مجله ایمنی زیستی
دوره ۱۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰
ISSN 2716-9804الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

سنتز و بررسی خصوصیات ساختاری، الکتریکی و آنتی‌اکسیدانی نانوکامپوزیت کیتوزان-پلی‌پیرول جهت بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی

20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7

بهزاد محمدی*[۱]، سجاد پیرسا[۲]، فروغ محترمی[۳]، مهدی جلالی[۱] و ندا فلاح[۴]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم وصنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، مؤسسه غیر انتفاعی آفاق ارومیه، ارومیه، ایران
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۴- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان، ایران
behzadmohammadi722@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۳
صفحه ۱۰۰-۸۱

چکیده

در قرن حاضر تلفیق پلیمرهای رسانا یعنی موادی که علاوه‌بر بهبود خواص عمومی پلیمرها، دارای خواص الکتریکی و مغناطیسی نیز باشند با بیوپلیمرهای طبیعی برای بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق از نانوذرات پلی‌پیرول با غلظت‌های مختلف استفاده و نانوکامپوزیت کیتوزان-پلی‌پیرول به روش شیمیایی تهیه شد.سپس خصوصیات ساختاری و عملکردی فیلم‌ها مورد بررسی قرار گرفت. اندازه، شکل و مورفولوژی ذرات سنتزشده با استفاده از روش میکروسکوپ پویش الکترونی بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد پلی‌پیرول‌های سنتزشده دانه‌ای شکل و در ابعاد ۹۰-۱۰۰ نانومتر هستند. خاصیت آنتی‌اکسیدانی و هدایت الکتریکی فیلم‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در پی سنتز نانوذرات پلی‌پیرول در ماتریکس پلیمری کیتوزان مقاومت الکتریکی کاهش و هدایت الکتریکی افزایش یافت. همچنین نتایج حاصل از بررسی تأثیر پلی‌پیرول بر خصوصیات فیزیکی فیلم کیتوزان نشان داد که با افزایش غلظت پلی‌پیرول و زمان سنتز میزان حلالیت آبی و نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها کاهش یافت. برهم‌کنش بین کیتوزان و پلی‌پیرول توسط الگوی طیف‌سنجی مادون قرمز و پراش پرتو ایکس تایید شد.

واژه‌های کلیدی: کیتوزان، پلی‌پیرول، زیست‌تخریب‌پذیری ، نانوپلیمرهای رسانا، خواص آنتی‌اکسیدانی.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

مقدمه

در قرن حاضر تلفیق پلیمرهای رسانا یعنی موادی که علاوه‌بر بهبود خواص عمومی پلیمرها، دارای خواص الکتریکی و مغناطیسی نیز باشند با بیوپلیمرهای طبیعی برای بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر با حفاظت از محصول غذایی در برابر آسیب‌های مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی مانع از کاهش کیفیت آن‌ها می‌شوند. همچنین می‌توانند به‌عنوان حامل مواد ضدمیکروب به‌صورت بسته‌بندی‌های ضدمیکروبی، از فعالیت‌های میکروبی جلوگیری کرده و موجب افزایش مدت زمان نگهداری محصولات غذایی شوند (Ghanbarzadeh et al. 2011). محصول حاوی نانو کامپوزیت ماده مرکبی است که حداقل یکی از فازهای تشکیل‌دهنده آن دارای ابعاد نانو (بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) است (Mohammadi et al. 2019). نانو کامپوزیت‌ها به‌دلیل خصوصیات حرارتی، مقاومت و رسانایی بهبودیافته درحال حاضر برای بسته‌بندی نوشابه‌های غیرالکلی و مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Alexander et al. 2000).

کیتوزان پلی‌ساکاریدی خطی متشکل از واحدهای D-گلوکزآمین و N-استیل D-گلوکزآمین است که از استیل‌زدایی کیتین تهیه می‌شود. در واقع پلی‌ساکاریدی طبیعی است که دارای خواص منحصر به فردی از قبیل زیست‌تخریب‌پذیری، زیست‌سازگاری، ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی است. منبع اصلی کیتین منابع دریایی از قبیل سخت‌پوستان، میگو و خرچنگ است. ساختار سخت و حضور پیوندهای هیدروژنی در کیتین منجر به حلالیت ضعیف آن در حلال‌های آلی می‌شود. در صورتی‌که کیتوزان به‌دلیل حضور گروه‌های آمین و تشکیل پلی‌الکترولیت کاتیونی در حلال‌های اسیدی رقیق حل می‌شود. عوامل مختلفی مانند دما، درجه استیل‌زدایی، اندازه ذرات و وزن مولکولی بر روی حلالیت کیتوزان تأثیرگذار است. از جمله خصوصیات این پلیمر می‌توان به هزینه کم تولید، زیست‌سازگاری، زیست‌تخریب‌پذیری، چسبندگی، خصوصیات ضدمیکروبی و ضدقارچی، سمی نبودن و توانایی تشکیل فیلم اشاره کرد (Luo and Wang, 2013). مکانیسم‌های مختلفی برای خاصیت ضدمیکروبی کیتوزان پیشنهاد شده است. واکنش بین مولکول کیتوزان دارای بار مثبت با غشای سلول دارای بار منفی میکروب منجر به نشت ترکیبات پروتئین‌دار و سایر ترکیبات درون سلول به خارج سلول می‌شود (Je et al. 2006).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

کیتوزان به‌عنوان شلاته‌کننده فلزات کم مقدار را از دسترس خارج کرده و در نتیجه از رشد باکتری جلوگیری می‌کند. کیتوزان به‌عنوان یک عامل اتصال‌دهنده با آب، باعث فعال‌شدن فرآیندهای مختلف در بافت میزبان می‌شود و از فعالیت آنزیم‌های مختلف جلوگیری می‌کند (Rabea et al. 2003).

ویژگی آب‌دوستی و به دنبال آن خصوصیات مکانیکی ضعیف کیتوزان در حضور آب و محیط‌های مرطوب و ناکافی بودن مقاومت حرارتی، سختی، ممانعت آن در برابر گازها و هزینه تهیه آن، کاربرد آن به تنهایی را در صنعت بسته‌بندی با مشکل روبه رو کرده است. خواص ممانعتی کیتوزان می‌تواند در ترکیب با سایر پلیمرها مانند پلی‌پیرول بهبود یابد. پلیمرهای رسانا پلیمرهایی با الکترون‌های مزدوج دارای خواص الکترونیکی هستند. همه پلیمرهای رسانا مجموعه‌ای از ساختارهای مولکولی مشابه هستند یعنی در همه آنها پیوندهای دوگانه مزدوج وجود دارد و این ساختار احتمال رسانا کردن آنها را فراهم می‌کند. با عملیات دوپه‌کردن (partcal doping) برخی از پیوندهای دوگانه آزاد می‌شوند و ابرهای الکترونی در طول زنجیر تحرک پیدا می‌کنند (Khadem et al. 2016).

ویژگی جالب این نوع پلیمرها کنترل میزان رسانایی آنهاست. یعنی می‌توان با دوپه‌کردن میزان رسانایی آنها را از یک حد عایق تا یک حد فلز تغییر داد. در میان پلیمره‌های رسانا، پلی‌پیرول به‌دلیل پایداری زیست‌محیطی، پلیمریزاسیون آسان، کاربرد گسترده در حسگرهای گازی، ابزارهای الکتروکرومیک و به‌عنوان ضدخوردگی معروف است. پلی‌پیرول نوعی پلیمر آلی است که از پلیمریزه کردن پیرول به دست می‌آید (Sevil et al. 2012). محافظت عالی آن در مقابل بارهای الکتریکی ساکن موجب کاربرد آن در ساخت اجزای الکترونیک با کیفیت بالا شده است. جذب و انتقال عناصر سنگین از محلول‌های آبی و کاهش آلودگی محیط زیست نیز از کاربردهای آن محسوب می‌شود. نانوکامپوزیت‌های پلی‌پیرول با پلیمرهایی چون پلی‌استر، نایلون‌ها، PVC و غیره با بهره‌مندی از خواص مکانیکی پلیمر کلاسیک (عایق) به‌عنوان ماتریس و خواص الکتریکی می‌تواند دنیای جدیدی را در گسترش دامنه کاربردهای پلی‌پیرول در نانوبسته‌بندی‌های زیست‌تخریب باز کند (Vernitskaya et al. 1997).

در این تحقیق فیلم نانوکامپوزیت کیتوزان-پلی‌پیرول در ترکیب غلظت‌های مختلف و زمان

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

سنتز متفاوت برای پلی‌پیرول تهیه شد. بررسی خصوصیات ساختاری نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از روش‌های میکروسکوپ پویش الکترونی و fourier-transform infrared) FTIR spectroscopy) و XRD (X-ray diffraction) انجام گرفت. ویژگی‌های عملکردی فیلم‌ها از لحاظ نفوذپذیری به بخار آب (water vapor permeability; WVP)، حلالیت آبی و هدایت الکتریکی نیز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد استفاده شده شامل، کیتوزان خلوص ۹۹٪ با درجه داستیلاسیون ۸۸ (مارک-هند)، گلیسرول خلوص ۹۸٪ (مرک-آلمان)، اسید استیک ۱٪ (مرک-آلمان)، آب مقطر، پلی‌پیرول (سیگما-آلمان)، کلرید آهن III (سیگما-آلمان)، اتانول (مرک-آلمان)، محلول بنفش ۲-۲ دیفنیل -۱-پیکریل-هیدرازیل (DPPH) (سیگما-آلمان)، کلسیم کلرید (مرک-آلمان)، اسید کلریدریک غلیظ (مرک-آلمان) بود.

دستگاه‌های مورد استفاده شامل، ترازوی دیجیتالی RADVAG با دقت ۰/۰۰۱ مدل WTB200 (آمریکا)، هیتر PECO ایران، دستگاه اسپکتروفتومتر UV-VIS مدل UNICO ۲۱۰۰ (آمریکا)، لوازم شیشه‌ای (از قبیل بشر، ارلن، پیپت، دماسنج) سینا شیشه ایران، دستگاه رنگ‌سنج مدل Minolte model CR-410 (ژاپن)، دستگاه پراش پرتو ایکس MPD مدل B.V (هلند)، دستگاه مولتی‌متر HIOKI مدل DT4252، میکروسکوپ روبش الکترونی Tescan Vega-3، دستگاه اسپکترومتر (FTIR) مدل TENSOR 27 (آلمان) بود.

سنتز فیلم کیتوزان

ابتدا ۵ گرم پودر کیتوزان در۳۰۰ میلی‌لیتر محلول اسید استیک (v/v ۱٪) و آب شد. سپس به منظور بهبود خاصیت انعطاف‌پذیری فیلم دو میلی‌گرم گلیسرول (بالاتر از این غلظت ساختار فیلم بهم می‌ریزد) به‌عنوان نرم‌کننده به محلول اضافه شد و در آخر محلول به مدت ۸ ساعت در دمای $90^{o}C$ بر روی هیتر استریل هم زده شد. بعد از یکنواختی کامل ۱۵۰ میلی‌لیتر از محلول به قالب‌های پلاستیکی اضافه شد. به مدت ۷۲ ساعت در دمای محیط قرار داده شدند تا خشک شوند.

تهیه نانو کامپوزیت کیتوزان-پلی‌پیرول

پانصد میلی‌گرم کلرید آهن III در ۱۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر حل شد و سپس به آن ۳۵ میلی‌لیتر

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

اتانول اضافه شد. برای اسیدی شدن محیط و سنتز پلی‌پیرول به محلول فوق ۲/۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ اضافه شد. سپس پلی‌پیرول برحسب غلظت‌های جدول ۱ به محلول اضافه و فیلم کیتوزان داخل محلول فوق غوطه‌ور شد. طبق زمان‌های موجود در جدول ۱، برای هر تیمار اجازه سنتز داده شد. سپس فیلم‌ها در دمای اتاق خشک شدند.

جدول ۱- طرح مرکب مرکزی اثر غلظت نانوذرات پلی‌پیرول و زمان سنتز برخصوصیات فیلم کیتوزان.

ردیف	عامل۱: زمان سنتز (دقیقه)	عامل۲: غلظت پلی‌پیرول (مول بر لیتر)
۱	۴۷/۵	۰/۰۵۵
۲	۶۰	۰/۰۱
۳	۲۲/۵	۰/۰۵۵
۴	۳۵	۰/۰۳۲۵
۵	۳۵	۰/۰۵۵
۶	۶۰	۰/۱
۷	۳۵	۰/۰۵۵
۸	۳۵	۰/۰۷۷۵
۹	۳۵	۰/۰۵۵
۱۰	۳۵	۰/۰۵۵
۱۱	۳۵	۰/۰۵۵
۱۲	۱۰	۰/۰۱
۱۳	۱۰	۰/۱
۱۴	۱	۰/۱
۱۵	۱	۰/۱
فیلم شاهد کیتوزان	-	-

حلالیت فیلم در آب

حلالیت در آب عبارت است از، درصد ماده خشک فیلم، که پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب به حالت محلول درمی‌آید (Pasquini et al. 2008). اندازه‌گیری حلالیت در آب با روش ریم و همکاران ۲۰۱۰ انجام شد. تکه‌های فیلم برای رسیدن به وزن خشک اولیه (W1) به مدت ۶ ساعت در آون در دمای ۱۰۵°C قرار داده و سپس وزن شد. در ادامه ۰/۲۴۵ میلی‌گرم از نمونه‌های فیلم در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر غوطه‌ور شد و درحالی‌که به‌صورت مقطعی هم زده می‌شد در دمای ۲۵°C به مدت ۶ ساعت با دور ۲۵۰rpm قرار گرفت. سپس محلول از کاغذ صافی واتمن شماره ۴ عبور داده شد و وزن نهایی (W2) آن با

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

استفاده از رابطه ۱ بعد از خشک‌کردن در آون به دست آمد (Peng et al. 2013).

$$\text{حلالیت}\% = \frac{\text{وزن خشک اولیه} - \text{وزن خشک نهایی}}{\text{وزن خشک اولیه}} \times 100$$

(رابطه ۱)

اندازه‌گیری نفوذپذیری نسبت به بخار آب

اندازه‌گیری نفوذپذیری نسبت به بخار آب طبق روش ASTM E96-92 با استفاده از فالکون‌هایی با قطر ۲ سانتیمتر انجام شد. ده میلی‌لیتر آب مقطر با فشار بخار آب ۲/۷۳۳×۱۰۳Pa در دمای ۲۰°C و RH=100% داخل فالکون‌ها ریخته شد. قطعه‌ای از فیلم‌ها به اندازه قطر دهانه فالکون برش داده شد و با ذوب پارافین جامد به دهانه فالکون چسبانده شدند. سپس فالکون‌ها توزین شدند و درون دسیکاتور حاوی سلیکاژن در دمای ۲۰°C، RH=0% با فشار بخار آب صفر پاسکال قرار گرفتند. به مدت ۱۰ ساعت هر دو ساعت یک‌بار فالکون‌ها وزن شدند. مقدار بخار آب انتقال‌یافته از فیلم از روی کاهش وزن فالکون‌ها تعیین شد. منحنی کاهش وزن فالکون‌ها با گذشت زمان رسم شد و پس از محاسبه رگرسیون خطی، شیب خط حاصله محاسبه شد. از تقسیم شیب‌خط کاهش وزن مربوط به هر فالکون به سطح فیلم که در معرض انتقال بخار آب قرار داشت، آهنگ انتقال بخار آب WVTR و نفوذپذیری به بخار آب طبق روابط (۲و۳) محاسبه شد:

$$\text{نرخ انتقال بخار آب} = \frac{\text{شیب منحنی}}{\text{مساحت سطحی فیلم}}$$

(رابطه ۲)

$$\text{نفوذ پذیری بخار آب} = \frac{\text{نرخ انتقال} \times \text{ضخامت}}{\text{اختلاف فشار}}$$

(رابطه ۳)

آزمون پراش پرتو ایکس

آزمون پراش پرتو ایکس بر روی فیلم‌ها توسط دستگاه پراش‌سنج MPD (مدل philips ساخت کشور هلند) واقع در آزمایشگاه X-Ray دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفت. ابتدا نمونه‌ها بر روی دیسک‌هایی فشرده شدند. تولید پرتو CuK فیلترشده با نیکل با طول‌موج ۰/۱۴۵ نانومتر انجام شد. ژنراتور تولید پرتو ایکس در ۴۰KV و ۴۰mA تنظیم شد و نمونه‌ها در معرض پرتو ایکس قرار گرفتند.

تشعشعات بازتابشی از نمونه در دمای محیط و در محدوده‌ی زاویه 2θ از ۲° تا ۷۰° انجام شد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

سرعت انجام آزمون یک دقیقه و اندازه گام‌ها ۰/۰۲° بود. شاخص بلورینگی که نشان‌دهنده میزان نظم آرایشی رشته‌های فیبر است از رابطه ۴ به دست آمد.

$$\%CRI = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \times 100 \quad \text{(رابطه ۴)}$$

I_{002} شدت بازتابش از سطح کریستال فیلم و I_{am} شدت پخش پرتو X-Ray است که ناشی از بخش آمورف نمونه است (شدت پراش در زاویه ۲θ=۱۸° انجام گرفت) اندازه بلورها با استفاده از فرمول شیرر (رابطه ۵) اندازه‌گیری شد.

$$\text{Crystallite size} = \lambda 0.9/(\beta \cos \theta) \quad \text{(رابطه ۵)}$$

λ طول‌موج پرتو ایکس (0.154 nm)، β عرض پیک پراش در نصف ارتفاع مربوط به نمونه و θ زاویه بازتاب است.

آزمون طیف‌سنجی FTIR

برای انجام آزمون FTIR از دستگاه FTIR (Spectrum Two, Perkin Elemer,USA) دانشگاه ارومیه استفاده شد. قرص‌های نازک با ضخامت کمتر از یک میلی‌متر از اختلاط آب و آسیاب نمونه‌های فیلم و یا نانوذرات پوشش‌دار شده با پتاسیم‌برمید خشک به نسبت ۱:۲۰ و اعمال فشار حدود ۶۰KPa به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه تهیه قرص به دست آمد. سپس طیف عبور نمونه‌ها در محدوده عدد موجی ۴۰۰۰cm^{-1}-۴۰۰cm^{-1} و با قدرت تفکیک ۰/۵cm^{-1} مورد آنالیز قرار گرفت (MogadasKia et al. 2016).

اندازه‌گیری بار الکتریکی فیلم‌ها

هدایت یا مقاومت الکتریکی فیلم‌ها توسط دستگاه مولتی‌متر HIOKI مدل DT۴۲۵۲ انجام شد. ابتدا دستگاه بر روی مقاومت سنج تنظیم شد و دو الکترود دستگاه با فاصله یک سانتی‌متری از هم روی فیلم قرار گرفت. سپس مقدار مقاومت الکتریکی ثبت شد. اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی در پنج نقطه از پشت و روی هر فیلم انجام شد و از اعداد میانگین گرفته شد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

آزمون میکروسکوپ الکترونی روبش

بررسی ریزساختاری فیلم‌های تولیدشده به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی Tescan Vegan3 موجود در مرکز پژوهش متالوژی رازی (تهران) انجام شد. به‌منظور بررسی تأثیر افزودن پلی‌پیرول بر روی ریزساختار فیلم‌های تولیدشده، تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح فیلم‌ها تهیه شد. ابتدا فیلم‌ها به کمک چسب نقره بر روی پایه آلومینیومی چسبانده شدند. پایه‌ها در یک دستگاه پوشش‌دهنده/پاشنده تا نقطه بحرانی خشک‌شده و به مدت پنج دقیقه با طلا پوشش داده شدند. تصویربرداری از نمونه‌ها به‌وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی روبشی با کاربردی ۲۰ کیلووات و در بزرگ‌نمایی ۶ میکرومتر انجام شد (Casariego et al. 2009).

تعیین خاصیت آنتی‌اکسیدانی

خاصیت آنتی‌اکسیدانی براساس از دست دادن اتم هیدروژن توسط ترکیبات فنولیک یا میزان بی‌رنگ کردن محلول بنفش DPPH انجام شد. DPPH در حالت رادیکال آزاد، رنگ بنفش ایجاد کرده و در طول موج ۵۱۷ نانومتر جذب دارد. درحالی‌که در اثر احیا با آنتی‌اکسیدان‌ها شدت رنگ و درنتیجه میزان جذب آن کاهش می‌یابد. بنابراین هر چقدر شدت رنگ DPPH کمتر باشد، نشان‌دهنده قدرت آنتی‌اکسیدانی بالاتر در نمونه است. میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر ثبت شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها به صورت درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شد (Siripatrawan et al. 2010).

$$\text{درصد خاصیت آنتی اکسیدانی} = \frac{\text{جذب شاهد} - \text{جذب محلول رادیکالی}}{\text{جذب محلول رادیکالی}} \times 100$$

(رابطه ۶)

تجزیه تحلیل آماری

آزمایش‌های این تحقیق بر اساس طرح آماری مرکب مرکزی، در سطح احتمال ۹۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار آماری Design expert-10 انجام گرفت و نمودارها با استفاده از همین نرم‌افزار و نیز به کمک نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج آزمون پراش پرتو ایکس (XRD)

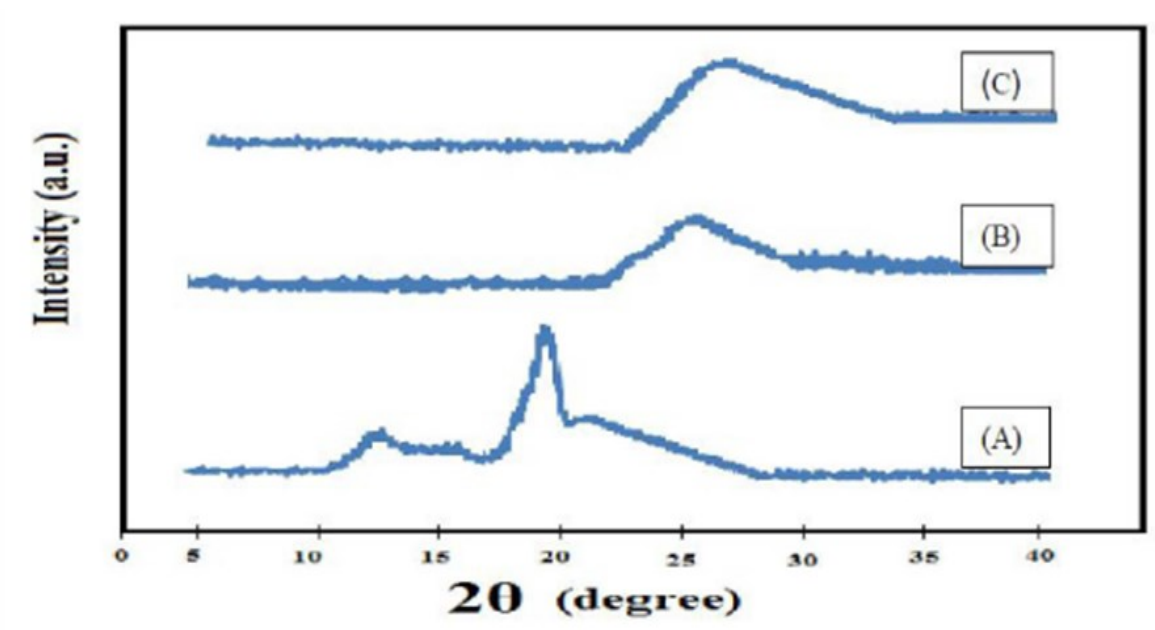
شکل ۱ نتایج آزمون XRD بر روی فیلم خالص کیتوزان (A)، پلی‌پیرول (B)، و نانوکامپوزیت کیتوزان-پلی‌پیرول (C) را نشان می‌دهد. الگوی پراش پرتوایکس فیلم کیتوزان (A) پیک‌های پراکندگی ضعیفی را در محدوده زاویه $2\theta=12/7^{o}$

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

نشان می‌دهد که مربوط به یکنواختی سطح است و باعث تشکیل پیک در زاویه پایین‌تر و ارتفاع کمتر می‌شود. پیک‌های زاویه $2\theta=19/37^{o}$ هم مورفولوژی بلورین بالا برای فیلم کیتوزان را نشان می‌دهد.

الگوی پراش پرتو ایکس (B)، پیک‌های پهن مشخصی را برای پلی‌پیرول در زاویه $2\theta=26^{o}$ نشان می‌دهد. درحالی‌که الگوی پراش پرتو ایکس کیتوزان-پلی‌پیرول (C)، کاهش نسبی قله‌ها را در مقایسه با حداکثر پیک‌های مربوط به پلی‌پیرول نشان می‌دهد. این کاهش شدت قله در نانوکامپوزیت نشان‌دهنده شکل‌گیری پیوند شیمیایی جدید بین کیتوزان-پلی‌پیرول است. به عبارت دیگر، نفوذ ذرات پلی‌پیرول به ماتریکس فیلم کیتوزان و پخش یکنواخت آن در سرتاسر ماتریکس باعث کاهش حالت کریستالی کیتوزان و تشکیل پیک در زاویه پایین‌تری می‌شود. مطابق با قانون براگ، هرچه زاویه پراش ایجادشده کمتر باشد یعنی پخش شدن نانوذرات در ماتریکس پلیمر بهتر رخ داده است. نتایج بدست آمده با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Abdollahi et al. 2012; Cabuk et al. 2013).



شکل ۱- آزمون XRD کیتوزان (A)، پلی پیرول (B) و کیتوزان-پلی‌پیرول (C).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

نتایج آزمون FTIR

طیف سنجی مادون قرمز، ابزاری جهت بررسی وضعیت پیوندها است. در این مطالعه از طیف سنجی مادون قرمز برای بررسی تشکیل یا شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی در اتصال پلیمرها استفاده شد (Zhang et al. 2002).

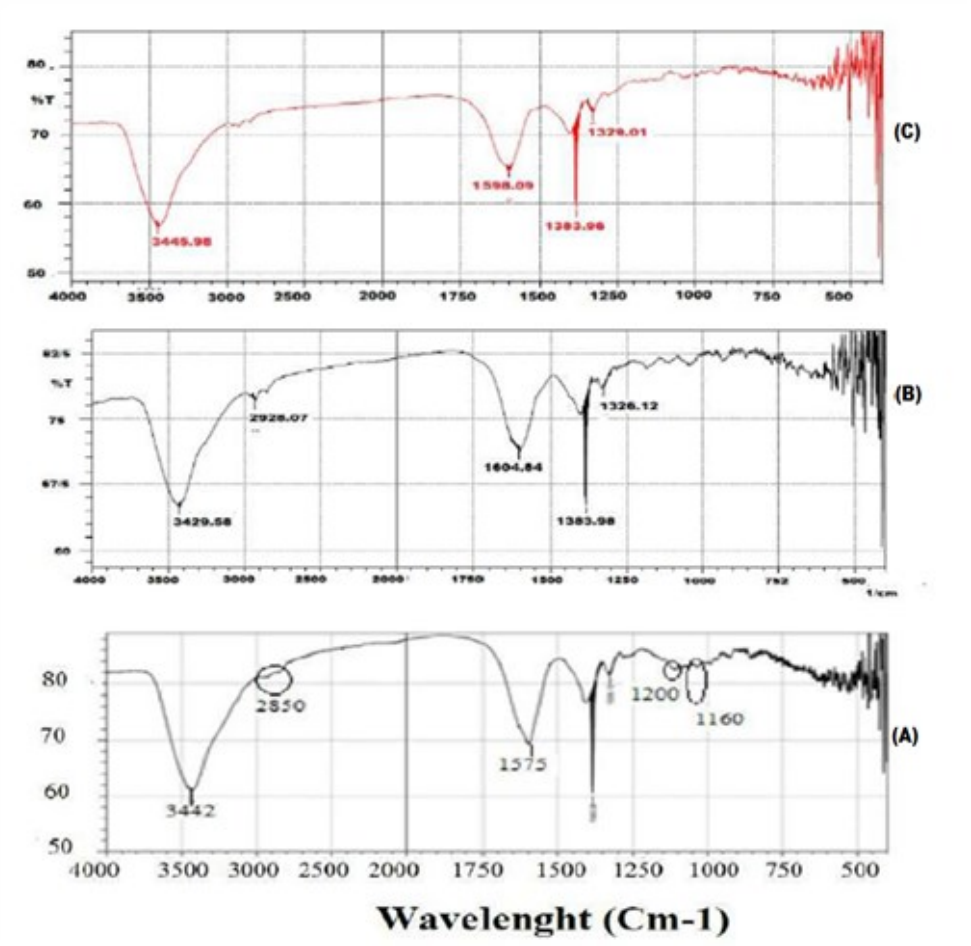
قسمت A در شکل ۲، طیف FTIR برای کیتوزان خالص را نشان می‌دهد. کیتوزان خالص دارای پیک‌های جذبی متمایز در فرکانس $3445cm^{-1}$ ناشی از ارتعاشات کششی متقارن و نامتقارن $-NH_2$ و پیوندهای خمشی $-NH_2$ در فرکانس $1575cm^{-1}$ است. پیک ظاهر شده در فرکانس $2850cm^{-1}$ مربوط به باند کششی C-H (کربن مرکزی-باند هیدروژنی) در فیلم کیتوزان است که این پیک‌ها می‌توانند دلیلی برای بالابودن نسبی استحکام این فیلم‌ها تلقی شود (Yavuz et al. 2010; Silva et al. 2014).

در شکل ۲ قسمت B طیف FTIR برای پلی‌پیرول را نشان می‌دهد. پیک تشکیل‌شده در محدوده $1604cm^{-1}$ مربوط به ارتعاش پیوند C=C و پیک در محدوده $1383cm^{-1}$ مربوط به ارتعاش کششی پیوند C-N است. پیک در محدوده $1326cm^{-1}$ هم مربوط به ارتعاش پیوند C-H حلقه پیرول است. پیک در محدوده $2928cm^{-1}$ ناشی از تغیر شکل پیوندهای C-H خارج از حلقه پیرول است. پیک ظاهرشده در محدوده $3429cm^{-1}$ به ارتعاش کششی پیوند N-H نسبت داده می‌شود. ولی می‌تواند ناشی از وجود رطوبت ومولکول‌های آب نیز باشد (Zhang et al. 2006; Turkaslan et al. 2016).

قسمت C در شکل ۲، طیف FTIR کیتوزان و پلی‌پیرول را نشان می‌دهد که بیانگر تشکیل پیوند بین کیتوزان و پلی‌پیرول بوده و همچنین پیوند هیدروژنی ناشی از گروه‌های OH فعال، مابین کیتوزان و پلی‌پیرول در محدوده $3445cm^{-1}$ است (Ma et al. 2011; Yavuz et al. 2011). در فرکانس $1598cm^{-1}$ کاهش شدت پیک برای نانوکامپوزیت کیتوزان-پلی‌پیرول در مقایسه با کیتوزان خالص رخ می‌دهد به‌طوریکه برخی پیک‌ها ناپدید می‌شوند. این نتایج نشان‌دهنده واکنش بین کیتوزان و پلی‌پیرول و بیانگر تشکیل پیوند شیمیایی بین کیتوزان و پلی‌پیرول بوده که تشکیل کامپوزیت را اثبات می‌کند (Silva et al. 2014). نتایج بدست آمده با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Eslahi et al. 2013; Ojag et al. 2017).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]



شکل۲- آزمون FTIR کیتوزان (A)، پلی‌پیرول (B) و فیلم نانوکامپوزیتی (C)

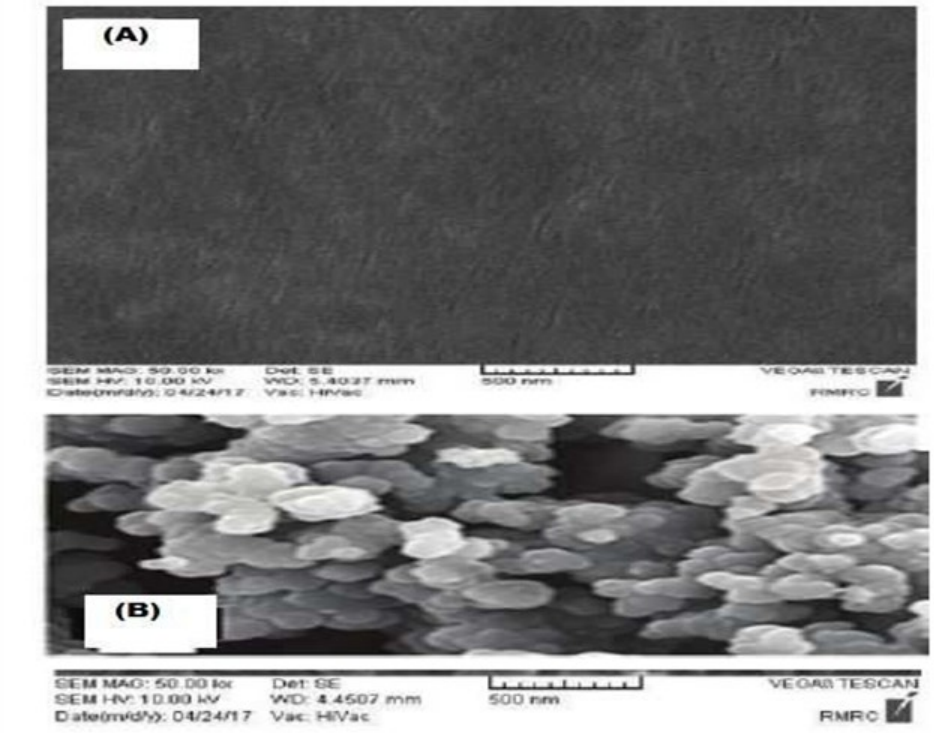
ریزساختار میکروسکوپ الکترونی (SEM)

مورفولوژی سطح فیلم کیتوزان و نانوکامپوزیت کیتوزان-پلی‌پیرول (تیمار۶) با استفاده از SEM مورد مطالعه قرار گرفت. با استفاده از SEM می‌توان به همگن بودن کامپوزیت، حضور حفره، سطح پراکندگی نانوذرات پلی‌پیرول در ماتریس و وجود کلوخه و در مواردی به جهت‌گیری نانوذرات پی برد. میکروگراف SEM، برای فیلم کیتوزان خالص نشان داد که این فیلم بدون منفذ، صاف و بدون خلل و فرج است که نشانگر همگن بودن و یکپارچگی ساختاری فیلم تهیه شده است. شکل۳، میکروگراف SEM ساختاری با ذرات متراکم را برای کیتوزان اصلاح‌شده با نانوپلیمر پلی‌پیرول نشان می‌دهد. سنتز ذرات تقریباً شبه‌کروی و در ابعاد نانو با اندازه ۹۰ الی ۱۰۰ نانومتر است. شرایط سنتز تأثیر چندانی بر روی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

شکل کروی ذرات نداشت و فقط ابعاد ذرات تحت تأثیر زمان سنتز قرار گرفت. اگرچه بعضی انباشتگی‌ها هم مشاهده شد اما باید توجه داشت که ذرات به‌طور غیریکنواخت و حالت کلوخه‌ای در ماتریس کیتوزان پخش شده بودند.



شکل ۳- مورفولوژی فیلم کیتوزان خالص (A) و فیلم اصلاح‌شده با پلی‌پیرول(B).

حلالیت در آب (TSM٪)

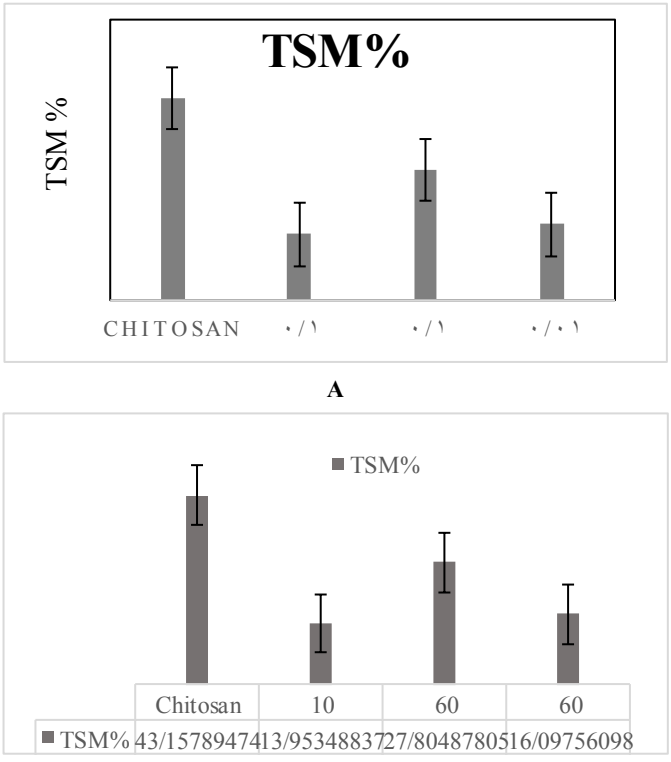
میزان حلالیت در آب فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر خصوصیت مهمی است. مقدار حلالیت در آب فیلم‌ها در واقع مقاومت به آب این فیلم‌ها را زمانی‌که در تماس با ماده غذایی آبی باشند، نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، مقاومت در برابر آب، یکی از ویژگی‌های مهم فیلم زیست‌تخریب‌پذیر به شمار می‌رود زیرا بیانگر کارایی آن در حفاظت از مواد غذایی با فعالیت آبی بالا و یا مواد تازه و یخ‌زده است (Bourtom et al. 2008).

شکل ۴ قسمت A تأثیر غلظت‌های سنتزشده نانوپلیمر پلی‌پیرول را بر روی حلالیت آبی فیلم کیتوزان نشان می‌دهد. شکل ۴، قسمت B تأثیر

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

زمان سنتز بر روی حلالیت آبی فیلم کیتوزان را نشان می‌دهد. فیلم کیتوزان خالص به‌دلیل طبیعت هیدروفیلیک (آب‌دوستی) آن، حلالیت آبی بالایی حدود ۴۳% حلالیت نشان داد. اما نانوپلیمر پلی‌پیرول به‌دلیل خاصیت هیدروفوبی (آب‌گریزی) باعث کاهش معنی‌دار حلالیت آبی فیلم کیتوزان شد. دلیل این کاهش را می‌توان افزایش خواص ممانعتی کیتوزان با استفاده از خاصیت آب‌گریزی نانوپلیمر پلی‌پیرول بیان کرد که به علت عدم اتصال مولکول‌های آب به ماتریس پلیمر زیست‌سازگار کیتوزان با کاهش گروه‌های هیدروژنی آزاد جهت تشکیل پیوندهای آب‌دوست است. دلیل دیگر ساختار دیسک مانند و یا فعل‌وانفعالات ناشی از تشکیل پیوند بین کیتوزان و نانوپلیمر پلی‌پیرول و بهبود و تثبیت ساختار فیلم کیتوزان در نتیجه این پیوند می‌تواند باشد. از طرفی بیشترین حلالیت مربوط به کیتوزان شاهد، کمترین میزان حلالیت به ترتیب در فیلم با غلظت پلیمر ۰/۱٪ (زمان سنتز ده دقیقه)، ۰/۰۱٪ (زمان سنتز ۶۰ دقیقه) و ۰/۱٪ (زمان سنتز ۶۰ دقیقه) است.



شکل۴- تأثیر غلظت پلی‌پیرول (A) و زمان سنتز (B) بر حلالیت آبی نانوکامپوزیت‌ها

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

نفوذپذیری فیلم‌ها به بخار آب (WVP)

آب به‌عنوان حلال یا حامل عمل می‌کند و موجب تخریب بافت، واکنش‌های آنزیمی و شیمیایی می‌شود. نفوذپذیری به بخار آب در بسته‌بندی مواد غذایی، فاکتور مهمی است که شامل جذب، انتشار و دفع آب است. نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر، باید در حداقل مقدار ممکن باشد. نفوذپذیری به بخار آب به حلالیت و انتشار آب در داخل پلیمر بستگی دارد (Zhong et al. 2011).

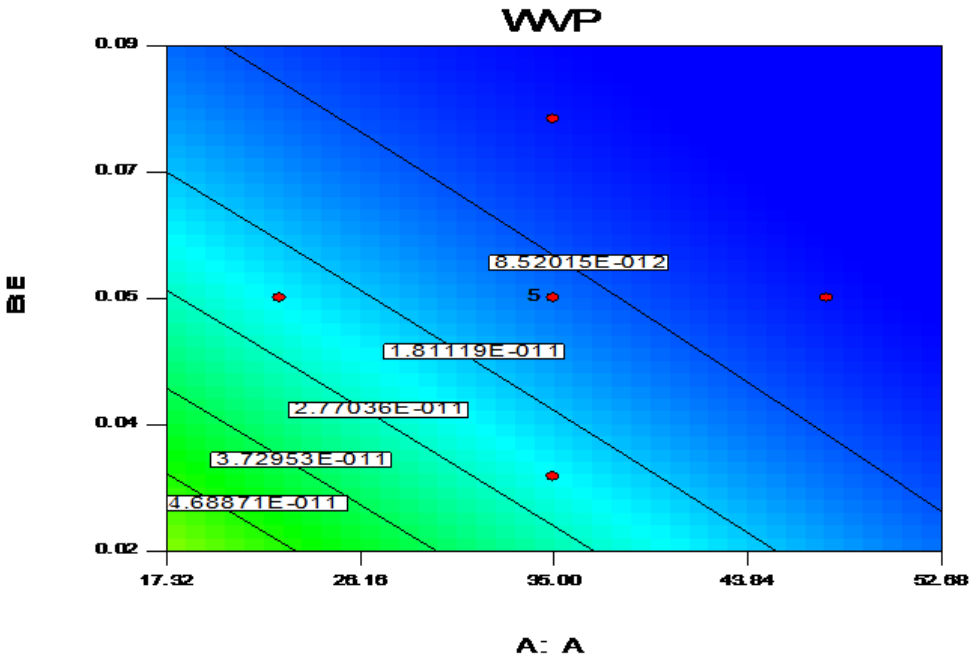
میزان نفوذپذیری به بخار آب، یک روش ساده اندازه‌گیری میزان نفوذ و عبور رطوبت به داخل یک ماده است. انتقال بخار آب از فیلم‌ها به دو فاکتور حلالیت و نفوذپذیری مولکول‌های آب در ماتریکس فیلم بستگی دارد. این پارامتر، به‌منظور بررسی اثر دو فاکتور زمان سنتز و غلظت نانوپلیمر رسانای پلی‌پیرول بر روی خواص ممانعتی فیلم کیتوزان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که میزان نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های نانوکامپوزیتی به‌طور معنی‌داری کمتر از فیلم شاهد کیتوزان است.

همان‌طوری‌که در شکل ۵، نشان داده‌شده است غلظت‌های نانوپلیمر پلی‌پیرول و زمان سنتز آن بر روی فیلم کیتوزان بر نفوذپذیری فیلم کیتوزان تأثیر معنی‌داری دارد ($P>۰/۰۵$). به‌طوری‌که با افزایش غلظت نانوپلیمر پلی‌پیرول و افزایش زمان سنتز نفوذپذیری کاهش پیدا می‌کند.

علت این امر می‌تواند وجود نانوپلیمر پلی‌پیرول با نسبت منظر (طول به قطر) بالا باشد که باعث واکنش بین‌مولکولی قوی با کیتوزان و کاهش فواصل بین‌مولکولی و در نهایت تشکیل فیلم‌های فشرده‌تر و افزایش خاصیت آب‌گریزی شده است. علت دیگر وجود پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های پلی‌پیرول و کیتوزان و اتصالات عرضی قوی از نوع کووالانسی در ساختار پلیمر می‌تواند باشد که در نتیجه انسجام و یکپارچگی فیلم افزایش‌یافته و حساسیت آن به نفوذ رطوبت کاهش می‌یابد اما با گذشت زمان و افزایش غلظت پلی‌پیرول از یک حد مشخص نفوذپذیری دوباره افزایش می‌یابد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]



شکل۵- تأثیر زمان سنتز (A:A) و غلظت پلی‌پیرول (B:B) بر خاصیت نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌ها

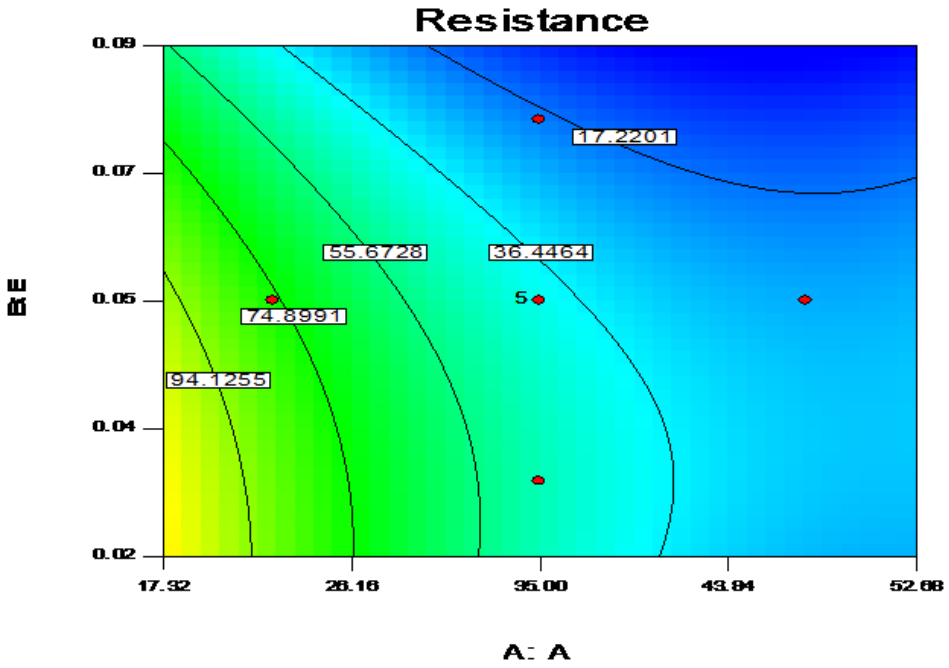
اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی فیلم‌ها

مقاومت الکتریکی فیلم سنتزی کیتوزان-پلی‌پیرول، عامل بسیار مهمی که می‌تواند در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، بسته‌بندی هوشمند، حسگرهای بی‌حس‌کننده، حسگر گاز و غیره مورد استفاده قرار گیرد، بررسی شد. شکل ۶، منحنی مقاومت الکتریکی نسبت به زمان سنتز و غلظت نانوپلیمر پلی‌پیرول را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که ابتدا با افزایش زمان سنتز و غلظت نانوپلیمر پلی‌پیرول مقاومت الکتریکی کاهش یافته و هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. در بسته‌بندی‌های هوشمند (براساس تغییرات مقاومت الکتریکی) بالابودن میزان هدایت الکتریکی حساسیت فیلم نسبت به تغییرات محیطی را افزایش می‌دهد. یکی از شاخصه‌های رسانایی پلی‌پیرول طول مزدوج یا عدم استقرارالکترون است. طول مزدوج طولی است که پیوند می‌تواند عدم استقرار داشته باشد. بنابراین هرچه زنجیره پلیمری مسطح شکل بگیرد (اتصال ایده‌آل مونومرها)، رسانایی بیشتر خواهد بود. با استفاده از فیلم‌های ارائه شده در بسته‌بندی مواد غذایی، می‌توان غلظت مواد فرّار را با مطالعهٔ هدایت الکتریکی فیلم‌ها برآورد کرد. بین هدایت الکتریکی و برخی پارامترها در بسته‌بندی شامل بوی غذا، دما، فشار، ترکیبات فرّار، زمان

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

ذخیره‌سازی و غیره می‌توان رابطهٔ خطی برقرار کرد و از این رابطهٔ خطی برای تخمین مدت زمان و دمای نگهداری و سایر پارامترهای محصولات غذایی استفاده کرد (Ram et al. 2005).



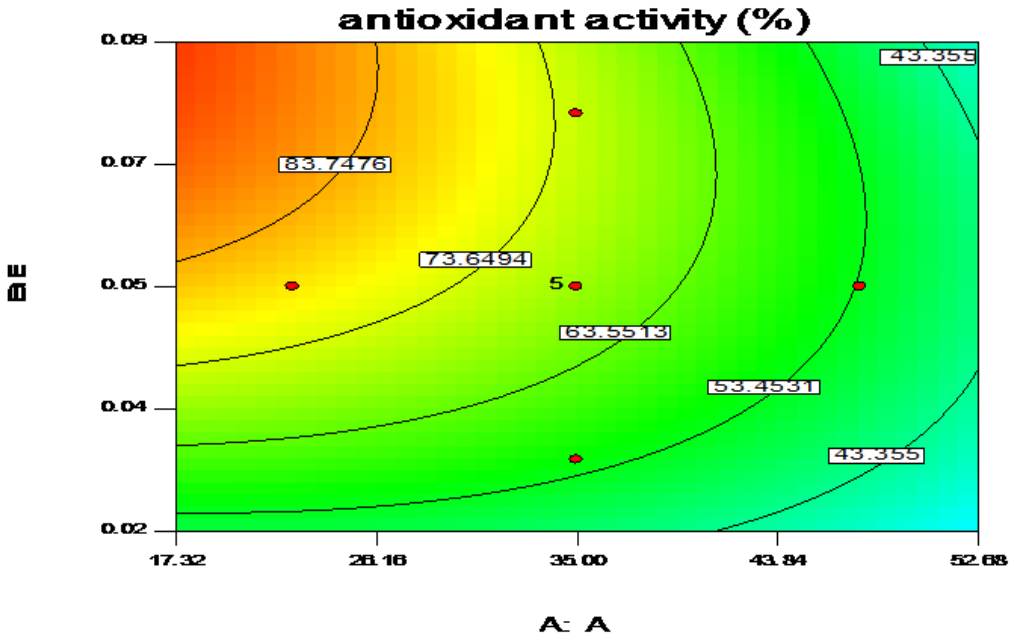
شکل ۶- تأثیر زمان سنتز (A:A) و غلظت پلی‌پیرول (B:B) بر هدایت الکتریکی نانوکامپوزیت‌ها

قدرت آنتی‌اکسیدانی

فیلم کیتوزان دارای اندکی قدرت آنتی‌اکسیدانی است که علت این امر واکنش گروه‌های آمین NH_2 با رادیکال‌های آزاد و تولید ماکرومولکول‌های پایدار آمونیوم NH_3 با جذب هیدروژن توسط NH_2 است. شکل ۷، نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری خاصیت آنتی‌اکسیدانی برای نمونه‌ها را بیان می‌کند. با توجه به نتایج حاصل، ابتدا با افزایش غلظت پلی‌پیرول خاصیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافته ولی با افزایش زمان سنتز تا ۴۰ دقیقه خاصیت آنتی‌اکسیدانی کاهش پیدا می‌کند. علت این امر ترکیب رنگ نانوپلیمر سنتزشده برروی فیلم ها با محلول DPPH است که باعث جذب بالادر دستگاه اسپکتروفتومتری می‌شود. در تحقیقات دیگر افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی در اثر افزودن نانوپلیمرها و اکسید روی در ماتریس پلیمری فیلم‌ها گزارش‌شده است (Li et al. 2011; Hsu et al. 2008).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]



شکل۷- تأثیر زمان سنتز (A:A) و غلظت پلی‌پیرول (B:B) بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی نانوکامپوزیت‌ها

نتیجه‌گیری

بیوپلیمرها می‌توانند جایگزین خوبی برای پلیمرهای تجزیه‌ناپذیر باشند، اما بیوپلیمرها نقاط ضعف و معایب خاص خود را دارند. در این پژوهش، خصوصیات ساختاری و عملکردی بیوپلیمر کیتوزان با نانوپلیمر پلی‌پیرول اصلاح و تغییرات با فیلم شاهد کیتوزان مقایسه شد. بکارگیری نانوپلیمرهای رسانا به‌خصوص پلی‌پیرول برای اصلاح ساختاری بیوکامپوزیت کیتوزان، باعث بهبود عملکرد کلی بیوپلیمر کیتوزان بوده و عاملی برای گسترش استفاده از آن به‌عنوان بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر است. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، افزودن غلظت‌های مختلف نانوپلیمر پلی‌پیرول موجب بهبود خصوصیات فیزیکی و الکتریکی کیتوزان شد. تعامل مناسب بین کیتوزان و نانوپلیمر پلی‌پیرول که در الگوی XRD قابل مشاهده است، باعث کاهش نفوذپذیری به بخار آب فیلم کیتوزان و حلالیت آبی فیلم کیتوزان شد. با افزایش غلظت نانوپلیمر، خصوصیات ممانعتی فیلم کیتوزان بهبود یافت.

نتایج حاصل از بررسی بار الکتریکی فیلم‌ها نشان داد که فیلم کیتوزان خالص بیشترین مقاومت الکتریکی را دارا بود. ولی افزایش غلظت نانوپلیمر

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

پلی‌پیرول باعث افزایش هدایت الکتریکی و کاهش مقاومت الکتریکی شد. این امر می‌تواند در طراحی بسته‌بندی‌های هوشمند مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع

References

Alexandre M, Dubois P. 2000. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. Materials Science and Engineering: R: Reports. 28(1-2): 1-63.

Abdollahi M, Rezaei M, farzi G. 2012. A novel active bionanocomposite incorporating rosemary essential oil and nonoclay into chitosan. Journal of Food Engineering. 111: 343-350.

Bourtom T, Chinnnan MS. 2008. Preparation and properties of rice atarch-chitosan blend biodegradable film. LWT-Food Science and Technology. 41: 1633-1641.

Casariego ABWS, Souza BWS, Cerqueira MA, Teixeira JA, Cruz L, Díaz R, Vicente AA. 2009. Chitosan/clay films' properties as affected by biopolymer and clay micro/nanoparticles' concentrations. Food Hydrocolloids. 23(7): 1895-1902.

Cabuk M, Yavuz M, Unal HI, Erol O. 2013. Synthesis, characterization and electrorheological properties of biodegradable chitosan/bentonite composites. Clay Minerals. 48(1): 129-141.

Emamifar A, Kadivar M, Shahedi M, Soleimanian-Zad S. 2010. Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of Lactobacillus plantarum in orange juice. Food Control. 22: 408-413.5.

Eslahi N, Dadashian F, Hematinejad N. 2013. Provides biodegradable packaging film using chitosan and gelatin. Quarterly Journal of the Promotion of Science and Technology. Year 4, 16: 58-65.

Ghanbarzadeh B, Almasi H. 2011. Physical properties of edible emulsified films based on carboxymethyl cellulose and oleic acid. International journal of biological Macromolecules. 48(1): 44-49.

Han jH. 2014. Chapter 9- edible films and coatings: A Review. In "innovations in food packaging (Second Edition)" (J. H. Han, Ed.). 213-255. Academic Press, San Diego.

Hsu CF, Zhang L, Peng H, Travas-Sejdic J, Kilmartin PA. 2008. Scavenging of DPPH free radicals by polypyrrole powders of varying levels of overoxidation and/or reduction. Synthetic Metals. 158(21-24): 946-952.

Je JY, Kim SK. 2006. Chitosan derivatives killed bacteria by disrupting the outer and inner membrane. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54(18): 6629-6633.

Khadem, P, Najafi, F, Salami K, & Bodaghi, M. (2016). Study of effective factors on conductivity of polypyrrole nanoparticles (doped with iron chloride III) prepared by emulsion polymerization method. Color Science and Technology. 10 (3): 145-154.

Li Y, Li G, Peng H, Chen K. 2011. Facile synthesis of electroactive polypyrrole–chitosan composite nanospheres with controllable diameters. Polymer International. 60(4): 647-651.

Luo Y, Wang Q. 2013. Recent advances of chitosan and its derivatives for novel applications in food science. Journal of Food Processing and Beverages. 1(1): 1-13.

MogadasKia E, Alizadeh M, Wrdast M, Rezazad M. 2016. Synthesis of nanoplimate of absorbent surface molecular mold Cholesterol based on magnetic iron-silica particles and functional properties review. Urmia Medical Journal Twenty-seventh volume. 3: 231-239.

Mohammadi B, Pirsa S, Alizadeh M. 2019. Preparing chitosan–polyaniline nanocomposite film and examining its mechanical, electrical, and antimicrobial properties. Polymers and Polymer Composites. 27(8): 507-517.

Manik C, Shailesh P, Prasad G, Ramesh M, Shashwati S, Vikas B. 2011. Synthesis and characterization of polypyrrole (PPy) thin film by spin coating Technique. J. Chem. Chem. Sci. 4: 150-155.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

Ojag M, Shariatmadari F, Adeli A, Kordjezi M, Abdollahi M. 2017. Preparation of chitosan-kitty composite film and evaluation of its physical and mechanical properties. Quarterly Journal of Nutrition Sciences. 4(15): 151-161.

Pasquini D, de Morais Teixeira E, da Silva Curvelo AA, Belgacem MN, Dufresne A. 2008. Surface esterification of cellulose fibres: processing and characterisation of low-density polyethylene/cellulose fibres composites. Composites Science and Technology. 68(1): 193-201.

Peng Y, Wu Y, Li Y. 2013. Development of tea extracts and chitosan composite film for active packaging materials. International Journal of Biological Macromolecules. 59: 282- 289.

Rabea EI, Badawy MET, Stevens CV, Smagghe G, Steurbaut W. 2003. Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action. Biomacromolecules. 4(6): 1457-1465.

Ram MK, Yavuz O, Lahsangah V, Aldissi M. 2005. CO gas sensing from ultrathin nano-composite conducting polymer film. Sensor and Actuators B. 106: 750-757.

Silva RC, Sarmento MV, Nogueira FA, Tonholo J, Mortimer RJ, Faez R, Ribeiro AS. 2014. Enhancing the electrochromic response of polyaniline films by the preparation of hybrid materials based on polyaniline, chitosan and organically modified clay. RSC Advances. 4(29): 14948-14955.

Sevil B, Zuhal K. 2010. Synthesis and characterization of polypyrrole nanoparticles and their nanocomposites with poly (propylene). In Macromolecular Symposia. 295(1): 59-64. Weinheim: WILEY-VCH Verlag.

Siripatrawan U, Harte BR. 2010. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. Food Hydrocolloids. 24: 770-77.

Turkaslan BE, Aktan T, Oksuz L, Oksuz AU. 2016. Use of polyfuran/chitosan composite films deposited by atmospheric pressure plasma glow discharge as glucose sensors. Asian Journal of Chemistry. 28(5): 941.

Vernitskaya TV, Efimov ON. 1997. Polypyrrole: a conducting polymer (synthesis, properties, and applications). Russ. Chem. Rev. 66(5): 502-505.

Yavuz AG, Uygun A, Bhethanabotla VR. 2010. Preparation of substituted polyaniline/chitosan composites by in situ electropolymerization and their application to glucose sensing. Carbohydrate Polymers. 81(3): 712-719.

Yavuz AG, Uygun A, Can HK. 2011. The effect of synthesis media on the properties of substituted polyaniline/chitosan composites. Carbohydrate Research. 346(14): 2063-2069.

Zhang M, Li XH, Gong YD, Zhao NM, Zhang XF. 2002. Properties and biocompositebility of chitosan films modified by blending With PEG. Bio-Mater. 23: 2641-2648.

Zhang X, Zhang J, Song W, Liu Z. 2006. Controllable synthesis of conducting polypyrrole nanostructures. The Journal of Physical Chemistry B. 110(3): 1158-1165.

Zhong Y, Song XY, Li YF. 2011. Antimicrobial, physical and mechanical properties of kudzu starch-chitosan composite film as a function of acid solvent types. Carbohydrate Polymers. 84(1): 335-342.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]

Synthesis and study of Structural, Electrical and Antioxidant Properties of Chitosan-Polypyrrole Nanocomposites for Intelligent Food Packaging

Behzad Mohammadi[*1], Sajad Pirsa[2], Forough Mohtarami[3], Mehdi Jalali[1], Neda Fallah[4]

1- MSc. Graduated, Department of Food Science and Technology, Afagh Higher Education Institute, Urmia, Iran.

2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

4- PhD. Student, Department of Food Science and Technology, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Esfahan, Iran.

behzadmohammadi722@gmail.com

Abstract

In the present century, the combination of conductive polymers, e materials that, in addition to improving the general properties of polymers, also have electrical and magnetic properties, with natural biopolymers for intelligent food packaging has received much attention. In this research, the effect of polypyrrole nanoparticles in the combination of different concentrations chitosan polypyrrole nanocomposite was prepared. The structural and functional properties of the films were investigated. The size, shape and morphology of the synthesized particles were investigated using electron scanning microscopy technique. The results showed that the synthesized polypropols are granular in shape and in the dimensions of 90-100 nm. The antioxidant properties and electrical conductivity of the films were investigated. The results showed that following the synthesis of polypyrrole nanoparticles in the chitosan polymer matrix, the electrical resistance decreased and the electrical conductivity increased. Also, the results of investigating the effect of polypyrrole on the physical properties of chitosan films showed that with increasing the concentration of polypyrrole and the time of synthesis of solubility and water vapor permeability of films decreased. The interaction between chitosan and polypyrrole was confirmed by infrared spectroscopy and X-ray diffraction pattern.

Keywords: Chitosan, Polypyrrole, Biodegradability, Antioxidant Properties, Conducting Polymer.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7]