

مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

سنتز و بررسی خصوصیات ساختاری، الکتریکی و آنتی اکسیدانی نانوکامپوزیت کیتوزان-پلی پیرول جهت بسته بندی هوشمند مواد غذایی



[20.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7](https://doi.org/10.1001.1.27170632.1400.14.2.8.7)

بهزاد محمدی^{۱*}، سجاد پیرسا^۲، فروغ محترمی^۳، مهدی جلالی^۱ و ندا فلاح^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع 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 ۸۱-۱۰۰

چکیده

در قرن حاضر تلفیق پلیمرهای رسانا یعنی موادی که علاوه بر بهبود خواص عمومی پلیمرها، دارای خواص الکتریکی و مغناطیسی نیز باشند با بیوپلیمرهای طبیعی برای بسته بندی هوشمند مواد غذایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق از نانوذرات پلی پیرول با غلظت های مختلف استفاده و نانوکامپوزیت کیتوزان-پلی پیرول به روش شیمیایی تهیه شد. سپس خصوصیات ساختاری و عملکردی فیلم ها مورد بررسی قرار گرفت. اندازه، شکل و مورفولوژی ذرات سنتز شده با استفاده از روش میکروسکوپ پویش الکترونی بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد پلی پیرول های سنتز شده دانه ای شکل و در ابعاد ۹۰-۱۰۰ نانومتر هستند. خاصیت آنتی اکسیدانی و هدایت الکتریکی فیلم ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در پی سنتز نانوذرات پلی پیرول در ماتریکس پلیمری کیتوزان مقاومت الکتریکی کاهش و هدایت الکتریکی افزایش یافت. همچنین نتایج حاصل از بررسی تأثیر پلی پیرول بر خصوصیات فیزیکی فیلم کیتوزان نشان داد که با افزایش غلظت پلی پیرول و زمان سنتز میزان حلالیت آبی و نفوذ پذیری به بخار آب فیلم ها کاهش یافت. برهم کنش بین کیتوزان و پلی پیرول توسط الگوی طیف سنجی مادون قرمز و پراش پرتو ایکس تایید شد.

واژه های کلیدی: کیتوزان، پلی پیرول، زیست تخریب پذیری، نانوپلیمرهای رسانا، خواص آنتی اکسیدانی.

مقدمه

در قرن حاضر تلفیق پلیمرهای رسانا یعنی موادی که علاوه بر 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 به عنوان حامل مواد ضد میکروب به صورت بسته‌بندی‌های ضد میکروبی، 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 تشکیل دهنده آن دارای ابعاد نانو (بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) است (Mohammadi et al. 2019). نانو کامپوزیت‌ها به دلیل خصوصیات حرارتی، مقاومت و رسانایی بهبود یافته در حال حاضر برای بسته‌بندی نوشابه‌های غیرالکلی و مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Alexander et al. 2000).

کیتوزان پلی‌ساکاریدی خطی متشکل از واحدهای D-گلوکز آمین و N-استیل D-گلوکز آمین

است که از استیل‌ن‌زدایی کیتین تهیه می‌شود. در واقع پلی‌ساکاریدی طبیعی است که دارای خواص منحصر به فردی از قبیل زیست‌تخریب‌پذیری، زیست‌سازگاری، ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی است. منبع اصلی کیتین منابع دریایی از قبیل سخت‌پوستان، میگو و خرچنگ است. ساخت سخت و حضور پیوندهای هیدروژنی در کیتین منجر به حلالیت ضعیف آن در حلال‌های آلی می‌شود. در صورتی که کیتوزان به دلیل 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 ضد میکروبی و ضد قارچی، سمی نبودن و توانایی تشکیل فیلم اشاره کرد (Luo and Wang, 2013). مکانیسم‌های مختلفی برای خاصیت ضد میکروبی 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).

"محمدی و همکاران، سنتز و بررسی خصوصیات ساختاری، الکتریکی و آنتی اکسیدانی نانوکامپوزیت ..."

ویژگی جالب این نوع پلیمرها کنترل میزان رسانایی آنهاست. یعنی می توان با دوپه کردن میزان رسانایی آنها را از یک حد عایق تا یک حد فلز تغییر داد. در میان پلیمرهای رسانا، پلی پیرول به دلیل پایداری زیست محیطی، پلیمریزاسیون آسان، کاربرد گسترده در حسگرهای گازی، ابزارهای الکتروکرومیک و به عنوان ضد خوردگی معروف است. پلی پیرول نوعی پلیمر آلی است که از پلیمریزه کردن پیرول به دست می آید (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 محلول های آبی و کاهش آلودگی محیط زیست نیز از کاربردهای آن محسوب می شود. نانوکامپوزیت های پلی پیرول با پلیمرهایی چون پلی استر، نایلون ها، PVC و غیره با بهره مندی از خواص مکانیکی پلیمر کلاسیک (عایق) به عنوان ماتریس و خواص الکتریکی می تواند دنیای جدیدی را در گسترش دامنه کاربردهای پلی پیرول در نانوبسته بندی های زیست تخریب باز کند (Vernitskaya et al. 1997).

در این تحقیق فیلم نانوکامپوزیت کیتوزان- پلی پیرول در ترکیب غلظت های مختلف و زمان

کیتوزان به عنوان شلاته کننده فلزات کم مقدار را از دسترس خارج کرده و در نتیجه از رشد باکتری جلوگیری می کند. کیتوزان به عنوان یک عامل اتصال دهنده با آب، باعث فعال شدن فرآیندهای مختلف در بافت میزبان می شود و از فعالیت آنزیم های مختلف جلوگیری می کند (Rabea et al. 2003).

ویژگی آب دوستی و به دنبال آن خصوصیات مکانیکی ضعیف کیتوزان در حضور آب و محیط های مرطوب و ناکافی بودن مقاومت حرارتی، سختی، ممانعت آن در برابر گازها و هزینه تهیه آن، کاربرد آن به تنهایی را در صنعت بسته بندی با مشکل روبه رو کرده است. خواص ممانعتی کیتوزان می تواند در ترکیب با سایر پلیمرها مانند پلی پیرول بهبود یابد. پلیمرهای رسانا پلیمرهایی با الکترون های مزدوج دارای خواص الکترونیکی هستند. همه پلیمرهای رسانا مجموعه ای از ساختارهای مولکولی مشابه هستند یعنی در همه آنها پیوندهای دوگانه مزدوج وجود دارد و این ساختار احتمال رسانا کردن آنها را فراهم می کند. با عملیات دوپه کردن (partcal doping) برخی از پیوندهای دوگانه آزاد می شوند و ابرهای الکترونی در طول زنجیر تحرک پیدا می کنند (Khadem et al. 2016).

(آمریکا)، لوازم شیشه‌ای (از قبیل بشر، ارلن، پیپت، دماسنج) سینا شیشه ایران، دستگاه رنگ‌سنج مدل Minolte model CR-410 (ژاپن)، دستگاه پراش پرتو ایکس مدل MPD B.V (هلند)، دستگاه مولتی‌متر HIOKI مدل DT4252، میکروسکوپ روبش الکترونی Tescan Vega-3، دستگاه اسپکترومتر (FTIR) مدل TENSOR 27 (آلمان) بود.

ستز فیلم کیتوزان

ابتدا ۵ گرم پودر کیتوزان در ۳۰۰ میلی‌لیتر محلول اسید استیک (۱ v/v) و آب شد. سپس به منظور بهبود خاصیت انعطاف‌پذیری فیلم دو میلی‌گرم گلیسرول (بالاتر از این غلظت ساختار فیلم بهم می‌ریزد) به عنوان نرم‌کننده به محلول اضافه شد و در آخر محلول به مدت ۸ ساعت در دمای ۹۰°C بر روی هیتراستریل 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 آب مقطر حل شد و سپس به آن ۳۵ میلی‌لیتر

سنتز متفاوت برای پلی‌پیرول تهیه شد. بررسی خصوصیات ساختاری نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از روش‌های میکروسکوپ پویش الکترونی و FTIR (fourier-transform infrared 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)، هیتراستریل PECO ایران، دستگاه اسپکتروفتومتر UV-VIS مدل UNICO ۲۱۰۰

"محمدی و همکاران، سنتز و بررسی خصوصیات ساختاری، الکتریکی و آنتی اکسیدانی نانوکامپوزیت ..."

اتانول اضافه شد. برای اسیدی شدن محیط و سنتز پلی پیرول به محلول فوق ۲/۵ میلی لیتر اسید کلریدریک غلیظ اضافه شد. سپس پلی پیرول برحسب غلظت های جدول ۱ به محلول اضافه و خشک شدند.

فیلم کیتوزان داخل محلول فوق غوطه ور شد. طبق زمان های موجود در جدول ۱، برای هر تیمار اجازه سنتز داده شد. سپس فیلم ها در دمای اتاق خشک شدند.

جدول ۱- طرح مرکب مرکزی اثر غلظت نانوذرات پلی پیرول و زمان سنتز بر خصوصیات فیلم کیتوزان.

ردیف	عامل ۱: زمان سنتز (دقیقه)	عامل ۲: غلظت پلی پیرول (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 غوطه وری در آب به حالت محلول درمی آید (Pasquini et al. 2008). اندازه گیری حلالیت در آب با روش ریم و همکاران ۲۰۱۰ انجام شد. تکه های فیلم برای رسیدن به وزن خشک اولیه (W1) به مدت ۶

ساعت در آون در دمای 105°C قرار داده و سپس وزن شد. در ادامه $0/245$ میلی گرم از نمونه های فیلم در 50 میلی لیتر آب مقطر غوطه ور شد و درحالی که به صورت مقطعی هم زده می شد در دمای 25°C به مدت ۶ ساعت با دور 250rpm قرار گرفت. سپس محلول از کاغذ صافی واتمن شماره ۴ عبور داده شد و وزن نهایی (W2) آن با

استفاده از رابطه ۱ بعد از خشک کردن در آون به

دست آمد (Peng et al. 2013).

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

(رابطه ۱)

اندازه‌گیری نفوذپذیری نسبت به بخار آب

اندازه‌گیری نفوذپذیری نسبت به بخار آب طبق روش ASTM E96-92 با استفاده از فالكون‌هایی با قطر ۲ سانتیمتر انجام شد. ده میلی‌لیتر آب مقطر با فشار بخار آب $2/733 \times 10^3 \text{ Pa}$ در دمای 20°C و $\text{RH}=100\%$ داخل فالكون‌ها ریخته شد. قطعه‌ای از فیلم‌ها به اندازه قطر دهانه فالكون برش داده شد و با ذوب پارافین جامد به دهانه فالكون چسبانده شدند. سپس فالكون‌ها توزین شدند و درون دسیکاتور حاوی سلیکاژن در دمای 20°C ، $\text{RH}=0\%$ با فشار بخار آب صفر پاسکال قرار

گرفتند. به مدت ۱۰ ساعت هر دو ساعت یک‌بار فالكون‌ها وزن شدند. مقدار بخار آب انتقال‌یافته از فیلم از روی کاهش وزن فالكون‌ها تعیین شد. منحنی کاهش وزن فالكون‌ها با گذشت زمان رسم شد و پس از محاسبه رگرسیون خطی، شیب خط حاصله محاسبه شد. از تقسیم شیب خط کاهش وزن مربوط به هر فالكون به سطح فیلم که در معرض انتقال بخار آب قرار داشت، آهنگ انتقال بخار آب WVTR و نفوذپذیری به بخار آب طبق روابط (۲ و ۳) محاسبه شد:

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

(رابطه ۲)

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

(رابطه ۳)

آزمون پراش پرتو ایکس

آزمون پراش پرتو ایکس بر روی فیلم‌ها توسط دستگاه پراش سنج 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 $0/145$ نانومتر انجام شد. ژنراتور تولید پرتو ایکس در 40 kV و 40 mA تنظیم شد و نمونه‌ها در معرض پرتو ایکس قرار گرفتند. تشعشعات بازتابشی از نمونه در دمای محیط و در محدوده‌ی زاویه 2θ از 20° تا 70° انجام شد.

"محمدی و همکاران، سنتز و بررسی خصوصیات ساختاری، الکتریکی و آنتی اکسیدانی نانوکامپوزیت ..."

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 $2\theta = 18^\circ$ 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 طول موج پرتو ایکس (0.154 nm)، β عرض پیک پراش در نصف ارتفاع مربوط به نمونه و θ زاویه بازتاب است. قدرت تفکیک 0.5 cm^{-1} مورد آنالیز قرار گرفت (MogadasKia et al. 2016).

اندازه‌گیری بار الکتریکی فیلم‌ها

هدایت یا مقاومت الکتریکی فیلم‌ها توسط دستگاه مولتی‌متر HIOKI مدل DT4252 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.

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 پتاسیم برمید خشک به نسبت ۱:۲۰ و اعمال فشار حدود ۶۰ KPa به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه تهیه قرص به دست آمد. سپس طیف عبور نمونه‌ها در محدوده عدد موجی 4000 cm^{-1} - 400 cm^{-1} و با

آزمون میکروسکوپ الکترونی روبش

بررسی ریزساختاری فیلم‌های تولیدشده به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی Tescan Vegan3 موجود در مرکز پژوهش متالوژی رازی (تهران) انجام شد. به منظور 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 به وسیله 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 در نتیجه 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 طول موج ۵۱۷ نانومتر ثبت شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها به صورت درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شد (Siripatrawan et al. 2010).

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

(رابطه ۶)

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 پرتو ایکس فیلم کیتوزان (A) پیک‌های پراکندگی ضعیفی را در محدوده زاویه $2\theta = 12/7^\circ$

تجزیه تحلیل آماری

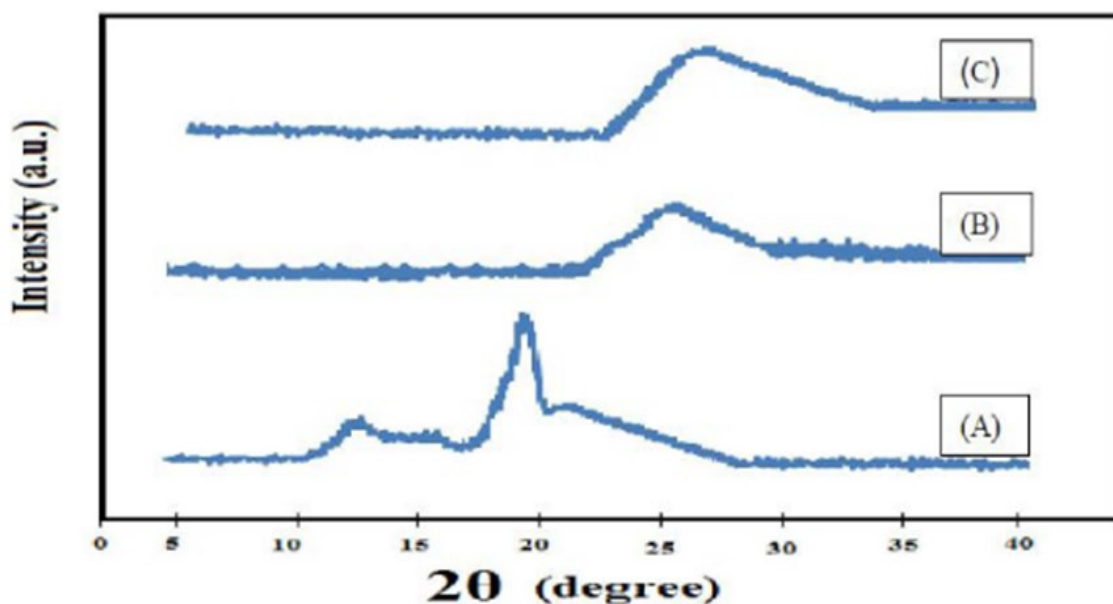
آزمایش‌های این تحقیق بر اساس طرح آماری مرکب مرکزی، در سطح احتمال ۹۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار آماری Design expert-10 انجام گرفت و نمودارها با استفاده از همین نرم‌افزار و نیز به کمک نرم‌افزار Excel رسم شدند.

"محمدی و همکاران، سنتز و بررسی خصوصیات ساختاری، الکتریکی و آنتی اکسیدانی نانوکامپوزیت ..."

نانوکامپوزیت نشان دهنده شکل گیری پیوند شیمیایی جدید بین کیتوزان-پلی پیرول است. به عبارت دیگر، نفوذ ذرات پلی پیرول به ماتریکس فیلم کیتوزان و پخش یکنواخت آن در سرتاسر ماتریکس باعث کاهش حالت کریستالی کیتوزان و تشکیل پیک در زاویه پایین تری می شود. مطابق با قانون براگ، هرچه زاویه پراش ایجاد شده 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).

نشان می دهد که مربوط به یکنواختی سطح است و باعث تشکیل پیک در زاویه پایین تر و ارتفاع کمتر می شود. پیک های زاویه $2\theta = 19/37^\circ$ هم مورفولوژی بلورین بالا برای فیلم کیتوزان را نشان می دهد.

الگوی پراش پرتو ایکس (B)، پیک های پهن مشخصی را برای پلی پیرول در زاویه $2\theta = 26^\circ$ نشان می دهد. درحالی که الگوی پراش پرتو ایکس کیتوزان-پلی پیرول (C)، کاهش نسبی قله ها را در مقایسه با حداکثر پیک های مربوط به پلی پیرول نشان می دهد. این کاهش شدت قله در



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

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).

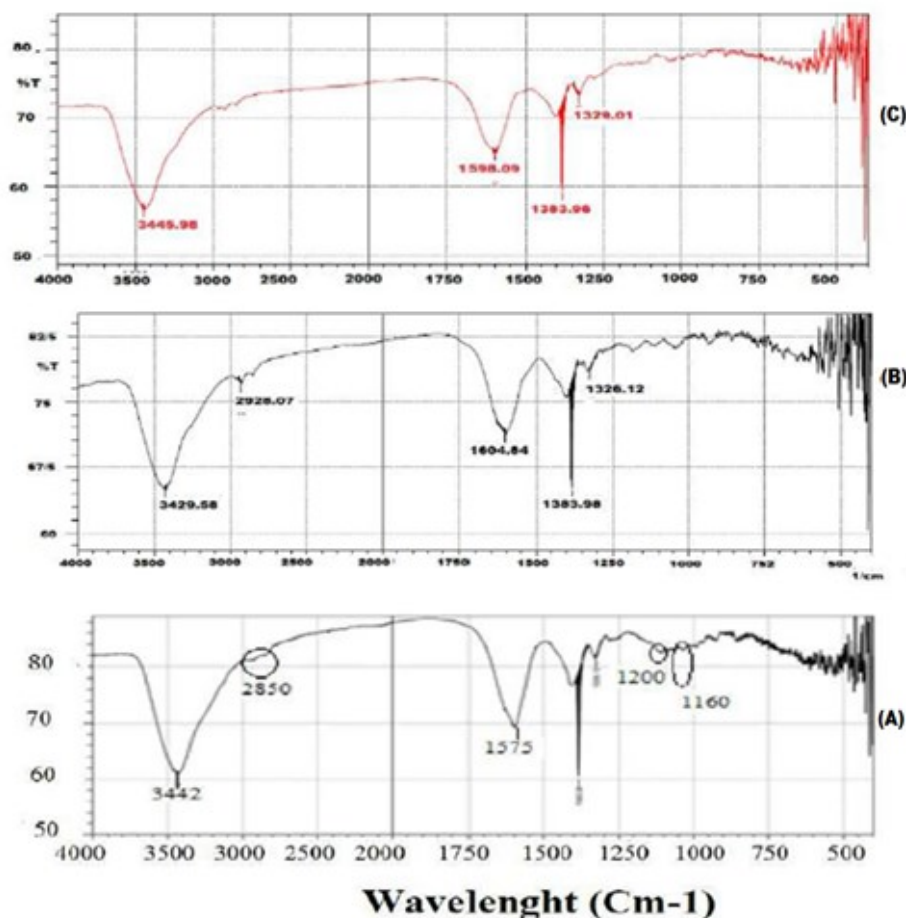
قسمت A در شکل ۲، طیف FTIR برای کیتوزان خالص را نشان می‌دهد. کیتوزان خالص دارای پیک‌های جذبی متمایز در فرکانس 3445cm^{-1} ناشی از ارتعاشات کششی متقارن و نامتقارن NH_2 و پیوندهای خمشی NH_2 در فرکانس 1575cm^{-1} است. پیک ظاهر شده در فرکانس 2850cm^{-1} مربوط به باند کششی C-H (کربن مرکزی-باند هیدروژنی) در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

در شکل ۲ قسمت B طیف FTIR برای پلی‌پیرول را نشان می‌دهد. پیک تشکیل‌شده در محدوده 1604cm^{-1} مربوط به ارتعاش پیوند $\text{C}=\text{C}$ 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 تغییر 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 و مولکول‌های 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).

"محمدی و همکاران، سنتز و بررسی خصوصیات ساختاری، الکتریکی و آنتی اکسیدانی نانوکامپوزیت ..."



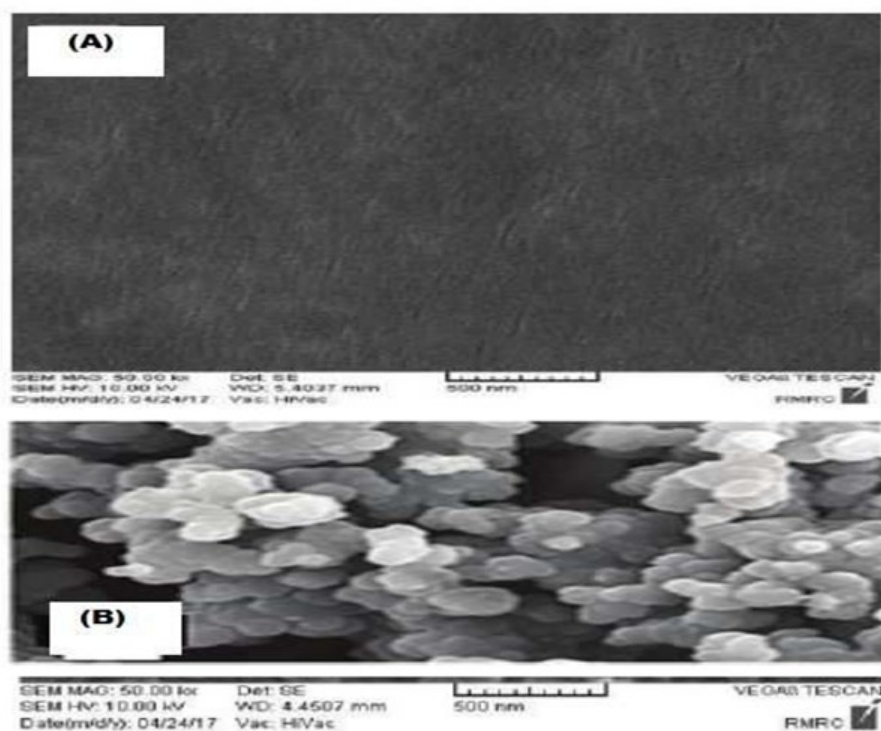
شکل ۲- آزمون FTIR کیتوزان (A)، پلی پیرول (B) و فیلم نانوکامپوزیتی (C)

ریزساختار میکروسکوپ الکترونی (SEM)

مورفولوژی سطح فیلم کیتوزان و نانوکامپوزیت کیتوزان-پلی پیرول (تیمار ۶) با استفاده از SEM مورد مطالعه قرار گرفت. با استفاده از SEM می توان به همگن بودن کامپوزیت، حضور حفره، سطح پراکندگی نانوذرات پلی پیرول در ماتریس و وجود کلوخه و در مواردی به جهت گیری 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. شکل ۳، میکروگراف SEM ساختاری با ذرات متراکم را برای کیتوزان اصلاح شده با نانوپلیمر پلی پیرول نشان می دهد. سنتز ذرات تقریباً شبه کروی و در ابعاد نانو با اندازه ۹۰ الی ۱۰۰ نانومتر است. شرایط سنتز تأثیر چندانی بر روی

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/)

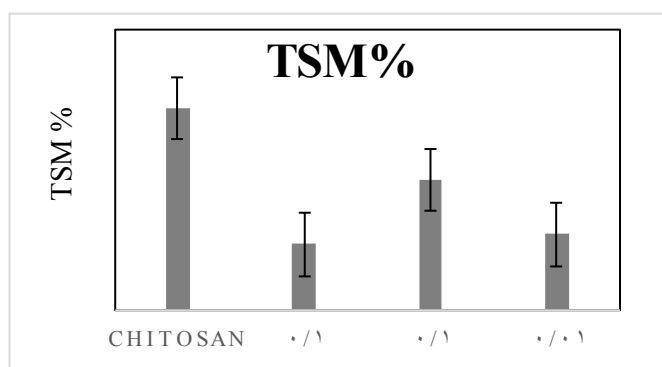
زیست‌تخریب‌پذیر به شمار می‌رود زیرا بیانگر
کارایی آن در حفاظت از مواد غذایی با فعالیت
آبی بالا و یا مواد تازه و یخ‌زده است (Bourtom
et al. 2008).

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

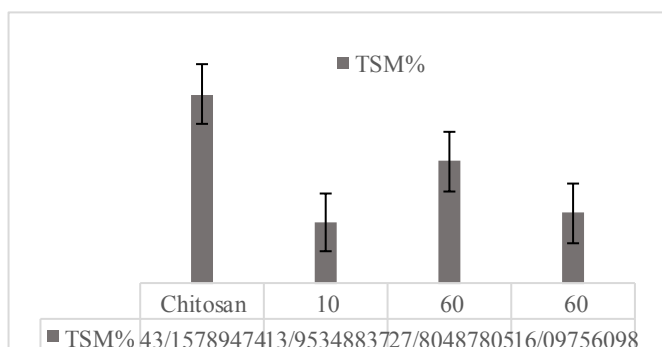
میزان حلالیت در آب فیلم‌های
زیست‌تخریب‌پذیر خصوصیت مهمی است. مقدار
حلالیت در آب فیلم‌ها در واقع مقاومت به آب
این فیلم‌ها را زمانی که در تماس با ماده غذایی آبی
باشند، نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، مقاومت در
برابر آب، یکی از ویژگی‌های مهم فیلم

هیدروژنی آزاد جهت تشکیل پیوندهای آب دوست است. دلیل دیگر ساختار دیسک مانند و یا فعل و انفعالات ناشی از تشکیل پیوند بین کیتوزان و نانوپلیمر پلی پیرول و بهبود و تثبیت ساختار فیلم کیتوزان در نتیجه این پیوند می تواند 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.

زمان سنتز بر روی حلالیت آبی فیلم کیتوزان را نشان می دهد. فیلم کیتوزان خالص به دلیل طبیعت هیدروفیلیک (آب دوستی) آن، حلالیت آبی بالایی حدود ۴۳٪ حلالیت نشان داد. اما نانوپلیمر پلی پیرول به دلیل خاصیت هیدروفوبی (آب گریزی) باعث کاهش معنی دار حلالیت آبی فیلم کیتوزان شد. دلیل این کاهش را می توان افزایش خواص ممانعتی کیتوزان با استفاده از خاصیت آب گریزی نانوپلیمر پلی پیرول بیان کرد که به علت عدم اتصال مولکول های آب به ماتریس پلیمر زیست سازگار کیتوزان با کاهش گروه های



A



B

شکل ۴- تأثیر غلظت پلی پیرول (A) و زمان سنتز (B) بر حلالیت آبی نانوکامپوزیت ها

نفوذپذیری فیلم‌ها به بخار آب (WVP)

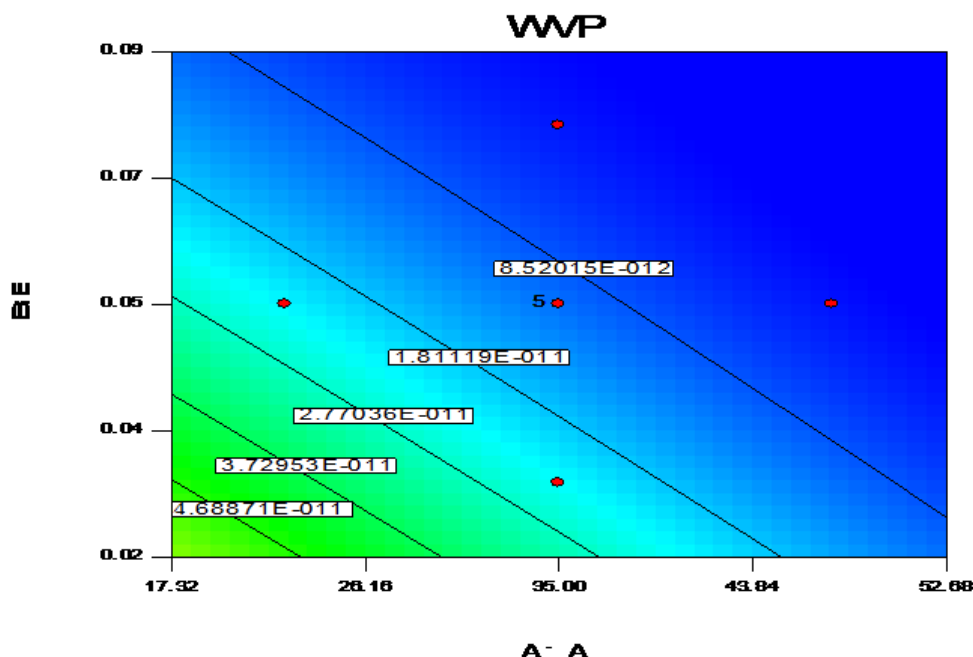
آب به عنوان حلال یا حامل عمل می‌کند و موجب تخریب بافت، واکنش‌های آنزیمی و شیمیایی می‌شود. نفوذپذیری به بخار آب در بسته‌بندی مواد غذایی، فاکتور مهمی است که شامل جذب، انتشار و دفع آب است. نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر، باید در حداقل مقدار ممکن باشد. نفوذپذیری به بخار آب به حلالیت و انتشار 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.

همان‌طوری که در شکل ۵، نشان داده شده است غلظت‌های نانوپلیمر پلی‌پیرول و زمان سنتز آن بر روی فیلم کیتوزان بر نفوذپذیری فیلم کیتوزان تأثیر معنی‌داری دارد ($P > 0.05$). 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 بین مولکولی قوی با کیتوزان و کاهش فواصل بین مولکولی 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 افزایش یافته و حساسیت آن به نفوذ رطوبت کاهش می‌یابد اما با گذشت زمان و افزایش غلظت پلی‌پیرول از یک حد مشخص نفوذپذیری دوباره افزایش می‌یابد.

"محمدی و همکاران، سنتز و بررسی خصوصیات ساختاری، الکتریکی و آنتی اکسیدانی نانوکامپوزیت ..."



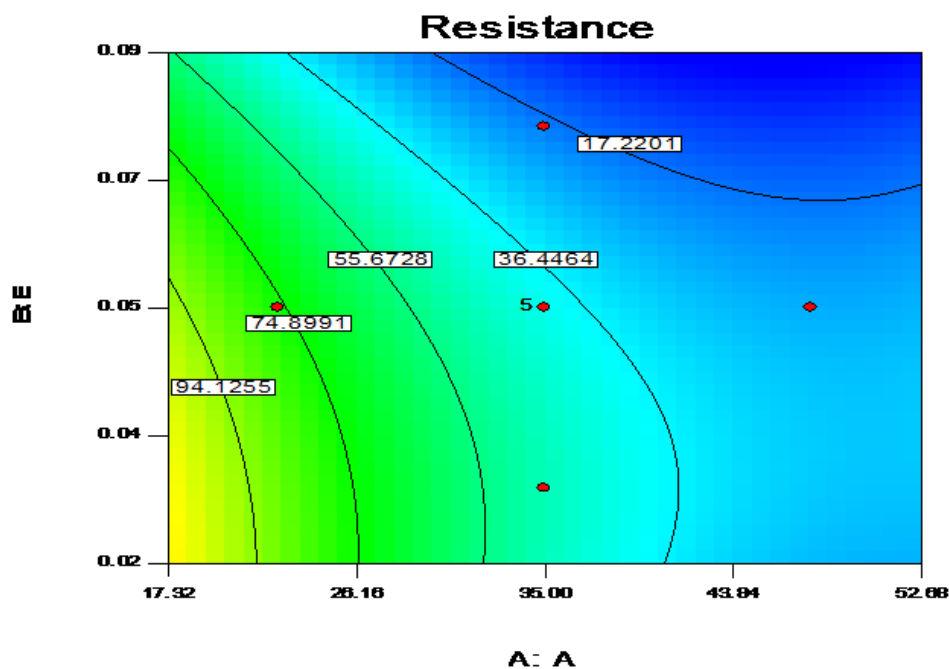
شکل ۵- تأثیر زمان سنتز (A:A) و غلظت پلی پیرول (B:B) بر خاصیت نفوذپذیری نانوکامپوزیت ها

اندازه گیری مقاومت الکتریکی فیلم ها

مقاومت الکتریکی فیلم سنتزی کیتوزان- پلی پیرول، عامل بسیار مهمی که می تواند در صنعت بسته بندی مواد غذایی، بسته بندی هوشمند، حسگرهای بی حس کننده، حسگر گاز و غیره مورد استفاده قرار گیرد، بررسی شد. شکل ۶، منحنی مقاومت الکتریکی نسبت به زمان سنتز و غلظت نانوپلیمر پلی پیرول را نشان می دهد. به طوری که ابتدا با افزایش زمان سنتز و غلظت نانوپلیمر پلی پیرول مقاومت الکتریکی کاهش یافته و هدایت الکتریکی افزایش می یابد. در بسته بندی های هوشمند (براساس تغییرات مقاومت الکتریکی)

بالا بودن میزان هدایت الکتریکی حساسیت فیلم نسبت به تغییرات محیطی را افزایش می دهد. یکی از شاخصه های رسانایی پلی پیرول طول مزدوج یا عدم استقرار الکترون است. طول مزدوج طولی است که پیوند می تواند عدم استقرار داشته باشد. بنابراین هرچه زنجیره پلیمری مسطح شکل بگیرد (اتصال ایده آل مونومرها)، رسانایی بیشتر خواهد بود. با استفاده از فیلم های ارائه شده در بسته بندی مواد غذایی، می توان غلظت مواد فرار را با مطالعه هدایت الکتریکی فیلم ها برآورد کرد. بین هدایت الکتریکی و برخی پارامترها در بسته بندی شامل بوی غذا، دما، فشار، ترکیبات فرار، زمان

ذخیره سازی و غیره می توان رابطه خطی برقرار کرد و از این رابطه خطی برای تخمین مدت زمان غذایی استفاده کرد (Ram et al. 2005).



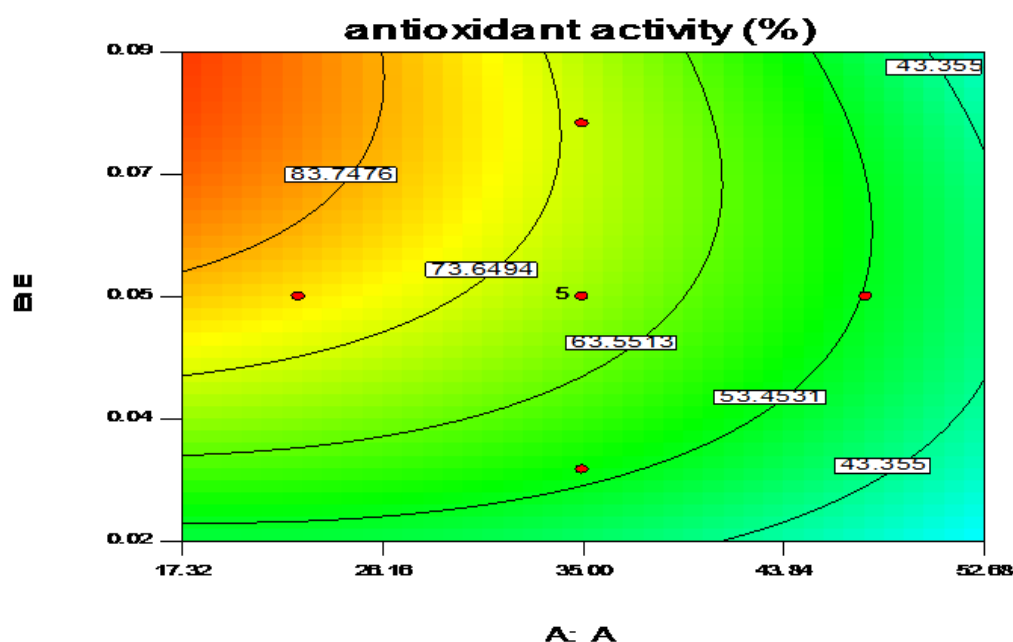
شکل ۶- تأثیر زمان سنتز (A:A) و غلظت پلی پیرول (B:B) بر هدایت الکتریکی نانوکامپوزیت ها

قدرت آنتی اکسیدانی

افزایش یافته ولی با افزایش زمان سنتز تا ۴۰ دقیقه خاصیت آنتی اکسیدانی کاهش پیدا می کند. علت این امر ترکیب رنگ نانوپلیمر سنتز شده بر روی فیلم ها با محلول DPPH است که باعث جذب بالای در دستگاه اسپکتروفتومتری می شود. در تحقیقات دیگر افزایش خاصیت آنتی اکسیدانی در اثر افزودن نانوپلیمرها و اکسید روی در ماتریس پلیمری فیلم ها گزارش شده است (Li et al. 2011; Hsu et al. 2008).

فیلم کیتوزان دارای اندکی قدرت آنتی اکسیدانی است که علت این امر واکنش گروه های آمین NH_2 با رادیکال های آزاد و تولید ماکرومولکول های پایدار آمونیوم NH_3 با جذب هیدروژن توسط NH_2 است. شکل ۷، نتایج به دست آمده از اندازه گیری خاصیت آنتی اکسیدانی برای نمونه ها را بیان می کند. با توجه به نتایج حاصل، ابتدا با افزایش غلظت پلی پیرول خاصیت آنتی اکسیدانی

"محمدی و همکاران، سنتز و بررسی خصوصیات ساختاری، الکتریکی و آنتی اکسیدانی نانوکامپوزیت ..."



شکل ۷- تأثیر زمان سنتز (A:A) و غلظت پلی پیرول (B:B) بر خاصیت آنتی اکسیدانی نانوکامپوزیت ها

نتیجه گیری

توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، افزودن غلظت های مختلف نانوپلیمر پلی پیرول موجب بهبود خصوصیات فیزیکی و الکتریکی کیتوزان شد. تعامل مناسب بین کیتوزان و نانوپلیمر پلی پیرول 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 فیلم ها نشان داد که فیلم کیتوزان خالص بیشترین مقاومت الکتریکی را دارا بود. ولی افزایش غلظت نانوپلیمر

بیوپلیمرها می توانند جایگزین خوبی برای پلیمرهای تجزیه ناپذیر باشند، اما بیوپلیمرها نقاط ضعف و معایب خاص خود را دارند. در این پژوهش، خصوصیات ساختاری و عملکردی بیوپلیمر کیتوزان با نانوپلیمر پلی پیرول اصلاح و تغییرات با فیلم شاهد کیتوزان مقایسه شد. بکارگیری نانوپلیمرهای رسانا به خصوص پلی پیرول برای اصلاح ساختاری بیوکامپوزیت کیتوزان، باعث بهبود عملکرد کلی بیوپلیمر کیتوزان بوده و عاملی برای گسترش استفاده از آن به عنوان بسته بندی زیست تخریب پذیر است. با

پلی پیرول باعث افزایش هدایت الکتریکی و کاهش
مقاومت الکتریکی شد. این امر می تواند در طراحی
بسته بندی های هوشمند مواد غذایی مورد استفاده
قرار گیرد.

References

فهرست منابع

- 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.
- Casariago 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, Soleimani-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, Pirsas 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.

"محمدی و همکاران، سنتز و بررسی خصوصیات ساختاری، الکتریکی و آنتی اکسیدانی نانوکامپوزیت ..."

- 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, Zuhail 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 biocompositeability 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.

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

Behzad Mohammadi^{*1}, Sajad Pirsai², Forough Mohtarami³, Mehdi Jalali¹, Neda Fallah⁴

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.