل زیست سازگار و زیست تخریب پذیر بودن پیدا کرده‌اند. آن‌ها ترکیبی از پلیمرهای زیستی مانند پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و چربی‌ها با خصوصیاتی چون، سمیت پایین، زیست تخریب پذیری و زیست سازگاری بالا و پرکننده‌های معدنی (فلز) دارای پایداری حرارتی بالا، استحکام مکانیکی عالی و سختی می‌باشند (Toiserkani, 2016). از

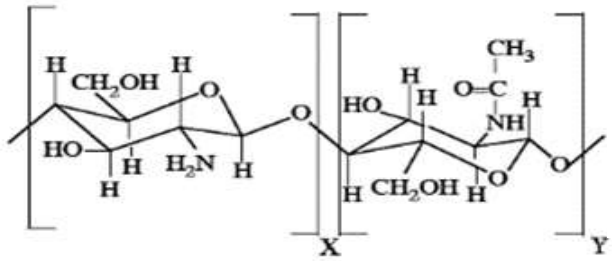
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: toiserkani@yahoo.com ; h.toiserkani@kgut.ac.ir

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.8.4.3.5]

این‌رو کاربرد وسیعی در صنایع بسته‌بندی (Schreiber *et al.*, 2013)، سامانه‌های دارورسانی (Bao *et al.*, 2011)، حسگرها (Singh *et al.*, 2013)، مهندسی بافت (Martino *et al.*, 2005)، التیام زخم (Aguzzi *et al.*, 2014) و صنایع آرایشی و بهداشتی (Jimtaisong and Saewan, 2014) دارند.

از میان پلیمرهای زیستی که در تهیه بیونانوکامپوزیت‌ها استفاده شده است. کیتوسان (CT) بیشتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. کیتوسان فراوان‌ترین پلی‌ساکارید طبیعی پس از سلولز است که از استیل زدایی کیتین با استفاده از سدیم هیدروکسید به دست می‌آید. کیتین از پوسته سخت‌پوستانی مثل خرچنگ و میگو، کوتیکول حشرات و دیواره سلولی قارچ‌ها استخراج می‌شود. کیتوسان کوپلیمری متشکل از گلوکوز آمین و *N*-استیل گلوکوز آمین است که توسط پیوندهای (۴-۱) $\beta-$ گلوکوزیدی به هم متصل شده‌اند (Majeti and Ravi, 2000) (شکل ۱). در کل بیشتر پژوهشگران، کیتوسان را به عنوان ماده کیتینی با درجه استیل زدایی بیش از ٪۵۰ می‌شناسند (Pillai *et al.*, 2009). این بیوپلیمر علاوه بر گروه‌های آمین ($-NH_2$) دارای گروه‌های هیدروکسیل (OH-) است که با ساختار منحصر به فرد، کاربرد بسیار گسترده‌ای در زمینه کشاورزی، صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی، تصفیه آب، زیست فناوری، نساجی، دارویی و پزشکی پیدا کرده است. قیمت پایین، زیست سازگاری بالا، سمیت کم و همچنین خواص ضدمیکروبی و ضدحساسیت قابل قبول موجب شده به عنوان یک زیست پلیمر، مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد (Toiserkani and Sadaghat, 2013).



اگر: کیتین ٪۵۰<Y و کیتوسان ٪۵۰<X

شکل ۱. ساختار شیمیایی کیتین و کیتوسان.

از میان تمام نانو پرکننده‌هایی که برای تقویت خواص نانوکامپوزیت‌ها استفاده شده است، نانو ذرات اکسید روی (ZnO) بیشتر مورد توجه علم و صنعت قرار گرفته است. از جمله خصوصیات این نانوذره می‌توان به ارزان بودن و سادگی در تهیه آن، سازگاری بالا با محیط زیست، خواص مکانیکی، حرارتی و شیمیایی مناسب، توانایی در جذب اشعه فرابنفش و... اشاره کرد (Mallakpour and Behranvand, 2016; Djurisic *et al.*, 2012; Mirzaei and Darroudi, 2017).

در این پژوهش از فرآیند تک‌مرحله‌ای برای تهیه بیونانوکامپوزیت‌های کیتوسان- نانو ذرات اکسید روی (CT-ZnO) استفاده شد. ابتدا مقدار مشخصی از کیتوسان در اسید استیک حل گردید و سپس غلظت‌های متفاوتی از استات روی و هیدروکسید سدیم به عنوان منبع تولید نانوذرات اکسید روی (ZnO)، با روش مستقیم در شبکه کیتوسان رسوب داده شد تا بیونانوکامپوزیت‌های CT-ZnO به دست آید. در نهایت بیونانوکامپوزیت‌های به دست آمده توسط روش‌هایی چون FTIR، XRD و TGA مورد شناسایی قرار گرفت. خواص ضدمیکروبی این نانوکامپوزیت‌ها روی باکتری‌های اشرشیا کلی (*Escherichia coli*) از گروه گرم منفی و استافیلوکوکوس اورئوس (*Staphylococcus aureus*) از گروه گرم مثبت مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

کیتوسان با وزن مولکولی متوسط با درجه استیل زدایی (DD) بین ٪۷۵ تا ٪۸۵ از شرکت سیگما-آلدریچ خریداری شد. استات روی، هیدروکسید سدیم و اسید استیک همگی از شرکت مرک خریداری شد.

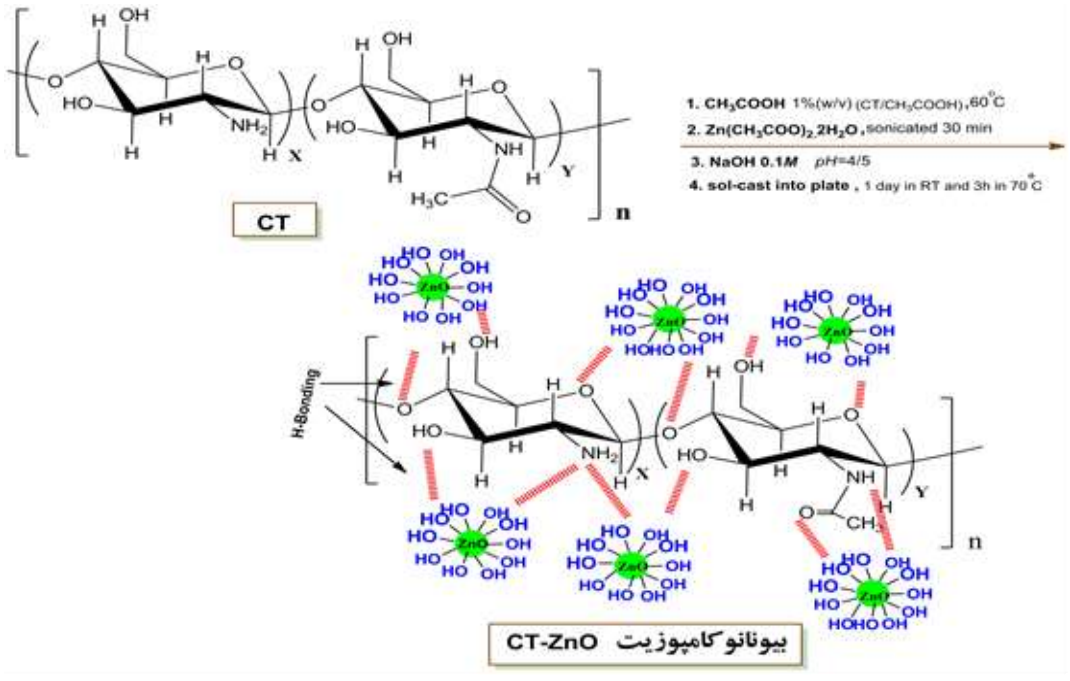
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.8.4.3.5]

برای ثبت طیف‌های FTIR از طیف‌سنج Bruker مدل Tensor 27 استفاده شد. برای مطالعه ریخت‌شناسی بیونانوکامپوزیت‌ها دستگاه پراش اشعه ایکس مدل X'Pert PRO MPD ساخت شرکت PANalytical هلند به کار گرفته شد. نمونه‌ها در معرض پرتو اشعه ایکس با طول موج ۰/۱۵۴ nm قرار گرفتند. پرتوهای بازتابشی از نمونه در دمای محیط و در محدوده زاویه 2θ برابر 5° تا 80° جمع‌آوری و نمودار مربوط به شدت بازتابش آن‌ها رسم شد. آزمون گرماوزن‌سنجی (آنالیز حرارتی) با دستگاه TGAمدل Perkin Elmer انجام شد. به این منظور، نمونه‌ها به مقدار ۱۰mg تهیه و آزمون با سرعت ۱۰°C/min تا دمای ۸۰۰ °C تحت جو نیتروژن انجام شد (Toiserkani, 2016).

تهیه بیونانوکامپوزیت‌های کیتوسان- نانو ذرات اکسید روی (CT-ZnO)

یک گرم کیتوسان به ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ٪۱ اسید استیک اضافه شد و با دمای ۶۰°C و سرعت چرخش ۳۰۰ دور بر دقیقه به مدت یک ساعت حرارت داده شد. بعد از اینکه کیتوسان به‌طور کامل حل شد مقدار مشخصی از استات روی $[Zn(CH_3COO)_2.2H_2O]$ به محلول بالا اضافه گردید تا به یون‌های روی تبدیل شود. مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه تحت امواج فراصوت قرار گرفت. سپس با اضافه کردن سدیم هیدروکسید با غلظت ۰/۱ مولار، pH محلول نزدیک ۴/۵ تنظیم گردید. محلول به مدت یک شبانه‌روز با همزن مغناطیسی در سرعت ۲۰۰ دور بر دقیقه به هم زده شد. سپس، به داخل پلیتی با قطر ۱۰cm که قبلاً تراز شده بود، منتقل و پس از گذشت یک روز و خشک شدن کامل در دمای محیط و برای تکمیل فرآیند در آون خلاء به مدت ۳ ساعت در دمای ۷۰°C قرار گرفت تا هیدروکسید روی $[Zn(OH)_2]$ به نانوذرات اکسید روی (ZnO) تبدیل شود. در نهایت فیلم‌های بیونانوکامپوزیتی CT-ZnO برداشت شد. نسبت وزنی استات روی به کیتوسان ٪۵ ، ٪۱۰ و ٪۱۵ بود. فرآیند مرحله به مرحله تشکیل نانوکامپوزیت به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده است.



شکل ۲. فرایند مرحله به مرحله تهیه بیونانوکامپوزیت‌های کیتوسان- نانو ذرات اکسید روی (CT-ZnO) با درصدهای متفاوتی از استات روی.

فعالیت ضدمیکروبی

فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های کیتوسان خالص و بیونانوکامپوزیت‌های کیتوسان با درصدهای متفاوتی از نانو ذرات اکسید روی از طریق اندازه‌گیری هاله عدم رشد باکتری (Zone inhibition method) مورد ارزیابی قرار گرفت. فیلم‌ها به قطر ۱۰ میلی‌متر

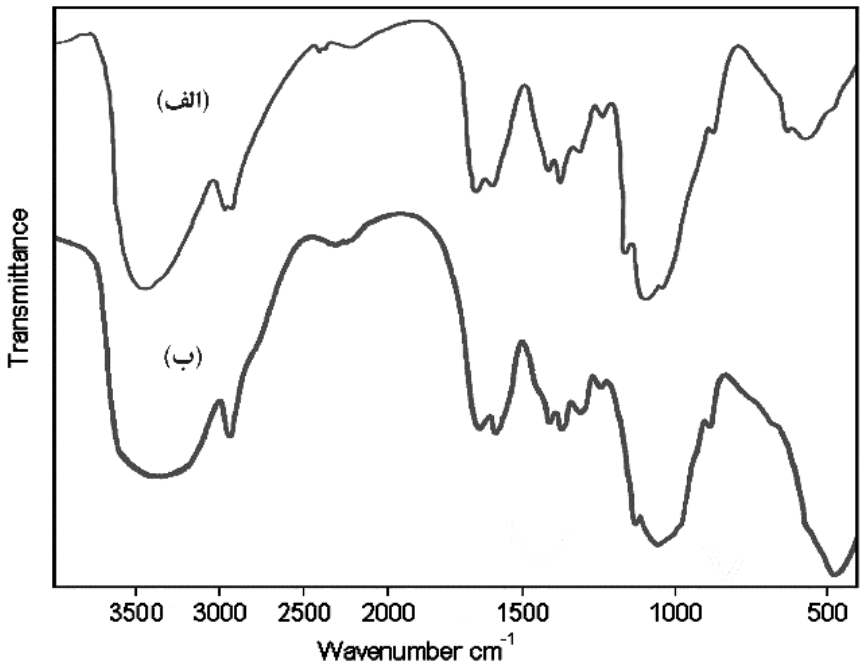
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.8.4.3.5]

بریده شده و قبل از تست با الکل شستشو شد و در دمای ۶۰°C به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت تا خشک شوند (Hosseini *et al.*, 2009).

برای انجام آزمون ضدباکتری ابتدا مقدار ۲۸ گرم از محیط کشت نوترینت آگار (Nutrient agar) در یک لیتر آب مقطر حل شد و سپس در اتوکلاو با دمای ۱۲۱°C به مدت ۱۵ دقیقه سترون شد. آنگاه ۴۰ میلی‌لیتر از محیط کشت تهیه شده درون هر پلیت ریخته شد. پس از سرد شدن، باکتری‌ها در پلیت‌های جداگانه روی محیط کشت ریخته شده و با میله L شکل سترون سازی شده روی محیط پخش شد. سپس، نمونه‌های تهیه شده در بالا (فیلم‌های کیتوسان خالص و بیونانوکامپوزیت حاصله به قطر ۱۰mm) در مرکز پلیت قرار گرفته و در دمای ۳۷°C به مدت ۲۴ ساعت انکوبه شدند و هاله عدم رشد باکتری‌ها با استفاده از کولیس اندازه‌گیری و ثبت شد (Shafiq *et al.*, 2014).

نتایـج

یک سری از بیونانوکامپوزیت‌های کیتوسان- نانو ذرات اکسید روی (CT-ZnO) با استفاده از روش رسوب‌دهی مستقیم ZnO در شبکه کیتوسان به دست آمد. جهت بررسی حضور نانوذرات اکسید روی در شبکه کیتوسان از طریق مقایسه طیف‌های کیتوسان خالص (بدون نانوذرات اکسید روی) و بیونانوکامپوزیت‌های تهیه شده، از آنالیز FTIR استفاده گردید. شکل ۳، طیف‌های FTIR کیتوسان خالص و بیونانوکامپوزیت کیتوسان- نانو ذرات اکسید روی با ۱۰ درصد وزنی استات روی را نشان می‌دهد.



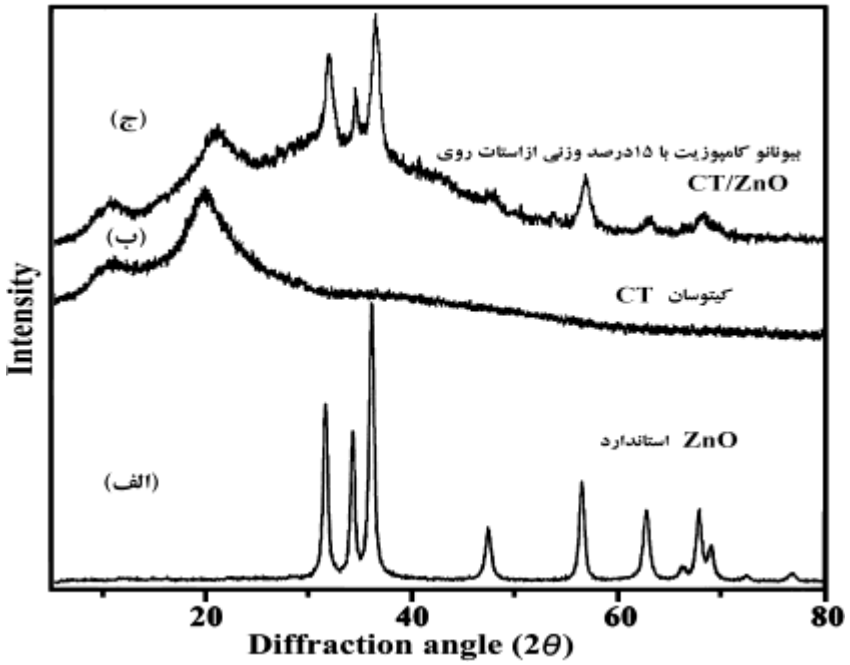
شکل ۳. طیف‌های FTIR الف) کیتوسان خالص و ب) بیونانوکامپوزیت کیتوسان- نانو ذرات اکسید روی با ۱۰ درصد وزنی استات روی.

برای مطالعه ریخت‌شناسی بیونانوکامپوزیت‌ها و همچنین اثبات حضور نانوذرات اکسید روی در بیونانوکامپوزیت‌های تهیه شده، از پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده شد. شکل ۴، الگوهای پراش اشعه ایکس نانو ذرات اکسید روی استاندارد، کیتوسان خالص و بیونانوکامپوزیت کیتوسان- نانو ذرات اکسید روی با ۱۵ درصد وزنی استات روی را نشان می‌دهد.

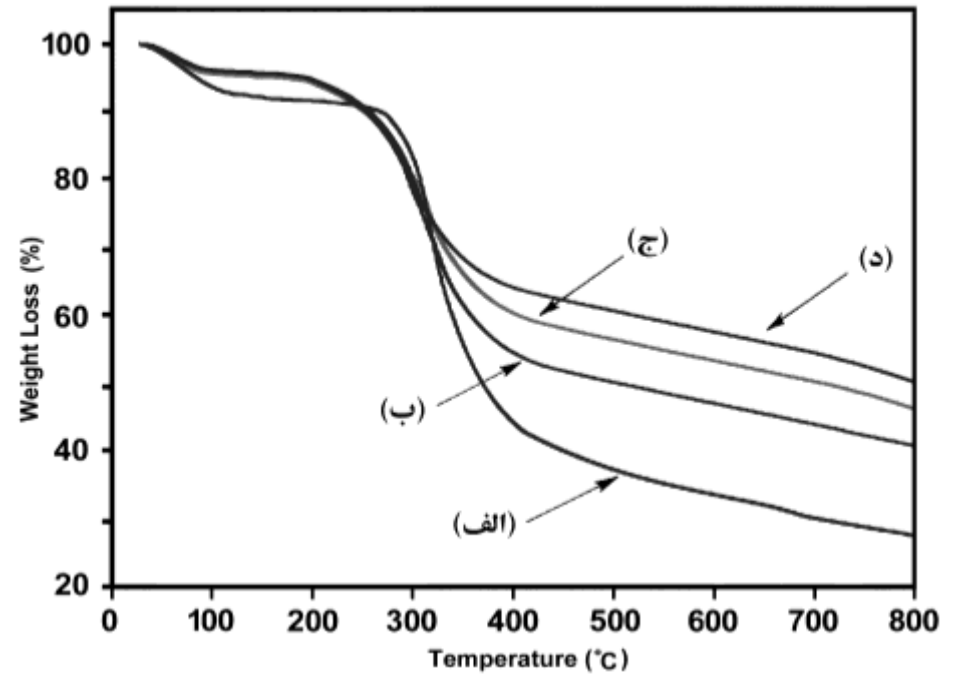
برای بررسی پایداری حرارتی کیتوسان و بیونانوکامپوزیت‌های نتیجه شده، از آنالیز حرارتی TGA تحت جو نیتروژن استفاده شد. آنالیز نمونه‌ها از دمای محیط تا ۸۰۰°C مورد بررسی قرار گرفت و سه پارامتر اصلی به عنوان شاخص‌های پایداری حرارتی

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.8.4.3.5]



شکل ۴. نقش پراش اشعه ایکس الف) ZnO استاندارد، ب) کیتوسان خالص، ج) CT-ZnO با ٪۱۵ استات روی.



شکل ۵. آنالیز حرارتی الف) کیتوسان خالص (CT)، ب)، ج) و د) بیونانوکامپوزیت‌ها (CT-ZnO) به ترتیب با ٪۵، ٪۱۰ و ٪۱۵ استات روی.

از هر منحنی استخراج شد. این سه شاخص عبارت‌اند از: **۱)** دمایی که در آن دما، نمونه ۱۰ درصد از وزنش کاسته می‌شود ($T_{10\%}$)، **۲)** دمایی که در آن دما، نمونه ۴۰ درصد از وزنش کاسته می‌شود ($T_{40\%}$) و **۳)** مقدار درصد خاکستر به جای مانده در

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.8.4.3.5]

دمای ۸۰۰°C (Char yield %). شکل ۵، آنالیز حرارتی کیتوسان خالص (CT) و بیونانوکامپوزیت‌ها (CT-ZnO) با ٪۵، ۱۰٪ و ٪۱۵ استات روی نشان می‌دهد. بر این اساس، بیشترین و کمترین پایداری حرارتی به ترتیب مربوط به بیو نانوکامپوزیت با ٪۱۵ استات روی و ٪۵ استات روی بود.

جدول ۱، نتایج اندازه‌گیری سه پارامتر اصلی به عنوان شاخص‌های پایداری حرارتی را نشان می‌دهد. طبق این جدول، مقادیر $T_{10\%}$ ، $T_{40\%}$ و مقدار درصد خاکستر به جای مانده در دمای ۸۰۰°C برای بیو نانوکامپوزیت با ٪۵ استات روی به ترتیب ۲۷۴°C، ۳۶۲°C و ۴۱٪ و برای بیونانوکامپوزیت با ٪۱۵ استات روی به ترتیب ۲۷۸°C، ۵۲۶°C و ۵۱٪ بود. آنالیز حرارتی کیتوسان و بیونانوکامپوزیت‌های حاصل از آن و مقایسه آن‌ها با یکدیگر مشخص شد که اضافه شدن نانو ذرات به ماتریکس کیتوسان، باعث بهبود خواص حرارتی کیتوسان شده که با افزایش درصد استات روی این مقادیر، افزایش می‌یابد.

جدول ۱. خواص حرارتی و ضدمیکروبی کیتوسان و بیونانوکامپوزیت‌های آن.

نمونه‌ها	خواص حرارتی			هاله عدم رشد باکتری (mm^2)	
	$T_{10\%}$	$T_{40\%}$	درصد خاکستر باقیمانده	*E. coli*	*S. areus*
کیتوسان خالص (CT)	۲۸۳	۳۴۴	۲۸	۰	۰
نانوکامپوزیت با ٪۵ استات روی	۲۷۴	۳۶۲	۴۱	۴۸/۲	۵۹/۰
نانوکامپوزیت با ٪۱۰ استات روی	۲۷۶	۴۰۸	۴۷	۶۳/۲	۷۱/۵
نانوکامپوزیت با ٪۱۵ استات روی	۲۷۸	۵۲۶	۵۱	۷۸/۷	۹۴/۳

روش انتشار دیسک در آگار (Agar disk difusion) برای اندازه‌گیری فعالیت ضدباکتری فیلم‌های کیتوسان خالص و بیونانوکامپوزیت‌های کیتوسان- نانو ذرات اکسید روی، در مقابل باکتری‌های اشرشیا کلی (*Escherichia coli*) از انواع گروه گرم منفی و استافیلوکوکوس اورئوس (*Staphylococcus aureus*) از انواع گروه گرم مثبت، مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۱، نتایج هاله عدم رشد باکتری‌ها را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد، بیونانوکامپوزیت‌های تهیه شده دارای خاصیت ضدمیکروبی در مقابل هر دو باکتری گرم مثبت و منفی هستند؛ به طوری‌که باکتری گرم مثبت حساسیت بیشتری نسبت به وجود نانوذرات اکسید روی موجود در بیونانوکامپوزیت‌ها از خود نشان داد.

بحث

در طیف FTIR نمونه کیتوسان (شکل ۳. الف) جذب در $3367\ cm^{-1}$ مربوط به گروه‌های N-H و O-H، جذب در ناحیه cm^{-1} ۲۸۷۵ مربوط به گروه C-H است. از دیگر باندهای جذبی می‌توان به جذب کششی گروه‌های C=O (پیوند آمید I) در cm^{-1} ۱۶۴۸، خمشی پیوندهای N-H (پیوند آمید II) در $1585\ cm^{-1}$ و کششی پیوندهای C-N (پیوند آمید III) در $1320\ cm^{-1}$ اشاره کرد. افزون بر اینها، جذب در $1380\ cm^{-1}$ مربوط به گروه‌های استامید (مشخص می‌کند که کیتوسان کاملاً استیل زادیی نشده است) و باندهای کششی C-O در ناحیه $1100\ cm^{-1}$ و $1020\ cm^{-1}$ مربوط به اسکلت پلی ساکاریدها است که وجود بیوپلیمر کیتوسان را نشان می‌دهد (Sedaghat *et al.*, 2009). شکل۳. ب، طیف مادون قرمز بیو نانوکامپوزیت CT-ZnO با ۱۰ درصد وزنی استات روی را نشان می‌دهد. این طیف علاوه بر تمام باندهای جذبی کیتوسان یک باند جذبی جدیدی در ناحیه

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.8.4.3.5]

cm^{-1} ۴۰۰-۵۸۰ نشان می‌دهد که مربوط به ارتعاشات کششی Zn-O-Zn است و حضور نانو ذرات ZnO در شبکه کیتوسان را تأیید می‌کند (Toiserkani, 2016; Pandiselvi and Thambidurai, 2015).

از آنالیز XRD برای بررسی کریستالوگرافی نانو ذرات و بیونانوکامپوزیت‌ها استفاده گردید. شکل ۴. الف، الگوی XRD نانو ذرات ZnO استاندارد را نشان می‌دهد که ساختار کاملاً بلوری دارد. الگوی XRD کیتوسان خالص در شکل ۴. ب، نشان داده شده که دو پیک شاخص در ناحیه ۲۰° و ۱۰ =θ۲ ظاهر شده است (Leceta *et al.*, 2013). شکل ۴. ج، الگوی XRD بیو نانوکامپوزیت کیتوسان- نانو ذرات اکسید روی با ۱۵ درصد وزنی استات روی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، بیونانوکامپوزیت‌ها علاوه بر پیک‌های شاخص در کیتوسان دارای پیک‌های نانو ذرات اکسید روی نیز هست. این علائم به وضوح نشان می‌دهد که نانو ذرات اکسید روی به‌طور موفقیت‌آمیزی از طریق فرآیند رسوب‌دهی در شبکه کیتوسان تشکیل شده‌اند.

شکل ۵. الف، منحنی آنالیز حرارتی TGA کیتوسان خالص (بدون حضور نانو ذرات ZnO) را نشان می‌دهد. همان‌طور که از منحنی مشخص است، دو مرحله کاهش وزن برای کیتوسان خالص قابل‌مشاهده است. مرحله اول که از ۵۰°C شروع و تا ۲۰۰°C ادامه می‌یابد که نزدیک ۸٪ وزن اولیه کیتوسان کاهش می‌یابد که مربوط به تبخیر مولکول‌های آب موجود در شبکه کیتوسان است و مرحله اصلی که بین ۲۰۰°C تا ۴۵۰°C است که حدود ۶۵٪ وزن کیتوسان کم می‌شود و مربوط به شکست پیوندهای گلیکوسایدی و همچنین شکست زنجیرهای کیتوسان است (López *et al.*, 2008). دماهای $T_{۱۰٪}$، $T_{۴۰٪}$ و درصد خاکستر باقیمانده کیتوسان به ترتیب ۲۸۲°C، ۳۴۴°C و ۲۸٪ است. شکل ۵. ب تا د، منحنی‌های آنالیز حرارتی برای بیو نانوکامپوزیت CT-ZnO از ۵٪ تا ۱۵٪ استات روی را نشان می‌دهد. مقادیر دماهای $T_{۱۰٪}$، $T_{۴۰٪}$ و درصد خاکستر باقیمانده آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. از مقایسه منحنی‌های بیونانوکامپوزیت‌ها با کیتوسان خالص می‌توان نتیجه گرفت فاصله زیادی بین پایداری آن‌ها وجود دارد که ناشی از وجود نانو ذرات اکسید روی در شبکه کیتوسان است.

جدول ۱، نشان داد که کیتوسان خالص فاقد هاله عدم رشد در مقابل باکتری‌های گرم منفی و مثبت است. علیرغم طبیعت ضدباکتری کیتوسان این امر به دلیل عدم نفوذپذیری گونه‌های فعال در بیوپلیمر کیتوسان در آگار می‌باشد که فقط مانع رشد باکتری‌ها شده است که در تماس مستقیم با فیلم کیتوسان هستند (Coma *et al.*, 2002; Marin *et al.*, 2015). در خصوص بیونانوکامپوزیت‌های کیتوسان- نانو ذرات اکسید روی (CT-ZnO) با افزایش درصد نانو ذرات اکسید روی، هاله عدم رشد باکتری‌ها افزایش می‌یابد. شاید افزایش فعالیت ضدباکتری فیلم‌های بیونانوکامپوزیتی به دلیل طبیعت فتوکاتالیستی نانو ذرات اکسید روی است که باعث آزادسازی یون‌های روی از سطح نانوذره شده و با اتصال به غشای سلول باعث انهدام آن می‌شود (Wang *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2010). همچنین مشخص شد، باکتری گرم مثبت، استافیلوکوکوس اورئوس، در مقایسه با باکتری گرم منفی، اشرشیاکلی، حساسیت بیشتری نسبت به وجود نانوذرات اکسید روی نشان می‌دهد. تفاوت در فعالیت ضدباکتری فیلم‌های بیونانوکامپوزیتی در مقابل باکتری‌های گرم مثبت و منفی ناشی از تفاوت بین ساختار غشای باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی و تفاوت در ضخامت پپتید و گلیکان آن است. باکتری‌های گرم مثبت مانند استافیلوکوکوس اورئوس دارای پپتید و گلیکان چندلایه و ضخیم هستند. اما، باکتری‌های گرم منفی مانند اشرشیاکلی دارای پپتید و گلیکان نازک‌تری بوده و در عوض غشای خارجی آن‌ها دارای لیپوپلی ساکارید مستحکم است که نفوذپذیری کمی در برابر آنتی بیوتک ها و عوامل ضدمیکروبی دارد. به همین دلیل، مقاومت اشرشیاکلی بیشتر از استافیلوکوکوس اورئوس است (Feng *et al.*, 2000; Malini *et al.*, 2015). ازاین‌رو بیونانوکامپوزیت‌های تولیدی، انتخاب مناسبی در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی و پزشکی به شمار می‌آیند.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.8.4.3.5]

منابـع

Aguzzi, C., Sandri, G., Bonferoni, C., Cerezo, P., Rossi, S., Ferrari, F., Caramella, C., Viseras, C. 2014. Solid state characterization of silver sulfadiazine loaded on montmorillonite/chitosan nanocomposite for wound healing. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 113(1): 152-157.

Bao, H., Pan, Y., Ping, Y., Sahoo, N.G., Wu, T., Li, L., Li, J., Gan, L.H. 2011. Chitosan-functionalized graphene oxide as a nanocarrier for drug and gene delivery. Small. 7(11): 1569-1578.

Coma, V., Martial-Gros, A., Garreau, S., Copinet, A., Salin, F., Deschamps, A. 2002. Edible antimicrobial films based on chitosan matrix. Journal of Food Science. 67(3): 1162-1169.

Croisier, F., Jérôme, C. 2013. Chitosan-based biomaterials for tissue engineering. European Polymer Journal. 49(4): 780-792.

Djurisic, A.B., Chen, X., Leung, Y.H., Ng, A.M.C. 2012. ZnO nanostructures: growth, properties and applications. Journal of Materials Chemistry. 22(14): 6526-6535.

Feng, Q., Wu, J., Chen, G., Cui, F., Kim, T., Kim, J. 2000. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. Journal of Biomedical Materials Research. 52(4): 662-628.

Jimtaisong, A., Saewan, N. 2014. Utilization of carboxymethyl chitosan in cosmetics. International Journal of Cosmetic Science. 36(1): 12-21.

Hosseini, M.H., Razavi, S.H., Mousavi, M.A. 2009. Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosan-based films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils. Journal of Food Processing and Preservation. 33(6): 727-743.

Leceta, I., Guerrero, P., Ibarburu, I., Dueñas, M.T., de la Caba, K. 2013. Characterization and antimicrobial analysis of chitosan-based films. Journal of Food Engineering. 116(4): 889-899.

Li, L.H., Deng, J.C., Deng, H.R., Liu, Z.L., Xin, L. 2010. Synthesis and characterization of chitosan/ZnO nanoparticle composite membranes. Carbohydrate Research. 345(8): 994-998.

López, F.A., Mercê, A.L.R., Alguacil, F.J., López-Delgado, A. 2008. A kinetic study on the thermal behaviour of chitosan. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 91(2): 633-639.

Majeti, N.V., Ravi, K. 2000. A review of chitin and chitosan applications. Reactive and Functional Polymers. 46(1): 1-27.

Malini, M., Thirumavalavan, M., Yang, W.Y., Lee, J.F., Annadurai, G. 2015. A versatile chitosan/ZnO nanocomposite with enhanced antimicrobial properties. International Journal of Biological Macromolecules. 80(1): 121-129.

Mallakpour, S., Behranvand, V. 2016. Nanocomposites based on biosafe nano ZnO and different polymeric matrixes for antibacterial, optical, thermal and mechanical applications. European Polymer Journal. 84(1): 377-403.

Marin, L., Ailincai, D., Mares, M., Paslaru, E., Cristea, M., Nica, V., Simionescu, B.C. 2015. Imino-chitosan biopolymeric films. Obtaining, self-assembling, surface and antimicrobial properties. Carbohydrate Polymers. 117(1): 762-770.

Martino, A.D., Sittinger, M., Risbud, M.V. 2005. Chitosan: a versatile biopolymer for orthopaedic tissue-engineering. Biomaterials. 26(30): 5983-5990.

Mirzaei, H., Darroudi, M. 2017. Zinc oxide nanoparticles: Biological synthesis and biomedical applications. Ceramics International. 43(1): 907-914.

Pandiselvi, K., Thambidurai, S. 2015. Synthesis, characterization, and antimicrobial activity of chitosan–zinc oxide/polyaniline composites. Materials Science in Semiconductor Processing. 31(1): 573-581.

Pillai, C.K.S., Paul, W., Sharma, C.P. 2009. Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. Progress in Polymer Science. 34(7): 641-678.

Sedaghat, F., Yousefzadi, M., Toiserkani, H., Najafipour, S. 2016. Chitin from *penaeus merguiensis* via microbial fermentation processing and antioxidant activity. International Journal of Biological Macromolecules. 82(1): 279-283.

Schreiber, S.B., Bozell, J.J., Hayes, D.G., Zivanovic, S. 2013. Introduction of primary antioxidant activity to chitosan for application as a multifunctional food packaging material. Food Hydrocolloids. 33(2): 207-214.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.8.4.3.5]

Shafiq, M., Yasin, T., Rafiq, M.A. 2014. Structural, thermal, and antibacterial properties of chitosan/ZnO composites. Polymer Composites. 35(1): 79-85.

Singh, A., Sinsinbar, G., Choudhary, M., Kumar, V., Pasricha, R., Verma, H.N., Singh, S.P., Arora, K. 2013. Graphene oxide-chitosan nanocomposite based electrochemical DNA biosensor for detection of typhoid. Sensors and Actuators B: Chemical. 185(1): 675-684.

Toiserkani, H. 2016. Preparation and characterization chitosan/functionalized zinc oxide bionanocomposites and study of their antibacterial activities. Composite Interfaces. 23(3): 175-189.

Toiserkani, H., Sadaghat, F. 2013. Chitin and Chitosan: Structure, Properties and Applications. Journal of Aquatic Ecology. 2(3): 40-26. (in Persian)

Wang, X., Du, Y., Liu, H. 2004. Preparation, characterization and antimicrobial activity of chitosan–Zn complex. Carbohydrate Polymers. 56(1): 21-26.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.8.4.3.5]