



تهیه فیلم زیست تخریب پذیر نانو ذرات اکسید روی-کربوکسی متیل سلولز- ژلاتین و ارزیابی ویژگی های فیزیکی و مکانیکی آن

ابراهیم بیابانی اقدام^۱، محمدهادی خوش تقاضا^{۲*}، محمدحسین عزیزی تبریز زاد^۳، مژگان میرزا طاهری^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

۳- استاد، گروه صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

۴- استادیار، گروه علوم پلیمر، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

در سال های اخیر به دلیل مخاطرات زیست محیطی بسته های موجود در بازار، تمایل به استفاده از پلیمرهای طبیعی و زیست تخریب پذیر در نگهداری محصول بسته بندی شده بیشتر شده است. در این تحقیق از ژلاتین و کربوکسی متیل سلولز برای تولید بسته بندی زیست تخریب پذیر استفاده شد. برای تقویت ویژگی های مکانیکی و مانع در برابر عوامل مخرب از قبیل گاز اکسیژن، دی اکسید کربن و رطوبت، به فیلم ها نانو ذرات اکسید روی (ZnO) در سطوح (۱، ۳ و ۵ درصد) اضافه گردید و در نهایت خصوصیات فیزیکی و مکانیکی فیلم های تولیدی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از درصد های متفاوت نانو ذرات اکسید روی بر خصوصیات مکانیکی و فیزیکی فیلم تأثیر گذاشت. همچنین مشاهده شد با افزایش مقدار ZnO مقاومت کششی نمونه ها افزایش و درصد افزایش طول کاهش یافت. فیلم های بدون ZnO فیلم های منعطفی بوده و بیش ترین مقادیر افزایش طول را ثبت نمودند و نمونه های ZnO 5% کمترین درصد افزایش طول را داشتند. بالاترین استحکام کششی مربوط به نمونه حاوی ZnO 5% (۳۵/۹۳ Mpa) و پایین ترین مقدار مربوط به نمونه بدون ZnO (۲۹/۳ Mpa) بود. همچنین مشخص شد که با افزایش میزان ZnO در تیمارها میزان نفوذ پذیری به بخار آب، اکسیژن و حلالیت به طور معناداری کاهش و میزان کدورت فیلم ها افزایش پیدا کرد.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۶

تاریخ داوری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵

کلمات کلیدی:

بسته بندی،
استحکام کششی،
نفوذ پذیری به بخار آب و اکسیژن

DOI: 10.48311/fsct.2026.83724.0

* مسئول مکاتبات:

khoshtag@modares.ac.ir

۱-مقدمه

سالپانه مقدار زیادی از مواد غذایی پیش از اینکه در دسترس مصرف کنندگان قرار بگیرند بر اثر فساد شیمیایی، رشد میکروبی و کاهش کیفیت از بین می روند. بدیهی هست که پیشگیری و کاهش میزان ضایعات در طی آماده سازی، نگهداری، فرآوری و توزیع ضروری است. با توجه به پیشرفت های انجام شده در صنایع بسته بندی مواد غذایی، بحث مربوط به فیلم های خوراکی بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته است [۱].

مواد مورد استفاده در تهیه بسته بندی مواد غذایی، پلیمرهای حاصل از مشتقات نفتی می باشند. در سال های اخیر به دلیل مخاطرات زیست محیطی این بسته بندی ها، تمایل به استفاده از پلیمرهای طبیعی و زیست تخریب پذیر به عنوان مانعی در برابر عوامل مخرب از قبیل گاز اکسیژن، دی اکسید کربن و رطوبت افزایش یافته است. این فیلم ها و پوشش های خوراکی در مقایسه با پلیمرهای سنتزی می توانند علاوه بر داشتن خواص بازدارندگی اصلی بسته بندی های معمول (خواص بازدارندگی در برابر گازها و بخار آب و تنش های مکانیکی) با تغییر شرایط بسته بندی، مدت زمان ماندگاری، ایمنی و کنترل عوامل بیماری زا را بهبود ببخشند و در عین حال کیفیت ماده غذایی را حفظ کنند [۲].

فیلم های خوراکی معمولاً از پلی ساکاریدها، لیپیدها و پروتئین ها ساخته شده اند. یکی از مشتقات مهم سلولز، کربوکسی متیل سلولز است که محلول در آب بوده و فیلم های انعطاف پذیر و مستحکمی را تشکیل می دهد. ژلاتین^۱ یکی از منابع پروتئینی است که برای تهیه فیلم های خوراکی استفاده می شود. قابلیت خوب تشکیل فیلم، ممانعت از نفوذ اکسیژن، شفافیت، انعطاف پذیری بالا و استحکام از مهم ترین ویژگی های ژلاتین هست [۳]. ممانعت خوب پوشش های ژلاتینی در برابر اکسیژن سبب می شود که به عنوان عوامل ضد اکسایش لیپید و تعویق انداز رشد کپک ها مطرح باشد [۴]. استفاده از فیلم های بیوپلیمری به دلیل مشکلات مرتبط با

عملکرد آنها و حساسیت ذاتی به آب، مقاومت و سختی نسبتاً کم به ویژه در محیط های مرطوب با محدودیت مواجه شده است. همچنین مطالعات پیشین نشان داده است که فیلم های تهیه شده از یک پلیمر نسبت به شرایط محیطی حساس بوده و خواص مکانیکی ضعیف تری را نشان می دهند [۵]. راهکارهای مختلف برای بهبود خواص بازدارندگی و مکانیکی فیلم های زیست تخریب پذیر وجود دارد که یکی از این راه ها، ترکیب پلیمرهای مختلف با یکدیگر و تشکیل فیلم های ترکیبی و اختلاط با نانو پرکننده هاست.

با استفاده از فناوری نانو می توان بسیاری از مشکلات موجود در صنایع غذایی را برطرف کرد. پلیمرهای نانو کامپوزیتی یک انتخاب ارزان قیمت، شفاف، مستحکم و مقاوم در برابر حرارت و نفوذ اکسیژن برای کاربرد بسته بندی هستند [۶]. در این زمینه نانو ساختارهای فلزات خاص مانند نقره، طلا، اکسید روی^۲ بیشتر مورد توجه بوده اند. به منظور کاهش هزینه ها در این حوزه استفاده از نانو ذرات ارزان تر مثل اکسید روی (ZnO) به علت خواص فیزیکی و شیمیایی پایدار، خاصیت ضد میکروبی، غیر سمی و ارزان قیمت بودن به طور گسترده مورد توجه قرار گرفته اند [۷]. در تحقیقی اثر نانو ذرات اکسید روی (۰/۵، ۱/۵، ۳/۵ درصد) به منظور بهبود خواص مکانیکی و گرمایی فیلم هایی بر پایه ژلاتین صورت گرفت. نتایج نشان داد، با افزایش غلظت نانو ذرات اکسید روی استحکام کششی فیلم افزایش و درصد افزایش طول تا پارگی کاهش یافت. پایداری گرمایی فیلم ها از ۵۳۳ °C (۰/۵ درصد نانو ذرات) به ۵۵۹ °C (۱/۵ درصد نانو ذرات) افزایش یافت [۸]. در پژوهشی نانو ذرات اکسید روی (۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) به پلی وینیل الکل اضافه شدند. نتایج نشان داد که با افزایش میزان اکسید روی به ۳ درصد وزنی، استحکام کششی و مدول یانگ به ترتیب ۶۴ و ۷۲ درصد افزایش یافت. خواص ضد باکتریایی لایه ها با افزودن اکسید روی تا ۵ درصد وزنی افزایش و شفافیت کاهش یافت. کمترین میزان نفوذ پذیری بخار آب نیز در نمونه حاوی ۵

ژلاتین) اضافه شد و با همزن مغناطیسی به مدت ۴۵ min مخلوط شد و محلول به ظروف تفلونی منتقل گردید و برای خشک شدن به مدت ۲۰ h در دمای ۴۵ °C در آون قرار داده شد. با توجه به سطح ثابت ظروف تفلونی، حجمی از محلول فیلم‌ها با ماده خشک برابر محاسبه شده و داخل ظروف تفلونی ریخته شد تا در نهایت، ضخامت فیلم‌ها تقریباً یکنواخت شده و تأثیر ضخامت بر روی خواص فیلم‌ها حذف شود.

۲-۲ ارزیابی خواص مکانیکی فیلم‌ها

برای تعیین خواص مکانیکی نمونه‌های مستطیلی شکل در اندازه ۲×۸ cm برش داده شده و استحکام کششی و درصد افزایش طول تا نقطه شکست بر اساس روش ASTM و با استفاده از دستگاه آزمون مواد (k-Hunsfield, England) (SH50, (از روی منحنی نیرو - جابه‌جایی) اندازه‌گیری شد [۸]. همچنین ضخامت فیلم‌ها توسط میکرومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

۲-۳ اندازه‌گیری میزان حلالیت فیلم‌ها در آب

برای اندازه‌گیری حلالیت فیلم در آب، تکه‌های فیلم را پس از وزن کردن درون ۵۰ ml آب مقطر انداخته و به مدت ۲۴ عمل هم زدن آرام در دمای ۲۵°C انجام گرفت و سپس مخلوط فیلم و آب بر روی یک کاغذ صافی صاف شد. سپس مقدار فیلم باقیمانده روی صافی تا رسیدن به وزن ثابت در دمای ۱۱۰°C در آون قرار داده شده و سپس وزن شد. درصد حلالیت فیلم در آب از رابطه (۱) محاسبه گردید [۱۰].

(۱)

$$\text{درصد} = \frac{w_0 - w_f}{w_0} \times 100$$

حلالیت

w_0 وزن اولیه قبل از خشک کردن و w_f وزن نمونه پس از غوطه‌وری هست

درصد وزنی نانو ذرات اکسید روی مشاهده شد [۹]. در تحقیقی ظرفیت ضد میکروبی نانو ذرات نقره و اکسید روی (۵٪ و ۱۰٪ وزنی) بر برخی از ویژگی‌های کیفی گوشت بررسی شد. گوشت برای زمان‌های نگهداری ۰، ۷، ۱۰، ۱۵ و ۲۱ روز بررسی شد. ترکیب گازهای داخل بسته، برخی از آنالیزهای میکروبیولوژیکی، امتیاز ظاهری و شاخص اکسیداسیون لیپید (TBAR) تعیین شد. با افزایش زمان نگهداری غلظت O_2 کاهش و غلظت و تعداد CO_2 برای همه انواع میکروب افزایش یافت. مشاهده شد افزودن نانو ذرات به بسته‌بندی اثر ضد میکروبی فیلم را به‌طور معنی‌داری افزایش داد [۷].

هدف از مطالعه حاضر، بررسی اثر افزایش نانوذرات اکسید روی به فیلم کربوکسی متیل سلولز-ژلاتین و ارزیابی خواص فیلم‌های تولیدی است.

۲-۴ مواد و روش‌ها

مواد مورداستفاده شامل کربوکسی متیل سلولز، ژلاتین، گلیسرول و نانوذرات اکسید روی از شرکت فرا گستران سهند خریداری شد.

۲-۱ آماده‌سازی فیلم

برای تهیه محلول یک درصد (وزنی-حجمی) یک گرم کربوکسی متیل سلولز به ۱۰۰ ml آب مقطر اضافه شده و توسط همزن مغناطیسی با سرعت ۶۰۰ rpm با استفاده از مگنت صلیبی به قطر ۴ cm در دمای ۸۵ °C به مدت ۴۵ min دقیق مخلوط شد. به منظور افزایش خاصیت انعطاف‌پذیری و نرم شدن فیلم‌ها گلیسرول به میزان ۴۰ درصد وزن ماده خشک به محلول اضافه شد و در ادامه به مدت ۱۵ min با همزن مغناطیسی محلول مخلوط و یکنواخت شد. محلول یک و نیم درصد (وزنی-حجمی) ژلاتین نیز به صورت جداگانه تهیه گردید [۴].

با توجه به مطالعات پیشین نانو ذرات اکسید روی ۱، ۳، ۵ درصد وزنی [۹] پس از انحلال در آب مقطر به مدت ۲۰ min در توان ۱۰W در معرض امواج فراصوت قرار گرفت و به محلول (۵۰ درصد کربوکسی متیل سلولز - ۵۰

اندازه گیری می شود (OTR^4). گازی که از نمونه فیلم عبور می کند باعث ایجاد فشار در قسمت تحتانی محفظه شده که توسط دستگاه اندازه گیری می شود [۱۲].

۶-۲ سنجش رنگ و شفافیت فیلم‌ها

برای بررسی رنگ سطحی فیلم‌ها تغییرات شاخص‌های L (روشنایی)، a (دامنه رنگ از سبز به قرمز)، b (دامنه رنگ از آبی به زرد) فیلم‌های تولیدی با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (TES 135A Color Meter) اندازه‌گیری شد. پس از کالیبره کردن دستگاه اختلاف رنگ نسبت به نمونه شاهد (بدون نانو) (ΔE) از رابطه (۳) تعیین شد [۱۳]. اندازه‌گیری کدورت با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 600nm اندازه‌گیری شد. میزان کدورت فیلم با استفاده از رابطه (۴) تعیین گردید [۱۴].

$$\Delta E = (\sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}) \quad (3)$$

$$\text{کدورت} = \frac{\text{میزان جذب نور}}{\text{ضخامت فیلم}} \quad (4)$$

۷-۲ تجزیه و تحلیل آماری

برای مقایسه فاکتورهای بیان شده و بررسی معناداری بین فیلم‌های تهیه شده از نرم افزار SPSS و آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از درصد افزایش طول و استحکام کشش فیلم‌های تهیه شده در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش مقدار ZnO مقاومت کششی نمونه‌ها افزایش و درصد افزایش طول کاهش یافت. فیلم‌های بدون ZnO فیلم‌های منعطفی بوده و بیشترین مقادیر افزایش طول را ثبت نمودند و نمونه‌های ZnO 5% کمترین درصد

۲-۴ اندازه‌گیری نفوذپذیری نسبت به بخار آب³ (WVP)

نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌ها طبق روش اصلاح شده ASTM انجام شد [۱۱]. نمونه‌های دایره‌ای از فیلم را جدا کرده و در روی درب فنجانک شیشه‌ای قرار داده و سپس در دسیکاتور حاوی سیلیکاژل قرار داده شد. مقدار بخار آب انتقال یافته از فیلم‌ها از روی افزایش وزن فنجانک تعیین می‌شود. منحنی افزایش وزن فنجانک با گذشت زمان رسم و پس از محاسبه رگرسیون خطی شیب خط محاسبه شده و از تقسیم شیب خط به سطح فیلم که در معرض انتقال بخار آب قرار دارد آهنگ انتقال بخار آب (WVTR) به دست آمد. نفوذپذیری نسبت به بخار آب طبق رابطه (۲) محاسبه شد [۱۱].

(۲)

$$WVP = \frac{WVTR}{P \times \Delta R \times X}$$

در این رابطه، WVP نفوذپذیری نسبت به بخار آب (g/m s^{-1})، WVTR آهنگ انتقال بخار آب، X ضخامت فیلم، A سطح داخلی فنجانک، P فشار بخار آب خالص در دمای 25°C و ΔR تفاوت رطوبت نسبی داخل فنجانک و داخل دسیکاتور است.

۲-۵ نفوذپذیری نسبت به اکسیژن

اندازه‌گیری نفوذپذیری فیلم‌ها به اکسیژن طبق روش ASTM با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری به اکسیژن محاسبه شد. آزمون در دمای 25°C و رطوبت نسبی ۴۰ درصد انجام شد. این دستگاه دارای محفظه برنجی برای جلوگیری از نشت گاز تا فشار ۶ bar هست. نمونه‌های دایره‌ای در ابعاد $15 \times 15\text{cm}$ با ضخامت $100\ \mu\text{m}$ تهیه کرده و بین قسمت بالایی و پایینی محفظه برنجی قرار داده شد. قبل از هر آزمون قسمت تحتانی محفظه از هوا خالی شده و قسمت بالایی با اکسیژن پر می‌شود و سرعت عبور اکسیژن

4-Oxygen Transmission Rate

3-water vapor permeability

ناخالصی در بستر فیلم با افزایش بیش از حد مقدار نانو ذرات باشد [۱۷]. مواد بسته‌بندی شده تحت تأثیر عوامل و تنش‌های محیطی به‌ویژه در هنگام حمل‌ونقل قرار دارند که این امر اهمیت افزایش میزان استحکام کششی در فیلم‌های بسته‌بندی را نشان می‌دهد. برای کاربرد نهایی لازم است فیلم تهیه شده از استحکام کششی و انعطاف‌پذیری مناسب برخوردار باشد تا بتواند تنش‌ها و کرنش‌های اعمال‌شده در مصارف مختلف را تحمل کند.

افزایش طول را داشتند. بالاترین استحکام کشش مربوط به نمونه حاوی 5% ZnO (۳۵/۹۳ Mpa) و پایین‌ترین مقدار مربوط نمونه بدون ZnO (۲۹/۳ Mpa) بود.

این نتیجه را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که توزیع یکنواخت نانو ذرات اکسید روی در ساختار فیلم و تشکیل پیوند یونی بین نانو ذرات و اجزای بیوپلیمر باعث افزایش استحکام کششی شده است. این برهمکنش قوی یونی ایجاد شده بین اجزا موجب کاهش تحرک و درصد افزایش طول فیلم گردیده است [۱۶، ۱۵]. هم‌چنین مشاهده شد با افزایش نانو ذرات از ۳ به ۵ درصد میزان افزایش استحکام کششی کم و معنی‌دار نیست که علت این موضوع می‌تواند افزایش

Table 1. Mechanical properties of films with different ZnO contents

Film	Thickness (μm)	Elongation at break (%)	Tensile strength (Mpa)
0 ZnO	50.2 \pm 7.62	14.2 \pm 0.8 ^a	29.3 \pm 1.5 ^a
1% ZnO	45.8 \pm 7.35	12.1 \pm 0.65 ^b	30.1 \pm 1.09 ^a
3% ZnO	45.1 \pm 4.18	11.2 \pm 0.78 ^c	34.16 \pm 1.16 ^b
5% ZnO	55.3 \pm 4.18	6.9 \pm 0.4 ^d	35.93 \pm 1.08 ^b

In each column values assigned with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان آن در فیلم تهیه‌شده از 5% ZnO (۳/۲) مشاهده شد.

اختلاف رنگ کل، که تغییرات رنگ ایجاد شده میان نمونه‌های فیلم دارای نانو ذرات و شاهد را نشان می‌دهد و معیاری برای ارزیابی تغییر شفافیت فیلم‌هاست. در بین فیلم‌های ترکیبی نیز اختلاف رنگ فیلم‌ها با افزایش ZnO به‌طور معناداری افزایش یافت که می‌تواند ناشی از کدورت بالاتر این فیلم‌ها نسبت به کدورت فیلم‌های بدون ZnO باشد. فیلم خالص (شاهد) از کدورت کمتری برخوردار است و با افزودن نانو ذرات شفافیت فیلم کاسته شده است. کاهش این شفافیت می‌تواند به علت افزودن نانو ذرات در بستر فیلم و تجمع این نانو ذرات و خاصیت ذاتی نانو ذرات اکسید روی در جذب نور بوده که سبب می‌گردد فیلم‌ها تیره به نظر برسند [۱۸].

در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، رنگ فیلم‌های تولیدشده از عوامل مؤثر بر ظاهر محصول، پذیرش مصرف‌کننده و هم‌چنین کاربرد آنها می‌باشد. به‌طور کلی، هرچه فیلم پلیمری شفاف‌تر بوده و به پلاستیک‌های حاصل از پلیمرهای سنتزی شبیه‌تر باشد بهتر خواهد بود. شاخص‌های رنگی فیلم‌ها در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار روشنایی (L) در نمونه بدون نانو ذرات کمتر از نمونه‌های دارای نانو ذرات به دست آمد که همسو با نتایج افزایش کدورت در نتیجه افزایش نانو ذرات در بستر فیلم بود. این نتیجه با تحقیقی روی اثر نانو ذرات اکسید روی بر خواص فیلم‌های زیست‌کامپوزیتی بر پایه ژلاتین مطابقت دارد [۱۷]. میزان روشنایی در تمام سطوح اکسید روی با هم در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری نداشتند در عین حال بیش‌ترین مقدار روشنایی در 1% ZnO به دست آمد. میزان تمایل به زردی (b) با افزایش سطح ZnO در بستر فیلم

Table 2. Colour indices of the films with different ZnO contents

Film	L	a	b	ΔE	Transparency
0 ZnO	80.68±1.62 ^a	0.72±0.08 ^a	1.53±0.72 ^a	10.58±1.75 ^a	0.62 ^a
1% ZnO	83.8±0.62 ^b	0.02±0.08 ^b	1.48±0.45 ^a	11.43±0.8 ^{ab}	0.93 ^b
3% ZnO	83.3±0.38 ^b	0.06±0.04 ^b	2.1±0.35 ^b	12.23±0.42 ^b	0.96 ^b
5% ZnO	82.7±0.88 ^b	0.19±0.09 ^b	3.2±0.56 ^c	14.25±1.15 ^c	1.17 ^c

In each column values assigned with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

بالا بودن رطوبت نسبی محیط و یا محل نگهداری، یکی از عوامل اصلی بروز فساد در مواد غذایی محسوب می شود. به وضوح مشخص است که با افزایش میزان ZnO در تیمارها میزان نفوذپذیری به بخار آب به طور معناداری کاهش پیدا کرد که با نتایج دیگر محققان مطابقت داشت [۱۷، ۲۰]. این امر را می توان به حضور نانو ذرات در شبکه پلیمر که به طور یکنواخت پراکنده شده و به ماهیت بلورهای و همچنین آب گریزی بیشتر نانو ذرات اکسید روی، نسبت داد. در واقع، با وجود نانو ذرات مولکول های بخار آب برای عبور از فیلم باید مسیر طولانی تر و پیچیده تری را طی کنند و همین مسئله باعث کاهش سرعت انتقال و نفوذ مولکول های بخار آب می شود. هرچه لایه های نانو ذرات در ماتریس پلیمر بیشتر و بهتر پخش شوند، این مسیرهای زیگزاگی بیشتر شده و بازدارندگی فیلم در برابر بخار آب و سایر گازها بیشتر می شود [۲۱].

شکل ۱ میزان حلالیت و میزان نفوذپذیری به بخار آب تیمارهای مختلف را نشان می دهد. به وضوح مشخص است که با افزایش میزان ZnO در تیمارها، میزان حلالیت به طور معناداری کاهش پیدا کرد. در حالی که تفاوت بین میزان حلالیت نانو ذرات ۳ و ۵ درصد معنی دار نبود. حلالیت پارامترهای فیزیکی مهم فیلم های بسته بندی زیست تخریب پذیر برای حفظ ماده غذایی در طول دوره نگهداری است. هرچه میزان حلالیت فیلم کمتر باشد نشان دهنده خصوصیات بهتر فیلم هست. از طرف دیگر حلالیت می تواند بر روی سرعت آزاد شدن ترکیبات فرا سودمند تأثیر معنی داری داشته باشد. اغلب فیلم های بر پایه پلی ساکارید و پروتئین به علت ماهیت آب دوست خود دارای حلالیت بالایی هستند [۱۹].

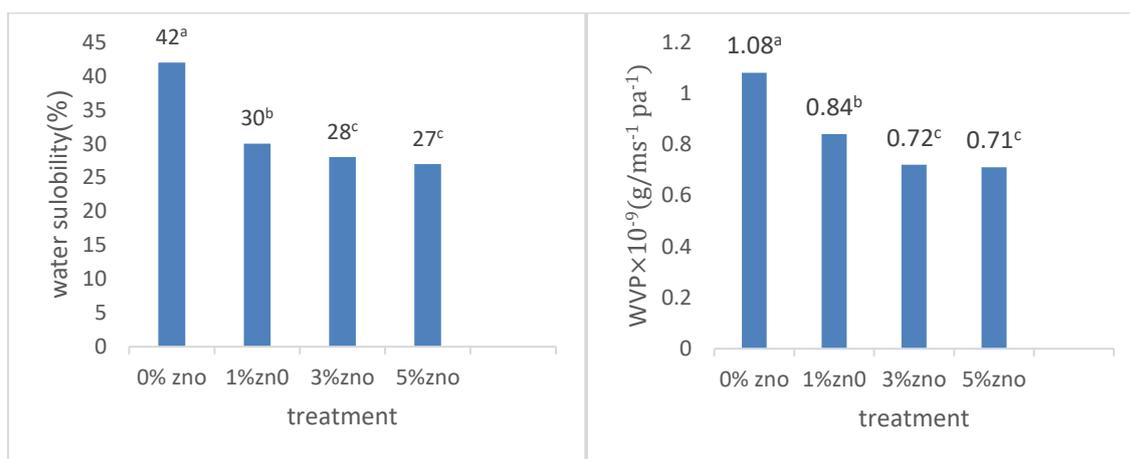


Fig. 1. Water solubility and water vapor permeability of the film samples with different ZnO contents

می دهد. مشاهده می شود با افزایش غلظت نانو ذرات، میزان نفوذپذیری به اکسیژن کاهش پیدا می کند که با نتیجه به دست آمده از تحقیق حیدری و همکاران مطابقت دارد [۲۲]. آن ها نشان دادند نفوذپذیری اکسیژن با زیاد شدن نانو

به علت تراکم بالا در زنجیره های فیلم های بیوپلیمری این فیلم ها بازدارندگی خوبی در برابر اکسیژن دارند. شکل ۳ میزان نفوذپذیری به اکسیژن در تیمارهای مختلف را نشان

کم باشد که این محدوده زمانی، زمان تاخیر نامیده می‌شود. پس از این محدوده زمانی نرخ افزایش فشار برحسب زمان خطی خواهد بود. در صورتی که نرخ افزایش فشار از همان ابتدا خطی باشد نتایج قابل قبول نیست و نشان دهنده نشتی داشتن فیلم هست [۱۲].

دی‌اکسید تیتانیوم در بستر فیلم‌های ترکیبی تشکیل شده از نشاسته کاساوا و ژلاتین گاوی کاهش پیدا می‌کند. شکل ۴ نفوذپذیری به اکسیژن در نمونه 3% ZnO را نشان می‌دهد که میزان نفوذ پذیری $0.87 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \text{ bar}$ به دست آمد. یک آزمایش نفوذ پذیری به اکسیژن زمانی معتبر خواهد بود که افزایش فشار در محفظه تحتانی دستگاه اندازه‌گیری نفوذ پذیری به اکسیژن در ابتدا وجود نداشته باشد یا خیلی

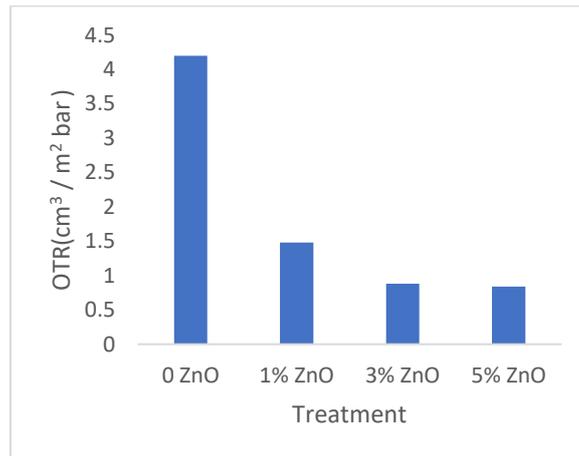


Fig. 3. Oxygen permeability of the film samples with different ZnO contents

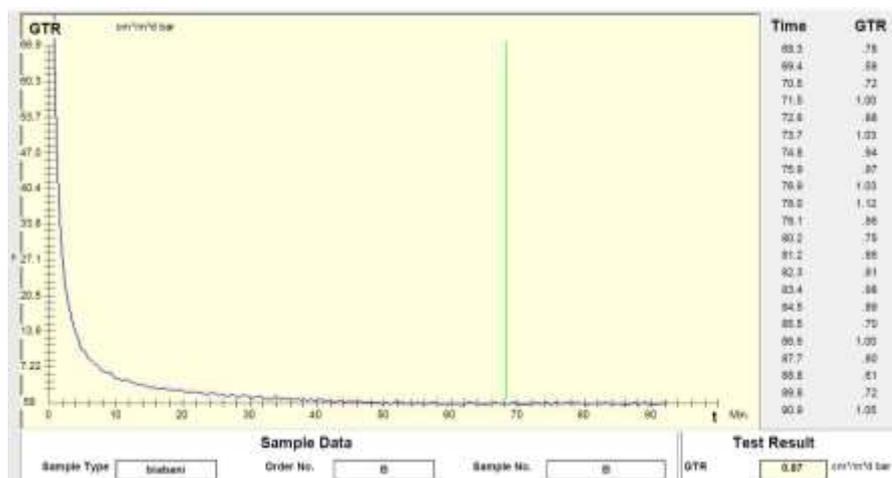


Fig. 4. Oxygen permeability of the 3% ZnO

مکانیکی و فیزیکی فیلم تأثیر گذاشت. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار ZnO مقاومت کششی نمونه‌ها افزایش و درصد افزایش طول کاهش یافت. هم‌چنین مشخص شد که با افزایش میزان ZnO در تیمارها، میزان حلالیت و نفوذپذیری به بخار آب و اکسیژن به‌طور معناداری کاهش پیدا کرد.

رضایت‌نامه کتبی

۴- نتیجه‌گیری

فیلم زیست‌تخریب‌پذیر نانو ذرات اکسید روی - ژلاتین - کربوکسی متیل سلولز دارای ویژگی‌های منحصر به فرد کلیدی است که کاربرد آن را به‌عنوان جایگزینی برای فیلم‌های حاصل از مشتقات نفتی برای نگهداری مواد غذایی مناسب می‌سازد. نتایج کلی در این پژوهش نشان داد که استفاده از درصد‌های متفاوت نانو ذرات اکسید روی بر خصوصیات

رضایت نامه کتبی و آگاهانه از تمامی شرکت کنندگان در مطالعه اخذ شد.

نویسندگان اعلام می کنند که هیچ گونه تعارض منافع ندارند.

تعارض منافع

بیانیه دسترسی ها

داده های پژوهش به اشتراک گذاشته نمی شوند.

۵-منابع

- [1] Magrinyà, N., et al., Influence of fat addition on the antimicrobial activity of sodium lactate, lauric arginate and methylparaben in minced meat. *International journal of food microbiology*, 2015. 215: p. 86-94.
- [2] Wu, X.W., J.K. Suh, and L.H. Wang, Effects of modified atmosphere packaging and storage conditions on freshness maintenance of cut flowers of oriental lily 'Activa'. *Acta Horticulturae*, 2013. 1002: p. 381-387.
- [3] Pereda, M., et al., Chitosan-gelatin composites and bi-layer films with potential antimicrobial activity. *Food Hydrocolloids*, 2011. 25(5): p. 1372-1381.
- [4] Baldwin, E.A., R. Hagenmaier, and J. Bai, *Edible coatings and films to improve food quality*. 2011: CRC press.
- [5] Rhim, J.-W., et al., Preparation and characterization of chitosan-based nanocomposite films with antimicrobial activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2006. 54(16): p. 5814-5822.
- [6] De Azeredo, H.M., *Nanocomposites for food packaging applications*. *Food research international*, 2009. 42(9): p. 1240-1253.
- [7] Panea, B., et al., Effect of nanocomposite packaging containing different proportions of ZnO and Ag on chicken breast meat quality. *Journal of Food Engineering*, 2014. 123: p. 104-112.
- [8] Eshagh, S., et al., Effect of Zinc Oxide Nanoparticles on Mechanical, Thermal and Biodegradability of Gelatin-Based Biocomposite Properties Films. *IRANIAN JOURNAL OF POLYMER SCIENCE AND TECHNOLOGY (PERSIAN)*, [online], 2020. 32(5): p. 411-426.
- [9] Gharoy Ahangar, E., et al., Preparation and characterization of PVA/ZnO nanocomposite. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015. 39(6): p. 1442-1451.
- [10] Maizura, M., et al., Antibacterial activity and mechanical properties of partially hydrolyzed sago starch-alginate edible film containing lemongrass oil. *Journal of Food Science*, 2007. 72(6): p. C324-C330.
- [11] Devgan, K., et al., Development of smart film labels for storage quality assessment of yellow bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under active packaging. *Arch Lebensmittelhyg*, 2020. 71: p. 138-145.
- [12] Haghghi-Manesh, S. and M.H. Azizi, Production and evaluation of type of multi-layer active film for packaging of pasteurized milk. *Journal of Food Process Engineering*, 2017. 40(3): p. e12442.
- [13] Jiang, G., et al., Preparation and characterization of indicator films from carboxymethyl-cellulose/starch and purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) lam) anthocyanins for monitoring fish freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020. 143: p. 359-372.
- [14] Liang, T., et al., A pH and NH₃ sensing intelligent film based on *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum and red cabbage anthocyanins anchored by carboxymethyl cellulose sodium added as a host complex. *Food hydrocolloids*, 2019. 87: p. 858-868.
- [15] Hu, X., et al., Improving the properties of starch-based antimicrobial composite films using ZnO-chitosan nanoparticles. *Carbohydrate polymers*, 2019. 210: p. 204-209.
- [16] Youssef, A.M., et al., Enhancement of Egyptian soft white cheese shelf life using a novel chitosan/carboxymethyl cellulose/zinc oxide bionanocomposite film. *Carbohydrate Polymers*, 2016. 151: p. 9-19.
- [17] Eshagh, S., et al., Effect of zinc oxide nanoparticles on mechanical, thermal and biodegradability of gelatin-based biocomposite properties films. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 2019. 32(5): p. 411-426.
- [18] Karimivaloujaei, Z., et al., The effect of incorporating of ZnO/Ag nanoparticles on functional properties of poly vinyl alcohol packaging films. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 2019. 15(4): p. 407-417.
- [19] Mohanty, A., M.a. Misra, and G. Hinrichsen, *Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview*. *Macromolecular materials and Engineering*, 2000. 276(1): p. 1-

- 24.
- [20] Shahabi-Ghahfarrokhi, I., et al., Preparation of UV-protective kefir/nano-ZnO nanocomposites: Physical and mechanical properties. *International journal of biological macromolecules*, 2015. 72: p. 41-46.
- [21] Abdollahi, M., M. Rezaei, and G. Farzi, A novel active bionanocomposite film incorporating rosemary essential oil and nanoclay into chitosan. *Journal of Food Engineering*, 2012. 111(2): p. 343-350.
- [22] Heydari, A., F. Samimi Hashjin, and A. Mohammadi Nafchi, Study of the functional and antimicrobial properties of combined cassava starch and bovine gelatin films reinforced with nano titanium dioxide. *Innovative Food Technologies*, 2018. 5(3): p. 373-384.



Scientific Research

Preparation biodegradable film of zinc oxide nanoparticles-carboxymethyl cellulose-gelatin and evaluation of its physical and mechanical properties

Ebrahim Biabani Aghdam¹, Mohamad Hadi Khoshtaghaza*², Mohammad Hossein Azizi³

Mojgan Mirzataheri⁴

1-Ph.D Student, Biosystems Engineering Department, Tarbiat Modares University, Iran

2- Professor, Biosystems Engineering Department, Tarbiat Modares University, Iran

3- Professor, Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modares University, Iran

4- Assistant Professor, Faculty of Polymer Science, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Iran

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article History:</p> <p>Received: 2024/02/25</p> <p>Review: 2024/08/26</p> <p>Accepted: 2025/02/03</p>	<p>In recent years, due to environmental risks associated with packaging material in the market, there has been an increasing tendency towards using natural and biodegradable polymers in product packaging. In this research, gelatin and carboxymethyl cellulose were used to produce Biodegradable packaging. In order to improve the mechanical properties and prevent destructive factors such as oxygen, carbon dioxide, and moisture, zinc oxide nanoparticles (ZnO) were used in the films (1, 3, and 5%), and the physical and mechanical properties of the produced films were evaluated. The results showed that using of different percentages of zinc oxide nanoparticles affected the mechanical and physical properties of the film. It was observed that with the increase in ZnO amount, the tensile strength of the samples increased and the elongation percentage decreased. Films without ZnO were flexible films and recorded the highest elongation values, and 5% ZnO samples had the lowest elongation percentage. The highest tensile strength was related to the sample containing 5% ZnO (35.93 MPa), and the lowest value was related to the sample without ZnO (29.3 MPa). It was also found that by increasing the amount of ZnO in the treatments, the permeability to water vapour, oxygen, and solubility decreased significantly, and the opacity of the films increased.</p>
<p>Keywords:</p> <p>packaging, tensile strength, permeability to water vapor and oxygen</p>	
<p>DOI: 10.48311/fsct.2026.83724.0</p> <p>*Corresponding Author E- khoshtag@modares.ac.ir</p>	