

تولید فیلم خوراکی بر پایه نشاسته-مونت‌موریلونیت حاوی عصاره چای سبز جهت بسته‌بندی روغن بذرکتان

مهديه طهماسبی^۱، فرانک بیگ محمدی^{۲*} و فلورا رفیعی^۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۸

تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۲۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد آشتیان، دانشگاه آزاد اسلامی، مرکزی

^۲ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه

^۳ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد آشتیان، دانشگاه آزاد اسلامی، مرکزی

*مسئول مکاتبه: Email: faranak.beigmohammadi@iauksh.ac.ir

چکیده

بسته‌بندی فعال بر پایه نشاسته حاوی مواد افزودنی، به میزان قابل توجهی در نگهداری مواد غذایی به‌کار می‌رود. نانورس آلی مونت‌موریلونیت سبب استحکام فیلم‌های بر پایه نشاسته می‌شود و مواد افزودنی مانند آنتی‌اکسیدان‌ها سرعت فساد مواد غذایی را کاهش می‌دهد. فیلم بسته‌بندی بر پایه نشاسته با مقادیر مختلف مونت‌موریلونیت از ۰ تا ۸٪ و مقادیر متفاوت عصاره چای سبز از ۰ تا ۲/۵٪ به روش کاستینگ تولید شد و ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌ها شامل مقاومت به کشش، جذب رطوبت، نفوذپذیری به بخار آب و انحلال‌پذیری مورد بررسی قرار گرفت. سپس روغن بذرکتان در فیلم‌های تولید شده بسته‌بندی شد و خواص شیمیایی آن شامل اسیدیته و عدد پراکسید ارزیابی گردید و نقطه بهینه فیلم در نرم‌افزار مینی‌تب ۱۷ با روش سطح پاسخ مشخص شد. نتایج نشان داد مقادیر کم عصاره چای سبز و مونت‌موریلونیت سبب کاهش جذب رطوبت و انحلال‌پذیری فیلم‌ها شد و با افزایش مقدار مونت‌موریلونیت و عصاره چای سبز مقاومت به کشش نیز افزایش یافت. کمترین میزان نفوذپذیری به بخار آب در غلظت‌های میانی مونت‌موریلونیت و عصاره چای سبز دیده شد. افزایش مونت‌موریلونیت باعث کاهش عدد پراکسید و غلظت‌های میانی آن سبب کاهش اسیدیته شد. در آزمون ارزیابی حسی از ابتدای نگهداری تا انتهای آن در هیچ یک از نمونه‌ها تغییری از لحاظ رنگ، بو، طعم و پذیرش کلی گزارش نشد. نقطه بهینه فیلمی با ۲/۴۲٪ مونت‌موریلونیت و ۰/۱۸۱٪ عصاره چای سبز بود، که عمر نگهداری روغن را تا ۷ روز افزایش داد.

واژگان کلیدی: روغن بذرکتان، چای سبز، مونت‌موریلونیت، فیلم نشاسته

مقدمه

تأثیرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از تجمع مواد پلاستیکی و غیرتخریب‌پذیر یکی از مهمترین نگرانی‌ها در جهان امروز است (رومرو و همکاران ۲۰۰۵). تجدید-پذیری منابع تولید نشاسته، دسترسی آسان، سهولت تولید و قیمت پایین و تجزیه کامل در طی فرآیند کمپوست باعث شده که در طی سال‌های اخیر تولید و استفاده از بیوپلیمرهای نشاسته‌ای به عنوان جایگزینی برای پلیمرهای سنتزی حاصل از مشتقات نفتی بسیار مورد توجه قرار بگیرد. نشاسته در محیط‌های مختلف آبی و خاکی کاملاً زیست‌تخریب‌پذیر است. از تجزیه طبیعی نشاسته آب، دی اکسید کربن، و توده زیستی تولید می‌شود. اما این ماده دارای معایبی نیز می‌باشد از جمله اینکه نشاسته نفوذپذیری زیادی نسبت به گازها دارد، خواص مکانیکی ضعیفی دارد و به رطوبت نیز حساس است. تاکنون فیلم بر پایه نشاسته به میزان زیادی مورد تحقیق قرار گرفته است. همه این تحقیقات در جهت بهبود خواص فیلم نشاسته‌ای بوده است. بعنوان مثال فیلم نشاسته حاوی کربوکسی متیل سلولز (پرکننده) و عصاره آویشن (آنتی‌اکسیدان) باعث افزایش عمر نگهداری روغن خوراکی شده است (رضایی و الماسی ۱۳۹۶). در تحقیق دیگر از نانوذرات نقره و نانورس در فیلم نشاسته استفاده و اثرات ضد میکروبی و ویژگی‌های مکانیکی و نفوذپذیری آن بررسی شد که این افزودنی‌ها سبب بهبود ویژگی‌های موردنظر فیلم گردید (استادعلی و همکاران ۱۳۹۵). یکی از راه‌هایی که جهت اصلاح فیلم‌های نشاسته‌ای صورت می‌گیرد تولید نانوکامپوزیت‌ها بر پایه آن است (کمپیراپان و همکاران ۲۰۰۷). در فیلم تولید شده از نشاسته سبب زمینی به روش کاستینگ و همراه با گلیسرول، پس از ارزیابی مکانیکی مشخص شد با افزایش گلیسرول کشش‌پذیری فیلم‌ها افزایش پیدا می‌کند (مالی و همکاران ۲۰۰۵). بهترین روش برای بهبود خواص بازدارندگی فیلم نشاسته، ایجاد تغییرات در نشاسته یا اصلاح آن از

طریق مخلوط کردن آن با موادی است که خواص مکانیکی آن مانند نفوذپذیری به بخار آب و اکسیژن را بهبود ببخشد (فنگ و فاولر ۲۰۰۳). نانورس‌ها مهمترین و پرکاربردترین موادی می‌باشند که در تولید نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دسته از نانومواد نسبت به سایر مواد دارای دو ویژگی منحصر به فرد از جمله سهولت دسترسی و سازگاری آنها با انواع پلیمرهای زیست-تخریب‌پذیر می‌باشد (ری و اکاموتو ۲۰۰۳). مونت-موریلونیت^۱ پرکاربردترین سیلیکات لایه‌ای است که به دلیل زیست سازگاری، دسترسی آسان و قیمت پایین بطور گسترده در تولید نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر مورد استفاده قرار می‌گیرد (یو ۲۰۰۹). جایگیری لایه‌های نانورس در بین زنجیرهای بیوپلیمر و برقراری برهمکنش‌های هیدروژنی قوی با آنها باعث تقویت شبکه بیوپلیمر شده و بهبود خواص مکانیکی آن را بدنبال دارد (قنبرزاده و همکاران ۱۳۸۸). در تحقیق دیگر، تصاویر بدست آمده از آزمون میکروسکوپ نیروی اتمی نشان داد که مونت‌موریلونیت سدیم پخش مناسبی در ماتریس پلیمر دارد و آزمون پراش پرتو ایکس نیز این نتیجه را تأیید کرده و نشان داد ساختار نانو کامپوزیت‌های نشاسته- پلی وینیل الکل و مونت-موریلونیت احتمالاً از نوع اکسفولید می‌باشد. افزودن مونت‌موریلونیت باعث کاهش زبری فیلم‌ها می‌شود. با افزودن مونت‌موریلونیت جذب رطوبت فیلم‌ها کاهش می‌یابد. نتایج آزمون زاویه تماس نشان می‌دهد با افزودن مونت‌موریلونیت به فیلم زاویه تماس افزایش یافته نتایج رنگ‌سنجی نشان داد که نمونه‌های حاوی مونت-موریلونیت بهترین فیلم را از لحاظ شفافیت تولید نمودند (قنبرزاده و همکاران ۱۳۹۳). مونت‌موریلونیت سدیم به راحتی با پلیمرهای آبدوستی مانند نشاسته پیوند برقرار می‌کند و قابلیت پخش شدن در ماتریس فیلم‌ها را دارد و باعث کریستالی شدن فیلم‌ها می‌گردد (ماگالهایس و

¹ Montmorillonite (MMT)

رنگ قهوه‌ای و زرد طلایی هستند. در ایران در بخش‌های شمال و شمال‌غرب، جنوب و جنوب شرقی پراکنش دارد (شریف‌نیا و اسدی، ۱۳۷۹). این گیاه به صورت بوته‌ای رشد می‌کند و تنها گونه این خانواده است که از لحاظ تجارتي اهمیت فراوان یافته است (ماهرانی و همکاران ۱۳۸۱؛ خواجه پور ۱۳۷۰؛ پاس و همکاران ۲۰۰۲). روغن دانه این گیاه دارای غنی‌ترین منبع اسید-های چرب غیر اشباع امگا-۳ (۵۷٪) است که بیش از دو برابر موجود در روغن ماهی (در حجم مساوی) می‌باشد (رنج‌زاد و همکاران ۱۳۸۷). دانه بزرگ منبع خوب اسیدهای چرب ضروری امگا-۳ از نوع آلفا لینولنیک اسید^۴ می‌باشد و همچنین منبع خوب لیگنان (اجزای فیتواستروژنیک)، فیبر رژیمی^۳، پروتئینی، مواد معدنی و ویتامین‌ها می‌باشد. بعلاوه کنجاله دانه بزرگ (دانه روغن‌گیری شده) خود یک منبع پروتئینی مناسب برای تغذیه حیوانات اهلی می‌باشد که در کشورهای توسعه یافته از آن استفاده می‌شود (اوماه ۲۰۰۱؛ اوماه و همکاران ۱۹۹۵). دانه بزرگ دارای مقادیر کمی چربی اشباع می‌باشد اما اسیدهای چرب غیر اشباع آن اغلب شامل امگا-۶ و امگا-۳ با نسبت ۰/۳ به ۱ می‌باشد. در صورتی که در اغلب روغن‌های گیاهی، اسیدهای چرب امگا-۶ بیشتر از نوع امگا-۳ است. اسیدهای چرب امگا-۳ و امگا-۶ در موقعیت پیوند دوگانه متفاوت بوده و برای متابولیسم بدن و تولید ایموزانوئیدها ضروری می‌باشند. پیش ساز اسیدهای چرب ضروری، اسید لینولئیک^۵ و اسید آلفا لینولنیک بوده و باید برای حفظ سلامتی مصرف این دو در غذای روزانه در حد کافی باشد. همانطور که ذکر شد دانه بزرگ منبع غنی از پیش‌ساز لیگنان می‌باشد (لیگنان‌ها متعلق به طبقه فیتواستروژن‌ها که ساختمانی مشابه استروژن انسان دارند، هستند. فیتواستروژن‌ها از بدن در برابر بیماری‌هایی مثل سرطان سینه و پوکی استخوان محافظت می‌کنند) البته

همکاران ۲۰۰۹). چای گیاهی است بوته‌ای که بومی چین و شمال هندوستان می‌باشد ترکیبات متشکله برگ چای شامل فلاوانول‌ها، فلاوونول‌ها، اسیدهای فنولیک، کافئین، تئوبرومین، پروتئین، اسیدهای آمینه، اسیدهای آلی، مونو و پلی‌ساکاریدها، لیگنین، چربی، کلروفیل و سایر رنگدانه‌ها، خاکستر و مواد معطر می‌باشند که ترکیبات فلاوونوئیدی (پلی فنول‌ها) از مهمترین آن‌ها محسوب می‌گردند و دارای نقش سلامتی‌زا هستند (هاربوی و همکاران ۱۹۹۷). کاتچین‌ها (فلاوان-۳-ال) نوعی آنتی-اکسیدان و از مهمترین فلاوانول‌ها به شمار می‌رود. کاتچین‌های چای سبز شامل اپی‌کاتچین، اپی‌کاتچین-گالات، اپی‌گالوکاتچین و اپی‌گالوکاتچین‌گالات می‌باشند. فراوان‌ترین و فعال‌ترین کاتچین (فعالیت آنتی‌اکسیدانی)، اپی‌گالوکاتچین‌گالات می‌باشد (کوماس و همکاران ۲۰۱۰). فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاتچین‌ها به کیفیت برگ چای (موقعیت جغرافیایی کشت، آب و هوا، شرایط برداشت و ذخیره سازی) و شرایط فرآیند و عمل‌آوری آن بستگی دارد (شیسوکا و همکاران ۱۹۸۶). چای سبز خطر مرگ در اثر بیماری قلبی را بیش از ۲۵٪ کاهش می‌دهد و در جلوگیری از بروز بسیاری از بیماری‌ها به-ویژه سرطان‌های مختلف بسیار حائز اهمیت است که علت آن خاصیت آنتی‌اکسیدانی پلی‌فنول‌های چای می‌باشد. چای سبز در مقایسه با چای سیاه دوره تخمیر و اکسیداسیون کوتاه‌تری داشته و بنابراین آنتی‌اکسیدان‌های موجود در آن نسبت به چای سیاه بهتر حفظ می‌شود (نورولینو همکاران ۲۰۰۶). در نتایج فیلم فعال تولید شده نشاسته و کیتوزان حاوی عصاره چای سبز مشخص شد که چای سبز سبب بهبود خواص فیزیکی و کاهش نفوذپذیری به بخار آب شده و همچنین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی عمل می‌کند (یوبونرات و همکاران ۲۰۱۰). کتان یا بزرک^۳ گیاهیست یک ساله، علفی، ساقه برافراشته، دارای کپسول که دانه‌ها در دو

¹ *Camellia sinensis*

² Felavan-3-ol

³ *Linum usitatissimum* L

⁴ ALA

⁵ LA

مونت‌موریلونیت که دارای ماده فعال عصاره چای سبز است به روش کاستینگ تولید شده و ویژگیهای فیزیکی فیلم مورد بررسی قرار گیرد. در مرحله بعد روغن بذر کتان در این فیلم‌ها بسته‌بندی و خواص شیمیایی آنها مانند عدد پراکسید و اسیدیته مورد ارزیابی قرار گرفت. تاکنون مطالعه روی بسته‌بندی روغن کتان به وسیله پوشش‌های زیست تخریب‌پذیر فعال دارای ماده آنتی اکسیدان و تقویت شده با نانورس مونت‌موریلونیت و بررسی تأثیر آن روی خواص فیزیکوشیمیایی و ماندگاری روغن بذرکتان هنوز صورت نگرفته است بنابراین این پژوهش در نوع خود بی سابقه است.

مواد و روش‌ها

نشاسته سیب زمینی (رطوبت نسبی ۲۱-۱۸٪، مرک، آلمان)، مونت‌موریلونیت (سیگما، آمریکا)، عصاره چای سبز حاوی $27/1 \mu\text{g/ml}$ فنل کل (یانگ لیونینگ، آمریکا)، گلیسرول (مرک، آلمان) و روغن بذر کتان (از فروشگاه محلی در اراک) تهیه شد. مواد بکار رفته در آزمون‌های شیمیایی اتانول ۹۵٪، شناسگر فنل فتالئین، محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ مول بر لیتر، محلول اسید استیک-کلروفرم، محلول یدید پتاسیم، چسب نشاسته ۱٪، تیوسولفات ۰/۰۱ نرمال و تجهیزات مورد استفاده برای تولید فیلم و بررسی خواص فیزیکی آنها شامل قالب‌های پلکسی گلاس^۱ از جنس پلی‌استایرن در ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر (شرکت برناپلاست نوین، اراک)، دستگاه تست کشش (SANTAM مدل STM-600، ایران) بود.

روش تولید فیلم نشاسته-مونت‌موریلونیت حاوی عصاره چای سبز

فیلم‌های نانوکامپوزیت نشاسته-مونت‌موریلونیت به روش برزگر و همکاران (۱۳۹۴) تولید شدند. جهت تولید فیلم‌ها، نشاسته با گلیسرول (۳۰٪ وزن نشاسته) مخلوط و در دمای ۹۰°C به مدت ۱۰ دقیقه ژلاتینه شد. مقادیر

میزان آن در صورت تصفیه شدن روغن، کاهش می‌یابد (پاس و همکاران ۲۰۰۲). به طور خلاصه، بیماری‌هایی که ثابت گردیده است اسیدهای چرب امگا-۳ نقش مثبتی در بهبود آنها دارد به این شرح است: بیماری‌های قلبی عروقی، سرطان‌های سینه، پروستات، پوست و روده بزرگ، پرتو درمانی، مشکلات مفصلی پوکی استخوان، میگرن و انواع سردردها، استرس، باروری، بیماری‌های گوارشی، اختلالات بینایی، سکته و سرطان، دیابت، اختلالات معده و روده و برخی بیماری‌های دیگر (پاس و همکاران ۲۰۰۲؛ اوماه، ۲۰۰۱). این روغن محلول در حلال‌های آلی بوده و در الکل به مقدار خیلی کم حل می‌شود. اندیس ید آن به علت بالا بودن درجه غیر اشباعی اسیدهای چرب تشکیل‌دهنده آن زیاد است (اندیس یدی آن در محدوده ۱۳۴ تا ۲۰۶ می‌باشد)، به علت غیر اشباعیت زیاد اسیدهای چرب آن، لایه‌های نازک این روغن در معرض هوا و به خصوص در درجه حرارت‌های بالا به سرعت با اکسیژن واکنش می‌دهد، همچنین روغن بزرگ در اثر حرارت پلیمریزه می‌شود (سایین ۱۹۱۱). در نتیجه نوع مواد حاصل از این واکنش-ها سبب می‌شود که این روغن در صنعت رنگ‌سازی و فرآورده‌های مربوطه بی‌نهایت با ارزش باشد و چون به مقدار مصرف تولید می‌شود، یک روغن خشک شونده استاندارد است. قابلیت واکنش زیاد آن با اکسیژن قابلیت مصرف خوراکی‌شان را محدود می‌کند زیرا این روغن به خصوص اگر تصفیه و بی بو شده باشد در معرض هوا خوب نمی‌ماند (روبلین و همکاران ۱۹۸۹؛ هاشمی تنکابنی ۱۳۶۴). به دلیل ماندگاری بسیار پایین روغن بذر کتان در دمای معمولی محیط، این ماده غذایی با ارزش برای پژوهش حاضر انتخاب شد که بتوان بسته‌بندی برای آن تولید کرد که باعث افزایش زمان ماندگاری آن در دمای معمولی شود. با توجه به اهمیت آلودگی محیط زیست که درصد بالایی از آن توسط بسته‌بندی‌های مواد غذایی صورت می‌گیرد. در این پژوهش سعی بر این است که فیلم برپایه نشاسته حاوی

^۱ Plexiglas

در این قسمت با استفاده از گوش پاکن و روغن مایع به-طوری که روغن روی سطح فیلم قرار نگیرد و مانع از نفوذپذیری بخار نشود قرار گرفت. ۳ گرم سولفات کلسیم که رطوبت نسبی ۰٪ ایجاد می‌نماید، در داخل ویال‌ها قرار داده شد. ویال‌ها همراه با محتویاتشان توزین شدند و در درون دسیکاتور حاوی محلول اشباع سولفات پتاسیم قرار گرفتند. سولفات پتاسیم اشباع در دمای °C ۲۵، رطوبت نسبی ۹۷٪ ایجاد می‌کند. دسیکاتور در درون انکوباتور در دمای °C ۱±۲۵ قرار گرفت و به مدت ۶ روز هر چند ساعت یک بار با ترازوی ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. سپس منحنی افزایش وزن ویال‌ها با گذشت زمان با استفاده از برنامه اکسل ۲۰۱۰ رسم شد و پس از محاسبه رگرسیون خطی، شیب خط حاصل محاسبه گردید. از تقسیم کردن شیب خط مربوط به هر ویال، به سطح کل فیلم که در معرض انتقال بخار آب قرار داشت، آهنگ انتقال بخار آب به دست آمد. سپس با استفاده از رابطه‌ی زیر نفوذ پذیری نسبت به بخار آب محاسبه شد:

$$WVP = \frac{WVTR}{P(R_1 - R_2)} \times X$$

X: ضخامت فیلم بر مبنای متر، P: فشار بخار

آب خالص در °C ۲۵ بر حسب پاسکال که میزان آن ۳۱۶۹ پاسکال R_1 : رطوبت نسبی در داخل دسیکاتور (۹۷٪)، R_2 : رطوبت نسبی در داخل ویال (۰٪)، میزان $P(R_1 - R_2)$ به اندازه‌ی ۲۰۷۳/۹۳ پاسکال

برای اندازه‌گیری میزان جذب رطوبت فیلم‌ها از روش آنجلس و دافرنس (۲۰۰۰) استفاده شد. نمونه‌هایی از فیلم را با ابعاد ۲۰×۲۰ میلی‌متر برش داده شد و در داخل دسیکاتور حاوی سولفات کلسیم با رطوبت نسبی ۰٪ به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. پس از توزین اولیه، نمونه‌ها به دسیکاتور حاوی محلول اشباع نیترات کلسیم در رطوبت نسبی ۵۵٪ منتقل شد و در دمای °C ۲۵-۲۰ قرار گرفت. سپس وزن نمونه‌ها هر ۲۴ ساعت با ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم تا رسیدن به وزن ثابت که در ۷۲ ساعت بعد رخ داد اندازه‌گیری شد، میزان جذب رطوبت از رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

مونت موریلونیت ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸٪ در ۵۰ میلی‌لیتر آب پخش شده و عصاره چای سبز با مقادیر ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵٪ به محلول فوق اضافه و با همزن مغناطیسی به مدت ۱۰ دقیقه به هم زده شد. سپس این محلول با هم‌زنایزر به مدت ۱ دقیقه در ۱۲۰۰ دور در دقیقه هم‌زن شده و به منظور خروج حباب‌های هوا به مدت ۵ دقیقه در حمام فراصوت قرار گرفت و به مدت ۳۰ دقیقه تحت تیمار با امواج فراصوت قرار گرفت. دومرحله‌ای بودن فرآیند سبب خروج بهتر حباب هوا می‌شود. در نهایت، محلول تشکیل‌دهنده فیلم بر روی ظروف پلگسی-گلاس لبه‌دار پخش شده و در دمای محیط به مدت ۴۸ ساعت خشک شد. پس از خشک شدن، فیلم پیوسته و شفاف نشاسته-نانورس حاوی عصاره چای سبز از سطح ظروف جدا گردید و پس از آماده شدن روغن بذرکتان به مقدار ۱۰۰ گرم در آن بسته‌بندی شد و تا زمان انجام آزمایشات نگهداری شد.

آزمون‌های فیزیکی فیلم نشاسته

مقاومت به کشش به روش ASTM-D882 (۲۰۰۱) انجام شد. قبل از انجام آزمایش‌های کشش تمامی نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در رطوبت نسبی ۵۰٪ و در دمای °C ۲۵ که توسط نیترات کلسیم ایجاد شد قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی از دستگاه کشش سنج SANTAM مدل STM-1 استفاده شد. فیلم‌ها به شکل مستطیل‌های ۱۰×۲/۵ سانتی‌متر با استفاده از کاتر بریده شدند. فاصله‌ی بین دو فک دستگاه ۱۰ سانتی‌متر و سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم گردید و از لودسل ۵۰ نیوتنی استفاده شد.

نفوذپذیری به بخار آب از روش ASTM E96-95 (۱۹۹۵) استفاده شد. ابتدا فیلم‌ها در رطوبت نسبی ۵۵٪ که توسط نیترات کلسیم ایجاد شده بود به مدت ۲۴ ساعت واجد شرایط شدند. برای اندازه‌گیری نفوذپذیری به بخار آب ویال‌های مخصوصی با ارتفاع ۴/۵ سانتی-متر به کار رفتند. در درپوش این ویال‌ها منفذی به قطر ۱۱ میلی‌متر قرار دارد که قطعه‌ی از فیلم مورد آزمون را

صورت پذیرفت. عدد اسیدی طبق استاندارد شماره ۴۱۷۸ ملی ایران با استفاده از روش اتانول داغ با استفاده از شناساگر (روش مرجع) انجام شد. ارزیابی حسی به روش هدونیک پنج نقطه ای توسط ۱۰ ارزیاب آموزش ندیده انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری

جهت انجام مدل‌سازی سطح پاسخ طرح کامپوزیت مرکزی انتخاب گردید و سپس تأثیر متغیرهای مستقل آزمایش شامل زمان (X_1)، درصد عصاره چای (X_2) و درصد مونت موریلینیت (X_3) هر یک در ۵ سطح (قبلا ذکر شد) با استفاده از روش سطح پاسخ مورد ارزیابی قرار گرفته و آنالیز واریانس و مدل‌سازی رگرسیونی آن‌ها انجام شد. از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۷ جهت تجزیه تحلیل اطلاعات به روش سطح پاسخ استفاده شد.

نتایج و بحث

آزمون‌های فیزیکی فیلم نشاسته-مونت‌موریلونیت

با توجه به جدول ۱ مشاهده گردید فیلم حاوی ۱/۵٪ عصاره چای سبز و ۶٪ مونت‌موریلونیت ($10^{-7} \times 1/2$ گرم بر متر ثانیه پاسکال) کمترین میزان نفوذپذیری به بخار آب و تیمار حاوی ۱٪ عصاره چای سبز و ۰٪ مونت‌موریلونیت ($10^{-7} \times 2/6$ گرم بر متر ثانیه پاسکال) بیشترین میزان نفوذپذیری به بخار آب را دارند. بنابراین غلظت میانه‌ای از هر دو فاکتور سبب کاهش نفوذپذیری به بخار آب در فیلم گردید. فیلم‌های حاوی ۰/۵٪ عصاره چای سبز و ۲٪ مونت‌موریلونیت و ۱/۵٪ عصاره چای-سبز و ۲٪ مونت‌موریلونیت (۰/۹۶ مگا پاسکال) کمترین میزان مقاومت به کشش و تیمارهای حاوی ۲٪ عصاره چای سبز و ۴٪ مونت‌موریلونیت و ۰/۵٪ عصاره چای-سبز و ۶٪ مونت‌موریلونیت (۲/۲۰ مگا پاسکال) بیشترین میزان مقاومت به کشش را داشته اند. می‌توان نتیجه گرفت که افزایش مونت‌موریلونیت سبب افزایش مقاومت به کشش می‌شود. همچنین تیمار حاوی ۰٪ عصاره چای سبز و ۴٪ مونت‌موریلونیت (۸۴/۹۱٪) کمترین

$$\text{Moisture Absorption (\%)} = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100$$

W_t : وزن نمونه پس از زمان t در رطوبت نسبی ۵۵٪
 W_0 : وزن اولیه نمونه.

انحلال‌پذیری در آب عبارت از ٪ ماده خشک فیلم که پس از ۲۴ ساعت غوطه وری در آب، به حالت محلول در می‌آید (گونتارل و همکاران ۱۹۹۴؛ قنبرزاده و همکاران ۲۰۱۰). نمونه‌های فیلم به مدت ۲۴ ساعت در دسیکاتوری حاوی سولفات کلسیم قرار گرفتند. سپس ۵۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌ها در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر غوطه ور و به طور مقطعی هم زده شدند. به مدت ۲۴ ساعت در دمای 23°C در داخل انکوباتور قرار گرفتند. پس از آن، فیلم‌ها از داخل آب خارج و دوباره به دسیکاتور حاوی سولفات کلسیم منتقل شدند تا به وزن ثابت برسند. در مدت زمان ۹۶ ساعت فیلم‌ها به وزن ثابت رسیدند و با توزین دوباره نمونه‌ها، وزن خشک نهایی آن‌ها به دست آمد و ٪ کل ماده محلول در آب با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{TSM\%} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

W_1 : وزن خشک اولیه
 W_2 : وزن خشک نهایی

بسته‌بندی روغن بذر کتان در فیلم‌های نشاسته

فیلم کامپوزیت نشاسته در ابعاد 10×20 سانتی‌متر مربع آماده گردید. فیلم‌ها با اتانول ۷۰٪ ضد عفونی شد، سپس اطراف فیلم با دستگاه دوخت حرارتی (ایران پلاست، ایران) در دمای 70°C دوخت گردید و روغن بذر کتان به مقدار ۱۰۰ گرم به داخل بسته‌ها انتقال داده شد و سپس درب بسته دوخت شد و بسته‌ها در دمای معمولی آزمایشگاه نگهداری شد و به منظور انجام آزمایش‌های شیمیایی در بازه زمانی مورد نظر (روز اول پس از تولید، ۲، ۴، ۶، ۸ روز) روغن بذر کتان از بسته خارج و مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت.

آزمون‌های شیمیایی روغن

عدد پراکسید طبق استاندارد AOCS به شماره Cd 8- 53 (۱۹۹۸) به روش تیتراسیون با تیوسولفات 0.01

تیمار حاوی ۲٪ عصاره چای سبز و ۴٪ مونت-موریلونیت (۰/۱۴۱۰۱٪) بیشترین میزان جذب رطوبت را داشته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که غلظت متوسط هر دو فاکتور مستقل سبب کاهش جذب رطوبت فیلم می‌شود.

میزان انحلال پذیری و تیمار حاوی ۱٪ عصاره چای سبز و ۰٪ مونت موریلونیت (۹۹/۵۶٪) بیشترین میزان انحلال پذیری را داشته است. مجدداً وجود مونت-موریلونیت سبب کاهش انحلال پذیری فیلم گردید. بعلاوه، تیمار حاوی ۱٪ عصاره چای سبز و ۴٪ مونت-موریلونیت (۰/۰۰۱۱٪) کمترین میزان جذب رطوبت و

جدول ۱- نتایج آزمون‌های فیزیکی فیلم نشاسته-مونت موریلونیت

متغیر وابسته (پاسخ)				متغیر مستقل		
تیمار	عصاره چای سبز % (X ₁)	مونت موریلونیت % (X ₂)	نفوذپذیری به بخار آب ۱۰ ^{-۷} (g/m.h.pa)	مقاومت به کشش (Mpa)	انحلال پذیری (%)	جذب رطوبت (g/m.ps)
۱	۱	۴	۱/۳	۱/۲	۸۸/۵۵	۰/۰۰۵۹۷
۲	۰	۴	۲/۵	۱/۲	۸۴/۹۱	۰/۰۰۹۷۹
۳	۱	۴	۱/۳	۱/۲	۸۸/۵۵	۰/۰۰۶۳۸
۴	۱	۸	۱/۶	۲	۸۸/۸۱	۰/۰۰۵۰۵
۵	۱	۰	۲/۶	۱/۱۵	۹۹/۵۶	۰/۰۰۵۰۹
۶	۱/۵	۶	۱/۲	۲	۸۹/۴۲	۰/۰۰۲۷۶
۷	۱	۴	۱/۳	۱/۲	۸۸/۶۶	۰/۰۰۳۹۵
۸	۱	۴	۱/۳	۱	۸۸/۵۵	۰/۰۰۲۸۶
۹	۲	۴	۱/۴	۲/۲	۸۶/۷۴	۰/۱۴۱۰۱
۱۰	۱/۵	۲	۱/۸	۰/۹۶	۹۲/۶۷	۰/۰۰۵۵۵
۱۱	۰/۵	۶	۱/۶	۲/۲	۹۰/۵۳	۰/۰۰۴۰۸
۱۲	۱	۴	۱/۳	۱	۸۶/۵	۰/۰۰۱۱
۱۳	۰/۵	۲	۱/۸	۰/۹۶	۹۲/۶۷	۰/۰۰۲۹۶

(۱۳۹۱) بیان شده است که ویژگی نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها به میزان پخش نانورس بستگی دارد و همچنین منجر به کاهش معنی‌داری در ویژگی نفوذ پذیری نسبت به بخار آب فیلم‌ها شده است و با افزایش میزان نانورس، نفوذپذیری فیلم‌های نانوکامپوزیت به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرده است.

در پژوهش دیگری از تانگ (۲۰۰۸) بیان شده که بررسی اثر مونت موریلونیت بر روی نفوذپذیری به بخار آب فیلم نشاسته (در غلظت صفر تا ۲۱ درصد) کاهش نفوذ-پذیری به بخار آب فیلم‌ها را نشان داده است که کاسیریکو و همکاران (۲۰۰۹) علت کاهش نفوذپذیری به بخار آب در فیلم‌ها را ایجاد مسیر زیگزاگی و طولی برای

جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس و ضرایب مربوط به متغیرهای مستقل در مدل پیش‌بینی شده برای خواص فیزیکی فیلم‌ها را نشان می‌دهد. برای نفوذپذیری به بخار آب تاثیر فاکتورهای عصاره چای سبز و مونت موریلونیت معنی‌دار بوده ($P < 0/05$) و ضریب آنها منفی است که نشان می‌دهد سبب کاهش نفوذپذیری می‌شوند، مربع این فاکتورها با ضریب مثبت معنی‌دار است، در حالیکه اثرات متقابل دو فاکتور معنی‌دار نمی‌باشد. ضریب تبیین ۰/۹۶ و ضریب تبیین پیش‌بینی شده ۰/۹۳ بهم بسیار نزدیک می‌باشند. همانطور که مشاهده گردید میزان نفوذپذیری به بخار آب به مقدار مونت موریلونیت در فیلم بستگی دارد. در پژوهش فخری و همکاران

مذکور با پژوهش حاضر منطبق است.

تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل مولکول‌های مونت‌موریلونیت با گروه‌های هیدروکسیل نشاسته نسبت داده اند که بدین ترتیب باعث کاهش گروه‌های هیدروکسیل آزاد و تمایل زیست کامپوزیت به واکنش با مولکول‌های آب شده است. در اثر افزایش این برهم‌کنش‌ها، انحلال‌پذیری در آب کاهش می‌یابد. همچنین نوشیروانی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهش خود بیان کردند، با افزایش محتوای نانواکسرس از ۰ تا ۷٪ مقدار انحلال‌پذیری فیلم‌های حاصل در آب، از ۸۹/۲۳٪ تا ۷۵/۱۱٪ کاهش می‌یابد. بروز این خواص به برقراری پیوندهای هیدروژنی میان نانواکسرس و زنجیرهای پلیمری نسبت داده شده است. نتایج این مطالعات با نتایج مطالعه‌ی قنبرزاده و همکاران (۲۰۱۰) نیز هم سو بود. برای فاکتور جذب رطوبت فقط تاثیر عصاره چای سبز و توان دوم آن و اثرات متقابل دو متغیر معنی‌دار هستند. با توجه به نتایج بیان شده مشاهده شد که با افزایش مونت‌موریلونیت میزان جذب رطوبت کاهش یافته، قنبرزاده و همکاران (۱۳۹۳) نیز به این نتیجه رسیدند که افزودن نانورس میزان جذب آب را از درون ماتریس نشاسته، کاهش می‌دهد. با افزایش محتوای نانورس، پیوندهای هیدروژنی بین نشاسته و نانورس قویتر شده و باعث تشدید اثر بازدارندگی نانورس روی جذب آب فیلم نشاسته می‌شود. در واقع حضور لایه‌های نانورس در ماتریس بیوپلیمری، باعث ایجاد مسیرهای زیگزاگ و پرپیچ و خمی برای نفوذ مولکول‌های بخار آب می‌شود.

عبور مولکول‌های بخار آب دانسته است. که تحقیقات در مورد مقاومت به کشش فیلم‌ها آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اثر خطی مونت‌موریلونیت بر مقاومت به کشش معنی‌دار است و همچنین توان دوم اثر عصاره چای سبز نیز معنادار شده است. همچنین اثر متقابل عصاره چای سبز و مونت‌موریلونیت نیز تأثیر قابل‌قبولی در سطح اطمینان ۹۵٪ بر میزان مقاومت به کشش فیلم‌ها داشته است. همانطور که مشخص است مدل نیز در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار شده است. با افزایش مقدار مونت‌موریلونیت و عصاره چای سبز مقاومت به کشش فیلم‌ها نیز افزایش پیدا کرد. مجدزاده و نظری (۲۰۱۰) در پژوهش خود علت افزایش کشش فیلم‌ها را وجود نانورس با نسبت منظر بالا ۱۰۰-۱۰۰۰ و در نتیجه افزایش ناحیه بین سطحی پلیمر و پرکننده و برقراری پیوندهای قوی هیدروژنی بین دو فاز عنوان نمودند. همچنین ممکن است، سیلیکات‌های لایه‌ای مونت‌موریلونیت به عنوان نقاط جدید هسته‌زایی عمل کرده و باعث تشدید رشد کریستال‌ها شده و در نتیجه افزایش مقاومت به کشش نهایی می‌شود.

آنالیز واریانس مربوط به انحلال‌پذیری نشان می‌دهد که در آن مدل معنادار بوده و همچنین میزان عدم برازش نیز با مقدار ارزش P برابر با ۰/۰۹۹ صحت مدل را تأیید می‌کند. بعلاوه، مونت‌موریلونیت تأثیر بسیار زیادی با ضریب منفی داشته و سبب کاهش انحلال‌پذیری می‌شود. همچنین توان دوم این فاکتور نیز معنادار و مثبت می‌باشد. اثرات متقابل این دو فاکتور بر انحلال‌پذیری مؤثر بوده است. طبق تعریف سیرپارتران و هارته (۲۰۱۰) میزان حلالیت فیلم‌ها یکی از خصوصیات مهم در تولید فیلم زیست تخریب پذیر می‌باشد چرا که این مشخصه نشان دهنده‌ی میزان مقاومت فیلم‌ها نسبت به آب در مواقعی است که فیلم‌ها در فراورده‌های مرطوب بکار می‌روند. غلامی و همکاران (۱۳۹۲) علت کاهش انحلال‌پذیری را به

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس خواص فیزیکی فیلمها

منبع	نفوذپذیری به آب		مقاومت به کشش		انحلال پذیری		جذب رطوبت		منبع
	ضریب	جمع	ارزش P	ضریب	جمع	ارزش P	ضریب	جمع	
	مربعات	مربعات	مربعات	مربعات	مربعات	مربعات	مربعات	مربعات	
β0	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۴	۹۵/۷۲	۰/۷	۰/۰۲۱۰		
β1	-۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		۰/۱۴۲	۰/۷	-۰/۰۹۱۹	۰/۰۱۳	۰/۰۰۵۷
β2	-۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۱۷	-۳/۹۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۹۳۸	۰/۰۰۰
β11	+۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	+۰/۰۵۹	۰/۱۰۲	۰/۱۰۲	۰/۱۹۷	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۶۹
β22	+۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		+۰/۳۸۶	۰/۰۴۹	۰/۰۰۵	۰/۹۳۵	۰/۰۰۰
β12	+۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۳۷	-۰/۰۰۵	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۰۴۱	۰/۰۴۵	۰/۰۰۰
مدل	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۳۷	۲/۳۲	۱۳۹/۸۹	۰/۰۳۷	۰/۰۰۷	۰/۰۲۹	۰/۰۱۳
فقدان	۰/۲۵۸	۰/۰۰۰			۲۰/۰۵۸	۰/۰۹۹	۰/۰۹۹	۰/۰۹۹	۰/۰۰۳۷
خطای	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۴۸		۳/۴۶۲			۰/۰۱۷	
جمع	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۲/۹		۱۶۳/۴۱			۰/۹	
R ²	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۱		۰/۹۲			۰/۹	
R ² پیش	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۸۹		۰/۹			۰/۸۵	
میزان خطا	۹/۰۱	۹/۰۱	۱/۰۱۷		۲/۰۱۳			۱/۰۳۹	

جدول ۳- نتایج آزمون‌های شیمیایی روغن بذرکتان بسته‌بندی شده در فیلم‌های نشاسته

متغیر وابسته (پاسخ)		متغیر مستقل				تیمار
پراکسید	اسیدیته	زمان (روز) X ₁	عصاره چای سبز X ₂ (%)	مونت موریلونیت X ₃ (%)		
(meq O ₂ /kg Oil)	(mg KOH/g Oil)					
۱۸/۰	۱/۷۵۰	۴	۱	۴	۱	
۱۶/۸	۱/۷۳۲	۴	۱	۴	۲	
۱۶/۶	۱/۶۸۰	۲	۱/۵	۲	۳	
۱۷/۲	۱/۷۴۶	۴	۱	۴	۴	
۱۸/۰	۱/۷۴۶	۴	۱	۴	۵	
۱۶/۲	۱/۷۷۰	۴	۰	۴	۶	
۱۴/۲	۱/۷۳۶	۰	۱	۴	۷	
۲۲/۶	۱/۷۴۶	۸	۱	۴	۸	
۱۶/۸	۱/۶۸۰	۶	۰/۵	۲	۹	
۱۸/۰	۱/۶۴۰	۴	۱	۰	۱۰	
۲۰/۰	۱/۸۲۰	۶	۱/۵	۶	۱۱	
۱۹/۰	۱/۶۹۰	۶	۱/۵	۲	۱۲	
۱۸/۶	۱/۸۵۰	۶	۰/۵	۶	۱۳	
۱۶/۸	۱/۸۹۰	۴	۱	۸	۱۴	
۱۵/۸	۱/۶۹۰	۲	۰/۵	۲	۱۵	
۱۶/۸	۱/۷۳۲	۴	۱	۴	۱۶	
۱۵/۰	۱/۸۳۰	۲	۰/۵	۶	۱۷	
۱۶/۸	۱/۸۲۰	۲	۱/۵	۶	۱۸	
۱۸/۰	۱/۷۴۶	۴	۱	۴	۱۹	
۱۶/۶	۱/۷۷۰	۴	۲	۴	۲۰	

آزمون‌های شیمیایی روغن بذر کتان

در جدول ۳ نتایج آزمون‌های شیمیایی روغن بذرکتان بسته‌بندی شده در فیلم‌های نشاسته آمده است. تیمار حاوی ۱٪ عصاره چای سبز و فاقد مونت‌موریلونیت در روز چهارم نگهداری توانسته است اسیدیته روغن را به کمترین مقدار کاهش دهد (۱/۶۴) درحالی‌که تیمار حاوی ۱٪ عصاره چای سبز و ۸٪ مونت‌موریلونیت در همین روز بیشترین مقدار اسیدیته (۸۸ mg KOH/g Oil) را به خود اختصاص داده است. راجع به این اثر متفاوت در قسمت آنالیز واریانس صحبت خواهد شد. کمترین عدد پراکسید (15/8 meq O₂/kg Oil) مربوط به تیمار حاوی ۰/۵٪ عصاره چای سبز و ۲٪ مونت‌موریلونیت در روز دوم و بیشترین مقدار (۲۲/۶) مربوط به فیلم نشاسته حاوی ۱٪ عصاره چای سبز و ۴٪ مونت‌موریلونیت در روز هشتم نگهداری است.

آزمون‌های شیمیایی روغن بذر کتان

در جدول ۳ نتایج آزمون‌های شیمیایی روغن بذرکتان بسته‌بندی شده در فیلم‌های نشاسته آمده است. تیمار حاوی ۱٪ عصاره چای سبز و فاقد مونت‌موریلونیت در روز چهارم نگهداری توانسته است اسیدیته روغن را به کمترین مقدار کاهش دهد (۱/۶۴) درحالی‌که تیمار حاوی ۱٪ عصاره چای سبز و ۸٪ مونت‌موریلونیت در همین روز بیشترین مقدار اسیدیته (۸۸ mg KOH/g Oil) را به خود اختصاص داده است. راجع به این اثر متفاوت در قسمت آنالیز واریانس صحبت خواهد شد. کمترین عدد پراکسید (15/8 meq O₂/kg Oil) مربوط به تیمار حاوی ۰/۵٪ عصاره چای سبز و ۲٪ مونت‌موریلونیت در روز دوم و بیشترین مقدار (۲۲/۶) مربوط به فیلم نشاسته حاوی ۱٪ عصاره چای سبز و ۴٪ مونت‌موریلونیت در روز هشتم نگهداری است.

جدول ۴ آنالیز واریانس متغیرهای وابسته یا خواص شیمیایی روغن را نشان می‌دهد. همانگونه که مشخص است با مقدار ارزش P بسیار کوچک برای اسیدیته مدل معنی‌دار شده است. مقدار مونت‌موریلونیت بر میزان

اسیدیته نمونه‌ها موثر است. در بین اثرات مربعی نیز تأثیر عصاره چای سبز و مونت‌موریلونیت معنی‌دار بوده است. برای عدد پراکسید مدل نیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار می‌باشد و میزان عدم برازش آن نیز با مقدار ۰/۳۹۳ عدم معناداری را نشان می‌دهد که صحت مدل را تأیید می‌کند. در بین اثرات خطی متغیرها تنها زمان اثر معناداری بر میزان تغییرات عدد پراکسید داشته است و باعث افزایش عدد پراکسید می‌شود. از بین اثرات مربعی و متقابل نیز تنها اثر مربعی عصاره چای سبز معنادار بوده است. در تحقیق صباغی و همکاران (۱۳۹۳) عصاره چای سبز به علت داشتن ترکیبات فنولی باعث بهبود خواص آنتی‌اکسیدانی کیتوزان شده است. در این تحقیق برهمکنش بین ترکیبات پلی‌فنولی عصاره چای سبز با گروه‌های آمین و کربوکسیل کیتوزان، باعث منظم‌تر شدن ساختار شبکه پوشش و بهبود خواص مکانیکی و نفوذپذیری پوشش کیتوزان شده و بدین طریق نیز باعث بهبود خواص آنتی‌اکسیدانی کیتوزان و در نتیجه کاهش عدد پراکسید شده که با نتایج بدست آمده در این پژوهش نیز مطابقت دارد.

جدول ۵ نیز نقطه بهینه بدست آمده برای ترکیب فیلم بر پایه نشاسته را با حداکثر کیفیت با عمر نگهداری ۷ روز و درجه مطلوبیت ۰/۸۸ نشان می‌دهد. مطابق با نتایج بدست آمده از آنالیز واریانس غلظت‌های پایین هر دو متغیر مستقل سبب بهبود کیفیت روغن بذر کتان در بسته بندی بر پایه نشاسته می‌شود.

با توجه به نتایج بیان شده مشاهده شد که با افزایش مونت‌موریلونیت میزان جذب رطوبت کاهش یافته که قنبرزاده و همکاران (۱۳۹۳) نیز در پژوهش خود نتیجه رسیدند که افزودن نانورس نیز همچون پلی‌وینیل‌الکل میزان جذب آب را از درون ماتریس نشاسته، کاهش می‌دهد. با افزایش محتوای نانورس، پیوندهای هیدروژنی بین نشاسته، پلی‌وینیل‌الکل و نانورس قوی‌تر شده و این امر شکستن پیوندهای هیدروژنی بین

حقیقت در حضور نانورس، مولکول‌های بخار آب برای عبور از فیلم، بایستی مسیر طولانی‌تر و پیچیده‌تری را طی کنند و همین مسئله باعث کاهش میزان نفوذ مولکول‌های بخار آب می‌شود. بنابراین تاثیر نانورس در کاهش جذب رطوبت فیلم‌های بیونانوکامپوزیت، به شکل ساختمانی و نحوه قرارگیری لایه‌های آن در بین زنجیرهای بیوپلیمر مربوط می‌شود نه ترکیب شیمیایی و ساختار مولکولی آن. که پژوهش مذکور با تحقیق حاضر مطابقت دارد.

نشاسته، پلی‌وینیل‌الکل و نانورس، توسط مولکول‌های آب را دشوار نموده و باعث تشدید اثر بازدارندگی نانورس روی جذب آب فیلم نشاسته - پلی‌وینیل‌الکل می‌شود. برقراری پیوندهای هیدروژنی قوی بین نشاسته، پلی‌وینیل‌الکل و نانورس، ساختار بسیار فشرده و مستحکم را ایجاد می‌کند، که جذب و نفوذ مولکول‌های آب را به درون این ساختار محدود می‌کند. در واقع حضور لایه‌های نانورس در ماتریس بیوپلیمری، باعث ایجاد مسیرهای زیگزاگ و پرپیچ و خمی برای نفوذ مولکول‌های بخار آب می‌شود. در

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس خواص شیمیایی روغن بذرکتان بسته بندی شده در فیلم نشاسته

منبع	اسیدیته		عدد پراکسید		ارزش P
	ضریب	جمع مربعات	ضریب	جمع مربعات	
β_0	+۱/۶۵		۱۱/۵۵		
β_1	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	+۰/۰۶۳	۱۰/۷۶	۰/۰۰۱
β_2	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۳۵۲	۰/۹۵	۰/۱۶۱
β_3	+۰/۰۲۴	۰/۰۷۲	۰/۰۰۰	۰/۱۰۵۶	۰/۶۲۵
β_{11}	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۹۹۱	۰/۰۶۵	۰/۶۹۹
β_{22}	+۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	+۱/۰۴۵	۱/۷۱	۰/۰۳۸
β_{33}	+۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۹	۰/۰۱۵	۰/۰۳۵	۰/۹۳۱
β_{12}	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰	۰/۰۶۱	۰/۷۰۹
β_{13}	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۵۰۶	۰/۱۵۱	۰/۵۶
β_{23}	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۱۹۸	۰/۵۵۱	۰/۲۷۶
مدل	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۰۰	۱۳/۶۲	۰/۰۲۸
فقدان برازش	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۱۸۳	۲/۳۴	۰/۳۹۳
خطای خالص	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۱/۸۱	۱۷/۷۸	
جمع	۰/۰۷۶۴	۰/۰۷۶۴			
R^2	۰/۸۹		۰/۸۸		
R^2 پیش بینی	۰/۸۴		۰/۹۱		
میزان خطا	۲/۰۸۹		۲/۰۵		

جدول ۵- شرایط بهینه تعیین شده برای آزمون‌های شیمیایی روغن در فیلم نشاسته

مطلوبیت	اسیدیته (mg KOH/g Oil)	عدد پراکسید (meq O ₂ /kg Oil)	مونت موریلونیت (%)	عصاره چای سبز (%)	روز (t)
۰/۸۸	۱۳/۹۱	۱/۷۶	۲/۴۲	۰/۱۸۱	۷

پیوندهای قوی هیدروژنی بین دو فاز عنوان نمودند. همچنین ممکن است، سیلیکات‌های لایه‌ای مونت-موریلونیت به عنوان نقاط جدید هسته‌زایی عمل کرده و باعث تشدید رشد کریستال‌ها شده و در نتیجه افزایش مقاومت به کنش نهایی می‌شود.

همانطور که مشاهده گردید میزان نفوذپذیری به بخار آب به میزان مونت-موریلونیت در فیلم بستگی دارد. که در پژوهش فخری و همکاران (۱۳۹۱) اینطور بیان شده است که ویژگی نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها به میزان پخش نانورس بستگی دارد. و همچنین منجر به کاهش معنی‌داری در ویژگی نفوذپذیری نسبت به بخار آب فیلم‌ها شده است و با افزایش میزان نانورس، نفوذپذیری فیلم‌های نانوکامپوزیت به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرده است. در پژوهش دیگری از تانگ (۲۰۰۸) بیان شده که بررسی اثر مونت-موریلونیت بر روی نفوذپذیری به بخار آب فیلم نشاسته (در غلظت ۰ تا ۲۱٪) کاهش نفوذ-پذیری به بخار آب فیلم‌ها را نشان داده است که کاسیریگو و همکاران (۲۰۰۹) علت کاهش نفوذپذیری به بخار آب در فیلم‌ها را ایجاد مسیر زیگزاگی و طولی برای عبور مولکول‌های بخار آب دانسته است. که تحقیقات مذکور با پژوهش حاضر منطبق است.

همانطور که مشاهده شد عدد پراکسید در تمام تیمارها با شیب تندی افزایش داشته است که در این بین با افزایش غلظت مونت-موریلونیت کاهش عدد پراکسید و با وجود عصاره چای سبز از شیب افزایشی عدد پراکسید کاسته شده است. که در تحقیق صباغی و همکاران (۱۳۹۳) با موضوع تاثیر مخلوط پوشش کیتوزان و عصاره چای سبز بر فعالیت اکسایشی و قارچی مغز گردو، عصاره چای سبز به علت داشتن ترکیبات فنولی باعث بهبود خواص آنتی‌اکسیدانی کیتوزان شده است. برهمکنش بین ترکیبات پلی‌فنولی عصاره چای سبز با گروه‌های آمین و کربوکسیل کیتوزان، باعث منظم‌تر شدن ساختار شبکه پوشش و بهبود خواص مکانیکی و نفوذپذیری پوشش کیتوزان شده و بدین طریق نیز باعث بهبود خواص

غلامی و همکاران (۱۳۹۲) علت کاهش جذب رطوبت در نانوکامپوزیت‌های بر پایه نشاسته سیب‌زمینی _ مونت-موریلونیت را به کاهش آبدوستی پلیمر در اثر گروه‌های آبدوست نسبت دادند. غلامی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش خود علت کاهش انحلال‌پذیری را به تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل مولکول‌های مونت-موریلونیت با گروه‌های هیدروکسیل نشاسته نسبت داده‌اند که بدین ترتیب باعث کاهش گروه‌های هیدروکسیل آزاد و تمایل زیست کامپوزیت به واکنش با مولکول‌های آب شده است. در اثر افزایش این برهم‌کنش‌ها، انحلال‌پذیری در آب کاهش یافته. همچنین (نوشیروانی و همکاران ۱۳۹۱) در پژوهش خود بیان کردند، با افزایش محتوای نانوخاک‌رس از ۰ تا ۷٪ مقدار انحلال‌پذیری فیلم‌های حاصل در آب، از ۸۹/۲۳٪ تا ۷۵/۱۱٪ کاهش می‌یابد. بروز این خواص به برقراری پیوندهای هیدروژنی میان نانوخاک‌رس و زنجیرهای پلیمری نسبت داده شده است. نتایج این مطالعات با نتایج مطالعه‌ی قنبرزاده و همکاران (۲۰۱۰) هم سو بود و با افزایش درصد نانورس کاهش انحلال‌پذیری در آب مشاهده گردید.

همانطور که مشاهده شد با افزایش مقدار مونت-موریلونیت و عصاره چای سبز خاصیت کنش‌پذیری فیلم‌ها نیز افزایش پیدا کرده است هانگ و همکاران (۲۰۰۴) علت افزایش کنش‌پذیری فیلم‌ها را اینطور بیان کردند که هنگام تشکیل کامپوزیت‌ها در اثر عملیات مکانیکی و حرارتی روی نشاسته، پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های نشاسته از بین رفته و پیوندهای جدید هیدروژنی بین نشاسته، پلی‌وینیل‌الکل^۸ و مونت-موریلونیت تشکیل می‌شود در نتیجه ویژگی‌های مکانیکی بهبود می‌یابد. همچنین مجدزاده و نظری (۲۰۱۰) در پژوهش خود علت افزایش کنش‌پذیری فیلم‌ها را وجود نانورس با نسبت منظر بالا ۱۰۰-۱۰۰۰ و در نتیجه افزایش ناحیه بین سطحی پلیمر و پرکننده و برقراری

⁸ PVA

به کشش افزایش یافت در تاثیر متقابل عصاره چای سبز و مونت‌موریلونیت تأثیر منفی بر مقاومت به کشش فیلم دیده شد. کمترین میزان نفوذپذیری در غلظت‌های میانی مونت‌موریلونیت و عصاره چای سبز دیده شد. عصاره چای سبز و مونت‌موریلونیت چه در غلظت پایین و چه در غلظت بالا سبب تغییر نفوذپذیری به بخار آب شده هرچند که اثر مونت‌موریلونیت بیشتر بوده است. مونت-موریلونیت باعث کاهش عدد پراکسید شد. مونت-موریلونیت در غلظت‌های پایین و بالا سبب افزایش اسیدیته می‌شود هر چند تاثیر غلظت‌های پایین در افزایش اسیدیته بیشتر است. عصاره چای سبز نیز در غلظت‌های بالا (توان دوم) سبب افزایش اسیدیته می‌شود بنابراین غلظت‌های پایین چای سبز در نگهداری روغن کتان مؤثر است. در آزمون ارزیابی حسی از ابتدای نگهداری تا انتهای آن در هیچ یک از نمونه‌ها هیچ‌گونه تغییری از لحاظ رنگ، بو، طعم و پذیرش کلی گزارش نشد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آشتیان می‌باشد و از معاونت پژوهشی این دانشگاه قدردانی می‌شود.

آنتی‌اکسیدانی کیتوزان و در نتیجه کاهش عدد پراکسید شده که با تحقیقات انجام شده در این پژوهش نیز مطابقت دارد. همچنین در تحقیق رضایی و همکاران (۲۰۰۸) میزان پراکسید با افزایش زمان روند کاهشی داشته که به تجزیه هیدروپراکسیدها نسبت داده شده است که با تحقیق حاضر مغایرت دارد.

نتیجه گیری

عصاره چای سبز در مقادیر کم سبب کاهش و در مقادیر زیاد سبب افزایش جذب رطوبت فیلم‌های نشاسته‌ای گردید. علت این روند را می‌توان به توزیع مناسب عصاره چای سبز در ماتریکس نشاسته ارتباط داد، در حالیکه در غلظت‌های بالاتر تجمع عصاره چای سبز در ماتریکس فیلم سبب تضعیف فیلم و حساسیت آن به جذب رطوبت می‌شود. بعلاوه تاثیر متقابل عصاره چای سبز و مونت‌موریلونیت مؤثر بود. مقادیر کم مونت‌موریلونیت باعث کاهش انحلال‌پذیری فیلم‌ها شد. همچنین عصاره چای سبز هم نیز باعث کاهش انحلال-پذیری فیلم‌ها شد. مقادیر بالای مونت‌موریلونیت سبب افزایش انحلال‌پذیری فیلم‌ها شد. در مقادیر پایین مونت-موریلونیت فیلم‌ها مقاومت به کشش کمتری داشتند، با افزایش مقدار مونت‌موریلونیت مقاومت به کشش نیز افزایش یافت. در مقادیر بالای عصاره چای سبز مقاومت

منابع مورد استفاده

- استادعلی ط، قنبرزاده ب، دریکوند ف، مرتضوی س ع، ابوالقاسمی فخری ل، ۱۳۹۵. نانوکامپوزیت‌های بر پایه نشاسته ترموپلاستیک، نانوذرات نقره-نانورس: بررسی اثرات ضدباکتریایی روی اشرفیادکلی، ویژگی‌های مکانیکی و نفوذپذیری. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، (۱) ۶، ۱۷۵-۱۶۱.
- استاندارد ملی ایران شماره ۴۱۷۸، تجدید نظر اول، روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی، اندازه‌گیری عدد اسیدی و اسیدیته، روش آزمون.
- بزرگر ح، عزیزی م ح، بزرگر م، حمیدی اصفهانی ز، ۱۳۹۴. ارزیابی و بهینه سازی فیلم نانوکامپوزیتی نشاسته-رس، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۴۹، ۱۰۱-۹۳.
- خواجه پور م ر، ۱۳۷۰. تولید نباتات صنعتی، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی.
- رضایی س، الماسی ه، ۱۳۹۶. مطالعه تاثیر نانورس و اسید سیتریک بر روی خواص فیزیکی و آنتی‌اکسیدانی فیلم فعال نشاسته- CMC حاوی عصاره آویشن. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، (۱) ۲۷، ۹۸-۸۵.

- رنج‌زاد م، خیامی م، حیدری ر، اسدی الف، ۱۳۸۷. ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد دانه و ویژگی‌های روغن ارقام کتان روغنی، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۴، ۳۲۵-۳۱۳.
- شریف‌نیا ف، اسدی م، ۱۳۷۹. فلور ایران تیره کتان (Linaceae)، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.
- صباغی م، مقصدلو ی، خمیری م، ضیائی فر الف، ۱۳۹۳. تاثیر مخلوط پوشش کیتوزان و عصاره چای سبز بر فعالیت اکسایشی و قارچی مغز گردو، نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۴، ۳۷۴-۳۶۱.
- غلامی ر، قنبرزاده ب، دهقان نیا ج، ۱۳۹۲. نانوکامپوزیت‌های بر پایه نشاسته سیب زمینی - مونت‌موریلونیت: حساسیت به آب، خواص مکانیکی و گرمایی و الگوی پراش اشعه ایکس، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، ۲، ۱۰۰-۹۱.
- فخری ل، قنبرزاده ب، دهقان‌نیا ج، انتظامی ع، ۱۳۹۱. بررسی تاثیر نانورس (مونت‌موریلونیت) بر ویژگی‌های نفوذپذیری به بخار آب، زاویه تماس و خواص حرارتی فیلم نانو کامپوزیتی بر پایه کربوکسی متیل سلولز - پلی وینیل الکل، نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۴، ۴۰۹-۳۹۹.
- قنبرزاده ب، الماسی ه، زاهدی ی، ۱۳۸۸. بیوپلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر و خوراکی در بسته‌بندی مواد غذایی و دارویی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی‌تکنیک ایران).
- قنبرزاده ب، نوشیروانی ن، ۱۳۹۳. ویژگی‌های بیونانو کامپوزیت‌های بر پایه مونت‌موریلونیت سدیم نشاسته: توپوگرافی سطحی، جذب رطوبت، زاویه تماس و خواص رنگی، فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، ۴، ۹۴-۸۳.
- ماهرانی ب، ۱۳۸۱. مطالعه شرایط استخراج و خواص فیزیکی شیمیایی صمغ دانه بزرک، پایان نامه کارشناسی ارشد صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- نوشیروانی ن، قنبرزاده ب، انتظامی ع، ۱۳۹۱. ویژگی‌های ریز ساختاری و فیزیکی (نفوذ پذیری، مکانیکی و حرارتی) فیلم‌های نانوکامپوزیتی بر پایه نشاسته، پلی وینیل الکل و نانورس، نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۱، ۵۹-۴۹.
- هاشمی تنکابنی س الف، ۱۳۶۴، آزمایش روغن‌ها و چربی‌ها، مرکز نشر دانشگاهی دانشگاه تهران.
- Angles MN, Dufrense A, 2000. Plasticized starch tunicin whikers nanocomposites. Structural analysis. *Macromolecules* 33: 8344- 8353.
- AOCS, 1998. Official methods and recommended practices of the American oil chemists. Society method cd8-53, Fifth Ed. Champaign American Oil Chemists – Society (USA).
- ASTM, 1995. Standard test methods for water vapor transmission of material E96-95, 406-413, Mnual book of ASTM, Philadelphia, and American Society for Testing and materials. Chaudhary AL, Miler.
- ASTM, 2001. Standard Test method for tensile properties of thin plastic sheeting. In standards Designation D882, 1 62-170, Annual Book of ASTM standards, Philadelphia, American Society for Testing and Materials.
- Casariago A, Souza BWS, Cerqueira MA, Teixeira JA, Cruz L, Diaz R and Vicente AA, 2009. Chitosan/clay films' properties as affected by biopolymer and clay micro/nanoparticles' concentrations. *Food Hydrocolloids* 23(7): 1895-1902.
- Fang J, Fowler P, 2003. The use of starch and its derivatives as biopolymer sources of packaging materials. *Food, Agriculture & Environment* 64: 82-84.
- Ghanbarzadeh B, Almasi H and Entezami AA, 2010. Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11: 697-702.
- Gontard N, Duchez C, Cuq B, and Guilbert S, 1994. Edible Composite Films of Wheat Gluten and Lipids: Water Vapor Permeability and other Physical Properties, *Food Science and Technology* 29: 39-50.
- Harbowy M, Balentin D, 1997. Tea Chemistry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 16: 415-480.
- Huang MF, Yu JG and Ma XF, 2004. Studies on the properties of montmorillonite reinforced thermoplastic starch composites. *Polymer* 45: 7017-7023.
- Kampeepappun P, Aht-ong D, Pentrakoon D and Srikulkit K, 2007. Preparation of cassava starch/montmorillonite composite film. *Carbohydrate Polymers* 67: 155-163.
- Komes DD, Horzic A, Belscak K, Kovacevic and Vulic I, 2010. Green tea preparation and its influence on the content of bioactive compounds. *Food Research International* 43: 167-176.

- Magalhaes NF, Andrade CT, 2009. Thermoplastic corn starch/clay hybrids: effect of clay type and content on physical properties. *Carbohydrate Polymers* 75: 712-718.
- Majdzadeh K, Nazari B, 2010. Improving the mechanical properties of thermoplastic starch poly (vinyl alcohol) clay nanocomposites. *Composites Science and Technology* 70: 1557-1563.
- Mali S, Grossmann MVE, Garcia MA, Martino MN and Zaritzky NE, 2005. Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Carbohydrate Polymers* 1:157-164.
- Nurulain TZ, 2006. Green tea and its polyphenolic catechins: medical uses in cancer and non cancer applications. *Life Science*78: 2073-2080.
- Oomah BD, 2001. Flaxseed as functional source. *Science of Food and Agriculture* 81: 889-894.
- Oomah, BD, Mazza G, 1995. Fractionation of flaxseed with a batch dehuller. *Industrial Crops and Products* 9: 19-27.
- Pass E, Kaal n, Pierce G, 2002 .Flaxseed, [on line], Available at: www.sbrc.ca/ncarm .
- Ray SS, Okamoto M, 2003. Polymer layered silicate nanocomposite: a review from preparation to processing. *Progress in Polymer Science* 28:1539-164.
- Rezaei M, Hosseini SF, 2008. Quality Assessment of Farmed Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) during chilled storage. *Food Science* 73: 93-96.
- Robbelen G, Downey KR, Ashiri A, 1989. *Oil Crops of the World*. Printed in United States of America 553.
- Romero-Bastida CA, Bello-Perez LA, Garcia MA, Martino MN, Solorza-Feria J and Zaritzky NE, 2005. Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. *Carbohydrate Polymers* 60: 235-244.
- Sabin AH, 1911. Linseed Oil. *The Journal of Industrial and Engineering Chemistry*18: 84-86.
- Shisuoka S, 1986. Process for the production of tea catechins, US patent 4: 613-672.
- Siripatrawan U, Harte B, 2010. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids* 24: 770-775.
- Tang X, 2008. Use of extrusion for synthesis of starch-clay nanocomposites for biodegradable packaging films. PhD thesis, Food science institute, College of agriculture, Kansas state university.
- Ubonrat S, Bruce TR , 2010. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids* 24: 770-775.
- Yu L, 2009. *Biodegradable Polymer Blends and Composites from Renewable Resources*. Wiley Publications, pp. 369-389.

Production of edible film based on starch-montmorillonite containing green tea extract in order packaging of flax seed oil

M Tahmasbi¹, F Beigmohammadi^{2*} and F Rafiee³

Received: December 28, 2016

Accepted: November 13, 2017

¹MSc Student, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Ashtiyah Branch, Islamic Azad University, Central, Iran.

²Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

³Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Ashtiyah Branch, Islamic Azad University, Central, Iran.

*Corresponding author: Email: faranak.beigmohammadi. @iauksh.ac.ir

Abstract

Starch-based active packaging which contain additives has been used to food preservation, significantly. Organic nano-clays such as montmorillonite cause to strength of these films and additives such as antioxidants reduces food spoilage rate. In this study starch-based films with different percentages of montmorillonite from 0 to 8% and the green tea extract from 0 to 2.5 % were produced by casting method and physical properties of the films such as tensile strength, water absorption, water vapor permeability and solubility were investigated. Then flax seed oil was packaged in these films and some chemical properties of oil, peroxide index and acidity, were evaluated. Then the optimal point in the film production was determined with Minitab 17 software by response surface methodology. The results showed that low content of both independent factors caused to decrease of water absorption and solubility and addition of montmorillonite and green tea extract increased the tensile strength of films. It was seen in medium content of both factor water vapor permeability of films was the least. Montmorillonite in high and medium content caused to reduction of peroxide index and acidity, respectively. Organoleptic tests showed that edible films did not change the odor, flavor, color and overall acceptance of flax seed oil, too. The optimal point to justify was in 2.42% of Montmorillonite and 0.181% of green tea extract caused to increase shelf life of flax seed oil to 7 days.

Keywords: Flax seed oil, Green tea extract, Montmorillonite, Starch film