



ارزیابی ویژگی‌های رئولوژی پوشش نانوکامپوزیت (پلی لاکتیک اسید و کیتوزان) طی زمان ماندگاری در نان تست هفت غله

معصومه یوسفی سیاهگورابی^۱، مهساتبری^{۲*}، حمید توکلی پور^۳، سیروس بیدریغ^۴

۱. دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی-شیمی مواد غذایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. گروه علوم و صنایع غذایی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۳. گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال.

۴. گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۲۹

کلمات کلیدی:

پلی لاکتیک اسید،

اکسید روی ،

کیتوزان،

نان هفت غله،

نانوذرات،

نانوکامپوزیت.

DOI: 10.22034/FSCT.20.139.61

DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.139.4.8

* مسئول مکاتبات:

tabari@iaurasht.ac.ir

امروزه بحث بسته بندی مواد غذایی به منظور ارتقا کیفیت مواد غذایی طی زمان نگهداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش، استفاده از فیلم و روکش نانوکامپوزیت بر پایه پلی لاکتیک اسید و کیتوزان حاوی نانو ذرات اکسید روی، به منظور کاهش آلودگی میکروبی و افزایش ماندگاری نان هفت غله مورد بررسی قرار گرفت. نانوذرات اکسید روی در سه سطح ۱، ۳ و ۵ درصد به نانوکامپوزیت پلی لاکتیک اسید و کیتوزان افزوده شد و خواص کیفی نان، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی فیلم، همچنین ویژگی‌های میکروسکوپ الکترونیکی (SEM) آن مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد، فیلم های حاوی پلی لاکتیک اسید و کیتوزان، دارای ساختار نامنظم و فشرده هستند و با افزودن نانوذرات اکسید روی، ساختار منظم و منسجم‌تر گردید بعلاوه نفوذپذیری بخار آب (WVP) فیلم و روکش نانوکامپوزیت در فیلم های دارای نانو ذرات اکسید روی در سطح ۳ درصد، سبب افزایش نفوذ پذیری به بخار آب در سطح معنی دار شد ($P < 0.05$). نتایج حاصل از دستگاه بافت سنجی نشان داد، با افزایش غلظت نانو ذرات، استحکام کششی فیلم و روکش نانوکامپوزیت به طور معنی داری کمتر از تیمار شاهد بود ($P < 0.05$). تغییرات طول تا نقطه شکست، از نقطه نظر آماری اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ($P > 0.05$). تاثیر فیلم نانوکامپوزیت بر پایه پلی لاکتیک اسید و کیتوزان حاوی نانوذرات اکسید روی بر خصوصیات میکروبی نان تست در طی زمان ماندگاری، دارای اثر مهارکنندگی بر رشد قارچ بود بعلاوه این مهارکنندگی با افزایش غلظت نانو ذرات اکسید روی، به طور معنی داری افزایش می یابد ($P < 0.05$). در نهایت می‌توان نتیجه گرفت، مدت زمان ماندگاری نان تست هفت غله برش داده شده در بسته‌بندی نانوکامپوزیت بر پایه پلی لاکتیک اسید و کیتوزان، حاوی نانوذرات اکسید روی، در مقایسه با تیمار شاهد افزایش قابل توجهی خواهد داشت.

۱-مقدمه

در دنیای امروزی گندم به عنوان یک ماده غذایی اساسی و مهم شناخته شده است که از نظر سیاسی اهمیت آن هم تراز و برابر نفت است. امروزه حدود ۶۰ درصد مزارع جهان به کشت غلات اختصاص دارد که از این مقدار ۳۴ درصد به گندم و چاودار ۹-۱۱ درصد به جو و یولاف و بقیه به برنج و ذرت اختصاص یافته است [۱]. نان به عنوان قذیمی ترین و مهمترین غذا در سبد غذایی خانوارها جایگاه ویژه ای را به خود اختصاص داده است [۲]. با افزایش جمعیت و کاهش منابع غذایی، نگهداری این محصول نقش مهمی در کاهش افت غذایی آن دارد [۳]. عموماً بسته بندی فعال شامل برهمکنش بین غذا، ماده بسته بندی و اتمسفر گازی داخل بسته است که علاوه بر داشتن شرایط بسته بندی، ایمنی و ماندگاری مواد غذایی را بدون تغییر در کیفیت آن افزایش می دهد [۴]. همچنین قادرند از طریق انتشار مواد ضد میکروبی از ماتریکس پلیمری به سطح ماده غذایی نفوذ کرده و از رشد میکروارگانیسم های مخرب جلوگیری بعمل آورد [۵]. امروزه استفاده از نانو کامپوزیتها در صنعت بسته بندی مواد غذایی بدلیل اندازه کوچک حدود (۱۰۰-۱ نانومتر) منجر به افزایش کشش سطحی و کاهش میزان فیلم مورد نظر در بسته بندی، افزایش ویژگی های ممانعت کنندگی در مقابل نفوذ O_2 ، CO_2 و UV، رطوبت، ترکیبات فرار، شناسایی مواد غذایی و حذف طعم های نامطلوب مورد استفاده قرار می گیرد [۶]. پلی لاکتیک اسید به خانواده پلی استرهای آلیفاتیک با استحکام زیاد و مواد اولیه آنها از منابع تجدیدی پذیر نظیر سیب زمین و ذرت تولید می شود؛ معرفی نمود [۷]. این پلیمر زیست تخریب پذیر به راحتی در دستگاههای پلاستیک استاندارد قالب گیری می شود [۸ PLA]. بدلیل تر و شکننده بودن می توان با استفاده از نرم کننده های مناسب، ترکیب با سایر پلیمرها، بهینه سازی شرایط تبلور و استفاده از افزودنی های مناسب

با هدف بهبود آن اقدام نمود [۹]. کیتوزان (CH) با تشکیل پیوند قوی بین گروههای کربوکسیل و آمین قادرند ترکیبی مناسب جهت بسته بندی مواد غذایی ارائه دهند. لذا محققان در بررسی که بر روی نان حاوی سدیم پروپیونات، کلسیم استات و پتاسیم سوربات به منظور جلوگیری از رشد میکروارگانیسم ها و اثرات مثبت ماندگاری انجام دادند به این نتایج دست یافتند که پس از ۶۰ روز نگهداری ترکیبات فوق بر روی طعم فرآورده نهایی اثر گذاشت [۱۰]. در پژوهشی دیگر که بر روی بسته بندی حاوی PLA و پلی کربونات انجام گرفت نشان داد که ویژگی های ممانعت کنندگی در این مخلوط نسبت به PLA بر روی ماده غذایی روند افزایشی دارد [۱۱]. طی مطالعه ای که بر روی نانوذرات مونت موریلونیت در بسته بندی نشاسته صورت پذیرفت نشان داد که ترتیب مذکور در بسته بندی فعال سبب افزایش خصوصیات مکانیکی و ساختاری محصول می شود [۱۲]. در بررسی محققان اذعان داشتند که نانوذرات مس و نقره در تهیه فیلم بسته بندی مواد غذایی نسبت به بسته بندی حاوی نانو نقره بر روی ماندگاری محصول اثر بیشتری نسبت به نانوذرات مس دارد [۱۳]. Mihaly Cozmuta و همکاران در مطالعه ای بیان کردند افزودن ویتامین C به نان و بسته بندی نانو کامپوزیت های نقره، اکسید روی و پلی اتیلن سبب افزایش مدت ماندگاری نان در بسته بندی نانو ذرات اکسید روی بیشترین بود [۱۴]. در بررسی های متعدد انجام گرفته توسط پژوهشگران که بر روی فیلم های سلولز استات، متیل سلولز، پلی اتیلن و ... بر روی مدت زمان ماندگاری نان انجام شد؛ نشان داد فیلم های سلولز استات متیل سلولز با میخک و روغن های ضروری ارگانیک و ترکیب پلی اتیلن نقره و تیتانیوم دی اکسید سبب افزایش مدت زمان نگهداری نان نسبت به بسته بندی معمولی است [۱۶، ۱۵، ۷]. از آنجا که فرآورده نان فاقد بسته بندی تا چند ساعت پس از پخت تازه می مانند که دلیل آن به کاهش کیفیت نان بیانی و رشد

خواص مکانیکی و میکروبی شد [۳]. Pantani و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی اذعان داشتند فیلم‌های نانوکامپوزیت PLA با خصوصیات چند منظوره به عنوان مواد زیستی بسته‌بندی مورد توجه صنایع غذایی قرار گرفته است. امروزه فیلم‌های مدرن نانوکامپوزیت PLA-ZnO با مذاب شدن PLA با نانوذرات میله‌ای ZnO 5/0-3 درصد تولید و برای بدست آوردن پراکندگی بهتر و محدود کردن کاهش جرم مولکولی PLA، خصوصیات مورفولوژی، مولکولی، حرارتی-مکانیکی و انتقال بخار آب به فیلم‌های-PLA ZnO با توجه به PLA مورد بررسی قرار گرفت. طبق DSC و XRD مشاهده شد که فیلم‌های تولید شده اساساً بی شکل بودند و تغییرات حاصله در خواص نفوذ PLA به شدت به دما و بارگذاری نانوپرکننده بستگی دارد. همچنین مشاهده شد که نانوذرات ZnO به خوبی در ماتریس پلی استر سبب افزایش پیچ خوردگی مسیر انتشار مولکول‌های نافذ می‌شود. نانوکامپوزیت‌ها در برابر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی فعال هستند که در این بررسی فعالیت ضد باکتریایی آن پس از گذشت ۷ روز نشان داده شد. همچنین محققان اذعان داشتند با در نظر گرفتن خواص چند منظوره نانوکامپوزیت‌های PLA-ZnO، فیلم‌های تولید شده توسط اکستروژن می‌توان از آن به عنوان جایگزین مطلوبی به عنوان مواد بسته‌بندی سازگار با محیط زیست می‌توان به جامعه معرفی نمود [۲۰]. در این مطالعه با هدف بررسی فیلم و روکش‌های حاوی پلی لاکتیک اسید و کیتوزان حاوی نانوذرات اکسید روی بر اساس درصدهای ۱، ۳ و ۵ درصد بر روی نان هفت غله می‌توان آن را جایگزین مطلوبی برای بسته‌بندی‌های نان معرفی نمود.

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش مواد اولیه نظیر پلی لاکتیک اسید (PLA) از شرکت Nature Workllc کیتوزان (CH) از شرکت Sigma Aldrich، گلیسرول (امولسی فایر) از شرکت Merck، نانو

میکروارگانیزم‌ها آن بر می‌گردد. لذا روش‌های نوین بسته‌بندی با هدف افزایش ماندگاری نان و کاهش رشد میکروارگانیزم‌ها می‌تواند در صنعت نان از اهمیت بالایی برخوردار باشد. لذا استفاده از نانوذرات در بسته‌بندی مواد غذایی سبب بهبود عمر ماندگاری نان و کیفیت نان می‌شود [۱۷]. در تحقیقی محققان لایه‌های کامپوزیتی نانو اکسید روی/پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE) را از طریق مخلوط مذاب و فرآیند قالب‌گیری فشرده‌سازی گرم تهیه و خواص مکانیکی، ضدباکتریایی و رفتار پلاستیک‌سازی کامپوزیت‌ها را مورد بررسی قرار دادند و به این نتایج دست یافتند که جذب در ناحیه فرابنفش لایه‌های HDPE پس از افزودن نانو اکسید روی اصلاح‌شده به ماتریس HDPE افزایش یافت. همچنین سبب بهبود استحکام کششی و ازدیاد طول در لایه‌های HDPE با ترکیب نانوذرات ZnO اصلاح‌شده به میزان ۵/۰ درصد وزنی در مقایسه با فیلم‌های کامپوزیت اصلی نانو ZnO/HDPE شد. نتایج ضدباکتری این بررسی حاکی از آن بود که فیلم‌های HDPE با نانوذرات ZnO اصلاح‌شده بر روی خاصیت ضدباکتریایی استافیلوکوکوس اورئوس اثر مطلوب داشت [۱۸]. محققان در پژوهشی که بر روی بسته‌بندی نان حاوی لایه‌های نانوکامپوزیت و نانولوله‌های کربنی چند جداره LDPE / (MWCNT) انجام دادند به این نتایج دست یافتند با افزایش مقدار نانولوله‌های کربنی، خواص بازدارندگی تغییر و نفوذپذیری اکسیژن و آب در نانوکامپوزیت نسبت به نمونه شاهد کاهش و سخت شدن نان را به تعویق انداخت. از طرفی دیگر خاصیت ضدباکتریایی نانو لوله‌های کربنی چند جداره و سطوح پایین اکسیژن سبب کاهش سرعت رشد کپک شد [۱۹]. طی گزارشاتی که محققان بر روی بسته‌بندی فیلم کیتوزان و کربوکسی متیل سلولز با ZnO انجام دادند؛ مشاهده کردند که ترکیبات فوق سبب جلوگیری از رشد میکروبی در فرآورده نهایی شد. همچنین نشان دادند که افزودن اولئیک اسید به مخلوط کیتوزان و کربوکسی متیل سلولز سبب بهبود

ذرات ZnO با اندازه کمتر از ۲۵ نانومتر از شرکت Sigma Aldrich و سایر مواد شیمیایی با درصد خلوص آزمایشگاهی آزمایشگاهی خریداری شد.

۱-۲- تهیه فیلم و روکش

به منظور تهیه فیلم با نسبت ۱:۱ کیتوزان (CH) و پلی لاکتیک اسید (PLA) به میزان ۰/۲ گرم در ۵۰ میلی لیتر آب اسیدی (۰/۵ درصد استیک اسید) حل شد و پس از تنظیم سود در pH=۶/۸؛ پودر ZnO NPs با مقادیر مختلف ۱، ۳ و ۵ درصد در ۵۰ میلی لیتر آب حل و پس از قرار گرفتن در حمام اولتراسونیک، ۰/۲ گرم پلی لاکتیک اسید افزوده و به مدت یکساعت با همزن مخلوط شد. در ادامه به محلول حاصل امولسیون افزوده و پس از ۱۵ دقیقه به منظور افزایش قابلیت انعطاف و نرم کنندگی فیلم همزده می شود. در خاتمه ۵۰ میلی لیتر از هر محلول در ظرف های پتری به قطر ۹ سانتیمتر در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی صفر درصد به مدت ۷۲ ساعت خشک شد. به منظور تهیه روکش همانند روش تهیه فیلم آماده سازی انجام شد. سپس سوسپانسیون های تهیه شده توسط اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ دقیقه استریل شد. سپس ۵۰ میلی لیتر از هر سوسپانسیون توسط قلم موی استریل بر روی برش های نان سطح آنرا آغشته کرده و به مدت یکساعت در زیر دستگاه تهویه تحت عمل خشک کردن قرار داده شد.

۲-۲- نفوذپذیری بخار آب (WVP)

آزمون نفوذپذیری بخار آب از طریق روش اصلاح شده کاپ گراومتری استاندارد ملی آمریکا به شماره ASTM E96-05 به منظور تعیین میزان نفوذپذیری در فیلم ها صورت گرفت. در این آزمون کاپ ها با آب پر شده و هوا حدود ۱/۵ سانتیمتر بین سطح فیلم و آب قرار گرفت. فیلم های بریده شده به اندازه دهانه کاپ به کمک خمیر بازی بر

روی کاپ نگه داشته شدند و پس از اندازه گیری وزن اولیه کاپ ها در درون دسیکاتور قرار گرفت و پس از طی هر ۲ ساعت یک بار نمونه ها توزین شد بر اساس نمودار وزن بدست آمده در مقابل زمان [۲۳]، به منظور تعیین (WVTR) استفاده شد. لازم به ذکر است شیب قسمت خطی این نمودار نشان دهنده مقدار حالت پایدار نفوذ بخار آب در بین فیلم در واحد زمان (WVTR) (g/h) بر اساس گرم بر مترمربع در هر روز است. رگرسیون که از طریق فرمول ذیل میزان آن محاسبه می شود بدین صورت که دامنه ضرایب ۰/۹۹ درصد یا بالاتر بدست آمده (WVP) فیلم توسط ضرب کردن (WVTR) در ضخامت متوسط فیلم و تقسیم آن بر فشار بخار آب در سطح فیلم محاسبه می شود که در این فرمول P: فشاربخار اشباع سازی آب بر حسب پاسکال در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، صفر RH1: 97؛ RH2: ؛ t: ضخامت لایه است [۱۴].

$$WVP = \frac{WVTR \times t}{P(RH2 - RH1)} \quad (1)$$

۳-۲- نفوذپذیری به اکسیژن

در آزمون اندازه گیری نفوذپذیری فیلم ها که توسط MoconOxtran 2/21 انجام گرفت و با استفاده از نرم افزار نفوذپذیری WinPermTM از طریق روش استاندارد ASTM D3985-05 نفوذپذیری به اکسیژن مورد سنجش قرار گرفت. در این بخش پوشش های آلومینیوم در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، فشار اتمسفری و رطوبت نسبی ۵۰ درصد (RH) با ۲۱ درصد گاز اکسیژن فضای باز ۵ سانتیمتر مربع بر روی یک سل دیفوزیون قرار گرفتند. آزمون در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، فشار اتمسفری و رطوبت نسبی ۵۰ درصد (RH) با ۲۱ درصد گاز اکسیژن به عنوان تست گاز انجام شد. لازم به ذکر است که اکسیژن

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

۶-۲- آزمون ازدیاد طول تا نقطه شکست

آزمون ازدیاد طول تا نقطه شکست که واحد آن درصد است که این نسبت جابجایی به طول اولیه نمونه است. بیشترین تغییر طول به طول اولیه، انعطاف‌پذیری فیلم را بررسی می‌کند (چند درصد طول می‌تواند کش بیاید ولی پاره نشود). که در آن L جابجایی (میلیمتر) و L_0 طول اولیه (میلیمتر) کشیدگی در نقطه شکست به صورت درصد نسبی است که مقیاسی از انعطاف‌پذیری فیلم‌ها است [۲۱].

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \times 100 \quad (4)$$

7. آزمون مدول یانگ

مدول یانگ برابر است با شیب در ناحیه خطی منحنی تنش-کرنش (نسبت تنش کششی به کرنش کششی) بیانگر میزان سختی فیلم‌ها است و بر این اساس ویژگی‌های مکانیکی در هر شکست مشخص می‌شود [۵].

۸-۲- محتوی رطوبت و فعالیت آبی (aw) برش‌های نان روکش دار

محتوی رطوبت برش‌های نان روکش دار با فرمول مختلف در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد پس از خشک کردن در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت [۲۳].

۹-۲- تعیین میزان سفتی

در آزمون سفتی نان مطابق با استاندارد AACC 74-09 نان روکش دار با استفاده از آزمایش نفوذ و دستگاه بافت سنج

منتقل شده از میان فیلم‌ها با استفاده از حمل کننده گاز (N₂/H₂) به سنسورهای کالریمتریک عبور یافت و حمل کننده خارجی در هر ساعت ۱ بار به منظور رسیدن به حالت پایدار انتقال اکسیژن به صورت همگرا اندازه گیری و ضریب نفوذپذیری آن (cc-μm/(m² day atm) بر اساس نرخ انتقال اکسیژن در حالت ثابت با در نظر گرفتن ضخامت فیلم محاسبه شد [۲۱].

۴-۲- میکروسکوپ الکترونی (SEM)

در بررسی ریز ساختارهای روکش دار توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی به منظور تاثیر نانو ذرات بر روی ریزساختارها با استفاده از روش SEM در یک Quanta 200، نمونه‌ها تحت خلا پایین و در فاصله ۱۰-۱۲ میلیمتر مورد بررسی قرار گرفتند. سپس به منظور بررسی کدری میزان عبور نور از داخل لایه‌ها (۴۰ × ۱۰) میلیمتر از طیف سنج UV-VIS؛ کدری لایه‌ها بررسی و میزان آن از طریق فرمول زیر محاسبه شد [۲۲].

$$A_{600}/t = \text{کدری} \quad (2)$$

۵-۲- آزمون مقاومت به کشش

آزمون مقاومت به کشش در واحد MPa بیان می‌شود. نیروی لازم برای پارگی (گسیختگی) قسمتی از نمونه را اندازه‌گیری می‌کند. بیشترین نیرویی که سبب گسیختگی جسم می‌شود تقسیم بر سطح مقطع نمونه، نشان دهنده قدرت کششی فیلم (مقاومت فیلم) است. که در آن F نیرو بر حسب نیوتن و A مساحت قسمتی از فیلم که مورد آزمون قرار می‌گیرد (ضخامت × عرض در میلیمتر مربع).

اینستران انجام شد. سپس نان در اندازه های یکسان با ابعاد ۵×۵ سانتیمتر بر روی صفحه نگهدارنده قرار گرفت و پراب با سرعت ۳۰ میلیمتر در دقیقه به میزان ۴ میلیمتر فشرده که حداکثر فشردگی اعمال شده بر روی بافت نان (سفتی نان) در ۳ تکرار انجام شد [۲۴].

۱۰-۲- تهیه سوسپانسیون های قارچی

برای تهیه سوسپانسیون اسپرژیلوس نایجر از موسسه تحقیقات علمی و صنعتی ایران خریداری و مطابق با روش Balaguer و همکاران (۲۰۱۳) تهیه و هاگ ها آن مورد شمارش قرار گرفت و همچنین میزان غلظت سوسپانسیون قارچی 10^6 cfu/ml تنظیم شد [۱۵].

۱۱-۲- تعیین ویژگی های ضدقارچی فیلم های فعال در نان تست هفت غله

در برش های نان تست هفت غله از کارخانه تولید نان حجیم و نیمه حجیم صنعتی "سه نان" خریداری شد که ترکیبات شیمیایی آن شامل (آرد گندم، آرد جو، آرد چاودار، جو پرک، دانه آفتابگردان، کنجد، تخم کتان، سیاهدانه، آب، روغن کانولا، شکر، گلوتن گندم، مخمر و نمک) بود که در این سنجش برش نان همراه با سوسپانسیون اسپرژیلوس نایجر در داخل انکوباتور در سه نقطه به میزان ۵ میکرولیتر کشت داده شد 10^6 cfu/ml ، در ادامه به همان تعداد نان بدون کشت قارچی در مکانی نگهداری تا پس از زمان مناسب مورد ارزیابی قرار گیرد. نمونه های کشت قارچی و کشت نشده در کیسه های پلی اتیلنی بسته بندی شدو به مدت ۲ ماه نگهداری شد.

۱۲-۲- تعیین ویژگی های ضدقارچی روکش های فعال در نان تست هفت غله

پس از تهیه برش های نان روکش دار، تیمار مورد نظر در داخل کیسه های پلی اتیلنی به مدت ۱۵ روز در دمای ۲۵ درجه نگهداری شدند و برای شمارش تعداد مخمرها و کپک ها با استفاده از روش Otani (2014) تعداد آنها مورد شمارش قرار گرفتند. بدین صورت که ۱۰ گرم از نان در داخل فلاسک حاوی ۹۰ میلی لیتر سرم فیزیولوژیک افزوده و تحت شرایط استریل با دور rpm260 به مدت ۵ دقیقه مخلوط شد. مواد رقیق شد و در داخل ظرف پتری حاوی محیط کشت Dg18 کشت داده و پتری دیش ها به مدت ۵ روز در انکوباتور ۲۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت. سپس تعداد کپک و مخمر بر اساس مقیاس لگاریتمی (log cfu/g) نشان داده شد [۱۶].

۱۳-۲- تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش نتایج بدست آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار با استفاده از نرم افزار SPSS ، ANOVA؛ از طریق آزمون چند دامنه ای توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. نمودارهای مربوط داده ها با استفاده از نرم افزار Excel ۲۰۱۶ رسم شدند.

۳- نتایج و بحث

۱-۳- نفوذپذیری بخار آب (WVP)

عموما نفوذپذیری بخار آب با هدف بررسی انتقال رطوبت داخل فیلم مورد استفاده قرار می گیرد، لذا اثر تبادل رطوبت بین ماده غذایی و هوای اطراف بر ماندگاری و کیفیت ماده غذایی اثرات مطلوبی بر جا می گذارد [۲۵]. نتایج نفوذپذیری فیلم های پلی لاکتیک اسید-کیتوزان-نانوذرات اکسید روی در سطح (۱، ۳ و ۵ درصد) به صورت ترکیبی

از ماتریکس متخلخل فیلم قرار گرفته و آنرا پر کند لذا سبب از دست دادن رطوبت می شود و زمانیکه نانو ذرات در پلیمر وجود دارند ملکول آب نسبت به ترکیب خالص پلیمر مسیر پیچیده تری را طی می کند [۲۶]. همچنین اذعان داشتند فیلم حاوی ZnO قادر است ملکول های آب بیشتری را در سیستم بسته بندی نگه دارد، به همین منظور عمر مفید نگهداری مواد غذایی افزایش می یابد که این نتایج با نتایج این بررسی همخوانی داشت. محققان در بررسی به این نتیجه دست یافتند با توزیع یکنواخت نانوذرات در ترکیبات و ایجاد پیوند بین نانوساختار و بیوپلیمر سبب ایجاد شبکه متراکم و کاهش نفوذپذیری بخار آب می شود [۲۷].

در جدول ۱ نشان داده شده است. این نتایج نشان داد که با عبور بخار آب از میان فیلم که به انحلال و قابلیت پخش شدن مولکول های آب در شبکه پلیمری بستگی دارد. ترکیب پلی لاکتیک اسید و کیتوزان با افزودن ZnO NPs، WVVP در لایه های کامپوزیتی به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافت و با افزایش مقدار ZnO NPs این کاهش چشمگیر تر بود. همچنین نتایج تجزیه واریانس این بررسی نشان داد که متغیرهای مور بررسی بر روی تیمارها اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد دارد ($p > 0.05$). طی گزارشاتی که محققان انجام دادند بیان کردند نانوذرات به دلیل ساختار ریز خود قادر است به راحتی در فضای خالی

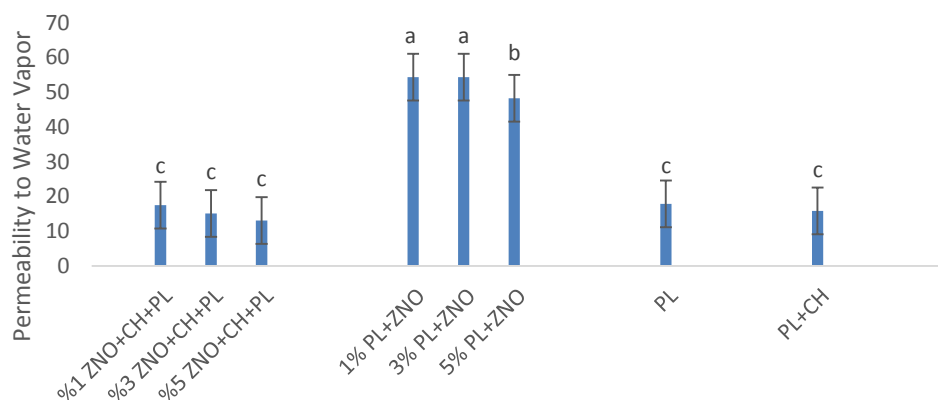


Figure 1. The effect of studied variables at different levels (1, 3, 5%) on water vapor permeability.

۲

۳- کدري فيلم ها

Table 1 - Turbidity and water vapor permeability in the film.

Type film	Clumsy (600 nm mm ⁻¹)
PLA+CH	1.97 ± 0.19 ^d
PLA+CH+ZnO NPs 1%	2.38 ± 0.79 ^c
PLA+CH+ZnO NPs 3%	2.60 ± 0.67 ^b
PLA+CH+ZnO NPs 5%	3.48 ± 0.68 ^a
PLA	2.06 ± 0.69 ^c
PLA+ZnO NPs 1%	2.25 ± 0.37 ^c
PLA+ZnO NPs 3%	2.51 ± 0.78 ^b
PLA+ZnO NPs 5%	3.42 ± 0.80 ^a

Different letters in each column are due to the existence of significant differences at the 5% level in the films.

نتایج این بررسی مطابق با جدول ۱ نشان داد در فیلم حاوی پلی لاکتیک اسید و کیتوزان کمترین کدري (۳/۱۹) بود که پس از افزودن ZnO NPs کدري فیلم پلی لاکتیک اسید و کیتوزان حاوی 5% ZnO NPs به بیشترین میزان (۵/۱۵) رسید. همچنین نتایج تجزیه واریانس این بررسی بیان کرد که فیلم حاوی پلی لاکتیک اسید و کیتوزان بر میزان کدري فیلم ها اختلاف معنی داری دارد ($p > 0.05$).

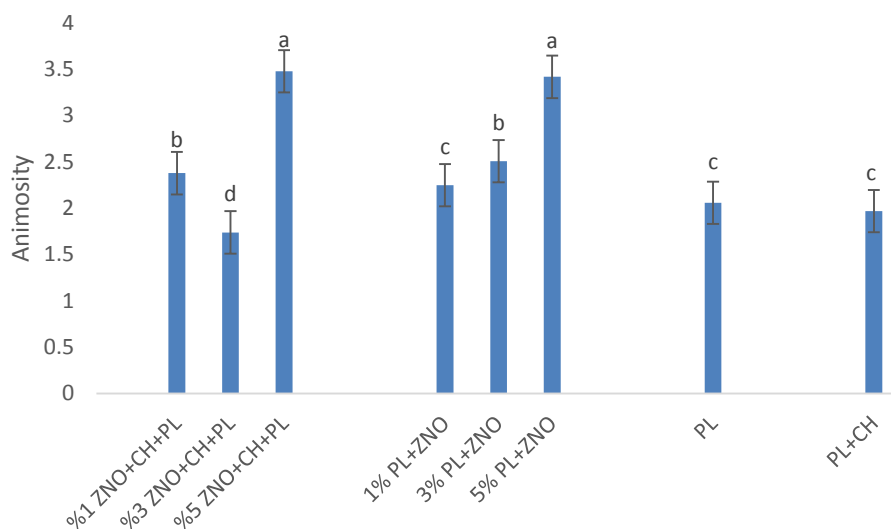


Figure 2. The effect of studied variables at different levels (1, 3, 5%) on turbidity.

و برای پلی لاکتیک اسید (PLA) و کیتوزان (CH) بیشترین مقدار (۲/۲۹) بود. افزودن 3% ZnO NPs سبب کاهش نفوذپذیری به اکسیژن شد که این کاهش نفوذ به توزیع همگن ذرات اکسید روی با کمترین غلظت آن مطابق با جدول شماره ۲ مرتبط است. در بررسی پژوهشگران گزارش کردند با افزایش میزان نانوذرات خاک رس در شبکه های پلیمری نفوذپذیری به اکسیژن فیلم ها به میزان قابل توجهی کاهش می یابد [۲۸،۲۹].

۳-۳- نفوذپذیری به اکسیژن

نتایج بدست آمده از نفوذ پذیری به اکسیژن عدم نفوذپذیری به رطوبت، عدم نفوذپذیری به اکسیژن یکی از ویژگی های مهم پلیمرهای بسته بندی مواد غذایی است بدین دلیل وجود اکسیژن عاملی است که در ایجاد واکنش هایی نظیر اکسیداسیون و رنسدیتی به رشد میکروارگانیسم ها کمک می کند. از آنجا که میانگین نفوذپذیری به اکسیژن برای فیلم PLA و CH حاوی 3% ZnO NPs کمترین مقدار (۱/۱۵)

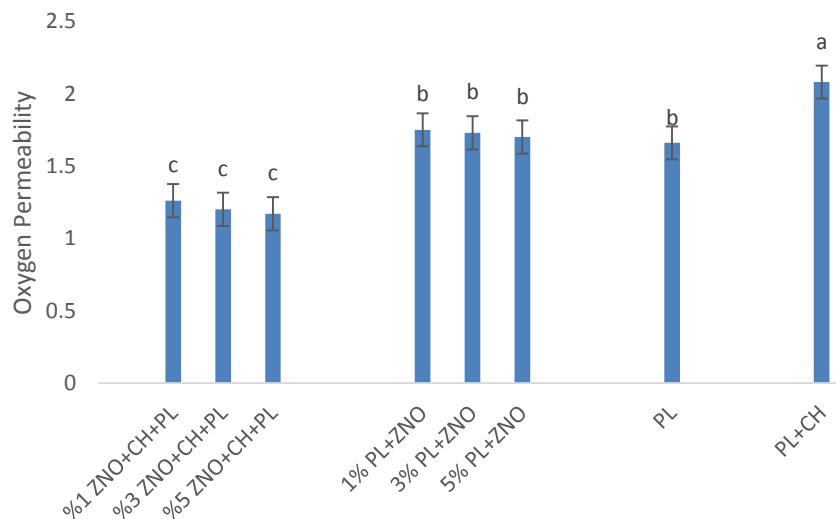


Figure 2. The effect of the studied variables at different levels (1, 3, 5%) on oxygen permeability.

۳-۴- ریزساختار فیلم‌ها

از آنجا که فیلم پلی لاکتیک اسید و کیتوزان بدلیل شباهت ساختاری با یکدیگر سازگار هستند، لذا قادر به ایجاد برقراری پیوند یونی قوی می‌کنند (گروه آمین کیتوزان با گروه کربوکسیل پلی لاکتیک اسید). لذا پس از افزودن ZnO NPs ساختار فیلم‌ها به صورت فشرده باقی می‌ماند که در این حالت افزودن 3% ZnO NPs ساختار فیلم به صورت

منظم بود. نتایج این بررسی با نتایج Gasariego و همکاران (۲۰۰۹) همخوانی داشت در این بررسی نشان داد با افزایش میزان نانو ذرات (نانو رس) تصاویر میکروسکوپ الکترونیکی به صورت فشرده بوده و در ماتریس پلیمری توزیع می‌گردد، لذا افزایش نانو ذرات (نانو رس) سبب تخریب ساختار آنها نشد [۳۰].

Table 2 - Oxygen permeability in films.

Filme	Oxygen permeability
PLA+CH	$2.08 \pm^{a}0.12$
PLA+CH+ZnO NPs 1%	$1.26 \pm^{c}0.09$
PLA+CH+ZnO NPs 3%	$1.2 \pm^{c}0.21$
PLA+CH+ZnO NPs 5%	$1.17 \pm^{c}0.06$
PLA	$1.66 \pm^{b}0.17$
PLA+ZnO NPs 1%	$1.75 \pm^{b}0.02$
PLA+ZnO NPs 3%	$1.73 \pm^{b}0.21$
PLA+ZnO NPs 5%	$1.7 \pm^{b}0.04$

The different letters in each column are due to the existence of a significant difference at the 5% level in the films.

۳-۵- ویژگی‌های مکانیکی

ویژگی‌های مکانیکی مورد بررسی شامل آزمون مقاومت به کشش، آزمون ازدیاد طول تا نقطه شکست، آزمون مدول یانگ است که بستگی به نیروهای بین مولکولی زنجیره پلیمری، نسبت ترکیبات فیلم‌ها، افزودنی‌های موجود در فیلم‌ها و شرایط محیطی دارد. مقادیر مقاومت کششی فیلم‌های حاوی اکسید روی به صورت معنی داری ($p > 0.05$). بیشتر از فیلم پلیمری پلی لاکتیک اسید و کیتوزان و پلی لاکتیک اسید خالص بود. این کاهش ناشی از عدم وجود پیوند شیمیایی قوی بین نانوذرات و بافت پلیمر و یا عدم توزیع نامطلوب نانوذرات داخل ماتریس پلیمری می‌باشد. در مقایسه ازدیاد طول در نقطه شکست، تمامی گروه‌ها در

($p > 0.05$). بررسی شد که حاکی از معنی دار نبودن این گروه‌ها با یکدیگر بود. نتایج نشان داد بیشترین مقدار ازدیاد طول تا نقطه شکست مربوط به فیلم پلی لاکتیک اسید حاوی 1% ZnO NPs با مقدار ۱۳/۴ است و کمترین مقدار مربوط به فیلم پلی لاکتیک اسید خالص با مقدار ۹/۳ در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج محققان نشان داد غلظت نانواکسید روی بر روی فیلم‌ها از صفر تا ۵ درصد روند افزایش دارد، همچنین گزارش کردند هر چه میزان درصد وزنی نانو ذرات ترکیبی ZnO-CMC افزایش یابد میزان قدرت کششی تیمار نیز افزایش می‌یابد. لذا می‌توان گفت با توزیع یکنواخت نانو ذرات در ساختمان پلیمر و ایجاد سطح اتصال ملکول‌ها تشکیل پیوند یونی بین ذرات نانو ذرات و ترکیبات تشکیل دهنده پلیمر افزایش می‌یابد [۱۰].

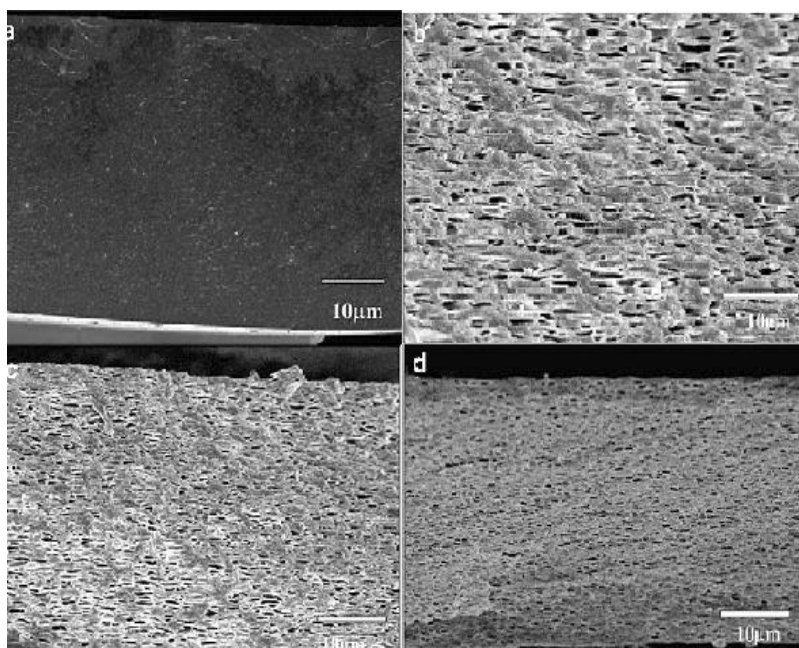


Figure 1. Electron microscope images a) Poly(lactic acid)-chitosan b) Poly(lactic acid)-chitosan-zinc oxide 1% c) Poly(lactic acid)-chitosan-zinc oxide 3% d) Poly(lactic acid)-chitosan-zinc oxide 5%.

Table 3 - Comparison of mechanical properties of films.

Samples (weight percent)	E(MPa)	δ_b (MPa)	ϵ_b^a (%)
PLA+CH	3100±210 ^a	40 ±3 ^a	0.77 ±1.8 ^b
PLA+CH+ZnO NPs 1%	2566 ±320 ^c	535 ±5 ^a	0.73 ±1.4 ^c
PLA+CH+ZnO NPs 3%	2680 ±98 ^b	31.6 ±3 ^b	0.84 ±1.2 ^a
PLA+CH+ZnO NPs 5%	2446 ±130 ^c	33.3 ±3 ^b	0.76 ±1.7 ^b
PLA	2501 ± 180 ^c	29 ±3 ^c	0.83 ±1.2 ^a
PLA+ZnO NPs 1%	2697 ±298 ^b	37 ±5 ^a	0.72 ±3.1 ^c
PLA+ZnO NPs 3%	2762 ±140 ^b	35 ±3 ^a	0.78 ±1.3 ^b
PLA+ZnO NPs 5%	2721 ±99 ^a	34 ±3 ^b	0.79 ±1.4 ^b

The different letters in each column are due to the existence of a significant difference at the 5% level in the films.

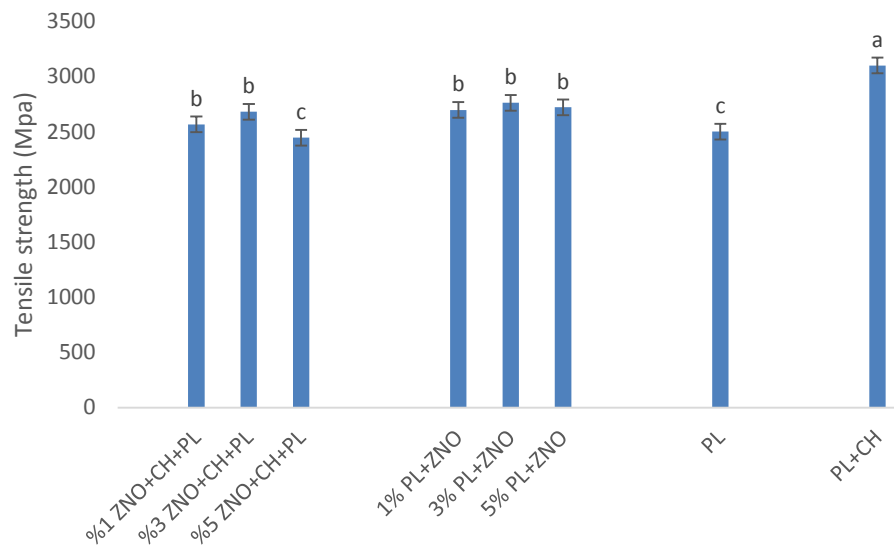


Figure 3- Comparison of the effect of zinc oxide at levels (1, 3 and 5%) on the tensile strength of films.

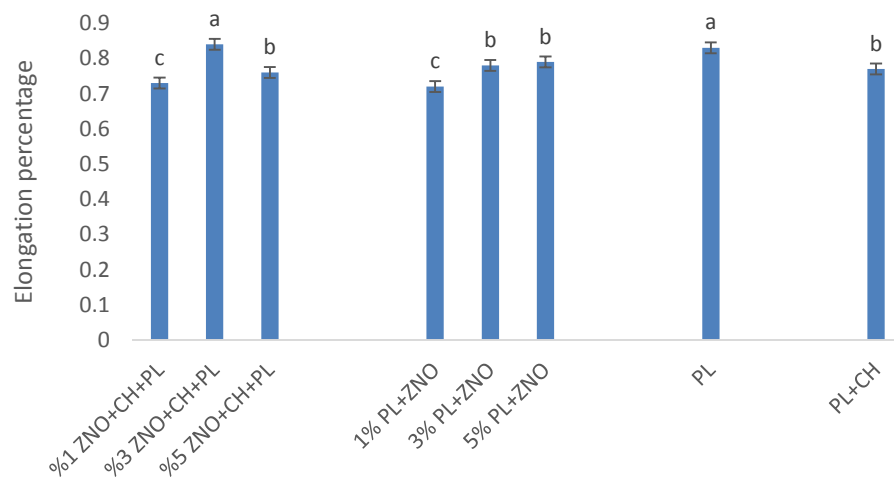


Figure 4- Comparison of the effect of zinc oxide at levels (1, 3 and 5%) on the elongation of films.

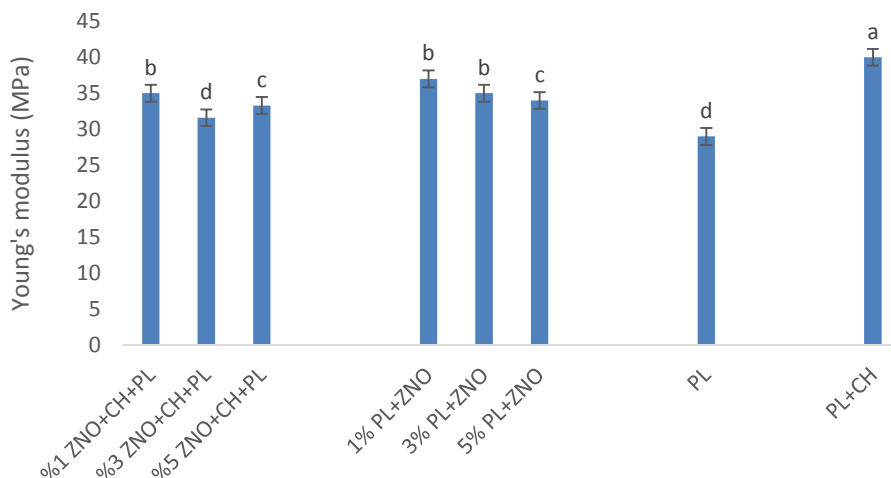


Figure 5- Comparison of the effect of zinc oxide at levels (1, 3 and 5%) on the Young Modulus of films.

برخی محققان گزارش کردند نانو اکسید روی بر خواص فیلمهای بایوکامپوزیتی (فیلم های ژلاتین ماهی) بر روی محتوی رطوبت آنها به طور معنی داری روند کاهشی دارد و دلیل آن به گروههای هیدروکسیل موجود در ژلاتین نسبت دادند آنها اذعان داشتند این ترکیب با آب پیوند برقرار کرده و با افزودن نانو اکسید روی در ماتریکس بایوپلیمر گروههای هیدروکسیل ملکولهای آب را کاهش می دهد که این نتایج با نتایج این بررسی مطابقت داشت. همچنین بیان کردند با افزایش میزان نانو رس یا نانو SiO_2 به ماتریکس فیلم میزان رطوبت و حلالیت آب کاهش می یابد و این رخداد را به ایجاد پیوند شکل گیری پیوندهای هیدروژنی قوی بین ماتریکس پروتئین سویا و نانو ذرات نسبت دادند [۳۲].

۳-۶- محتوی رطوبت و aw نمونه های برش زده نان تست هفت غله

محتوی رطوبت و aw نمونه های برش زده نان تست هفت غله دارای روکش فعال طی ۱۵روز نگهداری در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد نشان داد محتوی رطوبت تیمارها کاهش می یابد که این کاهش در نمونه شاهد مشهودتر بود که می توان دلیل کاهش محتوی رطوبت در نمونه های برش زده نان تست هفت غله به رخداد رتروداداسیون آمیلوپکتین و وجود پیوندهای عرضی میان گلوتن و نشاسته نسبت داد. در این بررسی مشاهده شد که افزودن ZnO NPs ، WVP در تمامی فیلم ها سبب کاهش میزان آن می شود. از آنجا که این فیلم ها با ممانعت از حرکت بخار آب از مغز نان به پوسته سبب تاثیر مثبت در نگهداری و زمان ماندگاری محصول می شود از اهمیت بالایی برخوردار است [۳۱].

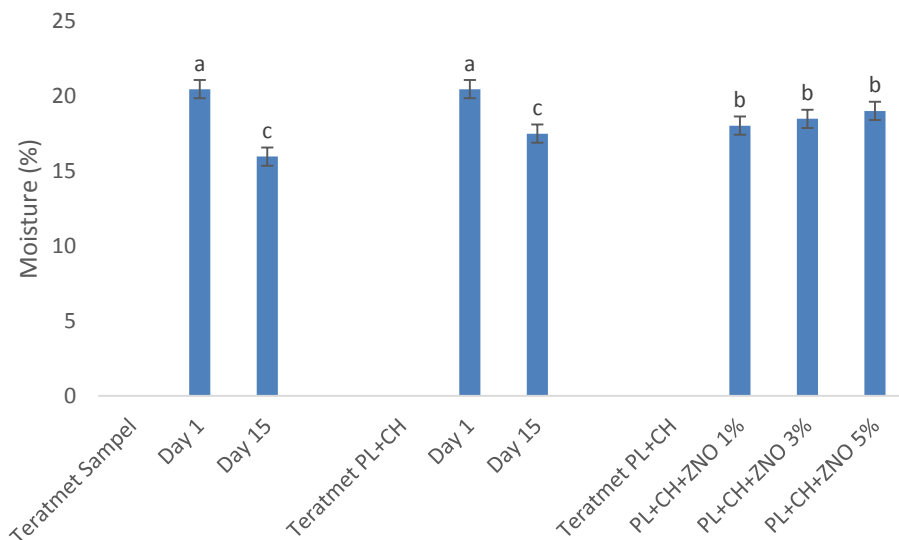


Figure 6- Moisture percentage of seven-grain toast during 15 days of storage at 25 degrees Celsius.

کاهش تشکیل پیوند هیدروژنی بین مولکولهای نشاسته و مولکولهای نشاسته و گلوتم شده که سفتی بافت را به دنبال دارد. در تحقیقی محققان بیان کردند از آنجا که نانو ذرات در بین منافذ موجود در ساختمان فیلم های پلی اتیلنی سبب افزایش مقاومت فیلم ها در برابر رطوبت می شوند، لذا با افزایش غلظت میزان نانو ذرات رس، میزان سفتی بافت نان که بیانگر بیاتی آنست کاهش یافته که این کاهش به توانایی نانوکامپوزیتهای پلی اتیلن خاک رس که سبب فظ رطوبت داخل بسته های نان می شود مرتبط است [۳۳].

۷-۳- سفتی بافت نان

بیات شدن تاثیر مستقیمی روی نگهداری نان دارد. سفتی بافت پس از ذخیره سازی به مدت ۱۵ روز با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان داد سفتی نان های دارای روکش ZnO NPs کمتر از بقیه برش های نان مورد آزمایش بود. در سفتی نان حضور آب نقش مهمی ایفا می کند. رتروگراداسیون نشاسته سبب حذف آب کافی و

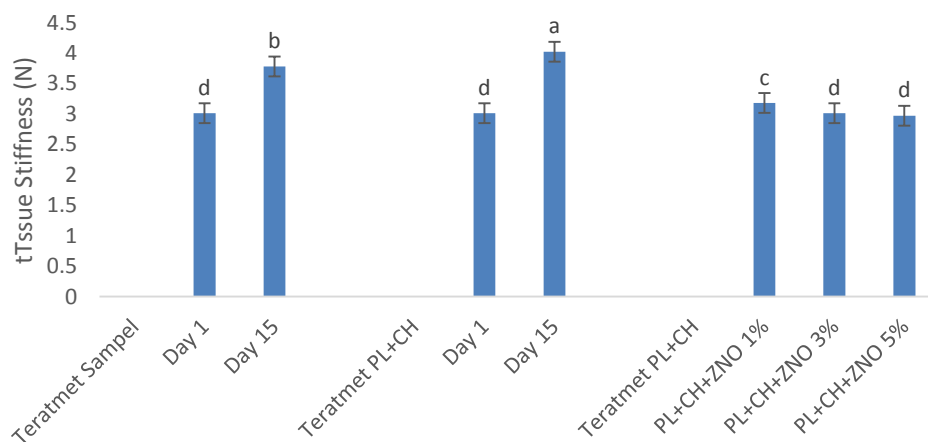


Figure 7 - Hardness of the texture of seven-grain toast during 15 days of storage at 25 degrees Celsius.

۸-۳- کشت با قارچ آسپرژیلوس نایجر

برش های نان کشت داده شده با قارچ آسپرژیلوس نایجر به مدت ۱۵ روز در دمای ۲۵ درجه قرار گرفت. در نان های کنترل (بدون روکش) پس از سه روز رشد قارچی مشاهده گردید اما در نان های دارای روکش بعد از ۱۵ روز فقط در نمونه های فاقد ZnO NPs رشد قارچی مشاهده شد و در نمونه های دارای ZnO پس از ۲۰ روز به مقدار کم رشد قارچی دیده شد. مقایسه ای بین آنها صورت گرفته که در جدول ۴ آمده است. دلیل آن ایجاد پیوند یونی بین یون روی با سطح سلول میکروارگانیسم بوده که باعث کاهش

محتوای سیتوپلاسمی و غیرفعال سازی آنزیم های تنفسی می شود. یون های روی با نفوذ به داخل پلیمر روکشی ضد میکروبی بوجود می آورد. در طی ذخیره سازی تعداد قارچ ها افزایش می یابد اما این تعداد در نان روکش دار شده با ZnO NPs کمتر از بقیه بود. هرچه درصد ZnO NPs بیشتر باشد تعداد قارچ کمتری مشاهده گردید. پژوهشگران گزارش کردند نانو ذرات رس در فیلم های پلیمری سبب کاهش میزان نفوذپذیری و عدم خروج بخار آب بسته بندی می شود و همین رخداد از شرایط رشد کپکها داخل بسته جلوگیری بعمل می آورد [۳۲-۳۴].

Table 4 - Investigation of fungal growth results in different slices of seven-grain toast with different films at 25 ° C.

Package type	Growth delay	Intensity of fungal growth				(log CFU/g) The number of mold and yeast		
		Day 7	Day 15	Day 25	Day 30	Day 7	Day 15	Day 25
Control	2 ±0.3 ^e	+	++	+++	+++	5.1 ± ۰.۳ ^c	6.32 ±0.03 ^b	±0.04 ^a 7.18
pLA-CH	6 ±1.3 ^d	+	++	+++	+++	1.7 ± ۰.۸ ^c	3.93 ±0.03 ^b	±0.04 ^a 6.78
pLA-CH-ZnO 1%	14 ±1.3 ^c	-	-	+	++	N.D ± ۰.۰ ^c	N.D ±0.0 ^c	±0.04 ^a 2.09
pLA-CH-ZnO 3%	24 ±2.2 ^b	-	-	-	+	N.D ± ۰.۰ ^a	N.D ±0.0 ^a	N.D ±0.0 ^a
pLA-CH-ZnO 5%	28 ±3.1 ^a	-	-	-	+	N.D ± ۰.۰ ^a	N.D ±0.0 ^a	N.D ±0.0 ^a
pLA	6 ±2.2 ^b	+	++	+++	+++	1.2 ± ۰.۳ ^c	4.1 ±0.05 ^b	±0.04 ^a 6.61
pLA-CH-ZnO 1%	14 ±2.2 ^c	-	-	+	++	N.D ± ۰.۰ ^c	N.D ±0.0 ^c	±0.04 ^a 2.89
pLA- ZnO 3%	21 ± 1.3 ^b	-	-	-	+	N.D ± ۰.۰ ^a	N.D ±0.0 ^a	N.D ±0.0 ^a
pLA- ZnO 5%	28 ±1.3 ^a	-	-	-	+	N.D ± ۰.۰ ^a	N.D ±0.0 ^a	N.D ±0.0 ^a

No fungal growth, + fungal growth less than 25% of the surface, ++ fungal growth between 25 and 50% of the plate surface, +++ fungal growth more than 50%.

۴- نتیجه گیری

باشد. راههای زیادی برای افزایش ماندگاری نان وجود دارد مانند بسته بندی با اتمسفر اصلاح شده (MAP)، افزودنی های ضد میکروبی، اشعه UV، پرتوگاما، منجمدسازی، افزودن شکر یا پتوزان و ... اخیرا نانوذرات به مقابل منظور

فاکتورهای مهمی که باعث از بین رفتن ارزش تغذیه ای نان می شود فساد میکروبی و تغییرات شیمیایی و فیزیکی می

ZnO NPs تأثیری نداشت. بررسی اثر فیلم های حاوی ZnO NPs بر روی رشد قارچی نشان داد که در هر سه حالت اثر بازدارندگی مشاهده شد و افزایش درصد ZnO NPs افزایش اثر مهارکنندگی آن بر رشد قارچی را به طور معنی داری ($P < 0.05$). به دنبال دارد. سفتی نان های گروه کنترل بیش از نان هایی با روکش و فیلم های CH و PLA حاوی ZnO NPs بود. همچنین حفظ رطوبت در نان های دارای روکش و فیلم نانوذرات ZnO بیشتر بود. آزمایشات میکروبی نشان دهنده ی کاهش رشد میکروبی از فیلم و روکش های حاوی ZnO NPs بوده که بهترین حالت در ZnO NPs 5% نشان داده شده است. با افزایش مقدار ZnO NPs فیلم های PLA-CH-ZnO NPs دارای خواص مکانیکی، فیزیکی و میکروبی بالاتری بوده و ماندگاری نان بسته بندی شده افزایش می یابد.

۵- منابع

[1]. Besbes, E., Jury, V., Monteau, J. Y., and Bail, A. L. 2014. Effect of baking conditions and storage with crust on the and staling kinetics of pan bread, LWT-Food science and Technology, 58(2), 1-9.

[2]. Maizura, M., Fazilah, A., Norziah, M. H. and Karim, A. A. 2011. Short communication antibacterial activity of modified sago starch alginate based edible film incorporated with lemongrass oil, International Food Research Journal, 15(2), 233-236.

[3]. Tabari M. Investigation of Carboxymethyl Cellulose (CMC) on Mechanical Properties of Cold-Water Fish Gelatin Biodegradable Edible Films. Foods. 2017; 6(6):41.

[4]. Jayas, D. S. 2010 Nanotechnology for the food and bioprocessing industries, Food and Bioprocess Technology, 4(1), 39-47.

[5]. Famil Zirak, M., Tabari, M., PLA-SiO₂ nanocomposite films: morphological and mechanical properties and specific end-use characteristics.

افزایش عمل مکانیکی در بسته بندی مواد غذایی نظیر انعطاف پذیری، پایداری رطوبت، پایداری دمایی، کاهش در نفوذ گازها، مقاومت در UV و خاصیت ضد میکروبی استفاده می شود. خصوصیات فیزیکوشیمیایی، مکانیکی و ضد قارچی فیلم های حاوی PLA و CH حاوی نانوذرات ZnO NPs با درصدهای ۱، ۳ و ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. خواص مکانیکی بدست آمده نشان داد که هنگامیکه درصد اکسید روی در فیلم های مربوطه از ۱ تا ۵ درصد افزایش یافت مقاومت به کشش و تغییرات ازدیاد طول مربوط به این فیلم ها کاهش یافت ($P < 0.05$). اما باعث افزایش مدول یرانگ گردید. در بررسی نفوذ پذیری به بخار آب WVP حاوی فیلم های PLA و CH حاوی ۱ و ۳ درصد نانوذرات اکسید روی نفوذ پذیری بیشتری (در حدود ۲۰ درصد) نسبت به فیلم های فاقد اکسید روی نشان می دهد ($P < 0.05$), و برای درصدهای بالاتر اکسید روی تغییری مشاهده نشد. اثر کاهش نفوذ پذیری به اکسیژن در فیلم های دارای 3% ZnO NPs چشمگیر بود و افزایش

Nanomedicine Research Journal, Volume 3, Issue 3, Summer 2018, Page 140-145.

[6]. Silvestre, C., Cimmino, S., Pezzuto, M., Mara, A., Ambroggi, V. and Dexpert, J. 2013. preparation and characterization of isotactic polypropylene/zinc oxide microcomposites with antibacterial activity, Journal Polym, 45(2): 1-8.

[7]. Llorens, A., Lloret, E., Picouet, P. A., Trbojevič, R., and Fernandez, A. 2012. Metallic based micro and nanocomposite in food contact materials and active food packaging, Trends in Food Science & Technology, 24, 19-29.

[8]. Tabari M. Characterization of a new biodegradable edible film based on Sago Starch loaded with Carboxymethyl Cellulose nanoparticles. Nanomedicine Research Journal, 2018. 3(1): 25-30.

[9]. Harada, M., Ohya, T., Iida, K., Hayashi, H., Hirano, K. and Fukuda, H. 2007. Increased impact strength biodegradable poly lactic acid/poly butylen succinate blend composites by using isocyanate as a reactive processing agent, Journal of Applied Polymer Science, 106 (3), 1813-1820.

- [10]. Tabari, Kh., Tabari, M. Characterization of a biodegrading bacterium, *Bacillus subtilis*, isolated from oil-contaminated soil, *International journal of Environmental Science and Technology*, 2017. 14(1):1-8. DOI: 0.1007/s13762-017-1313-3.
- [11]. Cabedo, L., Feijoo, J.L., Villanueva, M.P., Lagaro, M., and Nez, E.G. 2006. Optimization of Biodegradable Nanocomposite based on aPLA/PCL blends for food packaging applications. *J. Macromol. Symp.*, 233, 191-197.
- [12]. Tian, F., Decker, E.A and Goddard, J.M. 2012. Development of an iron chelating polyethylene film of active packaging applications. *Journal of agricultural Food Chemistry*, 60: 2046-2052.
- [13]. Tabari, M., Tabari, Kh., Karimzadegan, H., Mohammadi, M. Study on *Bacillus* Isolated from Intestine of Persian Sturgeon (*Acipenser persicus*) Comparing with Commercial Probiotics, 2016. 60, 59-65.
- [14]. Mihaly Cozmata, A., Peter, A., Mihaly Cozmata, L., Nicula, C., Crisan, L and Baia, I. 2014. Active packaging system based on Ag/TiO₂ nanocomposites used for extending the shelf life of bread, *Chemical and Microbiological Investigations, Packaging Technology and Science*, 28(4), 271-284.
- [15]. Balaguer, M.P., Cerisuelo, J.P., Gavara, R., Hernandez-Muñoz, P., 2013. Mass transport properties of gliadin films: effect of cross-linking degree, relative humidity, and temperature. *J. Membr. Sci.* 428, 380–392.
- [16]. Otani, C.G., Pontes, S.F.O., Medeiros, E.A.A and Soares, N.D.F.F. 2014. Edible films from methylcellulose and nanoemulsions of clove bud (*Syzygium Aromaticum*) and oregano (*Origanum Vulgare*) essential oils as shelf life extenders for sliced bread, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(22): 5214-5219.
- [17]. Mohammadi, M., Tabari, M., Tavakolipor, H., and Mohammadi, Sh., 2023. The effect of *Allium saralicum* RM Fritsch nanocapsules in yogurt on type 2 diabetes in male rats: physicochemical characterization and pharmacodynamics assessment. *3 Biotech*, 13, 222.
- [18]. Li, X. H., Xing, Y. G, Li, W. L, Jiang, Y. H, and Ding, Y. L. 2010. Antibacterial and Physical properties of Poly (Vinyl Chloride)-based Film Coated with ZnO Nanoparticle, *Food Science and Technology International*, 16 (3), 225-232.
- [19]. Salehifar, M., Beladi Nejad, M.H., Alizadeh, R and Azizi, M.H. 2013. Effect of LDPE/MWCNT films on the shelf life of Iranian lavash bread, *European Journal of Experimental Biology*, 3(6): 183-188.
- [20]. Pantani, R., Gorrasi, G., Vigliotta, G., Murariu, M., and Dubosi, P. 2013. PLA/ZnO nanocomposite films: water vapor barrier properties and specific end use characteristics, *European Polymer Journal*, 49: 3471-3482.
- [21]. ASTM. 2000. The test evaluates the water vapor transfer through semi-permeable and permeable samples.
- [22]. ASTM. 2002. Standard test method for Tensile Plastic sheeting, *Annual book of ASTM*, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Material.
- [23]. Piermaria, J. A., Pinotti, A., Garcia, M. A., and Abraham, A. G. 2009. Films based on kefir, an exopolysaccharide obtained from kefir grains. Development and characterization, *Food Hydrocolloids*, (23), 684-690.
- [24]. AACC, 1995. American Association of cereal chemists, *Approved methods of the AACC*. Committee. Method 74-09, The Association St Paul, MN.
- [25]. Phan, T. D., Debeaufort, F, Luu, D and Voilley, A. 2002. Functional properties of edible agar based and starch-based films for food quality preservation, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 973-981.
- [26]. Ghazihoseini, S., Alipoormazandarani, N., Mohammadi Nafchi, A. 2015. The Effects of Nano-SiO₂ on Mechanical, Barrier, and Moisture Sorption Isotherm Models of Novel Soluble Soybean Polysaccharide Films, *International Journal of Food Engineering*, 1-883.
- [27]. Shahabi-Ghahfarrokhi, I., Khodaiyan, F., Mousavi, M and YOUSEFI, H. 2015. Preparation of uv protective kefir/nano-ZnO nanocomposites:

Physical and mechanical properties, International Journal of biological macromolecules, 72, 41-46.

[28]. Arunvisut, S., Phummanee, S. and Somwangthanaroj, A. 2007. Effect of Clay on Mechanical and Gas Barrier Properties of blown film LDPE/clay Nanocomposites. Journal Appl. Polym Sci, 106, 2210-2217.

[29]. Yeh, J.T., Chang, C.J., Tsai, F.C., Chen, K.N. and Huang, K.S. 2009. Oxygen barrier and blending properties of blown films of blends of modified the use of light polyethylene-clay nanocomposites in increasing the quality, shelf life and reducing the waste of flat bread (Barbari), Journal of Agricultural Engineering Research, 12 (4), 1-10.

[34]. Alhendi, A., Choudhary, R. 2013. Current practices in bread packaging and possibility of improving bread shelf life by Nanotechnology, International Journal of Food Science and Nutrition Engineering, 3(4), 55-60.

polyamide and polyamide-6 clay mineral nanocomposites, Appl Clay Sci, 45, 1-7.

[30]. Gasariego, A., Souza, B., Cerqueira, M., Teixeira, J., Cruz, L., Diaz, R., and Vicente, A. 2009. Chitosan/clay films properties as affected by biopolymer and clay micro/nanoparticles concentrations, Food Hydrocolloids, 23 (7), 1895-1902.

[31]. Shafiee-Nasab, M., Tabari, M. and Azizi, M.H. 2018. Morphological and mechanical properties of poly (lactic acid)/Zinc oxide nanocomposite films, Journal Nanomed Res, 3(2), 96-1013.

[32]. Soltani, Z., Tavakolipour, H., Tabari, M. 2023, The influence of chitosan and titanium dioxide nanoparticles incorporated with polylactic acid on prolonging rye bread shelf life. Journal of Food Measurement and characterization, 17, 1806–1816.

[33]. Hematian Soraki, A., Tabatabayee Yazdi, M., Davoodi, M., & Mortazavi, S. A. 2012. Investigating



Scientific Research

Evaluation of film rheology and coating of nanocomposites (polylactic acid and chitosan) during shelf life in Seven grain Toast

Mahsouseh Yosefi Siagorabi¹, Mahsa Tabari^{2*}, Hamid Tavakolipor³, Sirous Bidarigh⁴

1. Ph.D. student of Food Science and Food Industry-Food Chemistry, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2*. Department of food science and technology, Rasht Branch, Islamic Azad university, Rasht, Iran.

3. Department of food science and technology, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, North Tehran Branch.

4. Department of Agriculture, Lahijan branch, Islamic Azad university, Lahijan, Iran.

ABSTRACT

ARTICLE INFO

Nowadays, In today's world, the issue of food packaging to improve the quality of food during its shelf life. In this study, the use of a film and a nanocomposite coating based on polylactic acid and chitosan containing zinc oxide nanoparticles was investigated to reduce microbial contamination and increase the shelf life of seven-grain bread. Zinc oxide nanoparticles were added to the polylactic acid and chitosan nanocomposite at three levels: 1%, 3%, and 5%, and the quality properties of the bread, physical and chemical parameters of the film, as well as its electron microscopy (SEM) characteristics were evaluated. The results showed that the films containing polylactic acid and chitosan had an irregular and dense structure, and with the addition of zinc oxide nanoparticles, the structure became more regular and cohesive. Additionally, the water vapor permeability (WVP) of the film and nanocomposite coating increased significantly at the 3% level of zinc oxide nanoparticles, leading to a significant increase in water vapor permeability ($P < 0.05$). The results obtained from the texture analyzer showed that with the increase of nanoparticle concentration, the tensile strength of the film and nanocomposite coating were significantly lower than the control treatment ($P < 0.05$). The changes in length up to the breaking point did not show a statistically significant difference ($P > 0.05$). The effect of the nanocomposite film based on polylactic acid and chitosan containing zinc oxide nanoparticles on the microbial properties of the seven-grain test bread during the shelf-life period had an inhibitory effect on fungal growth, and this inhibition increased significantly with the increase of zinc oxide nanoparticle concentration ($P < 0.05$). Finally, it can be concluded that the shelf life of the seven-grain test bread in the nanocomposite packaging based on polylactic acid and chitosan containing zinc oxide nanoparticles will have a considerable increase compared to the control treatment.

Article History:

Received: 2022/11/27

Accepted: 2023/7/20

Keywords:

Polylactic acid,
zinc oxide,
chitosan,
seven grain toasts,
nanoparticles,
nanocomposites

DOI: 10.22034/FSCT.20.139.61

DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.139.4.8

*Corresponding Author E-Mail:
tabari@iaurasht.ac.ir