www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال 1398، جلد 8، شماره 1، صفحات 79-90
DIO: 10.22101/JRIFST.2019.04.30.817

JRIFST
مقالهٔ کامل پژوهشی

تهیهٔ فیلم نانوکامپوزیت سلولز باکتریایی/پلی‌پیرول - اکسید روی و بررسی ویژگی‌های فیزیکومکانیکی، ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی آن

سجاد پیرسا[1*]، توحید شموسی[2]، احسان مقدس‌کیا[3]

1- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
* نویسندهٔ مسئول (s.pirsa@urmia.ac.ir & pirsa7@gmail.com)
2- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه غیرانتفاعی آفاق ارومیه، ارومیه، ایران
3- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی مراغه، ارومیه، ایران

چکیده

در این تحقیق نانوذرات پلی‌پیرول (PPy) و نانوکامپوزیت پلی‌پیرول-اکسید روی (PPy-ZnO) به روش شیمیایی روی فیلم سلولز باکتریایی در حضور کلرید آهن 3 سنتز و فیلم‌های هادی الکتریسیته تهیه شد. اندازه، شکل و مورفولوژی ذرات سنتزشده با استفاده از تکنیک میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند پلی‌پیرول‌های سنتزشده کروی‌شکل و در ابعاد 50-150 نانومتر می‌باشند درحالی‌که ذرات نانوکامپوزیت پلی‌پیرول-اکسید روی دانه‌ای‌شکل بوده و در ابعاد 30-120 نانومتر می‌باشند. خواص مکانیکی شامل کرنش تا نقطهٔ شکست و مقاومت کششی، خواص ضدمیکروبی و ضدقارچی (باکتری *اشرشیاکلی* و قارچ *آسپرژیلوس نایجر*) و نیز خاصیت آنتی‌اکسیدانی و هدایت الکتریکی فیلم‌های تهیه‌شده موردمطالعه قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در پی اضافه‌کردن پلی‌پیرول مقاومت الکتریکی کاهش یافت درنتیجه جریان الکتریکی فیلم‌ها افزایش یافت. افزودن نانوذرات (پلی‌پیرول و اکسید روی) باعث تضعیف خواص مکانیکی (کرنش در نقطهٔ شکست و مقاومت کششی) شده و استحکام کششی کاهش یافت. قدرت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد فیلم سلولز باکتریایی با افزودن اکسید روی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. سنتز و افزایش زمان سنتز پلی‌پیرول روی فیلم سلولز تأثیر مثبت در ایجاد خاصیت ضدمیکروبی و ضدقارچی فیلم‌ها داشت ولی نانوذرات اکسید روی بیشتر روی خاصیت ضدقارچی مؤثر می‌باشد.

تاریخ دریافت: 1397/03/22
تاریخ پذیرش: 1397/06/31

واژه های کلیدی
اکسید روی
پلی‌پیرول
خواص ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی
سلولز باکتریایی
نانوساختار

مقدمه

افزایش تولید و حجم مصرف پلاستیک‌ها و پلیمرهای نفتی در زندگی روزمرهٔ بشر، منجربه تجمع حجم عظیمی از ضایعات پلاستیکی غیرقابل تجزیه شده و سبب ایجاد مشکلات زیست‌محیطی گسترده‌ای گردیده است. راه‌حل بنیادی برای حل مشکل زباله‌های پلیمری، تولید پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر است (Siracusa, Rocculi, Romani, & Dalla Rosa, 2008). سلولز باکتریایی[1] یکی از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر می‌باشد که اخیراً در زمینهٔ بسته‌بندی مواد غذایی و تولید بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر و فعال، کاربرد بسیار زیادی پیدا کرده است. سلولز باکتریایی، پلی‌ساکاریدی میکروبی است که از ویژگی‌های منحصربه‌فردی برخوردار می‌باشد و توجه

[1] Bacterial Cellulose

بسیاری از محققان به استفاده از این ترکیب در کاربردهای مختلف غذایی، پزشکی، صنعتی و حتی الکترونیکی معطوف شده است (Esa, Tasirin, & Rahman, 2014). درحال‌حاضر، باکتری‌های مختلفی برای تولید سلولز استفاده می‌شوند اما *استوباکتر گزیلینیوم*[1] به‌طور گسترده‌ای در تولید تجاری آن کاربرد دارد (Shi, Zhang, Phillips, & Yang, 2014). سلولز باکتریایی به‌دلیل دارابودن خواص فیزیکی قوی، در صنایع غذایی به‌عنوان یک ژل‌کننده، قوام‌دهنده، پایدارکننده و اصلاح‌کنندهٔ بافت مورد استفاده قرار می‌گیرد (Shi *et al.*, 2014). یکی از کاربردهای سلولز باکتریایی استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی است. در سال‌های اخیر، از این بیوپلیمر در تولید بسته‌بندی‌های فعال استفادهٔ فراوانی شده است. بسته‌بندی فعال نوعی بسته‌بندی است که علاوه‌بر داشتن خواص بازدارندگی اصلی بسته‌بندی‌های معمول، با تغییر شرایط بسته‌بندی، ایمنی، ماندگاری و یا ویژگی‌های حسی مادهٔ غذایی را بهبود می‌بخشد و درعین‌حال کیفیت مادهٔ غذایی حفظ می‌گردد (قنبرزاده، پزشکی‌نجف‌آبادی و الماسی، 1390). نانوذرات اکسید روی به علت خواص فیزیکیوشیمیایی پایدار، غیرسمی و ارزان‌بودن به‌طور گسترده‌ای در تولید فیلم استفاده می‌شوند. علاوه‌بر این طبق گزارش‌های اخیر تولید هیدروژن پراکسید از سطح نانوذرات اکسید روی باعث بروز پدیدهٔ آنتی‌باکتریال در فیلم‌ها می‌شود (Zhang, Jiang, Ding, Povey, & York, 2007). اکسید روی در مقایسه با نانوذرات نقره خواص غیرسمی و ظاهری سفید دارد. درنتیجه اکسید روی برای بهبود خواص پلیمرهای مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی بیشتر موردتوجه قرار می‌گیرد (Vigneshwaran, Kumar, Kathe, Varadarajan, & Prasad, 2006). خاصیت ضدمیکروبی اکسید روی از گذشتهٔ بسیار دور شناخته‌شده و کاربردهای فراوانی در ضدعفونی‌کردن وسایل پزشکی، تصفیهٔ آب، کرم‌ها، لوسیون‌ها و پمادهای ضدباکتری دارد. بنابراین از نانوذرات اکسید روی در فیلم‌های خوراکی استفاده می‌شود تا علاوه‌بر ایجاد خاصیت ضدمیکروبی، خواص عملکردی بسته‌بندی بهبود یابد (Gajjar *et al.*, 2009). باتوجه‌به ویژگی‌های فراوان نانوذرات اکسید روی مانند: فتوکاتالیستی، پایداری فیزیکوشیمیایی، ویژگی جذب‌کنندگی اشعهٔ فرابنفش و مادون‌قرمز، رفتار نیمه‌هادی، غیرسمی‌بودن برای انسان و فعالیت‌های ضدمیکروبی آنها باعث ارزش اقتصادی آنها در کاربردهای صنعتی شده است. همچنین اخیراً فعالیت‌های ضدسرطانی نانوکامپوزیت اکسید روی گزارش شده است (Ali *et al.*, 2016). پلیمرهای رسانای الکتریکی به‌دلیل کاربردهای متعدد آنها نظیر باتری‌های قابل شارژ، پوشش‌های سطح، محافظ امواج الکترومغناطیسی، حسگرها، عضله‌های مصنوعی و پزشکی و نیز فیلم‌های هادی جریان جهت بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی به شدت موردتوجه بسیاری از پژوهشگران قرار دارند. ازجمله کاربردهای فیلم‌های رسانای جریان الکتریکی می‌توان به بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی مانند بسته‌بندی گوشت‌ها، سبزی‌ها و میوه‌ها اشاره کرد. اگرچه پلیمرهای رسانای متعددی سنتز شده‌اند، اما پلی‌پیرول[2] به‌دلیل خواص قابل‌توجه ازجمله پایداری رسانایی بهتر و قابل‌کنترل‌بودن موردتوجه بیشتری قرار گرفته است (نوری، 1385). پلی‌پیرول نیز مانند بسیاری از پلیمرهای رسانا در حلال‌های معمولی انحلال‌پذیر نیست. همچنین این ماده دیرگُداز است زیرا قبل از ذوب تغییر ماهیت می‌دهد. این پلیمر به‌خاطر داشتن برخی ویژگی‌ها مانند هدایت الکتریکی مناسب، سنتز شیمیایی و الکتروشیمیایی آسان، غیرسمی‌بودن، زیست‌تخریب‌پذیربودن، اصلاح بسیاری از فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر، ساخت حسگرهای یونی و گازی، اصلاح سطوح فلزی، جاذب‌های شیمیایی، فیلترهای شیمیایی و غیره مورد استفاده فراوان قرار می‌گیرد (عیسی زاده و خادمیان، 1385). پلی‌پیرول از تعدادی ساختارهای حلقه‌ای متصل به پیرول تشکیل شده و ثابت شده است که فعالیت ضدباکتری خوبی در برابر باکتری *اشرشیاکلی*[3] دارد (Ebrahimiasl, Zakaria, Kassim, & Basri, 2015).

برای یک بسته‌بندی فعال آنتی‌اکسیدانی این عیب بزرگی محسوب می‌شود که تمام آنتی‌اکسیدان موجود در آن در چند روز اول به مادهٔ غذایی مهاجرت نموده و در ادامهٔ مدت نگهداری مادهٔ غذایی، فیلم هیچ‌گونه خاصیت آنتی‌اکسیدانی نداشته باشد. درمورد اکثر آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و سنتزی، نرخ رهایش با گذشت زمان کاهش‌یافته و میزان آنتی‌اکسیدان مهاجرت‌کرده، در

[1] *Acetobacter xillinum*

[2] Polypyrrole
[3] *E. Coli*

زمان‌های اولیه بیشتر از زمان‌های نهایی نگهداری مادهٔ غذایی می‌باشد. در واقع در رهایش کنترل‌شده، هدف، افزایش طول مدت زمان مهاجرت آنتی‌اکسیدان و همچنین قابل پیش‌بینی‌کردن نرخ رهایش می‌باشد. Ebrahimiasl و همکاران (2015) فیلم زیست‌تخریب‌پذیر کیتوزان/پلی‌پیرول-اکسید روی را سنتزکرده و گزارش دادند که پلی‌پیرول و اکسید روی خاصیت ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی و هدایت الکتریکی فیلم را افزایش می‌دهد. در این پژوهش، فیلم سلولز باکتریایی حاوی اکسید روی و پلی‌پیرول به‌منظور استفاده در بسته‌بندی فعال و ضدقارچی و ضدمیکروبی و همچنین بسته‌بندی هوشمند (به‌دلیل تغییر مقاومت الکتریکی آن در معرض مواد فاسد غذایی) تولید شده است. هدف اصلی این پژوهش بررسی خواص مکانیکی، خاصیت ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدانی و هادی الکتریسیته‌بودن فیلم تولیدشده می‌باشد که در ادامهٔ این تحقیق تأثیر فیلم سنتزشده روی افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی و بسته‌بندی هوشمند آنها مطالعه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی

پیرول استفاده‌شده قبل از مصرف تحت‌خلأ تقطیر شد و با کلریدآهن 3 مورد استفاده قرار گرفت. مونومر پیرول[1] از شرکت مرک تهیه شد و گلیسرول، اسید استیک، 2 و2-دی‌فنیل-1-پیکریل-هیدرازیل[2] (DPPH) و سایر ترکیبات آلی مورد استفاده از شرکت مرک و آلدریچ تهیه شدند. این ترکیبات که از شرکت‌های مرک و آلدریچ تهیه‌شده بودند بدون خالص‌سازی مجدد مورد استفاده قرار گرفتند. نانوذرات اکسید روی برای تهیهٔ نانوکامپوزیت پلی‌پیرول-اکسید روی از شرکت آلدریچ (St Louis، MO، ساخت آمریکا) تهیه شد. فیلم سلولز باکتریایی نیز از شرکت نانو نوین پلیمر (ساری، ایران) تهیه و استفاده شد.

دستگاه‌ها

تصاویر با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترون روبشی[3] (SEM) (مدل Tescan Vega-3، ساخت ژاپن) در پژوهشکده متالوژی رازی- تهران ثبت شد. دستگاه بافت‌سنج (مدل TA.XT Plus، Stable Micro Systems، ساخت ایالات متحده) در محل دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه برای بررسی ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها استفاده شد. مقاومت الکتریکی فیلم‌های تهیه‌شده با استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی (ساخت چین) ثبت گردید.

تهیهٔ فیلم سلولز باکتریایی اصلاح‌شده با اکسید روی-پلی‌پیرول

برای تهیهٔ فیلم سلولز باکتریایی/اکسید روی-پلی‌پیرول، محلول پیرول و اکسید روی طبق طرح آزمایشی مرکب مرکزی و غلظت‌های صفر، 0/025، 0/050، 0/075 و 0/1 مولار برای اکسید روی و نیز پیرول در زمان‌های 15، 26/5، 37، 48/5 و60 دقیقه (در دمای محیط) روی فیلم سلولز باکتریایی آماده (خریداری‌شده از شرکت نانوپلیمر ساری) سنتز شدند. جدول (1) طرح آزمایشی مرکب مرکزی استفاده‌شده را نشان می‌دهد.

جدول 1- طرح آزمایشی مرکب مرکزی

تیمار	غلظت پیرول (مولار)	غلظت اکسید روی (مولار)	زمان سنتز (دقیقه)
37	0/05	0/05	F1
37	0/00	0/10	F2
60	0/00	0/10	F3
26/50	0/08	0/03	F4
15	0/00	0/10	F5
15	0/10	0/00	F6
48/50	0/03	0/08	F7
60	0/00	0/10	F8
60	0/05	0/05	F9
26/50	0/00	0/10	F10
60	0/00	0/10	F11
26/50	0/03	0/08	F12
60	0/10	0/00	F13
15	0/10	0/00	F14
15	0/05	0/05	F15
60	0/10	0/00	F16
48/50	0/08	0/03	F17
60	0/05	0/05	F18
37/50	0/10	0/00	F19
0/00	0/00	0/00	Blank

[1] Pyrrole
[2] 2,2-Diphenyl-l- picrylhydrazyl
[3] Scanning Electron Microscope

برای این کار محلول پیرول، اکسید روی و کلریدآهن 3 (سنتزکنندۀ پیرول) تهیه‌شده در حجم معین آب‌مقطر، در درون پلیت ریخته‌شده و فیلم سلولزی در آن غوطه‌ور گردید. پلی‌پیرول و پلی‌پیرول-اکسید روی روی فیلم سلولز باکتریایی سنتز گردید و درنهایت بعد از تهیه، فیلم به مدت 3 ساعت در دمای محیط خشک گردید که در حین فرایند خشک‌شدن تمامی نانوذرات پلی‌پیرول و اکسید روی در داخل فیلم سلولزی تثبیت می‌شود. شکل (1) تصویر فیلم سلولز باکتریایی خالص و نمونۀ فیلم سلولز باکتریایی اصلاح‌شده با پلی‌پیرول و اکسید روی را نشان می‌دهد.

شکل 1- تصویر فیلم نانوالیاف سلولز باکتریایی (الف) و فیلم سلولز باکتریایی اصلاح‌شده با پلی‌پیرول-اکسید روی (ب)

اندازه‌گیری خواص مکانیکی فیلم‌ها

آزمون تنش کرنش یکی از پرکاربردترین آزمون‌های تعیین رفتار مکانیکی فیلم‌ها می‌باشد. آزمون‌های کشش با استفاده از دستگاه بافت‌سنج و طبق استاندارد شمارۀ 19-22 (ASTM, 2010) در دانشکدۀ کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام شد. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های تهیه‌شده، 5 فیلم از فیلم‌های تهیه‌شده براساس جدول (1) انتخاب شدند. در فیلم‌های انتخاب‌شده می‌توان اثر سه فاکتور غلظت پیرول و غلظت اکسید روی و نیز زمان سنتز کامپوزیت روی فیلم سلولز باکتریایی را بررسی کرد. برای این منظور فیلم‌ها در ابعاد 1×5 سانتی‌متر توسط برشگر مخصوص فیلم‌ها برش داده شد. فاصلۀ بین دو فک دستگاه 3 سانتی‌متر و سرعت حرکت فک‌ها 0/83 میلی‌متر بر ثانیه تنظیم شد. فاکتورهای حداکثر نیروی شکست (برحسب نیوتن)، نسبت نیرو به زمان[1] برحسب نیوتن بر ثانیه و فاصله تا نقطۀ شکست (میلی‌متر) به‌وسیلۀ دستگاه محاسبه شد. فاکتورهای کرنش تا نقطۀ شکست (STB[2]) و مقاومت کششی (TS[3]) توسط رابطۀ (1) و (2) محاسبه شد (Lee, An, Lee, Park, & Lee, 2004).

رابطۀ (1)

$$\text{کرنش تا نقطۀ شکست (\%)} = \frac{\text{فاصله تا نقطۀ شکست}}{\text{طول فیلم}} \times 100$$

رابطۀ (2)

$$\text{مقاومت کششی (TS)} = \frac{\text{نیرو}}{\text{عرض فیلم} \times \text{ضخامت فیلم}}$$

در رابطۀ (2) مقاومت کششی برحسب مگاپاسکال، نیرو برحسب نیوتن، ضخامت (d) و عرض فیلم (W) برحسب میلی‌متر می‌باشند (Lee *et al.*, 2004).

تعیین خاصیت آنتی‌اکسیدانی

توانایی ازدست‌دادن اتم هیدروژن توسط ترکیبات فنولیک یا میزان بی‌رنگ‌کردن محلول بنفش 2 و 2-دی‌فنیل-1-پیکریل-هیدرازیل عصارۀ متانولی فیلم‌ها مورد سنجش قرار گرفت. در این آزمون از DPPH به‌عنوان ترکیبات رادیکالی پایدار استفاده گردید. به‌منظور تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها ازطریق قدرت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH از روش Siripatrawan و Harte (2010) استفاده شد. میزان جذب توسط دستگاه

[1] Gradient
[2] Strain to Break
[3] Tensile Strength

اسپکتروفتومتر (مدل UV-2100، ساخت آمریکا) در طول موج 517 نانومتر ثبت شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها به‌صورت درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطهٔ (3) محاسبه گردید (Siripatrawan & Harte, 2010).

رابطهٔ (3)

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

اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی فیلم‌ها

برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی فیلم‌های تهیه‌شده از دستگاه مولتی‌متر (مدل Escort، ساخت چین) استفاده گردید. دستگاه روی مقاومت‌سنج تنظم شد و دو الکترود دستگاه با فاصلهٔ 1 سانتی‌متر از یکدیگر روی فیلم‌ها قرار گرفت، سپس مقدار مقاومت الکتریکی از روی دستگاه خوانده و ثبت گردید.

بررسی خاصیت ضدمیکروبی و ضدقارچی فیلم‌ها

2 میلی‌لیتر از مایهٔ کشت باکتری *اشرشیاکلی* و قارچ *آسپرژیلوس نایجر*[1] حاوی حدود 10^5-10^6 واحد تشکیل کلنی بر میلی‌لیتر عدد از باکتری و قارچ از دانشگاه ارومیه تهیه گردید. فیلم‌های تولیدشده به‌صورت دایره‌هایی با قطر 3 میلی‌متر بریده شد. برای کشت *اشرشیاکلی* از محیط کشت نوترینت آگار[2] و برای کشت *آسپرژیلوس* از محیط کشت سیب‌زمینی دکستروز آگار (PDA)[3] استفاده گردید. بعد از کشت باکتری و قارچ مدنظر روی محیط‌های کشت مخصوص قطعه‌های فیلم بریده‌شده روی سطح کشت قرار داده شد. بعد از 48 ساعت نگهداری در دمای 37 درجهٔ سانتی‌گراد، مقدار هاله‌های ایجادشده دور فیلم 3 بار از زاویه‌های مختلف اندازه‌گیری گردید و میانگین آنها ثبت شد. این آزمایش سه بار تکرار گردید (سعادتمند، یزدانشناس، رضایی زارچی، یوسفی تلوری و نگهداری، 1391).

تحلیل آماری

برای بررسی اثر پارامترهای مستقل (غلظت اکسید روی، غلظت پیرول و زمان سنتز) روی مقاومت الکتریکی و خاصیت آنتی‌اکسیدانی از طرح آماری مرکب مرکزی استفاده شد. هدف از طراحی این آزمایش بررسی اثر غلظت اکسید روی، غلظت پیرول و زمان سنتز روی فیلم‌های سلولز باکتریایی و نیز بررسی برهم‌کنش بین آنها می‌باشد. بدین‌منظور طبق جدول (1) تعداد 20 فیلم تهیه گردید. از بین فیلم‌های تهیه‌شده تعدادی از فیلم‌ها که تأثیر پیرول و اکسید روی را روی خواص مکانیکی و ضدباکتریایی و قارچی را نشان می‌دهد، انتخاب گردید. تحلیل و ارزیابی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری Design Expert نسخهٔ 7 در سطح احتمال 5 درصد انجام گرفت. از نرم‌افزار Design Expert جهت رسم نمودارها استفاده گردید.

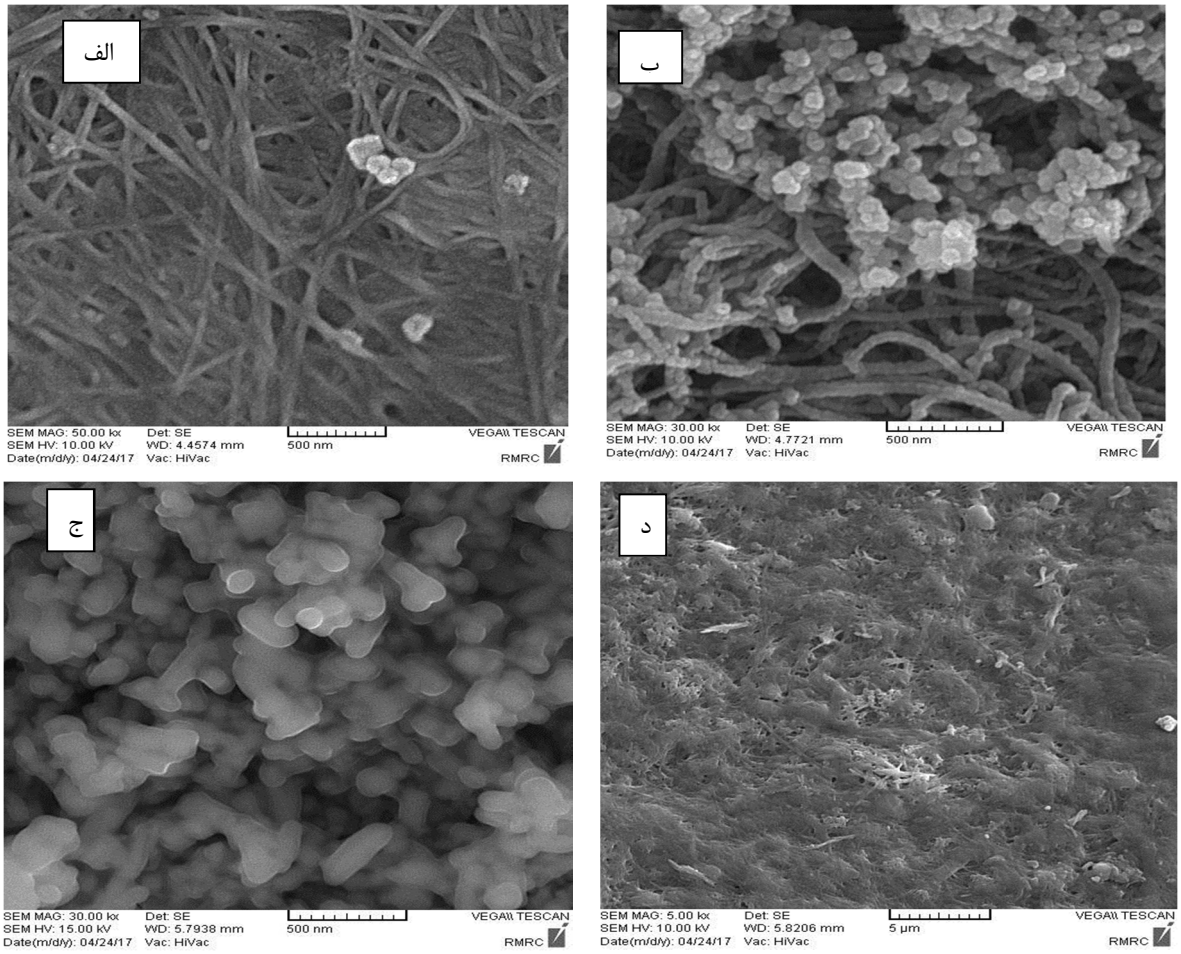
نتایج و بحث

مطالعهٔ مورفولوژی فیلم‌های تهیه‌شده

مورفولوژی سطحی فیلم‌های سلولز باکتریایی، پلی‌پیرول سنتزشده روی سطح فیلم سلولز باکتریایی، اکسید روی رشد داده‌شده روی فیلم سلولز باکتریایی و کامپوزیت پلی‌پیرول-اکسید روی سنتزشده روی فیلم سلولز باکتریایی در شکل (2) نشان داده شده است. فیلم خالص سلولز باکتریایی (شکل 2-الف) دارای سطح صاف می‌باشد و شکل فیبرها به وضوح قابل تشخیص است. اندازهٔ قطر نانوالیاف سلولز باکتریایی حدود 40-60 نانومتر می‌باشد، ساختار شبکهٔ فیلم سلولز باکتریایی در شکل (2-الف) شفاف و روشن است. چنین شبکهٔ متخلخل از سلولز باکتریایی اجازه می‌دهد مولکول مهمان در سراسر فضای داخلی آن به‌راحتی پخش شود. شکل (2-ب) ساختار مورفولوژی سلولز-پلی‌پیرول را نشان می‌دهد، واضح است که نانوفیبرهای سنتزشده با قطر تقریبی 40-60 نانومتر به خوبی از هم جدا شده‌اند، ابعاد بین نانوفیبر سلولزی و سلولز-پلی‌پیرول را می‌توان در شکل (2-ب) به‌طور واضح مشاهده کرد، قسمتی که لایه‌های تقریباً یکنواخت پلی‌پیرول روی نانوفیبرهای سلولز باکتریایی پخش شدند، که در آن لایهٔ پلی‌پیرول ضخامت تقریبی 50 نانومتر دارد و روی فیبرهای سلولز پخش شده است (Wang, Bian, Zhou, Tang, & Tang, 2013). تصاویر SEM از سطح ذرات ZnO که روی فیلم سلولز رشد کرده‌اند در شکل (2-ج) نشان داده شده است. سلولز دارای سطح صاف

[1] *Aspergillus niger*
[2] Nutrient agar
[3] Potato Dextrose Agar

می‌باشد که پس از رشد ZnO، ذرات میله‌مانند و 8 ضلعی با اندازهٔ ذرات 100-50 نانومتر به‌طور کامل سطح سلولز را پوشش داده‌اند. تصویر SEM از نانوکامپوزیت پلی‌پیرول-اکسید روی در شکل (2-د) نشان داده شده است. اندازهٔ ذرات 150-100 نانومتر می‌باشد و روی سلولز باکتریایی رشد کرده‌اند. مورفولوژی سطحی به وضوح نشان داد نانوذرات پلی‌پیرول و اکسید روی به‌صورت یکنواخت روی سطح سلولز باکتریایی رشد می‌کند.

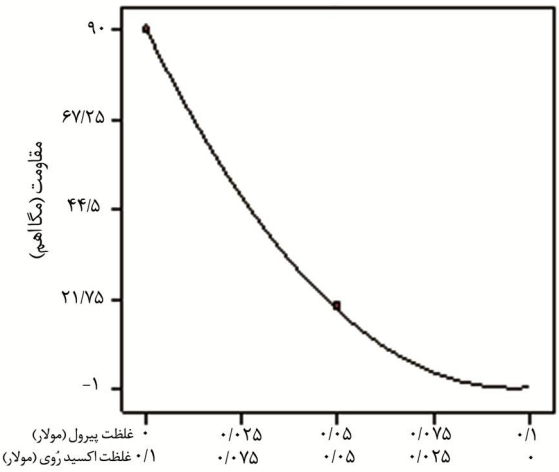


شکل 2- تصویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به نمونهٔ فیلم‌های سلولز خالص (الف)، سلولز-پلی‌پیرول (ب)، سلولز-اکسید روی (ج) و سلولز/پلی‌پیرول- اکسید روی (د)

خواص مقاومت الکتریکی

مقاومت الکتریکی فیلم‌های سلولز/پلی‌پیرول و سلولز/پلی‌پیرول-اکسید روی به‌عنوان عامل بسیار مهمی که می‌تواند در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، بسته‌بندی هوشمند، حسگرهای بی‌حس‌کننده، سنسور گاز و غیره مورد استفاده قرار گیرد، موردبررسی قرار گرفت. مقاومت الکتریکی فیلم‌های مختلف، ثبت شد و اثر زمان و مدت زمان پلیمریزاسیون پلی‌پیرول و اکسید روی موردبررسی قرار گرفت. شکل (3) منحنی مقاومت الکتریکی نسبت به غلظت پیرول و اکسید روی را نشان می‌دهد. فیلم‌های سنتزشده شامل سلولز باکتریایی/پلی‌پیرول، سلولز باکتریایی/اکسید روی و سلولز باکتریایی/پلی‌پیرول/اکسید روی دارای ظرفیت بسیار بالایی برای استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی و بسته‌بندی‌های هوشمند هستند. در مطالعهٔ سنسورهای گاز براساس پلیمرهای هدایت‌شده، Pirsa، Shamusi و Kia (2018) نشان دادند که در سنسورهای گاز مبتنی بر پلی‌پیرول مقاومت الکتریکی با قراردادن اسید، پایه یا ترکیبات طبیعی فرار تغییر می‌کند. با استفاده از فیلم‌های سلولز باکتریایی/پلی‌پیرول، سلولز باکتریایی/اکسید روی و سلولز باکتریایی/پلی‌پیرول/اکسید روی در بسته‌بندی مواد غذایی، امکان تعیین ترکیبات فرار از مواد غذایی (بوی مواد غذایی)، زمان ذخیرهٔ مواد غذایی

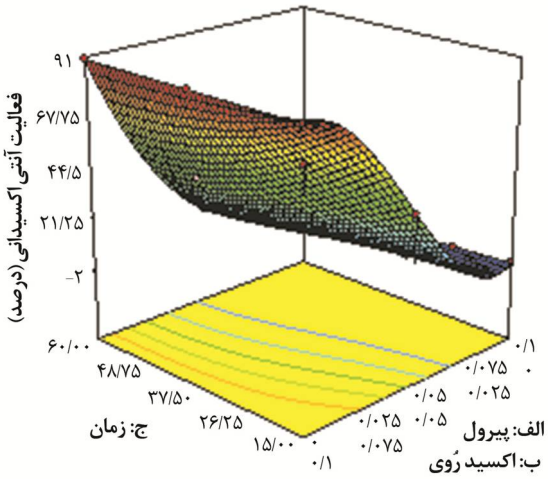
و دمای نگهداری مواد غذایی وجود خواهد داشت. علاوه‌بر این، با استفاده از فیلم‌های ارائه‌شده در بسته‌بندی مواد غذایی، می‌توان غلظت مواد فرار را با مطالعهٔ هدایت الکتریکی فیلم‌ها برآورد کرد. بین هدایت الکتریکی و برخی پارامترها در بسته‌بندی شامل بوی غذا، دما، فشار، ترکیبات فرار، زمان ذخیره‌سازی و غیره می‌توان رابطهٔ خطی برقرار کرد و از این رابطهٔ خطی برای تخمین مدت زمان و دمای نگهداری و سایر پارامترهای محصولات غذایی استفاده کرد (Ram, Yavuz, Lahsangah, & Aldissi, 2005). نتایج شکل (3) نشان می‌دهد که افزایش غلظت پیرول باعث کاهش مقاومت الکتریکی و افزایش شدت جریان الکتریکی می‌شود که در بسته‌بندی‌های هوشمند (براساس تغییرات مقاومت الکتریکی) بالابودن میزان هدایت الکتریکی حساسیت فیلم نسبت به تغییرات محیطی را افزایش می‌دهد.



شکل 3- نمودار خطی تأثیر غلظت پیرول و اکسید روی بر مقاومت الکتریکی (MΩ) فیلم‌ها

تعیین خاصیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها

اساس این تست بر پایهٔ احیاء و تغییر رنگ رادیکال DPPH به رنگ زرد در حضور مواد آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. در این تست وجود آنتی‌اکسیدان باعث تبدیل رادیکال DPPH به یک ترکیب زرد رنگ به نام دی‌فنیل هیدرازیل می‌گردد که شدت این واکنش بستگی به توانایی اهدای هیدروژن مادهٔ آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. سرانجام کاهش رنگ موجب کاهش در میزان جذب اسپکتروفوتومتری می‌گردد. اکسید روی ویژگی آنتی‌اکسیدانی بالایی را از خود نشان داد. فیلم حاوی 0/1 درصد وزنی اکسید روی با زمان سنتز 60 دقیقه، حدود 89/25 درصد قدرت به‌دام‌اندازی رادیکال دی‌فنیل‌پیکریل هیدرازیل (DPPH) را دارا می‌باشد که به‌عنوان معیاری برای بررسی قدرت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. شکل (4) نشان می‌دهد که افزایش غلظت اکسید روی در ماتریس نانوکامپوزیت تأثیر معنی‌داری روی خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارد ($P<0/05$). پلی‌پیرول نیز اثر معنی‌داری بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها داشت از 80 تا 30 درصد قدرت آنتی‌اکسیدانی را نشان داد که با افزایش غلظت پیرول و زمان پلیمریزاسیون قدرت آنتی‌اکسیدانی فیلم کاهش یافت. زمان پلیمریزاسیون پلی‌پیرول و زمان رسوب ZnO تأثیر قابل‌توجهی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارند، در هر دو مورد افزایش زمان، فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد. نتایج تحقیق‌ها نیز حاکی از افزایش قدرت آنتی‌اکسیدانی در اثر افزودن اکسید روی به ماتریس پلیمری فیلم‌ها می‌باشد (Emamifar, Kadivar, Shahedi, & Soleimanian-Zad, 2011).



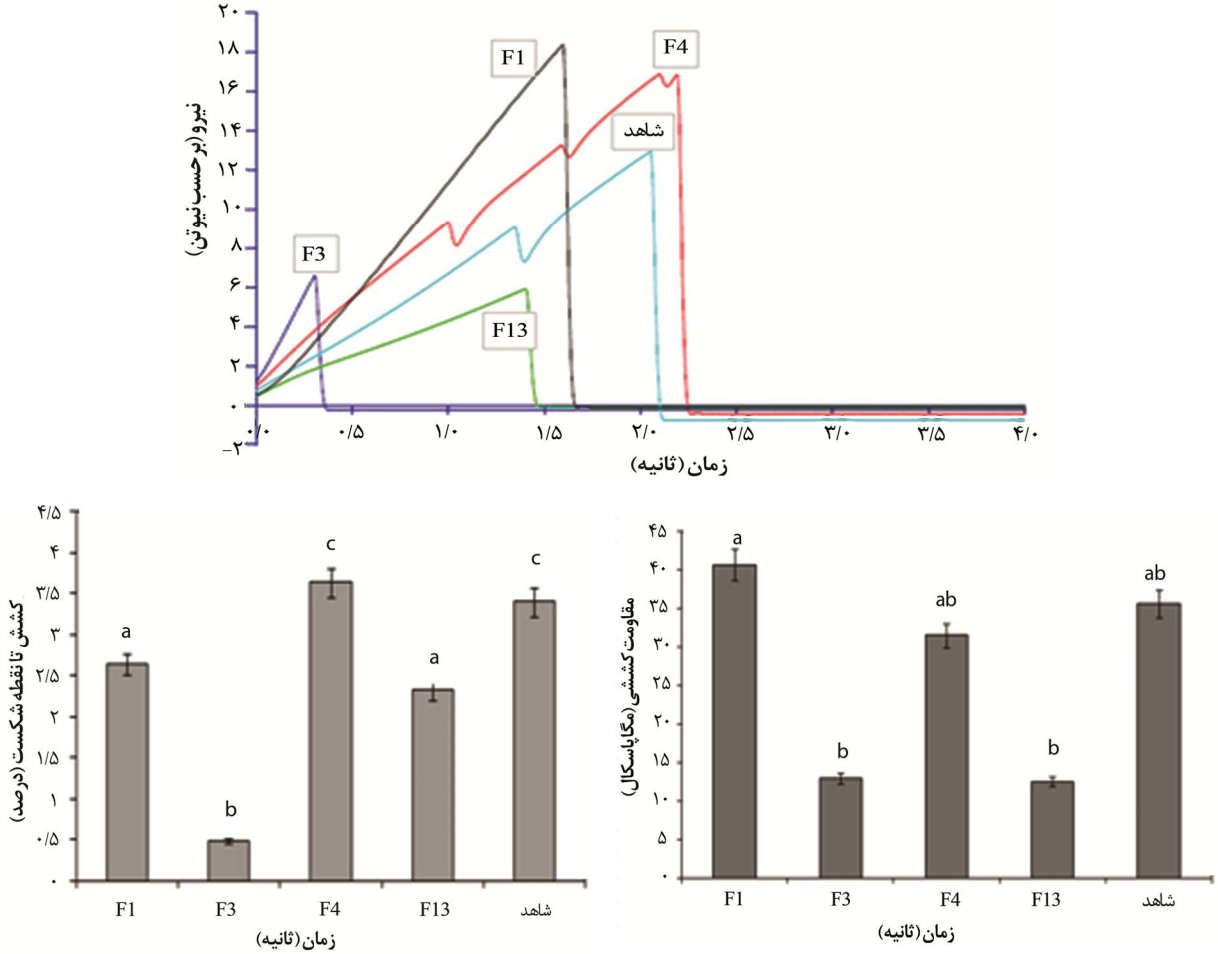
شکل 4- منحنی سه‌بُعدی تأثیر غلظت اکسید روی و پلی‌پیرول روی خاصیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها

خواص مکانیکی

از بین فیلم‌های تهیه‌شده مطابق جدول (1) تعدادی فیلم که اثر پیرول، اکسید روی و مدت زمان سنتز روی خواص مکانیکی را نشان می‌دهد، انتخاب شد. شکل (5) منحنی نیروی کشش فیلم‌ها نسبت به زمان کشش و نقطهٔ شکست و نیز منحنی ستونی کرنش در نقطهٔ شکست (STB) و مقاومت کششی (TS) را نشان می‌دهند.

نتایج به‌دست‌آمده از شکل (5) نشان می‌دهد که سنتز

اکسید روی، پلی‌پیرول و کامپوزیت اکسید روی-پلی‌پیرول روی خواص مکانیکی فیلم سلولز باکتریایی مؤثر می‌باشد. براین‌اساس ترسیب اکسید رُوی؛ روی سطح فیلم، کرنش در نقطهٔ شکست و مقاومت کششی فیلم را تا حدودی کاهش می‌دهد که علت این امر را می‌توان به پرکردن زنجیرهٔ پلیمری داخل سلولز توسط اکسید روی نسبت داد که درنهایت باعث می‌شود انعطاف‌پذیری و مقاومت فیزیکی فیلم سلولزی کاهش یابد. سنتز پلی‌پیرول نیز به شدت فیلم کرنش در نقطهٔ شکست و مقاومت کششی فیلم را کاهش می‌دهد که شاید علت این کاهش شدید این باشد که پیوندهای جدیدی بین پلیمرهای پیرول و سلولز شکل می‌گیرد که این پیوندها به نوبت خود پیوندهای بین پلیمرهای سلولز را کاهش‌داده و مقاومت فیزیکی آن را پایین می‌آورد و همچنین باتوجه‌به اینکه پلی‌پیرول یک پلیمر تُرد و شکننده می‌باشد قرارگرفتن این پلیمرها در فضای بین پلیمرهای سلولز نیز منجربه‌کاهش شدید کشش تا نقطهٔ شکست می‌شود. نتایج این تحقیق تقریباً مشابه نتایج به‌دست‌آمده در کارهای مشابه می‌باشد که درستی نتایج به‌دست‌آمده را تأیید می‌کند (Ko, Mun, Min, Kim, & Kim, 2014; Pang, Liu, Zhang, Wu, & Sun, 2013).



شکل 5- منحنی نیروی کشش نسبت به زمان کشش فیلم‌ها، منحنی کرنش در نقطهٔ شکست (STB) و مقاومت کششی (TS) فیلم‌ها
حروف غیرمشابه نشان‌دهندهٔ معنی‌داربودن تفاوت‌ها می‌باشد ($P<0/05$).

آزمون ضدمیکروبی

برای بررسی اثر غلظت اکسید روی و غلظت پیرول و نیز زمان سنتز روی فعالیت ضدمیکروبی و ضدقارچی فیلم‌های تهیه‌شده، از بین فیلم‌های تهیه‌شده مطابق جدول (1) چندین فیلم انتخاب‌شده و آزمون‌های ضدمیکروبی و ضدقارچی روی آنها انجام پذیرفت. جدول (2) فعالیت ضدقارچی فیلم‌های تولیدشده در برابر قارچ *آسپرژیلوس نایجر* و جدول (3) فعالیت ضدباکتریایی فیلم‌ها در حضور

باکتری *اشرشیاکلی* موردمطالعه را نشان می‌دهد. فیلم شاهد (سلولز باکتریایی) هیچ اثر بازدارندگی روی قارچ *آسپرژیلوس* و باکتری *اشرشیاکلی* نشان نداد. افزودن اکسید روی و پلی‌پیرول منجربه ایجاد نواحی شفاف بازدارندگی در اطراف فیلم‌ها شد. بیشترین بازداندگی در نمونه‌های حاوی 0/05 درصد پلی‌پیرول و 0/05 درصد اکسید روی مشاهده گردید. که علت این پدیده، تولید گونه‌های اکسیژن فعال بر سطح نانوذرات می‌باشد. که با نفوذ به داخل سلول باکتری باعث مرگ سلول می‌شوند.

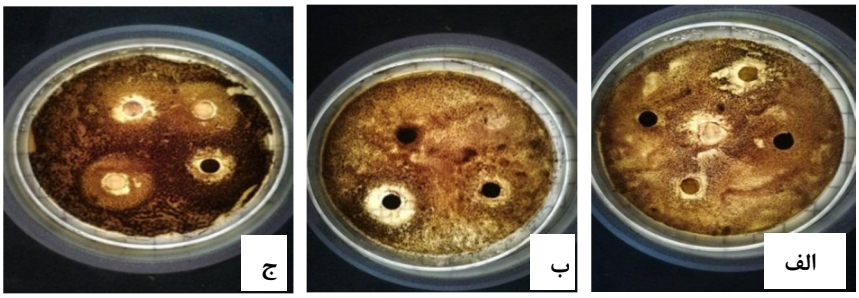
نتایج به‌دست‌آمده با نتایج Nawaz، Solangi، Zehra و Nadeem (2011) مطابقت دارد. میزان هالهٔ ایجادشده در شکل‌های (6) و (7) نشان داده شده است. فعالیت ضدمیکروبی بیشتر به غلظت میزان نانوذرات بستگی دارد. همچنین پلی‌پیرول از تعدادی ساختارهای حلقه‌ای متصل به پیرول تشکیل شده است و ثابت‌شده فعالیت ضدمیکروبی خوبی در برابر *اشرشیاکلی* دارد (Ebrahimiasl *et al*., 2015).

جدول 2- فعالیت ضدقارچی فیلم‌های تولیدشده در برابرقارچ *آسپرژیلوس نایجر*

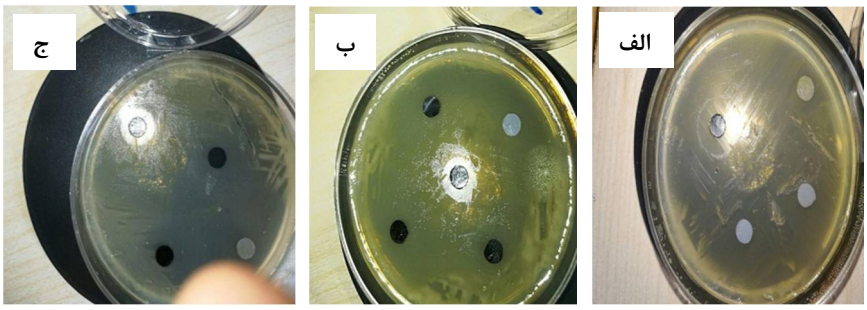
تیمار	غلظت اکسید روی	غلظت پیرول	زمان سنتز (ثانیه)	قطر فیلم (میلی‌متر)	قطر هالهٔ تشکیل‌شده (میلی‌متر)	تفاضل قطر هاله و فیلم (میلی‌متر)	مساحت هالهٔ πr^2 (میلی‌مترمربع)
Blank	-	-	-	3	0/00	0/00	0/00
F9	0/05	0/05	60	3	13/50	10/50	86/54±0/12
F13	0/10	0/00	60	3	8/10	5/10	23/74±0/15
F17	0/08	0/03	45	3	5/50	2/50	4/90±0/10
F1	0/05	0/05	45	3	10/00	7/00	38/46±0/08
F19	0/10	0/00	45	3	4/50	1/50	1/76±0/15

جدول 3- فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های تولیدشده در برابر باکتری *اشرشیاکلی*

تیمار	درصد اکسید روی	درصد پلی‌پیرول	زمان سنتز (ثانیه)	قطر فیلم (میلی‌متر)	قطر هالهٔ تشکیل‌شده (میلی‌متر)	تفاضل قطر هاله و فیلم (میلی‌متر)	مساحت هالهٔ πr^2 (میلی‌مترمربع)
نمونهٔ شاهد	-	-	-	3	0/00	0/00	0/00
15	0/05	0/05	45	3	6/30	3/30	8/54±0/08
9	0/05	0/05	60	3	8/80	5/80	26/40±0/10
1	0/05	0/05	45	3	6/40	3/40	9/07±0/12
13	0/10	0/00	60	3	0/00	0/00	0/00
17	0/08	0/03	45	3	0/00	0/00	0/00



شکل 6- فعالیت ضدقارچی فیلم‌ها: (الف) هالهٔ ایجادشدهٔ اطراف فیلم 19 و عدم هالهٔ اطراف فیلم بلانک، (ب) هالهٔ ایجادشده اطراف فیلم 9 و (ج) هالهٔ ایجادشده اطراف فیلم‌های 13، 17 و 1



شکل 7- فعالیت ضدباکتری فیلم‌ها: (الف) هالهٔ ایجادشده اطراف فیلم 9 و عدم ایجاد هالهٔ اطراف فیلم بلانک، (ب) هالهٔ ایجادشده اطراف فیلم 15 و عدم هالهٔ اطراف فیلم 13 و (ج) هالهٔ ایجادشده اطراف فیلم 1 و عدم ایجاد هالهٔ اطراف فیلم 17

نتیجه‌گیری

پلی‌پیرول نانوساختار (50 تا 150 نانومتر) و نانوکامپوزیت پلی‌پیرول-اکسید روی (30 تا 120 نانومتر) روی فیلم سلولز باکتریایی به روش شیمیایی و در دمای محیط سنتز گردید. از طرح مرکب مرکزی برای بررسی اثر غلظت پیرول و غلظت اکسید روی و نیز زمان سنتز نانوکامپوزیت بر ویژگی آنتی‌اکسیدانی و هدایت الکتریکی فیلم‌های تهیه‌شده استفاده شد. ویژگی‌های ضدمیکروبی، ضدقارچی و مکانیکی فیلم‌های تهیه‌شده نیز بررسی گردید. سنتز پلی‌پیرول و نیز افزایش زمان سنتز پلیمر تأثیر مثبت در ایجاد خاصیت ضدمیکروبی و ضدقارچی فیلم‌ها داشت و با افزایش غلظت پیرول و نیز زمان سنتز آن خواص ضدمیکروبی و ضدقارچی فیلم‌ها افزایش یافت ولی نانوذرات اکسید روی بیشتر روی خاصیت ضدقارچی مؤثر می‌باشد. با اضافه‌کردن پلی‌پیرول مقاومت الکتریکی کاهش یافت درنتیجه هدایت الکتریکی فیلم‌ها افزایش یافت. به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد پلی‌پیرول و اکسید روی دارای پتانسیل بالایی جهت استفاده به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان و مادهٔ ضدمیکروبی و قارچی در نگهداری مواد غذایی بوده و با افزودن این نانوذرات به فیلم سلولز باکتریایی، می‌توان یک فیلم زیست‌تخریب‌پذیر با رهایش کنترل‌شده به‌منظور استفاده در بسته‌بندی غذاهای حساس به اکسیداسیون و میکروبی تولید نمود. همچنین باتوجه‌به خاصیت هادی الکتریسیته‌بودن پلی‌پیرول و با درنظرگرفتن این موضوع که هدایت الکتریکی فیلم تحت‌شرایط اکسیداسیونی مختلف تغییر می‌یابد، می‌توان از این فیلم‌ها در بسته‌بندی هوشمند محصولات غذایی استفاده کرد.

منابع

سعادتمند، م.، یزدانشناس، م.، رضایی زارچی، س.، یوسفی تلوری، ب. و نگهداری، م. (1391). خاصیت ضدمیکروبی نانو کامپوزیت کیتوزان-TiO_2و به کارگیری آن روی گاز استریل بیمارستانی. *علوم آزمایشگاهی*، 6(1)، 59-72 .

عیسی‌زاده، ح. و خادمیان، م. (1385). تهیه پلی پیرول و کامپوزیتهای آن در محلولهای گوناگون با استفاده از مواد افزودنی مختلف و مطالعه شکل شناسی و رسانندگی فیلم تهیه شده. *مجله علوم و تکنولوژی پلیمر*، 19(2)، 131-136 . doi:https://doi.org/10.22063/jipst.2006.837

قنبرزاده، ب.، پزشکی‌نجف‌آبادی، ا. و الماسی، ه. (1390). فیلم‌های خوراکی فعال در بسته‌بندی مواد غذایی. *علوم و صنایع غذایی ایران*، 8(32)، 123-135 .

نوری، م. (1385). مطالعه رسانایی الکتریکی نخ‌های پوشش یافته با پلی آنیلین و پلی پیرول زیر کشش. *مجله علوم و تکنولوژی پلیمر*، 22(5)، 373-379 doi:https://doi.org/10.22063/jipst.2009.708

Ali, A., Ambreen, S., Maqbool, Q., Naz, S., Shams, M. F., Ahmad, M., . . . Zia, M. (2016). Zinc impregnated cellulose nanocomposites: Synthesis, characterization and applications. *Journal of Physics and Chemistry of Solids, 98*, 174-182. doi:https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2016.07.007

ASTM. (2010). Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting. D882-10: Annual book of ASTM. Philadelphia, PA: American Society for Testingand Materials.

Ebrahimiasl, S., Zakaria, A., Kassim, A., & Basri, S. N. (2015). Novel conductive polypyrrole/zinc oxide/chitosan bionanocomposite: synthesis, characterization, antioxidant, and antibacterial activities. *International Journal of Nanomedicine, 10*, 217-227. doi:https://doi.org/10.2147/IJN.S69740

Eisa Zadeh, H., & Khademian, M. (2006). Preparation of Polypyrrole and Its Composites in Various Solutions Using Different Additives and Studying the orphology and Conductivity of the Prepared Film. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, *19*(2), 131-136. doi:https://doi.org/10.22063/jipst.2006.837 (in Persian)

Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M., & Soleimanian-Zad, S. (2011). Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of Lactobacillus plantarum in orange juice. *Food Control, 22*(3-4), 408-413. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.09.011

Esa, F., Tasirin, S. M., & Rahman, N. A. (2014). Overview of bacterial cellulose production and application. *Agriculture and Agricultural Science Procedia, 2*, 113-119. doi:https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.017

Gajjar, P., Pettee, B., Britt, D. W., Huang, W., Johnson, W. P., & Anderson, A. J. (2009). Antimicrobial activities of commercial nanoparticles against an environmental soil microbe, Pseudomonas putida KT2440. *Journal of Biological Engineering, 3*(1), 9. doi:https://doi.org/10.1186/1754-1611-3-9

Ghanbarzadeh, B., Pezeshki Najafabadi, A., & Almasi, H. (2011). Antimicrobial edible films for food packaging. *Food Science and Technology*, *8*(32), 123-135. (in Persian)

Ko, H.-U., Mun, S., Min, S. K., Kim, G.-W., & Kim, J. (2014). Fabrication of Cellulose ZnO Hybrid Nanocomposite and Its Strain Sensing Behavior. *Materials, 7*(10), 7000-7009. doi:https://doi.org/10.3390/ma7107000

Lee, C. H., An, D. S., Lee, S. C., Park, H. J., & Lee, D. S. (2004). A coating for use as an antimicrobial and antioxidative packaging material incorporating nisin and α-tocopherol. *Journal of Food Engineering, 62*(4), 323-329. doi:https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00246-2

Nawaz, H. R., Solangi, B. A., Zehra, B., & Nadeem, U. (2011). Preparation of nano zinc oxide and its application in leather as a retanning and antibacterial agent. *Canadian Journal on Scientific and Industrial Research, 2*(4), 164-170.

Nouri, M. (2009). The Electrical Conductivity of Stretched Polyaniline and Polypyrrole Coated Yarns. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, *22*(5), 373-379. doi:https://doi.org/10.22063/jipst.2009.708 (in Persian)

Pang, J., Liu, X., Zhang, X., Wu, Y., & Sun, R. (2013). Fabrication of cellulose film with enhanced mechanical properties in ionic liquid 1-allyl-3-methylimidaxolium chloride (AmimCl). *Materials*, *6*(4), 1270-1284. doi:https://doi.org/10.3390/ma6041270

Pirsa, S., Shamusi, T., & Kia, E. M. (2018). Smart films based on bacterial cellulose nanofibers modified by conductive polypyrrole and zinc oxide nanoparticles. *Journal of Applied Polymer Science, 135*(34), 46617. (in Press). doi:https://doi.org/10.1002/app.46617

Ram, M. K., Yavuz, Ö., Lahsangah, V., & Aldissi, M. (2005). CO gas sensing from ultrathin nano-composite conducting polymer film. *Sensors and Actuators B: Chemical, 106*(2), 750-757. doi:https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.09.027

Saadatmand, M. M., Yazdanshenas, M. E., Rezaei-Zarchi, S., Yousefi-telori, B., & Negahdary, M. (2012). Investigation of anti-microbial properties of chitosan-Tio2 Nanocomposite and its use on sterile gauze pads. *Medical Laboratory Journal*, *6*(1), 59-72. (in Persian)

Shi, Z., Zhang, Y., Phillips, G. O., & Yang, G. (2014). Utilization of bacterial cellulose in food. *Food Hydrocolloids, 35*, 539-545. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.07.012

Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., & Dalla Rosa, M. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science & Technology, 19*(12), 634-643. doi:https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.07.003

Siripatrawan, U., & Harte, B. R. (2010). Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids, 24*(8), 770-775. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.003

Vigneshwaran, N., Kumar, S., Kathe, A., Varadarajan, P., & Prasad, V. (2006). Functional finishing of cotton fabrics using zinc oxide–soluble starch nanocomposites. *Nanotechnology, 17*(20), 5087.

Wang, H., Bian, L., Zhou, P., Tang, J., & Tang, W. (2013). Core–sheath structured bacterial cellulose/polypyrrole nanocomposites with excellent conductivity as supercapacitors. *Journal of Materials Chemistry A, 1*(3), 578-584.

Zhang, L., Jiang, Y., Ding, Y., Povey, M., & York, D. (2007). Investigation into the antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles (ZnO nanofluids). *Journal of Nanoparticle Research, 9*(3), 479-489. doi:https://doi.org/10.1007/s11051-006-9150-1

Preparing of Bacterial Cellulose/Polypyrrole-Zinc Oxide Nanocomposite Film and Studying its Physicomechanical, Antimicrobial and Antioxidant Properties

Sajad Pirsa[1*], Tohid Shamusi[2], Ehsan Moghaddas Kia[3]

1- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
* Corresponding author (Pirsa7@gmail.com & S.pirsa@urmia.ac.ir)
2- MSc. Graduated, Department of Food Science and Technology, Afagh Higher Education Institute, Urmia, Iran
3- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Maragheh University of Medical Sciences, Maragheh, Iran

Abstract

In this research, polypyrrole (PPy) and polypyrrole-zinc oxide (PPy-ZnO) nanocomposites were synthesized by chemical method on the bacterial cellulose film in the presence of Iron chloride III. The size, shape and morphology of the synthesized particles were studied using scanning electron microscopy. The results showed that the polypyrrole particles (60-150 nm) are spherical in shape, while the nanoparticles of polypyrrole-Zinc oxide are granular in shape and are in the range of 30-120 nm. Mechanical properties including, strain to break and tensile strength and antimicrobial-antifungal properties, as well as antioxidant properties and electrical conductivity of the films were studied. The results showed that the addition of polypyrrole decreased the electrical resistance, resulting in an increase in the electrical current of the film. The addition of nanoparticles reduced the mechanical properties and decreased the tensile strength. The inhibitory power of free radicals of the film increased with the addition of zinc oxide. The synthesis and increase of the polypyrrole synthesis time on a cellulose film had a positive effect on the antimicrobial and antifungal properties of films, but zinc oxide nanoparticles were more effective on antifungal properties.

Keywords: Antimicrobial and Antioxidant Properties, Bacterial Cellulose, Nanostructure, Polypyrrole, Zinc Oxide