

بررسی خواص کاربردی و ضد میکروبی بیونانو کامپوزیت صمغ قدومه شیرازی و نانو اکسید روی

امیر حیدری^{۱*}، ژاله ابراهیمی^۲، عبدالرضا محمدی نافچی^۳، خدیجه پورخانعلی^۴

۱- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد صنایع غذایی، واحد سراب، دانشگاه آزاد اسلامی

۳- دانشیار گروه صنایع غذایی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی

۴- دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۳۰)

چکیده

استفاده از پلیمرهای زیست تخریب پذیر یکی از بهترین راه‌های غلبه بر آلودگی‌های زیست محیطی پلیمرهای پایه نفتی می‌باشد. بیوپلیمرها به عنوان مواد بسته بندی دوستدار محیط زیست به میزان زیادی بررسی شده‌اند. هدف از این پژوهش بررسی خواص کاربردی فیلم‌های تهیه شده از صمغ قدومه شیرازی تقویت شده با نانوذرات اکسید روی در غلظت‌های ۱، ۳ و ۵ درصد می‌باشد. خواص کاربردی از قبیل میزان جذب آب، حلالیت در آب و نفوذ پذیری به بخار آب با افزایش میزان نانوذرات کاهش معنی‌داری ($p < 0/05$) را نشان داد. همچنین جذب کامل اشعه ماورای بنفش در غلظت ۵ درصد نانو اکسید روی مشاهده شد. نتایج حاصله، افزایش استحکام کششی و مدول یانگ و همچنین کاهش درصد کشیدگی در برابر شکست را نشان دادند. خاصیت ضد میکروبی به روش نفوذ آگار در مقابل اشرشیاکولی انجام شد و در نتیجه با افزودن نانو اکسید روی فیلم‌ها متناسب با غلظت نانوذرات خواص ضد میکروبی نشان دادند. با توجه به بررسی‌های انجام شده، فیلم‌های تهیه شده از صمغ قدومه شیرازی با افزودن نانوذرات اکسید روی خواص کاربردی قابل قبولی از خود نشان می‌دهند و می‌توانند به عنوان بسته‌بندی فعال در بسته‌بندی غذایی استفاده گردند.

کلید واژگان: بیونانو کامپوزیت، صمغ قدومه شیرازی، خواص کاربردی، خواص ضد میکروبی، بسته‌بندی فعال

* مسئول مکاتبات: Heydari@uma.ac.ir

۱- مقدمه

کامپوزیت افزایش خوبی پیدا کرده است [۷]. نتایج حاصل از تحقیقی دیگر نشان داد که ذرات اکسید روی به خوبی بر روی فیلم‌های پلاستیک پی وی سیچسبیده و فعالیت ضد میکروبی در مقابل استافیلوکوکوس و اشرشیاکولی انجام می‌دهند و اعلام کردند که فعالیت ضد میکروبی مشخصه‌ای از نانوذرات اکسید روی است [۹].

قدومه‌یکی از گیاهان دارویی بومی ایران می‌باشد و میوه آن در آب لعاب می‌دهد که می‌تواند به عنوان قوام دهنده و تثبیت کننده در صنایع غذایی استفاده شود. این صمغ‌های محلول در آب هیدروکلونید نامیده می‌شوند که از آنها می‌توان برای تهیه فیلم‌های تخریب پذیر استفاده نمود. عباسی راد و عسگری در سال (۲۰۱۵) اثر نسبت مواد اولیه تشکیل دهنده فیلم‌های صمغ قدومه شیرازی را بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی آنها بررسی نمودند [۱۰]. در تحقیق دیگری استفاده از صمغ قدومه شیرازی و PVA به عنوان یک استراتژی امیدبخش جهت تولید مواد بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر مطرح شده است [۱۱]. هدف اصلی از این تحقیق تهیه فیلم‌های صمغ قدومه شیرازی تقویت شده با نانوذرات اکسید روی و ارزیابی جنبه‌های کاربردی فیلم‌های حاضر از دیدگاه صنایع غذایی می‌باشد. همچنین میزان تاثیر این نانوذرات بر خواص فیزیکوشیمیایی، مکانیکی و ضد میکروبی فیلم‌های تهیه شده از صمغ قدومه شیرازی بررسی شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

دانه قدومه شیرازی از بازار محلی خریداری شد. نانومیله‌های اکسید روی (شکل ۱) از دانشکده فیزیک دانشگاه علوم مالزی تهیه گردید. محیط کشت مولر هیتون آگار و محیط کشت نوترینت برات (مرک آلمان) و سویه استاندارد میکروبی اشرشیاکولی (ATCC 8739/PTCC ۱۳۳۳۰) از مرکز کلکسیون میکروبی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی تهیه گردید. سایر مواد مورد استفاده با درجه آزمایشگاهی تهیه شد.

طی سال‌های اخیر یافتن مواد زیست‌تخریب‌پذیر مناسب برای بسته‌بندی، بخصوص از منابع قابل تجدید کشاورزی توجه محققین را به خود را جلب کرده است. بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر به دو دسته فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی تقسیم می‌شوند [۱]. مواد زیست‌تخریب‌پذیر به سادگی توسط میکروارگانیسم‌ها به واحدهای سازنده خود تجزیه شده و بنابراین در محیط باقی نمی‌مانند [۲]. نانوکامپوزیت‌ها در رأس ابداعات فن‌آوری نانو مرتبط با صنعت بسته‌بندی مواد غذایی قرار دارند [۳]. تلفیق نانوذرات و پلیمرها در بهبود خصوصیات حرارتی، مکانیکی و ممانعت‌کنندگی گازها موثر می‌باشد [۴]. کنترل میزان عبور رطوبت و اکسیژن از پلیمر بسته‌بندی، دو عامل مهم در حفظ کیفیت مواد غذایی می‌باشند. نانوکامپوزیت‌ها این قابلیت را دارند که از نفوذ اکسیژن و رطوبت به داخل ظرف جلوگیری کنند و به دلیل همین قابلیت باعث افزایش ماندگاری ماده غذایی می‌شوند. در بین نانو ذرات فلزی، اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم بیشتر مورد توجه می‌باشند [۵]. از خاصیت ضد میکروبی ترکیبات اکسید روی در ضد عفونی کردن تجهیزات پزشکی، تصفیه آب، ساخت پمادهای ضدباکتری و همچنین بعنوان پرکننده عملگرها در جاذب‌های نور ماورای بنفش استفاده شده است. علاوه بر این، استفاده از نانوذرات اکسید روی، یک روش کارآمد برای جلوگیری از بیماری‌های عفونی بیمارستانی می‌باشد [۶، ۷]. با بررسی اثرات نانوذرات اکسید روی بر خواص مکانیکی پوشش‌های پلی اورتان مشخص شده است که این نانوذرات بهبود قابل توجهی در مدول یانگ و استحکام کششی نشان داده‌اند [۷]. نانوذرات اکسید روی باعث بهبود خواص مکانیکی و کاهش حلالیت در آب فیلم‌های نشاسته می‌شود [۸]. لی و همکاران در سال (۲۰۰۹)، اثر نانوذرات اکسید روی را بر فعالیت ضد میکروبی فیلم‌های کامپوزیت پلی اورتان بر روی باسیلوس سوبتلیس و اشرشیاکولی بررسی کردند و دریافتند که با افزایش محتوای اکسید روی فعالیت ضد میکروبی فیلم‌های

۴-۲- ضخامت فیلم

ضخامت فیلم با ریزسنج با دقت ۰/۰۱ میلی متر به طور تصادفی در ۵ موقعیت تعیین و میانگین آنها برای محاسبات خواص مکانیکی و نفوذپذیری استفاده شد.

۴-۵- نفوذ پذیری بخار آب

برای این تست از روش اصلاح شده کاپ گراومتریکی استاندارد ملی آمریکا ASTM E96-05 استفاده شد [۱۳]. در این آزمون کاپ‌ها با آب‌پوشاندن سپس‌فیلم‌ها به اندازه دهانه کاپ بریده شدند و به کمک خمیر بر روی کاپ نگه داشته شدند بطوریکه حدود ۱/۵ سانتی متر بین سطح فیلم و آب فاصله باشد. در ابتدا وزن اولیه کاپ‌ها با ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه‌گیری شد و سپس درون دسیکاتور که با سیلیکاژل برای تولید رطوبت نسبی ۰٪ پر شده بود قرار گرفتند. پس از آن هر ۲ ساعت یک بار کاپ‌های نمونه توزین شد و تا ۷ نقطه این روند ادامه داشت. سپس از نمودار وزن بدست آمده در مقابل زمان برای تعیین نرخ عبوردهی بخار آب استفاده شد. شیب قسمت خطی این نمودار نشان دهنده مقدار حالت پایدار نفوذ بخار آب از میان فیلم می‌باشد.

$$\text{تغییرات وزن کاپ} = \frac{\text{نرخ عبور بخار آب}}{\text{زمان} \times \text{سطح عبور فیلم}}$$

$$\text{ضخامت متوسط} \times \text{نرخ عبور بخار آب} = \frac{\text{عبوردهی بخار آب}}{\text{اختلاف فشار بخار آب در دو طرف سطح فیلم}}$$

۴-۶- حلالیت فیلم‌ها

حلالیت فیلم‌ها در آب بر طبق نظر مایزورا و همکاران و با قدری تغییرات تعیین شد [۱۴]. تکه‌هایی از فیلم (۶۰۰ میلی گرم) بریده شده و در یک دسیکاتور با رطوبت نسبی صفر درصد به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و سپس درون بشر با ۱۰۰ سی سی آب دیونیزه قرار داده شد. این نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق به طور دائم همزده شدند. سپس مخلوط فیلم و آب بر روی یک کاغذ صافی که قبلاً به وزن ثابت رسیده و دقیقاً توزین شده بود صاف شد. کاغذ صافی به همراه نمونه تا رسیدن به وزن ثابت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. درصد حلالیت فیلم‌ها با توجه به میزان کاهش وزن در آب تقسیم بر وزن فیلم خشک شده اولیه محاسبه گردید.



Fig 1 ESEM image of nanoparticles of zinc oxide.

۴-۲- صمغ گیری

به ۲۰ گرم از بذر قدومه، ۸۰۰ سی سی آب مقطر با دمای ۳۶ درجه سانتی‌گراد اضافه شد و به مدت ۱ ساعت بر روی هات پلیت همزده شد. در زمان انجام فرآیند pH توسط محلول HCl به ۴/۳ رسید. جداسازی دانه از مایع با استفاده از الک ۱ میلی متر انجام شد. صمغ به دست آمده در آن با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد تا خشک شود.

۴-۳- روش تهیه فیلم

محلول نانو اکسید روی با غلظت‌های ۱، ۳ و درصد (به ترتیب ۰/۰۲، ۰/۰۶ و ۰/۱۰ گرم نانو اکسید روی در ۱۰۰ سی سی آب نسبت به صمغ قدومه) در آب تهیه شده و در ۶۰ درجه سانتی‌گراد با تکان دادن مداوم برای یک ساعت گرما داده شد و بعد از همزدن بدون حرارت برای ۲۴ ساعت در شیکر، به مدت یک ساعت در حمام اولتراسونیک یکنواخت شد. صمغ قدومه شیرازی پراکنده شده در محلول نانو (۲ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر محلول نانو) تا ۶۵ درجه سانتی‌گراد گرما داده شده و سپس به مدت ۴۵ دقیقه تا یکنواخت شدن کامل در این دما همزده شد. گلیسرول به عنوان نرم‌کننده با نسبت ۴۰ درصد وزن صمغ قدومه اضافه شد. پس از خنک شدن تا دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، ۱۵۰ گرم از هر محلول یکنواخت شده روی پلیت‌های مخصوص قالب گیری به مساحت ۱۶×۱۶ سانتی متر مربع ریخته شده و در دمای محیط خشک شد. نمونه شاهد (کنترل) نیز مطابق روش فوق بدون افزودن نانوذرات تهیه شد. فیلم‌های تهیه شده در دمای ۲۳±۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰±۵ درصد تا انجام آزمون‌ها نگهداری شدند. همه فیلم‌ها (از جمله کنترل) در ۳ مرتبه آماده شدند [۱۲].

۲-۷- ظرفیت جذب آب

برای بررسی میزان ظرفیت جذب آب تکه‌هایی از فیلم (۲×۲ سانتی متر) بریده شده و به مدت دو روز در دسیکاتور با رطوبت نسبی صفر درصد قرار داده شد. نمونه‌ها با ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین گردیده و درون دسیکاتوری که زیر آن آب قرار دارد، گذاشته شد. بعد از ۲۴ ساعت نمونه‌ها توزین شدند و ظرفیت جذب آب از تقسیم وزن آب جذب شده به وزن خشک فیلم بدست آمد [۱۵].

۲-۸- اندازه گیری میزان رطوبت فیلم (محتوای آب)

تکه‌های فیلم وزن شده، در یک دسیکاتور با رطوبت نسبی ۵۸ درصد قرار داده شدند و پس از ۲ روز به تعادل رطوبتی رسیدند. سپس فیلم‌ها در آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت نگه داده شدند. سپس از روی میزان کاهش وزن نمونه‌ها نسبت به نمونه اولیه درصد رطوبت تعیین شد.

۲-۹- اندازه گیری میزان عبور اشعه مرئی-ماورا بنفش

میزان عبور دهی اشعه مرئی-ماوراء بنفش برای فیلم‌ها از ۲۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر ثبت شد (Shimadzu, Japan) عبوردهی بدون حضور فیلم به عنوان مرجع استفاده شد [۳].

۲-۱۰- ویژگی‌های مکانیکی

استاندارد ASTM D882-10 برای تعیین ویژگی‌های مکانیکی مورد استفاده قرار گرفت [۱۶]. نوارهای فیلم به طول و عرض ۱۰۰ و ۲۰ میلی متر بریده شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۳°C و رطوبت نسبی ۵۳ درصد مشروط شدند. طول مورد سنجش از فیلم‌ها و سرعت جداسازی به ترتیب ۵۰ میلی‌متر و ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه بود. کش آمدگی تا نقطه شکست، استحکام کششی در نقطه پاره شدن و همچنین مدول یانگ توسط نرم افزار Texture Exponent 32 محاسبه شد. برای هر نمونه ۸ تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲-۱۱- ارزیابی خواص ضد میکروبی

در این تحقیق اثرات نانو اکسید روی در فیلم‌های صمغ قدومه شیرازی حاوی نانو اکسید روی بر سینتیک رشد میکروبی باکتری اشرشیاکولی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش فعالیت ضد میکروبی بر روی فیلم با استفاده از روش نفوذ آگار در مقابل اشرشیاکولی صورت گرفت [۱۴]. فیلم‌های تولید شده با استفاده از یک قالب به دیسک‌هایی به قطر ۵ میلی متر تبدیل شده و تک کلنی از باکتری برداشته شده و کشت چهار منطقه‌ای رو پلیت انجام گرفت تا به این ترتیب باکتری فعال شود. پس از کشت آن را داخل انکوباتور ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت گذاشته تا باکتری رشد کند. از باکتری فعال شده توسط لوپ تک کلنی برداشته شده و داخل لوله آزمایش حاوی ۵ سی‌سی آب مقطر استریل شده اضافه شده تا کدورت سوسپانسیون میکروبی برابر کدورت ۰/۵ مک فارلند گردد. سپس زیر هود میکروبی از این لوله آزمایش، یک سی‌سی از محلول را برداشته و سطح پلیت ریخته و توسط میله شکل کشت داده می‌شود. سپس دیسک‌ها در شرایط استریل (۱۰ دقیقه زیر اشعه ماورای بنفش قبل از کشت دادن) روی محیط مولر هیتتون آگار قرار داده شده و سپس در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت گرم خانه گذاری شدند. سپس در صورت ایجاد هاله بازدارندگی، قطر هاله‌های تشکیل شده اندازه‌گیری شد. اختلاف مساحت هاله‌های تشکیل شده و مساحت دیسک‌ها به عنوان شاخص فعالیت ضد میکروبی در نظر گرفته شد.

۲-۱۲- تجزیه و تحلیل آماری

آزمون‌های تجزیه و تحلیل واریانسیک راهه و آزمون دانکن برای بررسی پارامترهای مختلف از جمله ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، در میان انواع مختلف فیلم در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد به کار برده شد. تجزیه و تحلیل با استفاده از گراف پد پریم ۶/۰۷ و ترسیم نمودارها با نرم افزار اکسل انجام شد. داده‌ها بیانگر میانگین \pm انحراف معیار می‌باشند. مشابه بودن حروف لاتین بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خواص ظاهری و ضخامت فیلم‌ها

فیلم‌های تهیه شده کاملاً یکنواخت، انعطاف‌پذیر، شفاف و تا حدی شیری رنگ بوده و به راحتی از سطح پلیت جدا شدند. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود فیلم‌ها در نقاط مختلف ضخامت یکنواختی داشته و افزودن غلظت نانوذرات، تاثیر معناداری بر ضخامت فیلم‌ها نداشته است.

Table 1 Average thickness of control films and samples containing nanoparticles.

| Sample | Thickness(mm) |
|------------------------|---------------|
| 0%Zinc Oxide (Control) | 0.07±0.02 a |
| 1% Zinc Oxide | 0.08±0.02 a |
| 3% Zinc Oxide | 0.08±0.02 a |
| 5% Zinc Oxide | 0.09±0.01 a |

۳-۲- محتوای رطوبت، حلالیت در آب و

قابلیت جذب آب فیلم‌ها

جدول ۲ محتوای رطوبت، حلالیت در آب و قابلیت جذب آب را برای فیلم‌های صمغ قدومه شیرازی حاوی نانوذرات اکسید روی را نشان می‌دهد. همانگونه که مشخص است با اضافه کردن ذرات نانواکسید روی در فیلم‌های صمغ قدومه ظرفیت جذب آب به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. جذب رطوبت به دلیل گروه‌های هیدروکسیل موجود در صمغ است که با آب پیوند برقرار می‌کنند. در این تحقیق با افزودن نانوذرات در ماتریکس بیوپلیمر گروه‌های هیدروکسیل قابل دسترس برای مولکول‌های آب کاهش پیدا می‌کنند که سبب کاهش خاصیت آبدوستی فیلم‌های ترکیبی می‌شوند. در تحقیقی که بر روی فیلم‌های نشاسته ای صورت گرفته با افزودن نانوذرات اکسید روی قابلیت جذب آب بیوپلیمرها کاهش یافته است [۱۸].

Table 2 Moisture content, water solubility and water uptake capacity of bio nanocomposite films of Qodume Shirazi gum.

| Sample | Water uptake capacity water(g)/dry matter (g) | Water solubility (%) | Moisture content (in 58% RH) |
|-------------------------|---|----------------------|------------------------------|
| 0% Zinc Oxide (Control) | 1.15±0.04 a | 32.49±1.27 a | 9.64±0.14 a |
| 1% Zinc Oxide | 0.94±0.07 b | 24.81±0.99 b | 8.97±0.21 b |
| 3% Zinc Oxide | 0.81±0.06 c | 23.17±1.05 c | 8.14±0.30 c |
| 5% Zinc Oxide | 0.74±0.02 d | 20.43±1.11 d | 7.27±0.10 c |

می‌دهد. همان گونه که از نتایج پیداست غلظت یک درصد از نانو تاثیر چندانی بر خواص نوری فیلم صمغ قدومه شیرازی نداشته و درصد عبور و میزان جذب فیلم‌ها را تغییری نمی‌دهد. در حالی که از ۳٪ به بالاتر جذب به شدت افزایش پیدا کرده و حضور ۵ درصد نانوذرات اکسید روی اشعه ماورابنفش را به طور کلی جذب کرده و درصد خیلی بالایی از طیف مرئی را نیز جذب می‌کند. یافته‌ها نشان می‌دهند ماتریکس بیوپلیمر تقویت شده با نانوذرات اکسید روی می‌تواند به عنوان فیلم‌های محافظ ماوراء بنفش در بسته‌بندی‌های صنعتی برای مواد غذایی و دارویی استفاده شود. محمدی نافچی و همکاران در سال (۲۰۱۳)، با به کار بردن نانومیمه‌های اکسید روی بر فیلم نشاسته ساگو نشان دادند که درصدهای بسیار کم این نانوذره می‌تواند عبور اشعه ماوراء بنفش را محدود کند [۱۸].

حلالیت در آب یک فاکتور مهم در تعریف کاربردهای ممکن برای کامپوزیت‌های بیوپلیمری است. همان گونه که از نتایج پیداست، انحلال‌پذیری فیلم‌های بیونانوکامپوزیتی با افزایش میزان نانوذرات کاهش می‌یابد. فیلم شاهد تا حدی در آب قابل حل است که به دلیل ماهیت آب دوستیان می‌باشد. با اضافه کردن نانوذرات به شبکه فیلم، کاهش انحلال‌پذیری در آب را می‌توان به تشکیل پیوندهای هیدروژنی قوی بین شبکه صمغ قدومه و ذرات نانو نسبت داد. انحلال‌پذیری پایین آب ویژگی مطلوبی برای بسته‌بندی مواد غذایی است چون می‌تواند در برابر شرایط با رطوبت بالا مقاوم باشند. کاهش محتوای رطوبت فیلم‌ها در اثر افزودن ذرات نانو را نیز می‌توان به پر شدن فضاهای خالی بین بیوپلیمرها توسط نانوذرات نسبت داد [۱۸].

۳-۳- میزان عبور نور مرئی و ماوراء بنفش

شکل ۲ اثرات حضور نانوذرات اکسید روی بر میزان درصد عبور نور در ناحیه طول موج ۲۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر را نشان

تولید پلیمر، نوع و مقدار افزودنی‌ها به پلیمر و در نهایت ساختار پلیمر دارد [۲۱].

Table 3 Effect of zinc oxide nanoparticles on the water vapor permeability of qodume shirazi gum films.

| Sample | Water vapor permeability (g.m/m ² .S.Pa) × 10 ¹¹ |
|-------------------------|--|
| 0% Zinc Oxide (Control) | 3.65±0.84 a |
| 1% Zinc Oxide | 2.70±0.48 b |
| 3% Zinc Oxide | 2.62±0.33 b |
| 5% Zinc Oxide | 1.61±0.13 c |

۳-۵- بررسی خواص مکانیکی

نتایج خواص مکانیکی فیلم‌های تهیه شده از صمغ قدومه شیرازی تقویت شده با نانوذرات اکسید روی در جدول ۴ نشان داده شده است. هنگامی که غلظت نانوذرات در فیلم از صفر تا ۵٪ افزایش می‌یابد، مقاومت به کشش این فیلم‌ها از ۱۳ تا ۱۹ مگاپاسکال به صورت معنی‌داری ($p < 0/05$) افزایش یافت که به تعامل خوب بین نانوذرات و ماتریس پلیمر مربوط است. نتایج مشابهی توسط سایر محققین گزارش شده است [۷، ۲۲]. در این تحقیق مشاهده شد که میزان درصد کشیدگی با افزایش غلظت نانوذرات از حدود ۳۴ به ۱۹٪ کاهش معنی‌داری ($p < 0/05$) می‌یابد. این نتایج با نتایج بدست آمده از تحقیقات جیوگا و همکاران در سال (۲۰۰۹) مطابقت داشت [۲۲]. همچنین با افزایش غلظت نانو اکسید روی، مدول یانگ (نسبت تنش به کرنش در ناحیه خطی) نیز از ۰/۳۸۹ تا ۰/۴۹۳ گیگاپاسکال، افزایش معنی‌داری نشان می‌دهد. در تحقیقی دیگر که اثر افزودن نانوذرات اکسید روی بر سطح فیلم‌های پلی وینیل کلراید بررسی کردند، به این نتیجه رسیدند که چگونگی قرار گرفتن ذرات نانو در زنجیره‌های پلیمر بر اثر بخشی آن‌ها بر خواص مکانیکی بسیار حائز اهمیت است [۹]. بالا رفتن مدول یانگ و استحکام کششی ممکن است به دلیل محدودیت نسبی حرکت اجزاء ساختاری فیلم با افزودن نانوذرات اکسید روی باشد.

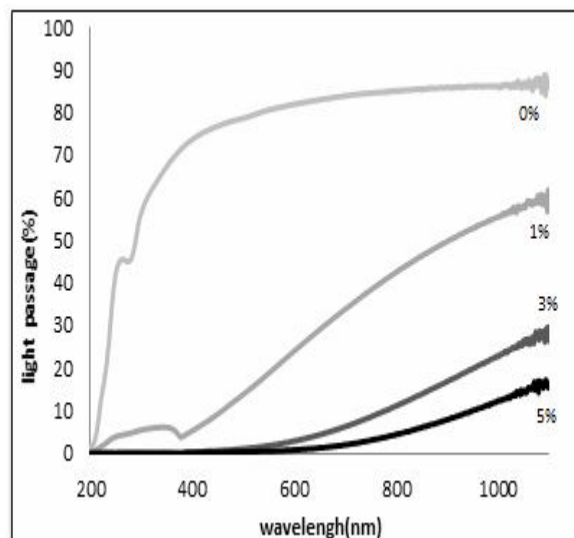


Fig 2 The effect of zinc oxide on the light passage of Qodume Shirazi gum films at wavelengths of 200-1100 nm.

۳-۴- میزان نفوذپذیری فیلم‌ها به بخار آب

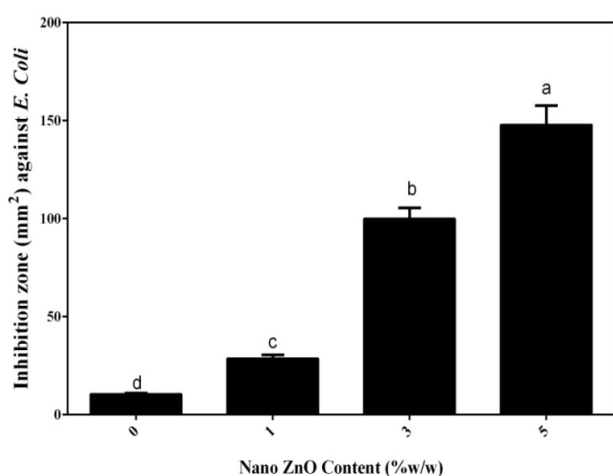
نفوذپذیری به بخار آب و اکسیژن برای فیلم‌های خوراکی بستگی به عوامل مختلفی مانند نوع و میزان پلاستیسیزر، دما و رطوبت نسبی دارد. میل ترکیب شدن با آب در فیلم‌ها به ترکیبات آب دوست موجود در پلیمر و به خصوص بیوپلیمرها نسبت داده شده است [۱۹]. جدول ۳ نشان‌دهنده نفوذپذیری بخار آب فیلم‌های صمغ قدومه شیرازی با درصد‌های مختلف از نانوذرات اکسید روی نسبت می‌باشد. بعد از اضافه کردن نانوذرات کاهش قابل توجهی در میزان نفوذپذیری به بخار آب ایجاد شد که می‌توان به مقاومت بیشتر از نانوذرات در مقایسه با ماتریکس بیوکامپوزیت نسبت داد. بنابراین تلفیقی از نانوذرات با ماتریکس منجر به ایجاد یک مسیر غیرمستقیم برای عبور مولکول‌های آب از ماتریس می‌شود و این کاهش نفوذ در فیلم‌های ترکیبی تقویت شده با نانوذرات را می‌توان بر اساس مسیرهای پیچشی و غیرمستقیم توضیح داد [۲۰].

نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم، اثر زیادی بر روی عمر ماندگاری مواد غذایی دارد. در جایی که هدف بسته‌بندی مواد غذایی مد نظر باشد باید انتقال رطوبت بین مواد غذایی و محیط خارج بسته‌بندی به حداقل رسانده شود. خاصیت نفوذپذیری پلیمرها، ارتباط مستقیمی با خاصیت هیدروفیلیا هیدروفوب بودن ترکیبات تشکیل دهنده آن‌ها، فرآیند و نحوه

Table 4 Effect of Zinc Oxide nanoparticles on the Mechanical Properties of Qodume Shirazi Gum Films

| Sample | Young module(GPa) | Elongation at break (%) | Tensile strength(MPa) |
|------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| 0%Zinc Oxide (Control) | 0.389±0.039 c | 34.1±1.8 d | 13.53±0.34 c |
| 1% Zinc Oxide | 0.411±0.077 c | 31.6±1.1 c | 14.07±0.69 c |
| 3% Zinc Oxide | 0.452±0.028 b | 24.0±2.8 b | 16.39±0.19 b |
| 5% Zinc Oxide | 0.493±0.036 a | 19.0±1.9 a | 19.13±1.22 a |

است. یون روی می‌تواند از طریق دیواره سلولی به میکروارگانیسم‌ها نفوذ کرده و با اجزای داخلی واکنش می‌دهد و در نهایت بر زنده ماندن سلول اثر کند [۶].

**Fig 4** Effect of zinc oxide nanoparticles on the inhibition zone of Qodume Shirazi gum films against Escherichia coli.

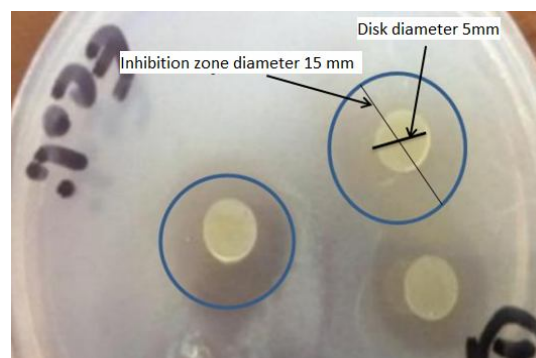
۴- نتیجه گیری

در مطالعه حاضر نانوذرات اکسید روی به شکل نانومیله و غلظت‌های بین ۰ تا ۵ درصد در فیلم بیوپلیمری صمغ قدومه شیرازی وارد شده و خواص کاربردی و ضد میکروبی فیلم‌های خوراکی حاصله ارزیابی شد. نتایج نشان داد که نانوذرات اکسید روی با موفقیت باعث کاهش نفوذپذیری به بخار آب، میزان قابلیت جذب آب، حلالیت فیلم‌ها و میزان رطوبت می‌شود. افزودن نانوذرات اکسید روی باعث بهبود مقاومت مکانیکی فیلم‌ها شده و میزان کش آمدگی فیلم را نیز به صورت معنی‌داری کاهش می‌دهد. این نانو ذرات در غلظت مورد استفاده قابلیت جذب مقداری از نور در ناحیه ماوراء بنفش را دارا می‌باشند. با توجه به منابع زیست تجدید پذیر و قابل دسترس صمغ قدومه شیرازی، نتایج این تحقیق می‌تواند منجر به یک کاربرد جدید برای این گیاه بومی گردد.

از طرف دیگر داده‌های حاصل از خواص مکانیکی و خواص فیزیکوشیمیایی کاملاً یکدیگر را تفسیر می‌کنند. همان طور که گزارش شد، با افزایش غلظت ترکیبات نانو میزان رطوبت فیلم‌ها کاهش پیدا می‌کند. کاهش میزان رطوبت فیلم‌ها انعطاف پذیری آنها را کاهش داده و به استحکام آنها کمک می‌کند. کاهش میزان رطوبت همواره افزایش مقاومت به کشش و کاهش میزان کش آمدگی را به همراه دارد [۲۳].

۶-۳- خواص ضد میکروبی فیلم‌ها

شکل ۳ نمونه ای از هاله عدم رشد فیلم‌های حاوی اکسید روی و توانایی بازدارندگی در برابر اشرشیاکولی را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۴، با افزایش محتوای نانوذرات، هاله عدم رشد به طور معناداری افزایش پیدا می‌کند و بر همین اساس این فیلم‌ها می‌توانند همانند یک بسته‌بندی فعال ضد میکروبی عمل کنند.

**Fig 3** Non-Growth area in Qodume Shirazi gum film with 5% zinc oxide

فعالیت ضد میکروبی از نانومیله‌های اکسید روی علیه استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکولی و مکانیسم مربوط به آن توسط محققین دیگر نیز نشان داده شده است [۲۴]. این رفتار به عنوان تعاملات شیمیایی فیزیکی بین ذرات نانومیله‌های اکسید روی و پوشش سلول میکروارگانیسم‌ها

۵- منابع

- mechanical properties. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, 1(2), 24-33.
- [11] Marvdashti, L.M., A. Koocheki, and M. Yavarmanesh. (2017). Alyssum homolocarpum seed gum-polyvinyl alcohol biodegradable composite film: Physicochemical, mechanical, thermal and barrier properties. *Carbohydrate polymers*, 155, 280-293.
- [12] Mohammadi Nafchi, A., A. Olfat, M. Bagheri, L. Nouri, A.A. Karim, and F. Ariffin. (2017). Preparation and characterization of a novel edible film based on Alyssum homolocarpum seed gum. *Journal of food science and technology*, 54(6), 1703-1710.
- [13] Standard, A. (2005). Standard test methods for water vapor transmission of materials. Annual book of ASTM standards. Designation E96/E96M-05,
- [14] Maizura, M., A. Fazilah, M.H. Norziah, and A.A. Karim. (2007). Antibacterial Activity and Mechanical Properties of Partially Hydrolyzed Sago Starch–Alginate Edible Film Containing Lemongrass Oil. *Journal of Food Science*, 72(6), 324-330.
- [15] Kiatkamjornwong, S., W. Chomsaksakul, and M. Sonsuk. (2000). Radiation modification of water absorption of cassava starch by acrylic acid/acrylamide. *Radiation Physics and Chemistry*, 59(4), 413-427.
- [16] ASTM. (2010). Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting, D882, Annual Book of ASTM, American Society for Testing & Materials, Philadelphia, PA, USA.
- [17] Maizura, M., A. Fazilah, M.H. Norziah, and A.A. Karim. (2007). Antibacterial activity and mechanical properties of partially hydrolyzed sago starch-alginate edible film containing lemongrass oil. *Journal of Food Science*, 72(6), 324-330.
- [18] Nafchi, A.M., R. Nassiri, S. Shibani, F. Ariffin, and A.A. Karim. (2013). Preparation and Characterization of Bionanocomposite Films Filled with Nanorod-rich Zinc Oxide. *Carbohydrate Polymers*, 96(1), 233-239.
- [19] Hosseini, S.F., M. Rezaei, M. Zandi, and F.F. Ghavi. Preparation and functional properties of fish gelatin–chitosan blend edible films. *Food Chemistry*, 136(3–4), 1490-1495.
- [20] Thellen, C., C. Orroth, D. Froio, D. Ziegler, J. Lucciarini, R. Farrell, N.A. D'Souza, and J.A. Ratto. (2005). Influence of
- [1] Ghanbarzadeh, B. and A.R. Oromiehi. (2008). Biodegradable biocomposite films based on whey protein and zein: Barrier, mechanical properties and AFM analysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 43(2), 209-215.
- [2] Heydari, A., I. Alemzadeh, and M. Vossoughi. (2014). Influence of glycerol and clay contents on biodegradability of corn starch nanocomposites. *International Journal of Engineering*, 27(2), 203-214.
- [3] Heydari, A., I. Alemzadeh, and M. Vossoughi. (2013). Functional properties of biodegradable corn starch nanocomposites for food packaging applications. *Materials & Design*, 50, 954-961.
- [4] Marvizadeh, M.M., A.M. Nafchi, and M. Jokar. (2014). Improved physicochemical properties of tapioca starch/bovine gelatin biodegradable films with zinc oxide nanorod. *Journal of Chemical Health Risks*, 4(4), 25-31.
- [5] Shaili, T., M.N. Abdorreza, and N. Fariborz. (2015). Functional, thermal, and antimicrobial properties of soluble soybean polysaccharide biocomposites reinforced by nano TiO₂. *Carbohydrate polymers*, 134, 726-731.
- [6] Zhang, L., Y. Ding, M. Povey, and D. York. (2008). ZnO nanofluids – A potential antibacterial agent. *Progress in Natural Science*, 18(8), 939-944.
- [7] Li, J.H., R.Y. Hong, M.Y. Li, H.Z. Li, Y. Zheng, and J. Ding. (2009). Effects of ZnO nanoparticles on the mechanical and antibacterial properties of polyurethane coatings. *Progress in Organic Coatings*, 64(4), 504-509.
- [8] Nafchi, A.M., A.K. Alias, S. Mahmud, and M. Robal. (2012). Antimicrobial, rheological, and physicochemical properties of sago starch films filled with nanorod-rich zinc oxide. *Journal of food engineering*, 113(4), 511-519.
- [9] Li, X.H., Y.G. Xing, W.L. Li, Y.H. Jiang, and Y.L. Ding. (2010). Antibacterial and Physical Properties of Poly (vinyl chloride)-based Film Coated with ZnO Nanoparticles. *Revista de Agarquimica y Tecnologia de Alimentos*, 16(3), 225-232.
- [10] Abbasi Rad, S. and G. Askari. (2015). Optimization of edible alyssum homalocarpum films for physical and

- [23] Abdorreza, M.N., L.H. Cheng, and A.A. Karim. (2011). Effects of plasticizers on thermal properties and heat sealability of sago starch films. *Food Hydrocolloids*, 25(1), 56-60.
- [24] Lin, W., Y. Xu, C.-C. Huang, Y. Ma, K.B. Shannon, D.-R. Chen, and Y.-W. Huang. (2009). Toxicity of nano- and micro-sized ZnO particles in human lung epithelial cells. *Journal of Nanoparticle Research*, 11(1), 25-39.
- montmorillonite layered silicate on plasticized poly(l-lactide) blown films. *Polymer*, 46(25), 11716-11727.
- [21] Nouri, L. and A.M. Nafchi. (2014). Antibacterial, mechanical, and barrier properties of sago starch film incorporated with betel leaves extract. *International journal of biological macromolecules*, 66, 254-259.
- [22] Yu, J., J. Yang, B. Liu, and X. Ma. (2009). Preparation and characterization of glycerol plasticized-pea starch/ZnO-carboxymethylcellulose sodium nanocomposites. *Bioresource Technology*, 100(11), 2832-2841.

Study the functional and antimicrobial properties of *alyssum homalocarpum* bionanocomposites and nano zinc oxide

Heydari, A. ^{1*}, Ebrahimi, Zh. ², Mohammadi Nafchi, A. ³, Pourkhanali, Kh. ⁴

1. Assistant Professor of Chemical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

2. MS of Food Engineering, Sarab branch, Islamic Azad University

3. Associate Professor of Food Engineering, Damghanbranch, Islamic Azad University

4. Ph.D.Student of Chemical Engineering, University of Guilan

(Received: 2017/12/04 Accepted:2018/10/20)

Using biodegradable polymers are one the best solutions to overcome the pollution of the environment by Petroleum-based polymers. Biopolymers as environmental friendly packaging materials were studied extensively. The aim of this research was to study the properties of the bionanocomposites of alyssum homalocarpum seed gum reinforced with nano zinc oxide (1, 3 and 5%). Functional properties such as water content, water solubility and water vapor permeability were significantly decreased by incorporation of nano particles. Also, most of the UV light was adsorbed at 5% of nano particles. Tensile strength and Young module were increased and elongation at break was decreased. The anti-microbial effect was tested against E. coli using agar diffusion method and this effect was increased by increasing the nano particle contents. The obtained results suggest that bionanocomposites based on nano zinc oxide and alyssum homalocarpum seed gum has the potential to use as an active packaging material for packaging industries.

Keywords: Bionanocomposites, Alyssum homalocarpum, Functional properties, Antimicrobial properties, Active packaging

* Corresponding Author E-Mail Address: Heydari@uma.ac.ir