نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۲۸ شماره ۳/ سال ۱۳۹۷/ صفحات ۶۹ تا ۸۴

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

مهدیه طهماسبی[۱]، فرانک بیگ محمدی[۲]* و فلورا رفیعی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/٤

[۱] دانش‌آموخته 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 موادغذایی 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 درصد و مقادیر متفاوت عصاره چای سبز از ۰ تا ۲/۵ درصد به روش کاستینگ تولید شد و ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌ها شامل مقاومت به کشش، جذب رطوبت، نفوذپذیری به بخار آب و انحلال پذیری مورد بررسی قرار گرفت. سپس روغن بذر کتان در فیلم-های 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 انحلال پذیری فیلم‌ها شد و با افزایش مقدار مونت‌موریلونیت و عصاره چای سبز مقاومت به کشش نیز افزایش یافت. کمترین میزان نفوذپذیری به بخارآب 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 درصد مونت‌موریلونیت و ۰/۱۸۱ درصد عصاره چای‌سبز بود، که عمر نگهداری روغن را تا ۷ روز افزایش داد.

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

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. یکی از راه‌هایی که جهت اصلاح فیلم‌های نشاسته‌ای صورت می‌گیرد تولید نانوکامپوزیت‌ها بر پایه آن است (کمپیراپاپان و همکاران ۲۰۰۷). درفیلم تولید شده از نشاسته سیب 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 بخارآب 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 زیست‌تخریب‌پذیر می‌باشد (ری و اکاموتو ۲۰۰۳). مونت‌موریلونیت پرکاربردترین سیلیکات لایه‌ای است که به دلیل زیست سازگاری، دسترسی آسان و قیمت پایین بطور گسترده در تولید نانوکامپوزیت‌های زیست تخریب‌پذیرمورد 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 پلمیر دارد و آزمون پراش پرتو ایکس نیز این نتیجه را تائید 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 فیلم ها کاهش می‌یابد. نتایج آزمون زاویه تماس نشان می‌دهد با افزودن مونت‌موریلونیت به فیلم زاویه تماس افزایش یافته نتایج رنگ سنجی نشان داد که نمونه‌های حاوی مومنت‌موریلونیت بهترین فیلم را از لحاظ شفافیت تولید نمودند (قنبرزاده و همکاران۱۳۹۳). مونت‌موریلونیت سدیم به راحتی با پلیمر های آبدوستی مانند نشاسته پیوند برقرار می‌کند و قابلیت پخش شدن در ماتریس فیلم‌ها را دارد و باعث کریستالی شدن فیلم‌ها می گردد (ماگالهائس و همکاران ۲۰۰۹). چای[1]گیاهی است بوته‌ای که بومی چین و شمال هندوستان می‌باشدترکیبات متشکله برگ چای شامل فلاوانول‌ها، فلاوونول‌ها، اسید-های 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 سلامتی-زا هستند (هاربوی و همکاران ۱۹۹۷). کاتچین‌ها[2] (فلاوان-۳-ال)[3] نوعی آنتی‌اکسیدان و از مهمترین فلاوانول‌ها به شمار می‌روند. کاتچین‌های چای سبز شامل اپی‌کاتچین،[4] اپی‌کاتچین‌گالات،[5] اپی گالوکاتچین[6] و اپی‌گالوکاتچین‌گالات[7] می‌باشند. فراوان‌ترین و فعال‌ترین کاتچین (فعالیت آنتی‌اکسیدانی)، اپی‌گالوکاتچین‌گالات می-باشد (کوماس و همکاران ۲۰۱۰). فعالیت آنتی اکسیدانی کاتچین‌ها به کیفیت برگ چای (موقعیت جغرافیایی کشت، آب و هوا، شرایط برداشت و ذخیره سازی) و شرایط فرآیند و عمل آوری آن بستگی دارد (شیسوکا و همکاران ۱۹۸۶). چای سبز خطر مرگ در اثر بیماری قلبی را بیش از بیست و پنج درصد کاهش می‌دهد و در جلوگیری از بروز بسیاری از بیماری‌ها به‌ویژه سرطان-های مختلف بسیار حائز اهمیت است که علت آن خاصیت آنتی‌اکسیدانی پلی‌فنول‌های چای می‌باشد. چای سبز در

[1] *Camellia sinensis*
[2] Catechines
[3] Felavan-3-ol
[4] Epicatechin
[5] Epicatechingalat
[6] Epigalocatechin
[7] Epigalocatechingalat

مقایسه با چای سیاه دوره تخمیر و اکسیداسیون کوتاه-تری 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[1] گیاهیست یک ساله، علفی، ساقه برافراشته، دارای کپسول که دانه‌ها در دو رنگ قهوه‌ای و زرد طلایی هستند. در ایران در بخش‌های شمال و شمال-غرب، 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 تجارتی اهمیت فراوان یافته است (ماهرانی و همکاران ۱۳۸۱؛ خواجه پور ۱۳۷۰؛ پاس و همکاران ۲۰۰۲). روغن دانه این گیاه دارای غنی‌ترین منبع اسیدهای چرب غیر اشباع امگا۳ (۵۷٪) است که بیش از دو برابر موجود در روغن ماهی (در حجم مساوی) می‌باشد (رنجزاد و همکاران،۱۳۸۷). دانه بزرک منبع خوب اسیدهای چرب ضروری امگا-۳ از نوع آلفا لینولنیک اسید[2]می‌باشد و همچنین منبع خوب لیگنان (اجزای فیتواستروژنیک)، فیبر رژیمی۳، پروتئینی، مواد معدنی و ویتامین‌ها می‌باشد. بعلاوه کنجاله دانه بزرک (دانه روغن‌گیری شده) خود یک منبع پروتئینی مناسب برای تغذیه حیوانات اهلی می‌باشد که در کشور-های توسعه یافته از آن استفاده می‌شود (اوماه ۲۰۰۱ ؛ اوماه و همکاران ۱۹۹۵). دانه بزرک 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 می-باشند. پیش ساز اسیدهای چرب ضروری، اسید لینولئیک[3]و اسید آلفالینولنیک بوده و باید برای حفظ سلامتی مصرف این دو در غذای روزانه در حد کافی باشد. همانطور که ذکر شد دانه بزرک منبع غنی از پیش‌ساز لیگنان می‌باشد (لیگنان‌ها متعلق به طبقه فیتو استروژن‌ها که ساختمانی مشابه استروزن انسان دارند، هستند. فیتواستروژن‌ها از بدن در برابر بیماری‌هایی مثل سرطان سینه و پوکی استخوان محافظت می‌کنند) البته میزان آن در صورت تصفیه شدن روغن، کاهش می‌یابد (پاس و همکاران ۲۰۰۲؛ آنونیموس 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 تشکیل دهنده 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 بزرک در اثر حرارت پلیمریزه می‌شود (سابین ۱۹۱۱). در نتیجه نوع مواد حاصل از این واکنش‌ها سبب می‌شود که این روغن در صنعت رنگ‌سازی و فراورده‌های 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 تنکابنی۱۳۶۴). به دلیل ماندگاری بسیار پایین روغن بذر کتان در دمای معمولی

[1] Linum usitatissimun L
[2] ALA
[3] LA

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 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. تا کنون مطالعه روی بسته-بندی روغن کتان به وسیله پوشش‌های زیست تخریب-پذیر 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 درصد مرک، آلمان)، مونت موریلونیت (سیگما، آمریکا)، عصاره چای سبز حاوی ۳۷/۱µg/ml فنل کل (یانگ لیوینگ، 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٪ ، تیوسولفات۰/۰۱ نرمال و تجهیزات مورد استفاده برای تولید فیلم و بررسی خواص فیزیکی آنها شامل قالب‌های پلکسی گلاس[1] از جنس پلی‌استایرن در ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر (شرکت برناپلاست نوین، اراک)، دستگاه تست کشش (SANTAM مدلSTM-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 درصد وزن نشاسته) مخلوط و در دمای $90^{o}C$ به مدت۱۰ دقیقه ژلاتینه شد. مقادیر مونت‌موریلونیت ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد در ۵۰ میلی‌لیتر آب پخش شده و عصاره چای سبز با مقادیر۰، ۵,۰ ، ۱، ۵,۱ و ۲ درصد به محلول فوق اضافه و با همزن مغناطیسی به مدت ۱۰ دقیقه به هم زده شد سپس این محلول با هموژنایزر به مدت ۱ دقیقه در۱۲۰۰ دور در دقیقه هموژن شده و به منظور خروج حباب‌های هوا به مدت ۵ دقیقه در حمام فراصوت قرار گرفت و سپس به مدت۳۰ دقیقه تحت تیمار با امواج فراصوت قرار گرفت. دو مرحله‌ای بودن فرآیند سبب خروج بهتر حباب هوا می‌شود. در نهایت، محلول تشکیل‌دهنده فیلم بر روی ظروف پلگسی‌گلاس 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 نمونه-ها به مدت ۱ ساعت در رطوبت نسبی ۵۰٪ و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد 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 لودسِل ۵۰ نیوتنی استفاده شد. فاکتور مقاومت به کشش فیلم‌ها بر حسب مگا پاسکال گزارش شد (ASTM, 2001).

[1] Plexiglas

نفوذپذیری به بخارآب 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 سانتی‌متر به کار رفتند. در درپوش این ویال‌ها منفذی به قطر ۱۱ میلی‌متر قرار دارد که قطعه‌ی از فیلم مورد آزمون را در این قسمت با استفاده از گوش پاکن و روغن مایع به‌طوریکه 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 دسیکاتوری حاوی محلول اشباع سولفات‌پتاسیم قرار گرفتند. سولفات‌پتاسیم اشباع در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی ۹۷٪ ایجاد می‌کند. دسیکاتور در درون انکوباتور در دمای ۱±۲۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت و به مدت ۶ روزهر چند ساعت یک بار با ترازوی ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. سپس منحنی افزایش وزن ویال-ها با گذشت زمان با استفاده از برنامه اکسل ۲۰۱۰ رسم شد و پس ازمحاسبه 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[1]به‌دست آمد. سپس با استفاده از رابطه زیر نفوذ پذیری نسبت به بخار آب[2] محاسبه شد:

$$WVP=\frac{WVTR}{P(R1-R2)}\times X$$

X: ضخامت فیلم بر مبنای متر، P: فشار بخار آب خالص در ۲۵°C 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 ۳۰۷۳/۹۳ پاسکال

میزان نفوذپذیری بر حسب واحد گرم بر متر هکتو-پاسکال گزارش شد (ASTM, 1995).

برای اندازه گیری میزان جذب رطوبت فیلم‌ها از روش آنجلس و دافرنس (۲۰۰۰) استفاده شد. نمونه‌هایی ازفیلم را با ابعاد ۲۰×۲۰ میلی‌متر برش داده شد و در داخل دسیکاتوری حاوی سولفات‌کلسیم با رطوبت نسبی ۰٪ به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. پس از توزین اولیه، نمونه‌ها به دسیکاتوری حاوی محلول اشباع نیترات‌کلسیم در رطوبت نسبی ۵۵٪ منتقل شد و در دمای ۲۵–۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس وزن نمونه‌ها هر ۲۴ ساعت با تراوزیی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم تا رسیدن به وزن ثابت که در۷۲ ساعت بعد رخ داد اندازه گیری شد، میزان جذب رطوبت از رابطه‌ی زیرمحاسبه شد:

$$\text{جذب رطوبت}\ (\%) = \frac{W_t-W_0}{W_0}\times 100$$

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

W_0: وزن اولیه نمونه.

جذب رطوبت بر مبنای درصد (٪) بیان می‌شود (دافرنس و آنجلس ۱۹۹۵)

انحلال‌پذیری در آب عبارت از درصد ماده خشک فیلم که پس از۲۴ ساعت غوطه وری در آب، به حالت محلول در می‌آید (گونتارل و همکاران ۱۹۹۴). نمونه‌های فیلم به مدت ۲۴ ساعت در دسیکاتوری حاوی سولفات‌کلسیم 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 ۲۳°C در داخل انکوباتور قرار گرفتند. پس از آن، فیلم‌ها از داخل آب خارج و دوباره به دسیکاتور حاوی سولفات‌کلسیم 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 درصد کل ماده محلول درآب[3]بر حسب درصد با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

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

W_1: وزن خشک اولیه W_2: وزن خشک نهایی.

انحلال‌پذیری در آب بر مبنای درصد (٪) بیان می‌شود (قنبرزاده و همکاران ۲۰۱۰). قابل ذکر است که هیچ یک ازفیلم‌ها در اثرغوطه‌وری درآب متلاشی نشدند وشکل اولیه خود را حفظ کردند.

[1] Water Vapor Transmission rate (WVTR)

[2] Water Vapor Permeability (WVP)

[3] TSM

بسته بندی روغن بذر کتان در فیلم‌های نشاسته

فیلم کامپوزیت نشاسته در ابعاد ۲۰×۱۰سانتی‌متر مربع آماده گردید. فیلم‌ها با اتانول ۷۰ درصد ضد عفونی شد، سپس اطراف فیلم با دستگاه دوخت حرارتی (ایران پلاست، ایران) در دمای ۷۰°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، و 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 ۰/۰۱ 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[1] طرح کامپوزیت مرکزی انتخاب گردید و سپس تأثیر متغیرهای مستقل آزمایش شامل زمان (X_1)، درصد عصاره چای (X_2) و درصد مونت موریلنیت (X_3) هر یک در ۵ سطح (قبلا ذکر شد) با استفاده از روش سطح پاسخ مورد ارزیابی قرار گرفته و آنالیز واریانس ومدل‌سازی رگرسیونی آن‌ها انجام شد. از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۷[2] جهت تجزیه تحلیل اطلاعات به روش سطح پاسخ استفاده شد.

نتایج و بحث

آزمون‌های فیزیکی فیلم نشاسته-مونت‌موریلونیت

با توجه به جدول ۱مشاهده گردید فیلم حاوی ۱/۵ درصد عصاره چای‌سبز و ۶ درصد مونت‌موریلونیت ($۱/۲\times۱۰^{-۷}$ گرم بر متر ثانیه پاسکال) کمترین میزان نفوذپذیری به بخار آب و تیمار حاوی ۱ درصد عصاره چای‌سبز و صفردرصد مونت‌موریلونیت ($۲/۶\times۱۰^{-۷}$ گرم بر متر ثانیه پاسکال) بیشترین میزان نفوذپذیری به بخار آب را دارند. بنابراین غلظت میانه‌ای از هر دو فاکتور سبب کاهش نفوذپذیری به بخارآب در فیلم گردید. فیلم‌های حاوی ۰/۵ درصد عصاره چای‌سبز و ۲ درصد مونت-موریلونیت و ۱/۵ درصد عصاره چای‌سبز و ۲ درصد مونت‌موریلونیت (۰/۹۶مگاپاسکال) کمترین میزان مقاومت به کشش و تیمارهای حاوی ۲ درصد عصاره چای‌سبز و ۴ درصد مونت‌موریلونیت و ۰/۵درصد عصاره چای‌سبز و ۶ درصد مونت‌موریلونیت (۲/۲۰ مگاپاسکال) بیشترین میزان مقاومت به کشش را داشته اند. می‌توان نتیجه گرفت که افزایش مونت‌موریلونیت سبب افزایش مقاومت به کشش می‌شود. همچنین تیمار حاوی صفر درصد عصاره چای سبز و ۴درصد مونت-موریلونیت (۸۴/۹۱ درصد) کمترین میزان انحلال پذیری و تیمار حاوی ۱ درصد عصاره چای سبز و صفر درصد مونت‌موریلونیت (۹۹/۵۶ درصد) بیشترین میزان انحلال‌پذیری را داشته است. مجددا وجود مونت-موریلونیت سبب کاهش انحلال‌پذیری فیلم گردید. بعلاوه، تیمار حاوی ۱ درصد عصاره چای سبز و ۴ درصد مونت‌موریلونیت (۰/۰۰۱۱ درصد) کمترین میزان جذب رطوبت و تیمار حاوی ۲ درصد عصاره چای سبز و ۴ درصد مونت‌موریلونیت (۰/۱۴۱۰۱درصد) بیشترین میزان جذب رطوبت را داشته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که غلظت متوسط هر دو فاکتور مستقل سبب کاهش جذب رطوبت فیلم می‌شود.

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 بخارآب تاثیر فاکتورهای عصاره چای سبز و مونت موریلونت معنی‌دار بوده ($p< ۰/۰۵$) و ضریب آنها منفی است که نشان می دهد 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

[1] Response Surface Method or RSM
[2] Minitab 17

میزان نفوذپذیری به بخار آب به مقدار مونت‌موریلونیت در فیلم بستگی دارد. در پژوهش فخری و همکاران (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 اثرمونت‌موریلونیت 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 کاسیریگو و همکاران (۲۰۰۹) علت کاهش نفوذپذیری به بخار آب در فیلم‌ها را ایجاد مسیر زیگزاگی و طویل برای عبور مولکول‌های بخار آب دانسته است. که تحقیقات مذکور با پژوهش حاضر منطبق است.

جدول ۱- نتایج آزمون‌های فیزیکی فیلم نشاسته-مونت‌موریلونیت

متغیر مستقل			متغیر وابسته (پاسخ)			
تیمار	عصاره چای سبز (X_1)%	مونت-موریلونیت % (X_2)	نفوذپذیری به بخار آب (10^{-7} g/m.h.pa)	مقاومت به کشش (Mpa)	انحلال‌پذیری (%)	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	۰/۰۰۳۸۶
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

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 درصد بر میزان مقاومت به کشش فیلم‌ها داشته است. همانطور که مشخص است مدل نیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد 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.

جدول۲- نتایج آنالیز واریانس خواص فیزیکی فیلم‌ها

منبع	نفوذپذیری به آب		مقاومت به کشش			انحلال پذیری			جذب رطوبت		
	ضریب	جمع مربعات	ارزش P	ضریب	جمع مربعات	ارزش P	ضریب	جمع مربعات	ارزش P	ضریب	جمع مربعات	ارزش P
β0	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰٤			۹۵/۷۲			۰/۰۲۱۰		
β1	-۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		۰/۲۷	۰/۱٤۲		۰/۵٤۲	۰/۷	-۰/۰۹۱۹	۰/۰۰۵۷	۰/۰۱۳
β2	-۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۱۷	۱/۳۲	۰/۰۰۸	-۳/۹۳	۲/۲۵٦	۰/۰۰٤		۰/۰۰۰	۰/۹۳۸
β11	+۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	+۰/۵۹	۰/٤۹۹	۰/۱۰۲		٦/۸۲۲	۰/۱۹۷	+۰/۰٦۹۹	۰/۰۰٦۹	۰/۰۰۹
β22	+۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			۰/۰٤۹	+۰/۳۸٦	۵٤/٦۵	۰/۰۰۵		۰/۰۰۰	۰/۹۳۵
β12	+۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۳۷	-۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۷٦		۰/۳۰۸	۰/۰٤۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰٤۵
مدل		۰/۰۰۰			۲/۳۲	۰/۰۳۷		۱۳۹/۸۹	۰/۰۰۷		۰/۰۱۳	۰/۰۲۹
فقدان		۰/۰۰۰	۰/۲۵۸					۲۰/۰۵۸	۰/۰۹۹		۰/۰۰۳۷	۰/۰۹۹
خطای		۰/۰۰۰			۰/۰٤۸			۳/٤٦۲			۰/۰۱۷	
جمع		۰/۰۰۰			۲/۹			۱٦۳/٤۱			۰/۹	
R^2		۰/۹٦			۰/۹۱			۰/۹۲			۰/۹	
R^2پیش		۰/۹۳			۰/۸۹			۰/۹			۰/۸۵	
میزان خطا		۹/۰۱			۱/۰۱۷			۲/۰۱۳			۱/۰۳۹	

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 تائید 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 سیریپارتراوان و هارته (۲۰۱۰) میزان حلالیت فیلم‌ها یکی ازخصوصیات 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 انحلال پذیری را به 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 نانوخاک-رس از صفر تا ۷ درصد 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) نیز هم سو بود. برای فاکتور جذب رطوبت فقط تاثیرعصاره 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 افـزودن نانورس میزان جذب آب را از درون ماتریس نشاسته، کاهش می‌دهد. با افزایش محتوای نانورس، پیوندهای هیدروژنی بین نشاسته و نانورس قـویتر شده و باعث تشدید اثر بازدارنـدگی نـانورس روی جـذب آب فـیلم نشاسته می‌شود. در واقع حضور لایه‌های نانورس در ماتریس بیوپلیمری، باعث ایجاد مسیرهای زیگزاگ و پرپیچ و خمی برای نفوذ مولکول‌های بخار آب می‌شود.

جدول۳-نتایج آزمون‌های شیمیایی روغن بذرکتان بسته‌بندی شده در فیلم‌های نشاسته

متغیر مستقل				متغیر وابسته (پاسخ)	
تیمار	مونت‌موریلونیت X_3 (٪)	عصاره چای سبز X_2 (٪)	زمان (روز)X_1	اسیدیته (mg KOH/g Oil)	پراکسید (meq O_2/kg Oil)
۱	۴	۱	۴	۱/۷۵۰	۱۸/۰
۲	۴	۱	۴	۱/۷۳۲	۱۶/۸
۳	۲	۱/۵	۲	۱/۶۸۰	۱۶/۶
۴	۴	۱	۴	۱/۷۴۶	۱۷/۲
۵	۴	۱	۴	۱/۷۴۶	۱۸/۰
۶	۴	۰	۴	۱/۷۷۰	۱۶/۲
۷	۴	۱	۰	۱/۷۳۶	۱۴/۲
۸	۴	۱	۸	۱/۷۴۶	۲۲/۶
۹	۲	۰/۵	۶	۱/۶۸۰	۱۶/۸
۱۰	۰	۱	۴	۱/۶۴۰	۱۸/۰
۱۱	۶	۱/۵	۶	۱/۸۲۰	۲۰/۰
۱۲	۲	۱/۵	۶	۱/۶۹۰	۱۹/۰
۱۳	۶	۰/۵	۶	۱/۸۵۰	۱۸/۶
۱۴	۸	۱	۴	۱/۸۹۰	۱۶/۸
۱۵	۲	۰/۵	۲	۱/۶۹۰	۱۵/۸
۱۶	۴	۱	۴	۱/۷۳۲	۱۶/۸
۱۷	۶	۰/۵	۲	۱/۸۳۰	۱۵/۰
۱۸	۶	۱/۵	۲	۱/۸۲۰	۱۶/۸
۱۹	۴	۱	۴	۱/۷۴۶	۱۸/۰
۲۰	۴	۲	۴	۱/۷۷۰	۱۶/۶

آزمون‌های شیمیایی روغن بذر کتان

در جدول ۳ نتایج آزمون‌های شیمیایی روغن بذرکتان بسته‌بندی شده در فیلم‌های نشاسته آمده است. تیمار حاوی ۱ درصد عصاره چای سبز و فاقد مونت-موریلونیت در روز چهارم نگهداری توانسته است اسیدیته روغن را به کمترین مقدار کاهش دهد (۱/۶۴) درحالیکه تیمار حاوی ۱ درصد عصاره چای سبز و ۸ درصد مونت‌موریلونیت در همین روز بیشترین مقدار اسیدیته(۱/۸۹mg KOH/g Oil) را به خود اختصاص داده است. راجع به این اثر متفاوت در قسمت آنالیز واریانس صحبت خواهد شد. کمترین عدد پراکسید (meq O_2/kg Oil ۱۵/۸) مربوط به تیمار حاوی ۰/۵ درصد عصاره چای سبز و ۲ درصد مونت‌موریلونیت در روز دوم و بیشترین مقدار (۲۲/۶) مربوط به فیلم نشاسته حاوی ۱ درصد عصاره چای سبز و ۴ درصد 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 مونت‌موریلونت بر میزان اسیدیته نمونه‌ها موثر است. در بین اثرات مربعی نیز تأثیر عصاره چای‌سبز و مونت‌موریلونیت معنی‌دار بوده است. برای عدد پراکسید مدل نیز در سطح اطمینان۹۵ درصد معنادار می‌باشد و میزان عدم برازش آن نیز با مقدار ۰/۳۹۳ عدم معناداری را نشان می‌دهد که صحت مدل را تائید می‌کند. در بین اثرات خطی متغیرها تنها زمان اثر معناداری بر میزان تغییرات عدد پراکسید داشته است و باعث افزایش عدد پراکسید می-شود. 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 چای‌سبز 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 قوی-تر شده و این امر شکستن پیوندهای هیدروژنی بین 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 مستحکمی 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 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.

جدول۴- نتایج آنالیز واریانس خواص شیمیایی روغن بذر کتان بسته‌بندی شده در فیلم نشاسته

منبع	اسیدیته			عدد پراکسید		
	ضریب	جمع مربعات	ارزش P	ضریب	جمع مربعات	ارزش P
β_0	+۱/٦٥			۱۱/۵۵		
β_1		۰/۰۰۰۱	۰/۳۵۲	+۰/۰٦۳	۱۰/۷٦	۰/۰۰۱
β_2		۰/۰۰۰۱	۰/۳۵۲		۰/۹۵	۰/۱٦۱
β_3	+۰/۰۲٤	۰/۰۷۲	۰/۰۰۰		۰/۱۰۵٦	۰/٦۲۵
β_{11}		۰/۰۰۰	۰/۹۹۱		۰/۰٦۵	۰/٦۹۹
β_{22}	+۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	+۱/۰٤۵	۱/۷۱	۰/۰۳۸
β_{33}	+۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۹	۰/۰۱۵		۰/۰۳۵	۰/۹۳۱
β_{12}		۰/۰۰۰	۱/۰۰		۰/۰٦۱	۰/۷۰۹
β_{13}		۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۵۰٦		۰/۱۵۱	۰/۵٦
β_{23}		۰/۰۰۰۲	۰/۱۹۸		۰/۵۵۱	۰/۲۷٦
مدل		۰/۰۷۵	۰/۰۰۰		۱۳/٦۲	۰/۰۲۸
فقدان برازش		۰/۰۰۰۷	۰/۱۸۳		۲/۳٤	۰/۳۹۳
خطای خالص		۰/۰۰۰۳			۱/۸۱	
جمع		۰/۰۷٦٤			۱۷/۷۸	
R^2	۰/۸۹			۰/۸۸		
R^2پیش بینی	۰/۸٤			۰/۹۱		
میزان خطا	۲/۰۸۹			۲/۰۵		

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

مطلوبیت	اسیدیته (mg KOH/g Oil)	عدد پراکسید (meq O_2/kg Oil)	مونت‌موریلونیت (%)	عصاره چای سبز (%)	روز (t)
۰/۸۸	۱۳/۹۱	۱/۷۶	۲/۴۲	۰/۱۸۱	۷

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 انحلال پذیری را به تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل مولکول-های مونت‌موریلونیت 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 برهم‌کنش-

ها، انحلال‌پذیری در آب کاهش یافته. همچنین (نوشیروانی و همکاران ۱۳۹۱) در پژوهش خود بیان کردند، با افزایش محتوای نانوخاک‌رس از صفر تا ۷ درصد 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 انحلال پذیری در آب مشاهده گردید.

همانطور که مشاهده شد با افزایش مقدار مونت-موریلونیت و عصاره چای سبز خاصیت کشش پذیری فیلم‌ها نیز افزایش پیدا کرده است هانگ و همکاران (۲۰۰۴) علت افزایش کشش 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[1] ومونت-موریلونیت تشکیل می‌شود در نتیجه ویژگی‌های مکانیکی بهبود می‌یابد. همچنین 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 پر کننده و برقراری 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 کشش نهایی می‌شود.

همانطور که مشاهده گردید میزان نفوذپذیری به بخار آب به میزان مونت‌موریلونیت 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 فیلم-ها 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 اثرمونت‌موریلونیت بر روی نفوذپذیری به بخار آب فیلم نشاسته (در غلظت صفر تا ۲۱ درصد) کاهش نفوذپذیری 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 طویل 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 مونت‌موریلونیت 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 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 غلظت های بالاتر تجمع عصاره چای سبز در ماتریکس فیلم سبب تضعیف فیلم و حساسیت آن به جذب رطوبت می‌شود. بعلاوه تاثیر متقابل عصاره

[1] PVA

چای سبز و مونت‌موریلونیت مؤثر بود. مقادیر کم مونت‌موریلونیت باعث کاهش انحلال‌پذیری فیلم‌ها شد. همچنین عصاره چای‌سبز 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 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 غلظت های پایین در افزایش اسیدیته بیشتر است . عصاره چای سبز نیز در غلظت های 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 هیچ گونه تغییری از لحاظ رنگ، بو، طعم و پذیرش کلی گزارش نشد.

سپاسگزاری

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

منابع مورد استفاده

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، برزگر م، حمیدی‌اصفهانی 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.

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، مقصودلو ی، خمیری م، ضیائی‌فر 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 بخارآب، زاویه تماس و خواص حرارتی فیلم نانو کامپوزیتی بر پایه کربوکسی متیل سلولز - پلی وینیل الکل، نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران۴، ۴۰۹-۳۹۹.

قنبرزاده ب، الماسی هـ 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، ۴۴، ۹۴-۸۳.

ماهرانی ب، ۱۳۸۱، مطالعه شرایط استخراج و خواص فیزیکو 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 وچربی‌ها، مرکز نشر دانشگاهی دانشگاه تهران.

Angles MN, Dufrense A, 2000. Plasticized starch tunicin whikers nanocomposites. Structural analysis. Macromolecules 33: 8344- 8353.

Anonymous, 2002. Linseed, [on line]. Available at: www.ienica.net/crops/linseed. pdf.

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.

Casariego A, Souza BWS, Cerqueira MA, Teixeira JA, Cruz L, Diaz R. & 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.

Kampeerapappun 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 Science78: 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 in International Journal 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 Assesssment of Farmed Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) during chilled storage. Food Science73: 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, Garcıa 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 Chemistry18: 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 Tahmasbi[1], F Beigmohammadi[2*] and F Rafiei[3]

Received: March 8, 2017 Accepted: September 26, 2017

[1]MSc Student, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Ashtiyan Branch, Islamic Azad university, Central, Iran
[2]Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
[3]Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Ashtiyan Branch, Islamic Azad University, Central, Iran
[*]Corresponding author: Email: beigmohammadi.f@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