

تولید نانو کامپوزیت پلی وینیل الکل هیدروکسی پروپیل متیل سلولز حاوی نانوذرات نقره و بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و ضد میکروبی آن

فاطمه رستمی^۱ ابوالوردی^۱ مهرداد نیاکوثری^{۲*}، سید محمد مهدی دادفر^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع غذایی دانشگاه خرد بوشهر

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه شیراز

۳- کارشناس ارشد مهندسی صنایع غذایی دانشگاه شیراز

چکیده

بسته بندی مرحله‌ای ضروری برای حفظ خصوصیات ارگانولپتیک، تغذیه‌ای و بهداشتی مواد غذایی از زمان تولید تا مصرف است. تجمع انواع مواد سنتزی غیرقابل تجزیه به خصوص انواع مختلف مواد بسته بندی در طبیعت سبب شده که در سال های اخیر استفاده از پلیمرهای زیست تخریب پذیر به شدت مورد توجه قرارگیرد. در این پژوهش، پس از بررسی خصوصیات فیلم‌های پوششی بر پایه پلی وینیل الکل و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز؛ امکان تهیه فیلم کامپوزیت زیست تخریب پذیر از ترکیب پلی وینیل الکل و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و خصوصیات آنها مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت فیلم نانو کامپوزیتی بر پایه ۸۰ درصد پلی وینیل الکل و ۲۰ درصد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با محتوای ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ ppm نانونقره تولید شد و خواص آنها از جمله خصوصیات مکانیکی، نفوذپذیری به رطوبت، جذب آب و همچنین خصوصیات ضد باکتریایی نانونقره بررسی شد. حضور هیدروکسی پروپیل متیل سلولز سبب بهبود خصوصیات فیلم‌ها مانند کاهش جذب آب، نفوذپذیری به بخار آب و افزایش مقاومت کششی و استحکام آنها شد. با افزودن نانونقره تا ۲۰۰۰ ppm تفاوت معنی‌داری بین فیلم‌های با نانونقره و بدون نانونقره از نظر نفوذپذیری به رطوبت، مقاومت کششی و مدول یانگ وجود نداشت. اما افزودن نانونقره در غلظت‌های بالا (۴۰۰۰ ppm) باعث کاهش در مقاومت کششی و مدول یانگ نانوکامپوزیت‌ها گردید و به عبارتی باعث تضعیف فیلم‌های تولیدی شد. همچنین غلظت بالای نانونقره نفوذپذیری را افزایش داد. خصوصیات ضدباکتریایی فیلم‌های تولیدی نیز با اندازه گیری قطر ناحیه روشن در آزمون نفوذ دیسک بررسی شد. در این آزمون از ۳ نوع باکتری، شامل دو باکتری گرم مثبت باسیلوس سرئوس و استافیلوکوکوس اورئوس و یک باکتری گرم منفی اشرشیاکلی استفاده شد.

کلید واژگان: نانونقره، نفوذپذیری، خصوصیات مکانیکی، نانوکامپوزیت، آنتی باکتریال

* مسئول مکاتبات: mehrnia2012@yahoo.com

۱- مقدمه

بسته‌بندی در تعریف عبارت است از محافظتی که سلامت محتوی خود را از مرحله انتهایی تولید تا مصرف حفظ کند. هدف از بسته‌بندی مواد غذایی به تأخیر انداختن فساد، حفظ اثرات مثبت فرایند روی غذا، افزایش طول عمر انبارمانی، نگهداری، افزایش کیفیت و ایمنی غذایی و حفاظت از غذا در برابر عوامل شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک بیرونی است [۱].

پلیمرهای استفاده شده جهت بسته‌بندی یا بر پایه مواد نفتی می‌باشند که این بسته‌بندی‌ها در محیط زیست به سختی و در زمان بسیار طولانی تجزیه می‌شوند و خطری جدی برای محیط زیست به شمار می‌روند، یا بر پایه مواد گیاهی و جانوری هستند که در محیط زیست تجزیه پذیر بوده و در واقع دوست‌دار محیط زیست هستند [۲].

اغلب پلاستیک‌های ساخته شده از منابع نفتی دارای خصوصیات مناسبی هستند، با این حال منابع نفتی، منابعی محدود و تجدیدنپذیر و از نظر بیولوژیک تجزیه ناپذیر^۱ بوده و باعث آلودگی محیط زیست می‌شوند. لذا در سال‌های اخیر به دلیل افزایش قیمت منابع نفتی ناشی از کاهش بی‌رویه‌ی این منابع فسیلی و آلودگی شدید محیط زیست، مطالعات زیادی برای جایگزینی پلاستیک‌های مشتق شده از ترکیبات نفتی با پلاستیک‌های حاصل از منابع تجدیدپذیر و سازگار با محیط زیست صورت گرفته است [۱]. به این منظور، پلیمرهای زیستی به دلیل فراوانی در طبیعت و زیست‌تخریب‌پذیر بودن مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند [۳].

همچنین امروزه استفاده از نوآوری در صنعت بسته‌بندی با بکارگیری انواع فناوری‌ها به ویژه در عرصه بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند گسترش بسیاری یافته است [۴].

در این بین پلی وینیل الکل یکی از پلیمرهای سازگار با طبیعت و محلول در آب بوده که دارای خواص بسیار عالی و امولسیون کننده در محیط و تشکیل شبکه، می‌باشد. هرچند با وجود داشتن مزایای گوناگون، خواص مکانیکی نامناسب از جمله معایب آنها است. در این راستا استفاده از پرکننده‌های غیر آلی در ماتریس

پلیمر، استحکام و سفتی پلیمر را افزایش می‌دهد و تولید آن‌ها به صورت بالقوه می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های مکانیکی مواد بسته‌بندی گردد [۵].

به این منظور سلولز^۲ و مشتقات آن، که بیوپلیمر اصلی زمین است؛ مورد توجه زیادی قرار دارد که از نظر اقتصادی نیز اهمیت فراوانی دارد. پوشش‌های حاصل از سلولز و مشتقات آن، استحکام متوسطی داشته و پایداری حرارتی مناسب تری نسبت به سایر پلیمرهای زیستی و قابلیت‌های بازآیافتی بهتری نسبت به پلیمرهای سنتزی دارند [۶].

هیدروکسی پروپیل متیل سلولز^۳ (HPMC) از مشتقات سلولز است. این بیوپلیمر به طور گسترده‌ای در صنعت غذا استفاده می‌گردد زیرا دارای خواص فیزیکی منحصر به فردی چون حلالیت در آب، ویسکوز بودن در محلول، خواص ترموپلاستیکی و پایداری (در برابر تخریب‌های زیستی، گرما، آب‌کافت و اکسایش) می‌باشد. همچنین دارای مزایایی چون خوراکی بودن^۴ و سازگاری با محیط‌زیست و خصوصیات نفوذناپذیری^۵ به اکسیژن و ظاهر جذاب و غیرسمی بودن و قیمت پایین می‌باشد [۷].

در این بین ویژگی‌های مکانیکی مناسب آنها، یکی از مهمترین موارد استفاده در صنعت بسته‌بندی بر پایه بیوپلیمرها بوده و ترکیب آنها با پلیمرهای سنتزی سازگار با آنها و استفاده از پرکننده مناسب، روش قابل قبولی است که در سال‌های اخیر مورد توجه گسترده‌ای قرار گرفته است [۸]. از این رو Osorio و همکاران (۲۰۱۱) بر روی ویژگی‌های فیلم‌های خوراکی برپایه هیدروکسی پروپیل متیل سلولز مطالعه داشتند و خصوصیات مکانیکی و نفوذپذیری این فیلم را جهت بسته‌بندی مناسب دانستند [۹].

در سال ۲۰۱۰ Sebti و همکاران نیز بر روی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی و خواص ضد میکروبی فیلم‌های خوراکی بر پایه کیتوزان-هیدروکسی پروپیل متیل سلولز مطالعه ای داشتند و مشخص گردید که هیدروکسی پروپیل متیل سلولز توانایی تقویت فیلم حاصل از کیتوزان خالص را داشت [۱۰].

2. Cellulose-based materials
3. Hydroxy propyl methyl Cellulose
4. Edibility
5. Barrier properties

1. Non-biodegradable

استفاده از ذرات نقره در مقیاس نانو به حفاظت از ساختار فیلم در برابر آلوده شدن پرداخته شد.

۱- مواد و روش ها

۱-۲- مواد و تجهیزات

۱-۱-۲- مواد

هیدروکسی پروپیل متیل سلولز از شرکت سیگما، نانو نقره از شرکت نانو زینکو، پلی وینیل الکل و گلیسرول با خلوص ۹۹/۷ درصد از شرکت مرک، کلرید کلسیم، کلرید سدیم و اسید سولفوریک ۹۵-۹۸ درصد از شرکت کیمیا خریداری گردید.

۲-۱-۲- دستگاه

برای ساخت فیلم ها از انکوباتور مدل IH-۱۰۰ ساخت کشور انگلیس، اندازه گیری نفوذپذیری به رطوبت از دستگاه ساخته شده توسط ایران، تعیین خواص مکانیکی فیلم های ساخته شده از دستگاه کشش مدل STM-۲۰ ساخت کشور ایران استفاده گردید. میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) ساخت کشور آلمان و ترازی استفاده شده مدل BL 150s نیز ساخت کشور آلمان بود.

۲-۲- روش ها

۱-۲-۲- روش تهیه فیلم ها

۱-۲-۲-۱- روش تهیه فیلم کامپوزیتی پلی وینیل الکل-هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با درصد های مختلف هیدروکسی پروپیل متیل سلولز

ابتدا محلول ۸ درصد (وزنی-حجمی) پلی وینیل الکل و ۲درصد (وزنی-حجمی) هیدروکسی پروپیل متیل سلولز تهیه شده و جهت انعطاف پذیری هر کدام؛ ۲۰ درصد وزن ماده خشک، گلیسرول به آنها اضافه گردید. گرانول های پلی وینیل الکل به مدت ۴ ساعت و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به مدت ۲۴ ساعت بر روی هیتر و به کمک همزن مغناطیسی به خوبی حل و محلولی شفاف از آنها تهیه شد. بعد از مخلوط شدن با نسبت های مختلف هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد)، ۱۲ سی سی از محلول حاصل در پلیت های پلاستیکی با

لذا در این زمینه پژوهشی صورت گرفت که نتایج حاصل از این بخش این بود که فیلم پوششی هیدروکسی پروپیل متیل سلولز از نظر مقاومت کششی، مدول یانگ و میزان نفوذپذیری به بخار آب در مقایسه با فیلم پوششی پلی وینیل الکل در سطح بهتری می باشد. از این رو در این راستا، سعی بر بهبود نقاط ضعف پلی وینیل الکل با هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بود.

از طرفی اخیراً توجه زیادی به تحقیق و توسعه روی فیلم هایی با خواص ضد میکروبی برای بهبود سلامت غذا و زمان ماندگاری آن شده است [۱۱]. بسته بندی ضد میکروبی^۶ برای کنترل رشد میکروبی در ماده غذایی استفاده می گردد [۱۲]؛ لذا؛ استفاده از برخی نانوذرات ضد میکروب مانند نقره و اکسیدهای فلزی از قبیل اکسید روی و اکسید تیتانیوم و یا حتی نانوذرات آلی مانند کیتوزان در تولید نانو کامپوزیت های پلیمری با خاصیت ضد میکروبی، اخیراً مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۱۳].

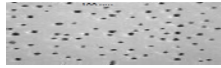
از میان تمام مواد نانویی، کاربرد نانو نقره در بالاترین درجه تجاری شدن قرار دارد [۱۴]. زمانی که ذرات نقره بصورت یک بعدی با اندازه کمتر از ۱۰۰nm به وجود آمد، آن ها را نانو ذرات نامیدند. این ذرات خواص غیر معمول فیزیکوشیمیایی از خود نشان می دهند [۱۵].

بنابراین در این پژوهش پلیمرهای پلی وینیل الکل و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با درصد های مختلف با هم مخلوط شده و خواص فیزیکوشیمیایی آنها، بررسی و با فیلم های تهیه شده از پلیمر خالص مقایسه گردید و درصدی که بهترین خصوصیات را از خود نشان داد انتخاب و در مرحله بعد مقادیر مختلف نانونقره به عنوان یک آنتی باکتریال به آن افزوده گردید.

در ادامه به بررسی خصوصیات فیلم های حاوی نانونقره پرداخته و ویژگی های فیزیکوشیمیایی و میکروبی آنها با فیلم های بدون نانونقره مقایسه شد. در این قسمت هدف استفاده از نانونقره، جلوگیری از رشد میکروب ها در ارتباط با فیلم پوششی پلی وینیل الکل-هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بود.

به دلیل اینکه هیدروکسی پروپیل متیل سلولز یک ماده بیولوژیک است امکان آلودگی مواد بسته بندی متشکل از آن به کپک، مخمر و باکتری های مختلف وجود دارد و در این تحقیق با

وزن شدند. در ادامه نمودار افزایش وزن بر حسب زمان رسم و نفوذپذیری با کمک شیب نمودار و فرمول زیر بدست آمد [۱۸ و ۱۹].



(۱-۳)

در این فرمول $WVTR$ شیب نمودار تغییر وزن بر حسب زمان به ازای سطح فیلم، L ضخامت فیلم و ΔP اختلاف فشار در دو سمت فیلم می‌باشد.

۲-۲-۳-۳- تعیین میزان جذب آب^۹

در این مرحله طبق روش Angles و Dufresne [۲۰]: فیلم‌های تهیه شده به صورت نمونه فیلم (۲۰ میلی متر، ۲۰ میلی متر، ۰٫۱ میلی متر) در دسیکاتوری از اسید سولفوریک غلیظ (رطوبت نسبی ۰٪) به مدت هفت روز جهت رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد و در نتیجه نمونه‌ها خشک گردید سپس وزن فیلم‌ها با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه گیری و به عنوان وزن اولیه در نظر گرفته شد (M_i). در نهایت، نمونه فیلم‌ها به دسیکاتوری از رطوبت نسبی ۱۰۰٪ (آب مقطر) در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد به مدت یک هفته منتقل و اجازه جذب آب داده شد. پس از آن که وزن به حالت تعادل رسید تغییرات وزن محاسبه گردید که وزن در این شرایط به عنوان وزن نهایی (M_f) معرفی و درصد جذب آب با استفاده از معادله زیر محاسبه شد.

$$\text{Water uptake} = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100 \quad (۴-۳)$$

۲-۲-۴-۴- آزمون میکروبی

۲-۲-۴-۱- آزمون نفوذ دیسک^{۱۰}

کشت میکروبی بدین صورت است که فیلم‌هایی به قطر ۱۵ میلی‌متر تهیه و در اتوکلاو و دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه استریل کردیم. محلولی با کدورت (10^8 CFU/mL)

قطر ۷/۳ سانتی متر ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد خشک شد. فیلم‌ها بعد از خشک شدن به راحتی از پلیت جدا و برای انجام آزمون‌های مختلف نگهداری شدند.

۲-۲-۱-۲- روش تهیه فیلم نانوکامپوزیتی پلی وینیل

الکل-هیدروکسی پروپیل متیل سلولز حاوی ذرات نانو نقره

برای ساخت این نوع فیلم نانوکامپوزیتی؛ به محلول‌های پلی وینیل الکل و ۲۰ درصد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز حاوی گلیسرول بعد از مخلوط شدن، محلول کلوییدی نانونقره اضافه شد. سپس محلول حاصل در پلیت‌های پلاستیکی با قطر ۷/۳ سانتی متر ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد خشک گردید. همچنین لازم به ذکر است که نانونقره در سه غلظت ۱۰۰۰ ppm، ۲۰۰۰ ppm، ۴۰۰۰ ppm به فیلم‌ها اضافه شد تا اثر غلظت نیز قابل بررسی باشد.

۲-۲-۲- روش اندازه گیری خواص

۲-۲-۱- اندازه گیری خواص مکانیکی

برای انجام آزمون کشش بر روی فیلم‌ها، نمونه‌های مستطیلی به ابعاد ۶ سانتی‌متر در ۱ سانتی‌متر تهیه و آزمون کشش طبق استاندارد ASTM D882 [۱۶] انجام شد. نمونه‌ها قبل از انجام آزمایش به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار داده شدند. سرعت کشش نیز ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه بود و به این ترتیب سه پارامتر TS^7 ، یانگ مدولوس و طول نقطه پارگی محاسبه گردید.

۲-۲-۲-۲- آزمون نفوذپذیری به رطوبت (WVP)^۸

آزمون نفوذپذیری به رطوبت هم طبق استاندارد ASTM E96 [۱۷] انجام شد. فیلم‌ها را به قطر ۶/۵ سانتی‌متر برش داده و روی فنجانک‌های حاوی کلرید کلسیم با قطر ۶/۲ سانتی‌متر، قرار گرفته شد. فنجانک‌ها در محفظه‌ای با رطوبت 60 ± 5 درصد و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و هر ۳ ساعت یکبار و ۸ مرتبه

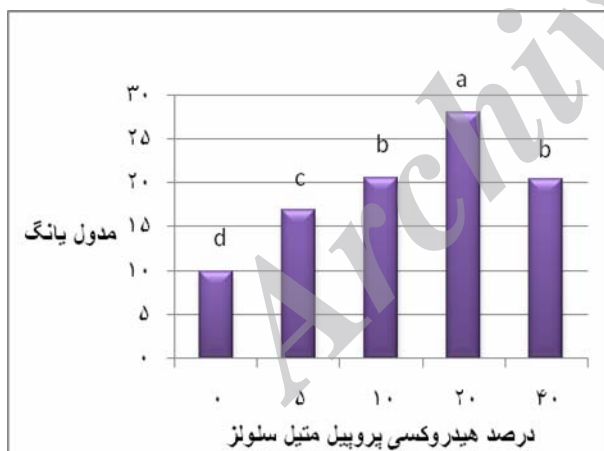
9. Water Uptake
10. Disc Diffusion

7. Tensile strength
8. Water Vapor Permeability

یافت. فیلم پلی وینیل الکل به طور عمده توسط باندهای ضعیف از جمله پیوند هیدروژنی تثبیت شده است [۲۱].

هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با قرار دادن پیوند کووالانسی بین رشته‌های پلی وینیل الکل، منجر به افزایش قابل توجه مقاومت کششی و مدول یانگ این نوع فیلم‌های پوششی می‌شود [۲۲]. به همین ترتیب، بهبود در خواص مکانیکی کامپوزیت پلی وینیل الکل-هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با افزودن هیدروکسی پروپیل متیل سلولز از ۰ به ۲۰ درصد؛ به دلیل تشکیل زیاد باندهای هیدروژنی بین مولکولی، بین گروه‌های OH پلی وینیل الکل و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و نیز تعامل سطحی بین ماتریس (پلی وینیل الکل) و پراکندگی خوب پرکننده (هیدروکسی پروپیل متیل سلولز) در بهره‌وری ماتریس پلی وینیل الکل بود.

با این حال، کاهش مقاومت کششی و مدول یانگ فیلم پلی وینیل الکل-هیدروکسی پروپیل متیل سلولز در غلظت بالایی از هیدروکسی پروپیل متیل سلولز احتمالاً به دلیل تراکم و آگلومره شدن هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بود. چرا که آگلومره شدن تعامل بین زنجیره‌های پلی وینیل الکل را کاهش داده و مانع پیوند بین زنجیره‌ها می‌شود [۲۱].



شکل ۱ تاثیر میزان هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بر مدول یانگ (مگاپاسکال) فیلم‌های پلی وینیل الکل - هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با درصدهای مختلف هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (۰-۴۰٪) *حروف کوچک متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۹۵٪ بین تمامی نمونه‌ها می‌باشد.

تهیه کرده و با افزودن محیط کشت NB¹¹ به 10^5 (CFU/mL) رسانده شد و ۱۰۰ میکرولیتر از آن به محیط TSA اضافه شد و فیلم‌ها در محیط کشت آگار قرار گرفتند و پلیت‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند و قطر ناحیه روشن اندازه‌گیری شد [۱۵].

۳- آنالیز آماری^{۱۲}

کلیه آزمایشات انجام شده در این مطالعه با سه تکرار انجام گرفتند و داده‌های حاصل بر پایه طرح آزمایشی کاملاً تصادفی (CRD) با استفاده از SAS تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین‌ها با آنالیز واریانس انجام و گروه‌بندی تیمارها با آزمون دانکن در سطح معنی‌داری $P \leq 0.05$ بررسی شد.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- بخش اول

۴-۱-۱- ویژگی‌های مکانیکی

مقاومت کششی، مدول یانگ و ازدیاد طول در نقطه پارگی پلی وینیل الکل با غلظت‌های مختلف ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، اندازه‌گیری و نتایج آن در ادامه آمده است.

شکل ۱ و ۲ به ترتیب نشان می‌دهد که میزان مقاومت کششی و مدول یانگ فیلم‌ها تحت تأثیر درصدهای مختلف هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بود. برای تمام تیمارها، با افزایش مقدار هیدروکسی پروپیل متیل سلولز تا ۲۰ درصد، مقاومت کششی و مدول یانگ افزایش معنی‌داری ($p < 0.05$) یافت. مقاومت کششی و مدول یانگ فیلم حاصل از پلی وینیل الکل خالص به ترتیب ۱/۵ و ۱۰ مگاپاسکال بود که با افزایش مقدار هیدروکسی پروپیل متیل سلولز تا ۲۰ درصد مقاومت کششی و مدول یانگ به ترتیب به ۲/۶۶ و ۲۸/۴ مگاپاسکال رسید. اما برای همین تیمارها تا ۴۰ درصد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز این میزان کاهش

11. Nutrient Broth
12. Statistical Analysis

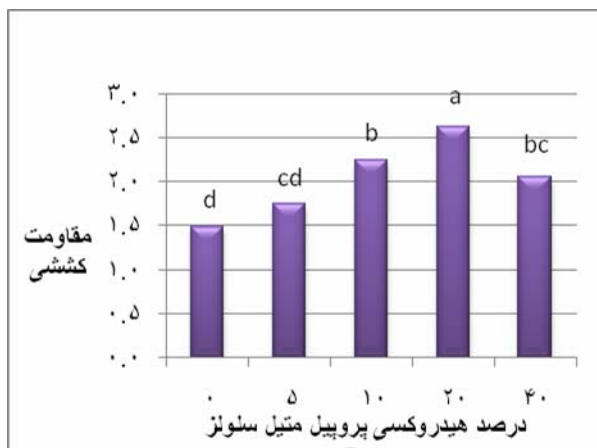
این امر نیز به این دلیل است که با افزایش هیدروکسی پروپیل متیل سلولز تا ۲۰ درصد، پیوند بین مولکول‌های پلی وینیل الکل و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به خوبی برقرار گشته و باعث استحکام هر چه بیشتر شبکه و در نتیجه کاسته شدن از خاصیت کشسانی فیلم‌ها می‌گردد. اما با افزایش بیشتر هیدروکسی پروپیل متیل سلولز همانطور که در مقاومت کششی مشاهده شد، تجمع مولکول‌های هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بیشتر شده، یکنواختی شبکه از بین رفته و در نتیجه باعث فروپاشی شبکه و افزایش بیشتر حالت کشسانی می‌گردد [۲۵]؛ دادفر و همکاران نیز به نتایج مشابه با پژوهش حاضر دست یافتند [۲۱].

نکته قابل توجه این است که برای تیمارهای حاوی هیدروکسی پروپیل متیل سلولز در افزودن میزان هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به پلی وینیل الکل محدودیت وجود دارد چون هدف تولید فیلم‌هایی محکم (مدول بالا) و نیز انعطاف‌پذیر (ازدیاد طول در نقطه پارگی بالا) است [۲۶].

۴-۱-۲- نفوذپذیری به رطوبت

در تمام تیمارها، افزایش مقدار هیدروکسی پروپیل متیل سلولز تا میزان ۲۰ درصد، باعث کاهش معنی‌داری ($p < 0.05$) در نفوذپذیری به رطوبت فیلم حاصل شد. مثلاً برای تیمار پلی وینیل الکل خالص، میزان نفوذپذیری به رطوبت ۰/۷۵ بود و با ۲۰ درصد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز حاوی گلیسرول نفوذپذیری برابر ۰/۶ شد. فیلم حاوی ۲۰ درصد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، پایین‌ترین حد نفوذپذیری به رطوبت را داشت که برای همین تیمارها با ۴۰ درصد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز این میزان افزایش معنی‌داری ($p < 0.05$) داشت.

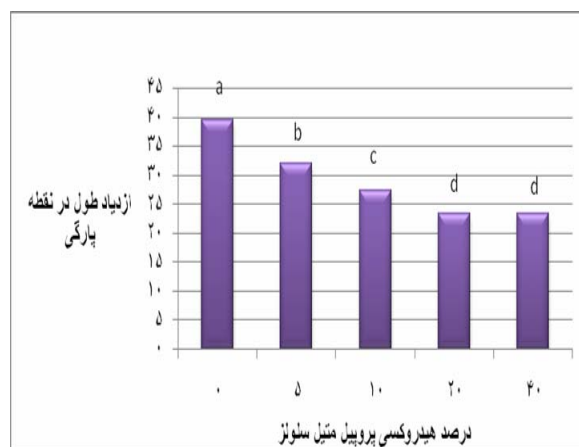
افزودن هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به پلی وینیل الکل در درصدهای کم، باعث کاهش نفوذپذیری به رطوبت گردید که در این غلظت‌ها زنجیره پلی وینیل الکل-هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، اتصالات کووالانسی با یکدیگر دارند و پراکندگی مناسب هیدروکسی پروپیل متیل سلولز در ماتریس پلی وینیل الکل، مسیر پیچ خورده‌ای برای عبور مولکول‌های آب ایجاد کرده و متقابلاً مسیر آب بلوکه شده و نفوذ بخار آب را در سراسر فیلم پوششی مورد نظر، محدود می‌سازد [۲۷].



شکل ۲ تاثیر میزان هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بر مقاومت کششی (مگاپاسکال) فیلم‌های پلی وینیل الکل - هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با درصدهای مختلف هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (۰-۴۰٪) *حروف کوچک متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۹۵٪ بین تمامی نمونه‌ها می‌باشد.

نتایج بدست آمده با تحقیقات Lin و Galdeno [۲۳ و ۲۴]، دادفر و همکاران روی پلی وینیل الکل تقویت شده توسط گلو تار آلدئید [۲۱] مشابه گزارش شده است.

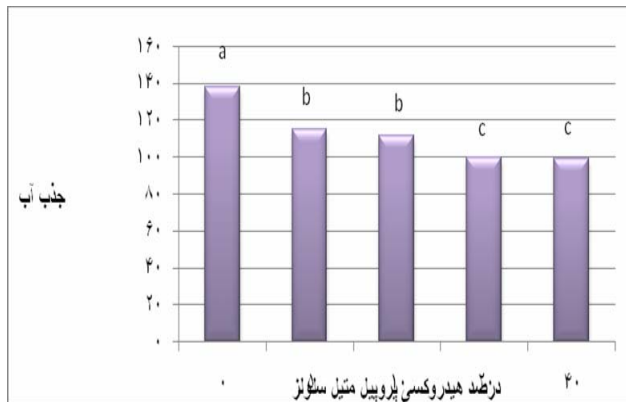
شکل ۳ نشان می‌دهد که برای تمام تیمارها، با افزایش مقدار هیدروکسی پروپیل متیل سلولز تا ۲۰ درصد، ازدیاد طول در نقطه پارگی کاهش معنی‌داری ($p < 0.05$) یافت.



شکل ۳ تاثیر میزان هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بر ازدیاد طول در نقطه پارگی (درصد) فیلم‌های پلی وینیل الکل - هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با درصدهای مختلف هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (۰-۴۰٪)

*حروف کوچک متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۹۵٪ بین تمامی نمونه‌ها می‌باشد.

با هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، مانع انتشار مولکول‌های آب به شبکه فیلم شده که در نهایت موجب کاهش جذب آب و تورم توسط فیلم‌ها گردید. همچنین Srinivasa و همکاران نتایج مشابهی را گزارش دادند [۳۰].



شکل ۵ تاثیر میزان هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بر جذب فیلم‌های پلی وینیل الکل - هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با درصدهای مختلف هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (۰-۴۰٪) *حروف کوچک متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۹۵٪ بین تمامی نمونه‌ها می‌باشد.

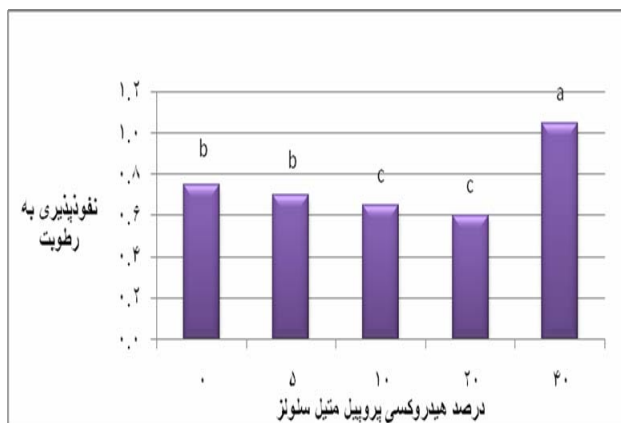
۴-۲- بخش دوم

در بخش دوم که فیلم کامپوزیتی با محتوای ۲۰ درصد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به عنوان بهترین فیلم از لحاظ پذیرش کلی انتخاب و تأثیر درصدهای مختلف ذرات نانو نقره بر خصوصیات فیلم در ادامه بررسی گردید.

۴-۲-۱- آزمون میکروسکوپ الکترونی (TEM)

در حالت عادی نانوذرات تمایل به تجمع و آگلومره شدن دارند و این باعث می‌شود اندازه آن‌ها افزایش یابد و از حالت نانو خارج شوند و حتی به صورت میکرو درآیند. در نتیجه خواصی که در حالت نانو بودن از خود نشان می‌دهند را از دست بدهند [۳۱]. برای اطمینان از اینکه ذرات، حالت نانو خود را حفظ کرده‌اند و آگلومره شدن رخ نداده است آزمون میکروسکوپ الکترونی انجام شد.

اندازه ذرات نانونقره، به کمک میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) با ولتاژ شتاب دهنده ۸۰ تا ۱۰۰ kV معین شد. تعلیقی از نانوبلور نقره با غلظت ۷ درصد به منظور دست‌یابی به



شکل ۴ تاثیر میزان هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بر نفوذپذیری به رطوبت فیلم‌های پلی وینیل الکل - هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با درصدهای مختلف هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (۰-۴۰٪) *حروف کوچک متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۹۵٪ بین تمامی نمونه‌ها می‌باشد.

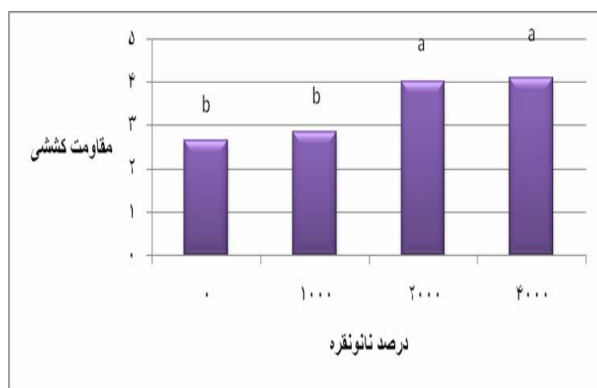
اما با افزایش بیشتر هیدروکسی پروپیل متیل سلولز میزان نفوذپذیری به رطوبت افزایش یافت. که این افزایش به این دلیل است که هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به دلیل تمایل به آگلومره شدن ممکن است متراکم شده و افزایش حجم آزاد بین زنجیره‌های پلیمری در اثر کاهش نیروی بین مولکولی جذب کننده را به دنبال داشته باشد. این امر نیز به نوبه خود محتوای مؤثر به عنوان پرکننده را در ماتریس پلی وینیل الکل کاهش داده و در نتیجه مسیرهای مستقیم برای تسهیل عبور مولکول آب و نفوذ بخار آب، ایجاد می‌نماید [۲۸].

نتایج حاضر مشابه با نتایج تحقیق Changdao و همکاران بود که از دی‌آلدئید کربوکسی متیل سلولز جهت ایجاد اتصال با ژلاتین استفاده و به مطالعه اثر این اتصالات روی نفوذپذیری فیلم‌ها پرداختند [۲۹].

۴-۱-۳- جذب آب

افزودن هیدروکسی پروپیل متیل سلولز باعث کاهش میزان جذب آب در فیلم‌ها شد. که تفاوت معنی‌داری ($p < 0.05$) در تیمارها ایجاد گردید. افزودن هیدروکسی پروپیل متیل سلولز از طریق پیوندهای هیدروژنی با شبکه پلی وینیل الکل موجب کاهش گروه‌های هیدروژنی آزاد و در دسترس، جهت تشکیل پیوندهای آب دوست با آب شده‌است. اشباع شدن شبکه پلی وینیل الکل

بیشترشد، برای مثال برای تیمار بدون نانونقره مقاومت کششی ۲/۶۶ مگاپاسکال گزارش شد که در تیمار با ۱۰۰۰ ppm نانونقره، این مقدار به ۲/۸۶ مگاپاسکال رسید (شکل ۸). اما با این وجود افزودن نانونقره تا این مقدار تأثیر معنی داری بر مقاومت کششی فیلم‌های نانوکامپوزیتی نداشت ($p > 0.05$). با افزایش بیشتر نانونقره افزایش معنی داری ($p < 0.05$) در میزان مقاومت کششی مشاهده گردید، ولی بین میزان ۲۰۰۰ ppm و ۴۰۰۰ ppm نانو نقره تفاوت معنی داری مشاهده نشد ($p > 0.05$).



شکل ۸ تأثیر میزان هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بر مقاومت کششی (مگاپاسکال) فیلم‌های پلی وینیل الکل - هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با محتوای ۲۰ درصد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز حاوی مقادیر مختلف نانونقره (۰-۴۰۰۰ ppm) *حروف کوچک متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار آماری در سطح ۹۵٪ بین تمامی نمونه‌ها می‌باشد.

Rujitanaroj و همکاران نیز متوجه شدند که افزودن نانونقره به ژلاتین مقاومت کششی را افزایش می‌دهد [۳۲]. لازم به ذکر است که اندازه ذرات نانو نقره ثابت بود و موضوع مهم، این است که در تحقیقات صورت گرفته توسط دادفر و همکاران (۲۰۰۸) مشاهده شد که اندازه نانونقره تأثیر معنی داری روی مقاومت کششی فیلم‌ها نداشت [۳۱].

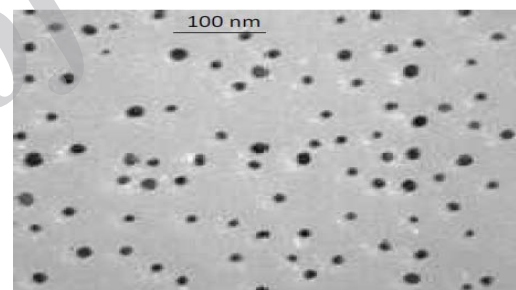
۴-۲-۳-مدول یانگ

افزودن نانونقره باعث افزایش غیر معنی دار در مدول یانگ فیلم‌های پلی وینیل الکل-هیدروکسی پروپیل متیل سلولز گردید.

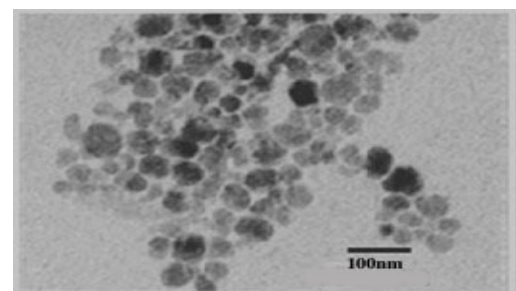
بلورهای منفرد نقره، به مدت ۲۰ دقیقه و در دو مرحله ۱۰ دقیقه‌ای همگن شد و در معرض امواج فراصوت به مدت ۱۰ دقیقه و طی دو مرحله ۵ دقیقه‌ای عمل آوری شد. تعلیق عمل آوری شده روی توری مسی پخش شد و تصویر TEM حاصل از نانوبلورها با بزرگ نمایی ۲۷۰۰۰ به دست آمد [۳۱].

تصاویر میکروسکوپ الکترونی گرفته شده در شکل ۶ آمده است؛ این عکس مربوط به غلظت نانونقره تا ۲۰۰۰ ppm بود که با دقت در این عکس می‌توان به عدم آگلومره شدن و عدم تجمع ذرات نانونقره پی برد.

شکل ۷ مربوط به غلظت ۴۰۰۰ ppm نانو ذرات نقره بود که احتمال آگلومره شدن ذرات نانو نقره موجود در نانو کامپوزیت پلی وینیل الکل-هیدروکسی پروپیل متیل سلولز در این غلظت وجود داشت.



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپ الکترونی برای تیمارهای نانونقره تا غلظت ۲۰۰۰ ppm



شکل ۷ تصاویر میکروسکوپ الکترونی برای تیمارهای نانونقره با غلظت ۴۰۰۰ ppm

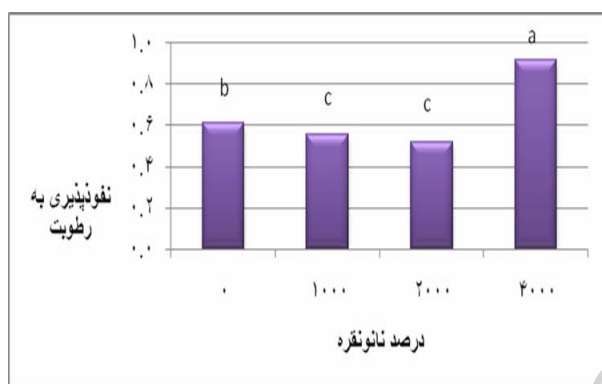
۴-۲-۲-مقاومت کششی

با افزایش مقدار نانونقره میزان افزایش در مقاومت کششی

نشاسته دست یافتند [۱۵] و Moura و همکاران با افزودن نانوقره به هیدروکسی پروپیل متیل سلولز [۱۴]، مشابه بود.

۴-۲-۵- نفوذپذیری به رطوبت

با افزودن نانوقره تا میزان ۲۰۰۰ ppm، نفوذپذیری کاهش معنی داری ($p < 0/05$) یافت و این کاهش به دلیل ایجاد سد توسط نانو ذرات نقره در برابر رطوبت بود. (شکل ۱۱) اما در غلظت بالاتر نانو نقره، میزان نفوذپذیری افزایش معنی داری ($p < 0/05$) داشت و این امر ناشی از آگلومره شدن نانو ذرات نقره می باشد. چرا که در اثر کاهش اندازه ذرات به شدت تمایل به آگلومره یا کلوخه‌ای شدن دارند [۳۳].



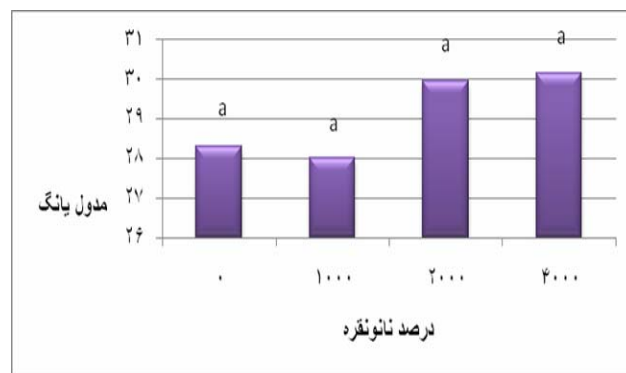
شکل ۱۱ تاثیر میزان هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بر نفوذپذیری به رطوبت فیلم‌های پلی وینیل الکل - هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با محتوای ۲۰ درصد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز حاوی مقادیر مختلف نانوقره (۰-۴۰۰۰ ppm)

*حروف کوچک متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار آماری در سطح ۹۵٪ بین تمامی نمونه‌ها می‌باشد.

Moura و همکاران نیز مشاهده کردند که افزودن نانوقره به هیدروکسی پروپیل متیل سلولز باعث کاهش در مقدار نفوذپذیری به رطوبت شد [۱۴]. لازم بذکر است که افزایش نفوذپذیری در مقابل افزودن نانو نقره به فیلم ترکیبی کیتوزان_نشاسته مشاهده شد [۱۵]؛ که این امر به احتمال زیاد به دلیل ناسازگاری نانوقره و پلیمرهای سازنده فیلم مورد آزمایش بوده و لذا آگلومره شدن ذرات نانو نقره را در پی داشت.

۴-۲-۶- جذب آب

افزودن نانو نقره باعث کاهش میزان جذب آب در فیلم‌ها شد. اما بین درصدهای مختلف نانو نقره فقط بین غلظت ۲۰۰۰ ppm و ۴۰۰۰ ppm، میزان جذب آب تفاوت معنی داری ($p < 0/05$)

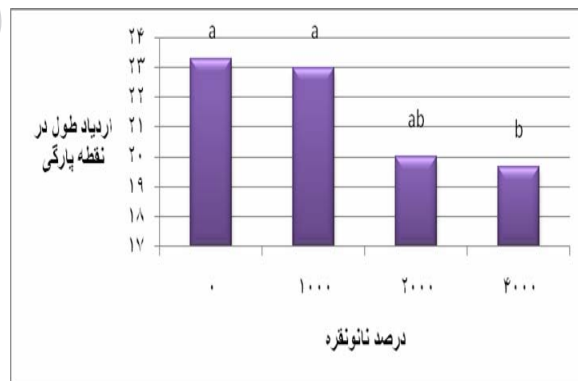


شکل ۹ تاثیر میزان هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بر مدول یانگ (مگاپاسکال) فیلم‌های پلی وینیل الکل - هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با محتوای ۲۰ درصد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز حاوی مقادیر مختلف نانوقره (۰-۴۰۰۰ ppm)

*حروف کوچک متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار آماری در سطح ۹۵٪ بین تمامی نمونه‌ها می‌باشد.

۴-۲-۴- ازدیاد طول در نقطه پارگی

طبق (شکل ۱۰) افزودن نانوقره تفاوت معنی داری روی ازدیاد طول در نقطه پارگی فیلم‌ها ایجاد نکرد ($p > 0/05$) و فقط این تفاوت در غلظت ۴۰۰۰ ppm برای فیلم‌ها معنی دار بود ($p < 0/05$).



شکل ۱۰ تاثیر میزان هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بر ازدیاد طول در نقطه پارگی (درصد) فیلم‌های پلی وینیل الکل - هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با محتوای ۲۰ درصد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز حاوی مقادیر مختلف نانوقره (۰-۴۰۰۰ ppm)

*حروف کوچک متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار آماری در سطح ۹۵٪ بین تمامی نمونه‌ها می‌باشد.

در ارتباط با مدول یانگ و ازدیاد طول در نقطه پارگی؛ نتایج حاصل با نتایجی که Chirachanchai و Yoksan در سال ۲۰۱۰ طی مطالعه اثر نانو نقره بر فیلم نانو کامپوزیتی کیتوزان و

۴-۲-۷-آزمون نفوذ دیسک

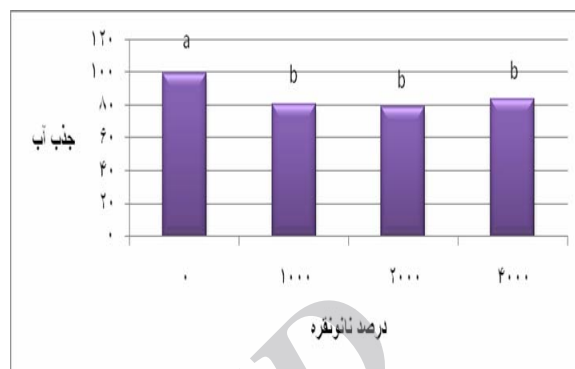
آزمون نفوذ دیسک برای دو باکتری گرم مثبت باسیلوس سرئوس، استافیلوکوکوس اورئوس و باکتری گرم منفی اشرشیا کلی صورت گرفت. با افزودن نانونقره قطر هاله افزایش یافت و هر چه مقدار نانونقره افزایش پیدا کرد میزان افزایش در قطر هاله بیشتر بود، برای مثال (جدول ۱) قطر هاله برای نمونه با ppm ۱۰۰۰ نانونقره در محیطی که باسیلوس سرئوس وجود داشت ۱۷/۹۳ میلی متر گزارش شد که با افزایش نانونقره به ppm ۴۰۰۰ قطر هاله به ۱۹/۷ میلی متر رسید. فیلم‌های ساخته شده از پلی وینیل الکل خالص و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز خالص خاصیت ضد میکروبی نداشتند و در محدوده زیر فیلم میکروب‌ها رشد کردند. لذا طبق نتایج حاصل، فیلم‌های حاوی نانونقره دارای این ویژگی بودند که از رشد باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی جلوگیری نمایند و با نتایج حاصل از مطالعه اثر نانو نقره بر فیلم نانو کامپوزیتی کیتوزان و نشاسته، مشابه بود [۱۵].

جدول ۱ قطر هاله (میلی متر) برای فیلم‌های پلی وینیل الکل - هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با محتوای ۲۰٪ هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و مقادیر مختلف از نانونقره

گونه باکتری ها			
اشرشیاکلی	استافیلوکوکوس اورئوس	باسیلوس سرئوس	غلظت نانونقره (ppm)
۰ ± ۰ ^c	۰ ± ۰ ^d	۰ ± ۰ ^d	پلی وینیل الکل
۰ ± ۰ ^c	۰ ± ۰ ^d	۰ ± ۰ ^d	هیدروکسی پروپیل متیل سلولز
۰ ± ۰ ^c	۰ ± ۰ ^d	۰ ± ۰ ^d	۱۰۰۰
۱۸/۸۶ ± ۰/۲۳ ^b	۱۸/۰۶ ± ۰/۱۱ ^c	۱۷/۹۳ ± ۰/۳ ^c	۲۰۰۰
۱۹/۵۳ ± ۰/۵۰ ^b	۱۸/۸۶ ± ۰/۲۳ ^b	۱۸/۷۳ ± ۰/۲۳ ^b	۴۰۰۰
۲۱/۰۳ ± ۰/۵۵ ^a	۱۹/۷۳ ± ۰/۲۳ ^a	۱۹/۷۰ ± ۰/۴۳ ^a	

مدول یانگ باعث استحکام بیشتر فیلم‌های تولیدی گردید. به گونه‌ای که برای فیلم‌های پلی وینیل الکل-هیدروکسی پروپیل متیل سلولز مقاومت کششی و مدول یانگ بیشتری نسبت به زمانی که پلی وینیل الکل خالص وجود داشت گزارش شد. افزودن هیدروکسی پروپیل متیل سلولز نفوذپذیری به رطوبت را کاهش داد. بعد از افزودن نانونقره به فیلم‌های با محتوای ۲۰٪ هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، نانو کامپوزیت پلی وینیل

داشت. مثلا در شکل ۱۲ میزان جذب آب برای فیلم‌های بدون نانو نقره ، ۹۹/۷ درصد و برای فیلم با ۲۰۰۰ppm نانو نقره ۷۸/۸۱ درصد شد.



شکل ۱۲ تاثیر میزان هیدروکسی پروپیل متیل سلولز بر جذب آب فیلم‌های پلی وینیل الکل- هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با محتوای ۲۰ درصد هیدروکسی پروپیل متیل سلولز حاوی مقادیر مختلف نانونقره (۰-۴۰۰۰ppm)

*حروف کوچک متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار آماری در سطح ۹۵٪ بین تمامی نمونه‌ها می‌باشد.

۵- نتیجه گیری کلی

برخی پلیمرها دارای خصوصیات بهتری نسبت به پلیمرهای دیگر بوده و می‌توانند به عنوان فاز تقویت کننده به پلیمر دیگر اضافه شوند. در این مطالعه هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به عنوان فاز تقویت کننده و با نسبت‌های ۰ تا ۴۰ درصد به پلی وینیل الکل اضافه شد و باعث بهبود خواص پلی وینیل الکل گردید. افزودن هیدروکسی پروپیل متیل سلولز با افزایش مقاومت کششی و

- plasticizer on physico-chemical and antimicrobial properties of hydroxypropyl methylcellulose films. *Carbohydrate Polymers*, 81, 219–225.
- [8] Cheng Q. and Wang S. (2008). A Method for Testing the Elastic Modulus of Single Cellulose Fibrils via Atomic Force Microscopy Part A, *Composites*, 39, 1838-1843.
- [9] Osorio, F., Molina, P., Matiacevich, S. (2011). Characteristics of hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC) based edible film developed for blueberry coatings. *Procedia food science*, 1, 287_293
- [10] Sebti, I., Chollet, E., Degrave, P. (2010). Water Sensitivity, Antimicrobial, and Physicochemical Analyses of Edible Films Based on HPMC and/or Chitosan. *Food Sci. Technol*, 38 (8), 859-865.
- [11] Salleh, E., Muhamad, I., Khairuddin, N. (2007). Preparation, characterization and antimicrobial analysis of antimicrobial starch-based film incorporated with chitosan and lauric acid. *Asian Chitin Journal*, 3, 55–68.
- [12] Brody, A., Bugusu, B., Han, J.H., Sand, C.K., Machugh, T.H. (2008). Inovative food packaging solutions. *Journal of Food Science*, 73, 107-116.
- [13] karimzade, F., salemizade, S. (2007). Nano-materials, properties, production and use. Isfahan University Publishers.
- [14] Moura, M.R.D., Mattoso, L.H.C., Zucolotto, V. (2012). Development of cellulose-based bactericidal nanocomposites containing silver nanoparticles and their use as active food packaging. *Journal of Food Engineering*, 109, 520-524.
- [15] Yoksan, R., Chirachanchai, S. (2010). Silver nanoparticle-loaded chitosan–starch based films: Fabrication and evaluation of tensile, barrier and antimicrobial properties. *Materials Science and Engineering*, 30, 891-897.
- [16] Standard Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, Annual Book of ASTM, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, D882-91, 1996.
- [17] Standard test methods for water vapor transmission of material, Annual book of ASTM, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, E96-95, 1995.
- [18] Kulinski, Z., Piorkowska, E. (2005). الکل_هیدروکسی پروپیل متیل سلولز حاوی نانونقره تولید شد. افزودن نانونقره در غلظت بالا یعنی ۴۰۰۰ ppm باعث افزایش در مدول یانگ و مقاومت کششی گردید و به عبارتی باعث تقویت فیلم‌ها شد و مقاومت کششی و مدول یانگ برای فیلم‌های با نانونقره بیشتر از فیلم‌های بدون نانونقره گزارش شد. اما افزودن نانونقره در این غلظت تأثیر منفی روی نفوذپذیری به رطوبت فیلم‌ها داشت؛ به گونه ای که نفوذپذیری با افزودن ۴۰۰۰ ppm نانو نقره افزایش یافت. در غلظت ۲۰۰۰ ppm کمترین میزان نفوذپذیری و جذب آب مشاهده شد. همچنین وجود نانونقره در فیلم‌های تولیدی باعث ایجاد خاصیت ضد میکروبی در آن‌ها شد و فیلم‌های حاوی نانونقره دارای این ویژگی بودند که از رشد باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی جلوگیری نمایند.
- ## ۶- منابع
- [1] Marsh, K., Bugusu, B. (2007). Food packaging-roles, materials and environmental issues. *Journal of Food Science*, 72, 39-55.
- [2] Koh, H.C., Park, J.S., Jeong, M.A., Hwang, H.Y., Hong, Y.T., Ha, S.Y., Nam, S.Y. (2008). Preparation and gas permeation properties of biodegradable polymer/layered silicate nanocomposite membranes. *Desalination*, 233, 201–209
- [3] Pandey et al. (2005). Phase separation and polymer interactions in aqueous poly(vinyl alcohol)/hydroxypropyl methylcellulose blends. *Polymer*, 34, 1240-1248.
- [4] Suppakul, P.J., Miltz, K., Sonnereld, S.W. (2003). Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial and its applications. *Journal of Food Science*, 68(2), 408-420.
- [5] Roohani M., Habibi Y., Belgacem N.M., Ebrahim Gh. Karimi A.N., and Dufresne A., Cellulose Whiskers Reinforced Polyvinyl Alcohol Copolymers Nanocomposites, *Eur. Polym. J*, 44, 2489-2498, 2008.
- [6] Cho M.S., Choi S.H., Nam J.D., and Lee Y. (2004). Preparation and Mechanical Properties of Nanocomposite of Cellulose Diacetate /Mentmorillonite, *Polymer (Korea)*, 28, 551-555.
- [7] Imran, M., El-Fahmy, S., Revol-Junelles, A.M., Desobry, S. (2010). Cellulose derivative based active coatings: Effects of nisin and

- 99, 377-383.
- [26] Farahnaky, A., Dadfar, S.M.M., Shahbazi, M. (2014). Physical and mechanical properties of gelatin-clay nanocomposite. *Journal of Food Engineering*, 122, 78-83.
- [27] Vardharajula et al., (2012). Using HPMC to improve crust crispness in microwave-reheated battered mackerel nuggets: Water barrier effect of HPMC. *Food Hydrocolloids*, 22, 1337-1344.
- [28] Sanchez-Garcia et al., (2010). *Compos. Sci. Technol.*, 70, 1095 (2010).
- [29] Changdao, M., Jimin, G., Xinying, L., Wei, L., Defu, L. (2012). Preparation and properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatin edible films. *Food Hydrocolloids*, 27, 22-29
- [30] Srinivasa, P. C., Ramesh, M. N., Kumar, Tharanathan, R. N. (2003). Properties and sorption studies of chitosan-polyvinyl alcohol blend films. *Carbohydrate Polymers*, 52, 431-438.
- [31] Dadfar, S.M.R., Ramezani, A., Dadfar, S.M.A. (2008). Investigation of Oxygen Barrier Properties of Organoclay/HDPE/EVA Nanocomposite Films Prepared Using a Two-Step Solution Method. *Polymer Composites*, 2, 812-819.
- [32] Rujitanaroj, P.O, Pimpha, N., Supaphol, P. (2008). Wound-dressing materials with antibacterial activity from electrospun gelatin fiber mats containing silver nanoparticles. *Polymer*, 49, 4723-4732.
- [33] Orozco, V.H., Kozlovskay, V., Kharlampieva, E., López, B.L., Tsukruk, V.V. (2010). Biodegradable self-reporting nanocomposite films of poly(lactic acid) nanoparticles engineered by layer-by-layer assembly. *Polymer*, 51, 4127-4139.
- Crystallization, structure and properties of plasticized poly (L-lactide). *Polymer*, 46, 10290-10300.
- [19] Kołodziejska, I., Piotrowska, B. (2007). The water vapour permeability, mechanical properties and solubility of fish gelatin-chitosan films modified with transglutaminase or 1-ethyl-3-(3-dimethylaminopropyl) carbodiimide (EDC) and plasticized with glycerol. *Food Chemistry*, 103, 295-300.
- [20] Angles M.N. and Dufresne A., Plasticized Starch/Tunicin Whiskers Nanocomposites. 1. Structural Analysis, *Macromolecules*, 33, 8344-8353, 2000.
- [21] Dadfar, S.M.A., Alemzadeh, I., Dadfar, S.M.R., Vosoughi, M. (2011). Studies on the oxygen barrier and mechanical properties of low density polyethylene/organoclay nanocomposite films in the presence of ethylene vinyl acetate copolymer as a new type of compatibilizer. *Materials and Design*, 32, 1806-1813.
- [22] Ramaraj et al. (2006). Ternary PVA nanocomposites containing cellulose nanocrystals from different sources and silver particles. *Carbohydrate Polymers*, 97, 837-848.
- [23] Lin, L.H., Liu, H.J., Yu, N.K. (2007). Morphology and thermal properties of poly (L-lactic acid)/organoclay nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 106, 260-266.
- [24] Galdeano, M., Mali, S., Grossmann, M.V., Yamashita, F., Garcia, M.A. (2009). Effects of plasticizers on the properties of oat starch films. *Materials Science and Engineering C*, 27, 22-29
- [25] Martuccia, J.F., Ruseckaite, R.A. (2010). Biodegradable three-layer film derived from bovine gelatin. *Journal of Food Engineering*,

Production of polyvinyl alcohol-hydroxy propyl methylcellulose composites containing silver nanoparticles and investigating its physicochemical and antimicrobial properties.

Rostami Abolvardi, F.¹ Niakosari, M.^{2*}, Dadfar, SMM.³

1-M.sc in food science & engineering, booshehr kherad university

2-Associate Professor of food science & engineering, shiraz university

3-M.sc in food science & engineering, shiraz university

(Received: 94/6/7 Accepted: 94/9/12)

Packing is a necessary steps to preserve the organoleptic, nutritional and Sanitary properties of food from production to consumption. Accumulation of irresolvable synthetic material Especially different types of packaging materials in nature In recent years has caused in recent years the use of biodegradable polymers strongly considered. In this study, possibility of Production of combining PVA and HPMC and their properties were studied. Finally, nano-composite films based on 80% PVA, and 20% HPMC contenting of the 1000, 2000 and 4000 ppm nanosilver were produced. Then characterization such as tensile, water vapor permeability, water uptake and were addition of Hydroxy Propyl Methyl Cellulose Improve the properties of films such as decrease water uptake, water vapor permeability and increase their strength and tensile strength. By addition of 2000 ppm nano silver to the film in some cases such as water vapor permeability, tensile strength, Young's modulus there was no Significant difference between the films with and without nano-silver. The nanocomposite films with high concentrations of nano-silver (4000 ppm) decrease the Young's modulus and tensile strength, In other words, leads to weakening the produced films. At high concentrations of nano-silver water vapor permeability increased. The antibacterial properties of nanocomposite films were evaluated by measuring the diameter of inhibition zone in a disk diffusion test against Escherichia coli (E. coli), Staphylococcus aureus (S. aureus), and Bacillus cereus (B. cereus).

Keywords: Nano-silver, Water vapor permeability, Mechanical properties, Nano-composite, Antibacterial.

*Corresponding Author E-Mail Address: mehrnia2012@yahoo.com