تهیه و بررسی ویژگی‌های فیلم خوراکی HPMC حاوی اسانس مریم گلی

رضا قادرمزی[a*]، جواد کرامت[b]، سید امیرحسین گلی[c]

[a] دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
[b] دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
[c] استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۹/۲۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۸

چکیده

مقدمه: در سال‌های اخیر تمایل به استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی در بسته بندی مواد غذایی رو به افزایش بوده است. این بسته بندی‌ها مزایای مختلفی مانند زیست تخریب پذیری و حمل افزودنی‌های غذایی مانند آنتی‌اکسیدان‌ها، ترکیبات ضد میکروبی، رنگ‌ها و مواد مغذی را دارند.

مواد و روش‌ها: قدرت آنتی‌اکسیدانی اسانس مریم گلی در چندین مدل سیستم آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. سپس فیلم خوراکی هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) حاوی اسانس مریم گلی تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و آنتی‌اکسیدانی آن بررسی گردید.

یافته‌ها: در تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی با روش‌های مهار رادیکال آزاد DPPH، بی‌رنگ شدن بتا کاروتن- لینولئیک اسید و قدرت احیاکنندگی مقدار IC_{50} به ترتیب برابر ۹۰۷/۷، ۴۵۴/۲ و ۱۳۶۲/۴۲ میکروگرم در میلی لیتر بود که در مقایسه با BHT ضعیف‌تر بود. افزودن اسانس به فیلم باعث کاهش ۱/۵ برابری نفوذپذیری به بخار آب و کاهش ۱/۷ برابری نفوذپذیری به اکسیژن نسبت به نمونه کنترل شد. فیلم حاوی اسانس دارای شفافیت کمتری نسبت به فیلم بدون اسانس بود به طوری که میزان روشنایی از ۹۵/۴۷ به ۹۰/۳ کاهش یافت. افزودن اسانس باعث کاهش ۳ برابری مقاومت کششی و ۲/۱ برابری مدول الاستیسیتی فیلم شد، ولی درصد کشش آن تفاوت معنی‌داری ($P>0.05$) با فیلم بدون اسانس نداشت و فقط ۲/۸ درصد افزایش نشان داد. فیلم حاوی اسانس مریم گلی توانایی خوبی در کاهش سرعت اکسیداسیون روغن سویا از خود نشان داد به طوری که میزان پراکسید روغن بدون بسته بندی فیلم، بسته بندی شده با فیلم بدون اسانس و فیلم حاوی اسانس به ترتیب برابر با ۹۲/۷، ۸۵/۹ و ۶۶/۳ میلی اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم روغن بود.

نتیجه گیری: افزودن اسانس مریم گلی به فیلم خوراکیHPMC باعث بهبود خواص نفوذپذیری فیلم به بخار آب و اکسیژن شد. همچنین ترکیب اسانس مریم گلی با این فیلم‌ها روش مناسبی برای کاهش اکسیداسیون چربی‌ها است.

واژه‌های کلیدی: *فیلم خوراکی، مریم گلی، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز*

[*] نویسنده مسئول مکاتبات email: r.ghadermazy@ag.iut.ac.ir

مقدمه

تاکنون تحقیقات متعددی به بررسی، شناسایی، مزایا و ویژگی‌های کاربردی بسته بندی‌های خوراکی پرداخته‌اند. عمده‌ترین ترکیباتی که برای ساخت فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی بکار می‌روند شامل: پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها و لیپیدها هستند. این ترکیبات دوست دار محیط زیست (زیست تخریب پذیر) و توانایی حمل افزودنی‌های مختلف (مانند رنگ‌های خوراکی، مواد معطر، آنتی‌اکسیدان‌ها، ترکیبات ضد میکروبی، ترکیبات ضد قهوه‌ای شدن و مواد مغذی) را دارند که نسبت به پلاستیک‌های بر پایه مواد نفتی مزیت‌های بسیار عالی دارند و از طرف دیگر نسبت به نفت راحت‌تر در دسترس هستند، چرا که با صرف هزینه و عملیات کمتری به دست می‌آیند. این ویژگی‌ها همچنین باعث بهبود خواص عملکردی غذا، افزایش ماندگاری آن‌ها و تولید مواد غذایی کاملاً سالم می‌شود (Embuscado & Huber, 2009). از طرف دیگر بسیاری از این فیلم‌ها به علت خوراکی بودن و عدم جذب آن‌ها در روده می‌توانند در هضم و دفع راحت‌تر مواد غذایی موثر باشند. بنابراین علاوه بر اهداف اصلی کاربردشان می‌توانند مزایای جانبی دیگری نیز داشته باشند. در بین پلیمرها، پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها دارای ویژگی‌های مکانیکی مناسبی هستند اما نفوذپذیری بالایی به بخار آب دارند که این به خاطر ساختار آب دوست آن‌ها است در صورتی که لیپیدها به دلیل خاصیت آب گریزیشان عکس این حالت را نشان می‌دهند. بنابراین استفاده از ترکیبات آب گریز (مانند اسیدهای چرب، چربی‌ها و اسانس‌های روغنی) در ساختار فیلم‌های آب دوست باعث بهبود خواص ممانعت کنندگی این فیلم‌ها می‌شود (Sánchez-González *et al.*, 2011). سلولز دارای ساختاری خطی است که از مولکول‌های دی- گلوکز ساخته شده و توسط اتصال‌های بتا- ۴،۱ به هم متصل شده‌اند. همچنین بین زنجیرها نیز پیوندهای هیدروژنی وجود دارد. هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) یکی از مشتقات سلولز است و توسط پروپیلن اکسید و متیل کلرید ساخته می‌شود. HPMC پلیمری غیر یونی است و در pH بین ۳ تا ۱۱ محلولی بسیار پایدار می‌سازد. همچنین مقاوم به دماهای بالا برای اکسترود شدن (دمای بین ۱۲۰ تا ۱۹۰ درجه سلسیوس) است به ویژه زمانی که با مقادیر مناسبی از نرم کننده‌هایی مانند گلیسرول یا سوربیتول مخلوط می‌شود (Mariscal and Bell, 1996). عدم سمیت و قابلیت خوراکی HPMC توسط سازمان‌های FDA (21 CFR 172.874)، European Parliament and Council Directive No 95/2/EC of 20 February 1995، Joint expert committee on food additives (ECFA) و (Annex I UE N. 10/2011 تایید شده است. HPMC دارای خواص مناسبی برای ساخت فیلم است و فیلمی با استحکام مناسب ایجاد می‌کنند و فیلم حاصل از آن شفاف، بی‌بو، بی‌مزه، مقاوم به عبور روغن و قابل حل در آب است، اما نفوذپذیری بالایی به بخار آب دارد (Akhtar *et al.*, 2013). البته میزان نفوذپذیری به بخار آب آن نسبت به فیلم‌های پروتئینی مانند کازئینات سدیم و همچنین متیل سلولز کمتر است (Sánchez-González *et al.*, 2013). اسانس‌های روغنی به دست آمده از گیاهان مختلف دارای خواص آنتی‌اکسیدانی گسترده‌ای هستند که مربوط به وجود گروه‌های هیدروژن‌دار در ساختار شیمیایی آن‌ها می‌باشد (Kulisic *et al.*, 2004). کاربرد اسانس‌ها به صورت مستقیم در غذا اغلب با مشکلاتی مانند ایجاد مسمومیت، آرومای قوی و تغییر طعم و ویژگی‌های ظاهری غذا روبه رو بوده است که این‌ها به نوبه خود باعث کاهش استفاده از این ترکیبات طبیعی می‌شود. یکی از راهکارهایی که اخیراً برای کاهش این مشکلات بکار برده شده است، استفاده از آن‌ها در ترکیب با بسته بندی‌های غذایی است. این روش باعث کاربرد مقدار بیشتری از اسانس فقط در سطح ماده غذایی و بدون افزودن مستقیم آن به ماده غذایی، افزایش خواص ضد میکروبی، آنتی اکسیدانی و از طرف دیگر باعث کاهش نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها نیز می‌شود (Sánchez-González *et al.*, 2011). هدف از تحقیق حاضر بررسی خواص آنتی اکسیدانی اسانس مریم گلی در مدل سیستم‌های مختلف آزمایشگاهی و تولید فیلم هیدروکسی پروپیل متیل سلولز ترکیب شده با اسانس مریم گلی به عنوان یک آنتی اکسیدان طبیعی و بررسی ویژگی‌های مکانیکی، رنگی، نفوذپذیری به بخار آب و اکسیژن و در نهایت توانایی محافظتی این فیلم به عنوان بسته‌بندی در جلوگیری از اکسیداسیون روغن سویا طی انبارداری می‌باشد. از آنجا که اسانس مریم گلی دارای خواص درمانی بسیاری می‌باشد و از طرف دیگر فیلم

HPMC نیز برای پوشش‌های دارویی بکار می‌رود، این مطالعه می‌تواند زمینه‌ای برای استفاده از این پوشش‌های خوراکی در پوشش محصولات غذایی و دارویی که حاوی ترکیبات روغنی هستند باشد و بنابراین این نوع از پوشش‌ها علاوه بر خواص نگهدارندگی می‌توانند خواص درمانی نیز داشته باشد.

مواد و روش‌ها

- مواد

گیاه مریم گلی از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه و برای استخراج اسانس آن از دستگاه کلونجر به مدت ۳ ساعت استفاده شد. اسانس بدست آمده با سولفات سدیم بدون آب خشک شده و تا زمان انجام آزمایش‌های مربوطه در یخچال نگهداری شد (Ebrahimabadi *et al.*, 2010). روغن سویا تصفیه شده فاقد آنتی اکسیدان نیز از کارخانه روغن نباتی نهان گل بروجن تهیه گردید. ترکیبات شیمیایی شامل: متانول، اسید استیک گلاسیال، کلروفرم، سولفات سدیم بدون آب، کربنات سدیم (بدون آب)، BHT (بوتیلات هیدروکسی تولوئن)، تری کلرو استیک اسید، فریک کلرید، یدید پتاسیم، تیو سولفات سدیم، معرف فولین سیوکالتو، نشاسته و پتاسیم فری سیانید از شرکت مرک و اسید تانیک، DPPH (۲ و۲- دی فنیل بتا پیکریل هیدرازیل)، بتا کاروتن، اسید لینولئیک، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC)، توئین۸۰ و گلیسرول از شرکت سیگما خریداری شدند.

- اندازه‌گیری ترکیبات فنولیک کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای اندازه‌گیری مقدار ترکیبات فنولیک کل از روش فولین- سیوکالتو تشریح شده توسط ویودا-مارتوس و همکاران (۲۰۱۱) استفاده گردید. در این روش از اسید تانیک به عنوان استاندارد استفاده شد و بعد از رسم منحنی کالیبراسیون و تعیین معادله خط، مقدار ترکیبات فنولیک کل گیاه به صورت میلی‌گرم تانیک اسید در لیتر نمونه بیان گردید. برای ارزیابی خواص آنتی اکسیدانی اسانس با روش DPPH از روش ابراهیم آبادی و همکاران (۲۰۱۰)، بی‌رنگ شدن بتا کاروتن/ لینولئیک اسید مطابق روش کولیسیک و همکاران (۲۰۰۴) و قدرت احیاکنندگی مطابق روش گلشین و همکاران (۲۰۱۲) استفاده شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی به صورت IC_{50} ارائه شد که نشان دهنده غلظتی از اسانس است که برای مهار ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد DPPH مورد نیاز است و در روش بتا کاروتن غلظتی از اسانس است که ۵۰ درصد توانایی جلوگیری از بی‌رنگ شدن امولسیون بتاکاروتن/لینولئیک اسید را دارد. IC_{50} در روش قدرت احیاکنندگی، غلظتی از نمونه است که در آن مقدار جذب برابر ۰/۵ می‌باشد. برای تعیین میزان پراکسید در نمونه‌های روغن بسته بندی شده توسط فیلم HPMC از روش استاندارد AOCS استفاده گردید (AOCS, 1998).

- تهیه فیلم‌های خوراکی

برای ساختن فیلم از روش ارائه شده توسط آتارس و همکاران (۲۰۱۱) با کمی تغییر استفاده گردید. ابتدا ۱۰ گرم پودر HPMC را به ۲۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه با دمای ۸۰ درجه سلسیوس حین هم زدن به آهستگی اضافه کرده و مدت یک شب روی همزن مغناطیسی گذاشته تا یک محلول یکنواخت و زرد رنگ شفاف ایجاد شود. سپس ۵ گرم گلیسرول و ۰/۵ گرم توئین ۸۰ را به آن اضافه کرده و ۳۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی گذاشته تا کاملاً مخلوط شود. سپس ۲ گرم از اسانس مریم گلی را به آن اضافه کرده و به وسیله هموژنایزر با دورrpm ۱۳۶۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه همگن شد (نسبت‌های وزنی HPMC: گلیسرول: توئین ۸۰: اسانس به ترتیب شامل ۱: ۰/۵: ۰/۰۵: ۰/۲). بعد از هموژنیزاسیون چون مقدار زیادی هوا وارد محلول شده و مقدار زیادی کف روی آن تشکیل شده است با آون تحت خلأ در دمای اتاق تخلیه گاز محلول انجام شد. محلول آماده شده را به ظروف شیشه‌ای مکعب مستطیل با ابعاد ۲۰×۱۷/۶سانتیمتر و ارتفاع ۵ سانتیمتر ریخته و به مدت ۳۶ ساعت داخل آون با دمای ۳۰ درجه سلسیوس گذاشته شده تا خشک شود و در نهایت فیلم تشکیل شده به راحتی از ظروف جدا گردید و تا زمان انجام آزمایش‌ها در داخل پلاستیک‌های با درب پرس شده که هیچ گونه تبادل هوایی با بیرون نداشت در یخچال با دمای ۵-۴ درجه سلسیوس جهت انجام آزمایش‌های بعدی نگهداری شد.

- ساخت قالب‌های استوانه‌ای از فیلم برای انبارداری روغن

ورقه‌های فیلم به شکل ظروف استوانه‌ای شکل (ارتفاع ۷/۵۷ و قطر۳ سانتی‌متر) ساخته شد. برای کف ظروف ساخته شده نیز از همان فیلم استفاده شد که از سمت بیرون به وسیله چسب و در سمت داخل نیز در محل اتصال کف و بدنه از همان محلول استفاده شده برای ساخت فیلم ریخته شد تا بعد از خشک شدن محلول در محل اتصال کف و بدنه به وسیله فیلم به هم چسبیده شده و کف و بدنه به صورت یکپارچه درآیند. بعد از مشروط کردن (به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۰ درصد) داخل هر کدام از آن‌ها مقدار ۵۰ گرم روغن سویا بدون آنتی اکسیدان ریخته و داخل آون با دمای۴۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. نمونه‌ها شامل فیلم HPMC ترکیب شده با اسانس مریم گلی و فیلم HPMC بدون اسانس بود، علاوه بر این نمونه‌ها، برای کنترل بهتر شرایط یک نمونه روغن در داخل ظرف شیشه‌ای با همان شرایط فیلم‌ها و بدون هیچ گونه افزودنی نیز استفاده شد. در فواصل زمانی ۱۵ روزه به مدت دو ماه آزمون پراکسید از روغن داخل این بسته‌ها انجام شد.

- تعیین ضخامت

برای اندازه‌گیری ضخامت نمونه‌ها از میکرومتر دیجیتالی (مدل DC-516 با دقت ۰/۰۰۱± mm) استفاده شد. ضخامت هر فیلم به صورت تصادفی در پنج نقطه اندازه‌گیری شد. میانگین ضخامت‌ها تعیین و در محاسبات استفاده گردید.

- تعیین ویژگی‌های مکانیکی

برای تعیین ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها از روش استاندارد شماره D882 استفاده شد (ASTM, 2001). قبل از انجام آزمایش‌های کشش، تمامی نمونه‌ها به مدت ۱ساعت در رطوبت نسبی ۵۰ درصد و دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی از دستگاه آنالیز بافت (STM، مدل STM-20) استفاده شد. فیلم‌ها به شکل مستطیل‌های ۱۰×۲/۵ سانتیمتر با استفاده از تیغ جراحی بریده شدند. فاصله بین دو فک دستگاه۱۰ سانتی‌متر و سرعت حرکت فک‌ها روی ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم و از لود سل ۵۰ نیوتنی استفاده شد. فاکتورهای درصد کشش و مدول الاستیسیتی (مگا پاسکال) را با دستگاه اندازه گیری و با استفاده از رابطه [۱] نیز مقاومت کششی فیلم‌ها محاسبه شد:

$$TS = \frac{F}{w \times d} \qquad [۱]$$

در این رابطه TS مقاومت کششی بر حسب مگا پاسکال، F نیرو بر حسب نیوتن، d ضخامت وw عرض فیلم بر حسب متر می‌باشند.

- اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری به اکسیژن

اندازه گیری نفوذپذیری به اکسیژن بر اساس روش استاندارد D1434 با اندکی تغییر انجام شد (ASTM, 1983). نمونه‌ها پیش از اندازه‌گیری به مدت ۱ ساعت در رطوبت نسبی ۵۰ درصد در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. ضریب تراوایی گاز در فیلم طبق رابطه [۲] محاسبه شد:

$$OP = \frac{Q \times L}{A \times (P_1 - P_2)} \qquad [۲]$$

که در این رابطه OP نفوذپذیری فیلم به اکسیژن ($ml.\mu m/m^2.day.Kpa$)، Q دبی گاز عبوری از فیلم (ml/day)، L ضخامت غشا (μm)، P_1 و P_2 فشار گاز در بالادست و پایین دست فیلم (KPa) و A سطح مقطع غشا (m^2) است.

- اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری به بخار آب

برای انجام این آزمایش از روش استاندارد E96 با اندکی تغییر استفاده گردید (ASTM, 1995). در این روش از یکسری فنجان‌های آزمایشگاهی با ارتفاع ۸/۵ و قطر داخلی ۲/۵ سانتی‌متر استفاده گردید. داخل هر فنجان ۱۰ میلی لیتر آب مقطر ریخته شد (این مقدار آب در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی معادل۱۰۰ ٪ ایجاد می‌کند). سلول‌ها درون دسیکاتور حاوی سیلیکاژل قرار گرفتند. اختلاف فشار بخار آب در دو سمت فیلم در دمای ۲۵ درجه سلسیوس فشار بخاری معادل۳/۱۷۹ کیلو پاسکال (با استفاده از جدول بخار اشباع) ایجاد می‌کند.کاهش وزن فنجان‌ها طی زمان اندازه‌گیری شد تا فنجان‌ها به وزن

ثابتی برسند و با رسم منحنی تغییرات وزن فنجان نسبت به زمان، یک خط راست حاصل شد و شیب آن محاسبه گردید. میزان نفوذپذیری از رابطه [۳] محاسبه شد:

$$WVP = \frac{S \times L}{\Delta P \times A \times 3600} \qquad [۳]$$

که در این رابطه WVP نفوذپذیری به بخار آب (g/Pa·m·s)، S شیب خط تغییرات وزن در طی زمان (g/h)، A سطح در تماس (m^2)، L میانگین ضخامت (m) و (Δp) گرادیان فشار جزئی بخار آب در دو طرف فیلم (Pa) است.

- اندازه‌گیری رنگ سطحی فیلم‌ها

اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رنگ سنج RGB (مدل RGB-1002) صورت گرفت. داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم افزار easyRGB به سیستم CIE به صورت پارامترهای L^*، a^* و b^* تبدیل شدند. اختلاف رنگ فیلم‌های حاوی اسانس مریم گلی با فیلم بدون اسانس نیز از رابطه [۴] محاسبه شد:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \qquad [۴]$$

- تجزیه و تحلیل آماری

کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام شدند. داده‌ها به صورت میانگین بعلاوه انحراف استاندارد گزارش شدند. نتایج حاصله توسط نرم افزار SAS-۲۰۰۰ (ویرایش ۹) با استفاده از آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و روش آزمون مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۹۵ درصد آنالیز گردید.

یافته‌ها

- مقدار ترکیبات فنولیک کل و خواص آنتی اکسیدانی

اسانس مریم گلی دارای ترکیبات فنولیک کل به میزان ۲۷۶/۵ میلی گرم تانیک اسید بر لیتر نمونه بود. خواص آنتی‌اکسیدانی توسط روش‌های مهار رادیکال آزاد DPPH، ممانعت از بی رنگ شدن امولسیون بتا کاروتن/ لینولئیک اسید و قدرت احیاکنندگی که هر سه جزو روش‌های اسپکتروفتومتری هستند، بر اساس IC_{50} در جدول ۱ نشان داده شده است.

هر چه مقدار IC_{50} کمتر باشد نشان دهنده قدرت آنتی‌اکسیدانی بیشتر اسانس می‌باشد. در تمام مدل سیستم‌ها کم‌ترین مقدار IC_{50} مربوط به BHT بود. در اینجا مقادیر لازم از مریم گلی در مقایسه با BHT برای این که ۵۰ درصد اثر مهارکنندگی داشته باشد بیشتر است و این به معنی قدرت بالاتر BHT است ($P<۰/۰۵$).

- بررسی ضخامت، نفوذپذیری به بخار آب و اکسیژن فیلم

در جدول ۲ مقایسه میانگین ضخامت، نفوذپذیری فیلم‌ها نسبت به بخار آب و اکسیژن نشان داده شده است. در اینجا اختلاف معنی داری ($P<۰/۰۵$) بین ضخامت فیلم‌های بدون اسانس و فیلم ترکیب شده با اسانس مریم گلی پس از خشک شدن وجود دارد.

جدول ۱- فعالیت آنتی اکسیدانی (IC_{50}±SD, µg/ml) اسانس مریم گلی و BHT در مدل سیستم‌های مختلف

آزمایش	DPPH*	BCB	RP
مریم گلی	۹۰۷/۷ ± ۵/۳^{b}	۴۵۴/۲ ± ۵/۸^{b}	۱۳۶۲/۴۲ ± ۱/۴^{b}
BHT	۱۲/۹ ±۱/۷^{a}	۶۲/۹ ± ۱/۶^{a}	۶۱/۶ ± ۰/۹^{a}

*DPPH: قدرت بازدارندگی رادیکال، BCB: قدرت بازدارندگی لینولئیک اسید، RP: قدرت احیا کنندگی.

جدول ۲- مقایسه میانگین(±SD) ضخامت، نفوذ پذیری به بخار آب و نفوذ پذیری به اکسیژن برای فیلم

آزمایش	ضخامت(µm)	نفوذ پذیری به بخار آب ($g.m/m^2.s.Pa$)×$۱۰^{-۱۱}$	نفوذ پذیری به اکسیژن ($ml.µm/m^2.day.Kpa$)
HPMC	۱۳۵/۴ ± ۲/۴^{a}	۲۳۰/۲ ± ۳/۰^{a}	۴۸۸/۸ ± ۲۰/۵^{a}
HPMC + اسانس مریم گلی	۱۲۲/۶ ± ۱/۵^{b}	۱۴۹/۲ ± ۸/۸^{b}	۲۸۷/۴ ± ۲۴/۲^{b}

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان دهنده معنی دار بودن تفاوت‌ها می‌باشد ($P<۰/۰۵$).

مقایسه میانگین داده‌های نفوذپذیری به بخار آب نشان می‌دهد که بین فیلم‌ها اختلاف معنی داری ($P<۰/۰۵$) دیده می‌شود (جدول ۲). بیشترین نفوذپذیری به بخار آب مربوط به فیلم فاقد اسانس و کم‌ترین نفوذ پذیری مربوط به فیلم حاوی اسانس مریم گلی است. همچنین در جدول ۲ میزان نفوذپذیری به اکسیژن نیز نشان داده شده است. نتایج این پارامتر نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) بین نمونه‌های فیلم حاوی اسانس و فیلم بدون اسانس مریم گلی وجود دارد. بیشترین نفوذپذیری مربوط به فیلم بدون اسانس و کم‌ترین مقدار مربوط به فیلم حاوی اسانس مریم گلی بود. با افزودن اسانس نفوذپذیری فیلم نسبت به اکسیژن و بخار آب کاهش یافت.

- تغییرات رنگ در فیلم

در جدول ۳ میانگین پارامترهای رنگ سنجی برای فیلم‌ها نشان داده شده است. فیلم حاصل از HPMC شفافیت بالایی دارد و افزودن گلیسرول باعث کاهش بسیار اندکی در شفافیت آن می‌شود اما افزودن ترکیبات فنولیک باعث کاهش زیادی در شفافیت آن می‌شود (Akhtar *et al.*, 2013). نتایج نشان داد که فیلم‌ها از لحاظ پارامتر L^* (روشنایی)، اختلاف معنی داری ($P<۰/۰۵$) دارند و فیلم بدون اسانس دارای بالاترین مقدار است؛ اما فیلم حاوی اسانس مریم گلی دارای پارامتر L^* کمتری بود و فیلمی با رنگ متمایل به زرد ایجاد کرده است. دلیل این تفاوت‌ها به خاطر رنگ اسانس می‌باشد که با ایجاد کدورت روی میزان روشنایی و یکنواختی ساختار سطحی فیلم اثر گذاشته است. داده‌ها از نظر پارامتر a^* (قرمزی) برای فیلم بدون اسانس و فیلم حاوی اسانس مریم گلی اختلاف معنی داری با هم نداشته‌اند ($P>۰/۰۵$). ولی نمونه‌ها از لحاظ پارامتر b^* (زردی) اختلاف معنی داری ($P<۰/۰۵$) داشند و هر دو دارای مقداری منفی هستند. اما فیلم بدون اسانس منفی‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده است. در مورد اختلاف رنگ نمونه‌ها (ΔE) با فیلم بدون اسانس (به عنوان مرجع) اختلاف قابل توجهی به میزان ۲۷/۹۸ مشاهده می‌شود که این اختلاف به خاطر حرکت فاز روغنی اسانس به سطح فیلم HPMC طی خشک کردن و تأثیر آن روی ویژگی‌های رنگی است.

- ویژگی‌های مکانیکی فیلم

ویژگی‌های فیزیکی شامل درصد کشش، استحکام کششی و مدول الاستیسیتی فیلم‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که اسانس مریم گلی باعث کاهش معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) در مقاومت کششی و مدول الاستیسیتی فیلم‌ها شده است. اما بعد از افزودن اسانس مریم گلی درصد کشش کمتر از ۳ درصد کاهش پیدا کرد و این مقدار کاهش معنی‌دار نبوده است ($P>۰/۰۵$).

جدول ۳- مقایسه میانگین (±SD) پارامترهای رنگ سنجی L^*، a^*، b^* و ΔE فیلم

صفت	L^*	a^*	b^*	ΔE
HPMC	۹۵/۵ ± ۰/۲^{a}	۰/۴۵ ± ۰/۰۶^{a}	−۱/۳ ± ۰/۱۹^{b}	۰
HPMC + اسانس مریم گلی	۹۰/۳ ± ۰/۲۲^{b}	۰/۲۱ ± ۰/۰۴^{a}	−۰/۲ ± ۰/۰۴^{b}	۲۷/۹۸ ± ۱/۴۳

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان دهنده معنی دار بودن تفاوت‌ها می‌باشد ($P<۰/۰۵$).

جدول ٤- مقایسه میانگین (±SD) خواص مکانیکی فیلم

صفت	درصد کشش	مقاومت کششی (مگا پاسکال)	مدول الاستیسیتی (مگا پاسکال)
HPMC	۲۳/۶ ± ۳/۸^{a}	۲۷/۳ ± ۴/۶^{a}	۵۳۷/۵ ± ۸۶/۴^{a}
HPMC + اسانس مریم گلی	۲۰/۸ ± ۲/۱^{ab}	۹/۲ ± ۳/۴^{b}	۲۵۵/۶ ± ۷۴/۲^{b}

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان دهنده معنی دار بودن تفاوت‌ها می‌باشد ($P<۰/۰۵$).

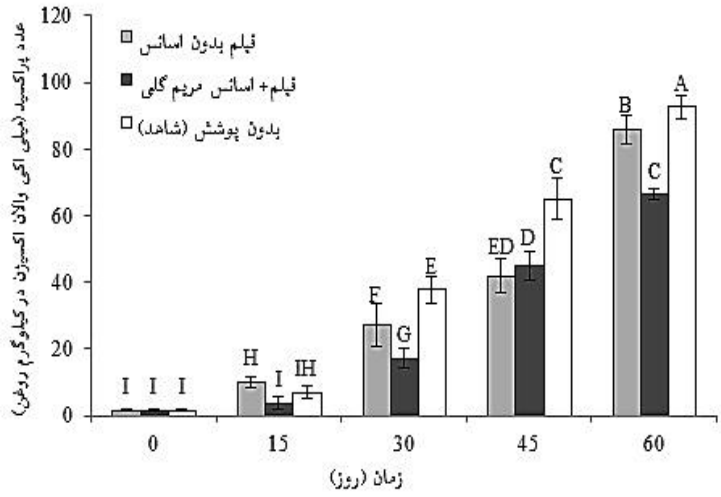
- بررسی ظرفیت آنتی اکسیدانی فیلم‌ها

میانگین عدد پراکسید روغن سویای نگهداری شده توسط فیلم بدون اسانس، فیلم حاوی اسانس مریم گلی و بدون پوشش فیلم (روغن داخل شیشه) به ترتیب برابر با ۳۳/۳، ۲۷/۸ و ۴۰/۸ میلی اکی والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن بود. روند تغییرات عدد پراکسید روغن سویای نگهداری شده توسط هر سه نمونه ذکر شده طی ۶۰ روز انبارداری در دمای ۴۰ درجه سلسیوس در شکل ۱ قابل مشاهده است. تاکنون اثر آنتی اکسیدانی اسانس مریم گلی توسط روش‌های گوناگونی تعیین شده است اما به صورت ترکیب شده با فیلم HPMC استفاده نشده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در طی مدت انبارداری بر مقدار پراکسید در تمام نمونه‌ها افزوده شده است. مقدار پراکسید در نمونه بدون پوشش (روغن بسته بندی شده توسط شیشه) روز اول ۱/۵۳ میلی اکی والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن و در روز آخر دارای بیشترین مقدار (۹۲/۶۷ میلی اکی والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن) نسبت به نمونه‌های بسته بندی شده توسط فیلم خوراکی HPMC بود. همچنین مقدار پراکسید در نمونه‌های پوشیده شده توسط فیلم‌های بدون اسانس و فیلم حاوی اسانس مریم گلی در روز آخر به ترتیب برابر با ۸۵/۸۹ و ۶۶/۳۳ میلی اکی والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن بود. در پایان دوره نگهداری بیشترین مقدار پراکسید به ترتیب مربوط به نمونه بدون پوشش فیلم خوراکی و روغن پوشیده شده توسط فیلم بدون اسانس و کم‌ترین مقدار مربوط به روغن پوشیده شده توسط فیلم حاوی اسانس مریم گلی بود.

بحث

- مقدار ترکیبات فنولیک کل و خواص آنتی اکسیدانی

مقدار ترکیبات فنولیک کل شاخصی از توان آنتی اکسیدانی گیاه است. مریم گلی دارای ترکیبات فنولیک بالاتری نسبت به بسیاری از گیاهان دارویی دیگر مانند بابونه، همیشه بهار، ریواس و اسطوخودوس می‌باشد (Miliauskasa *et al.*, 2004). در اسانس مریم گلی، مونوترپن‌های اکسیژن‌دار با مقدار نزدیک به ۶۰ درصد و بعد از آن هیدروکربن‌های اکسیژن دار با حدود ۲۰ درصد وجود دارند و مهم‌ترین ترکیبات این گروه‌ها، آلفا توژن، کامفور، ویریدی فلورول، بورنئول، ۱ و ۸- سینئول، بتا توژن و بورنیل استات هستند که مقدار این ترکیبات در شرایط مختلف متفاوت است، بنابراین در شرایط مختلف قدرت آنتی اکسیدانی مختلفی خواهد داشت (Tel *et al.*, 2010). ویودا- مارتوس و همکاران (۲۰۱۱) مقدار ترکیبات فنولیک کل را برای اسانس مریم گلی، ۱۲۲/۹۸ میلی‌گرم گالیک اسید در لیتر نمونه گزارش کردند. از آنجا که برای تعیین خواص آنتی اکسیدانی ترکیبات فعال صرفاً یک روش نمی‌تواند شاخص مناسبی برای تعیین میزان فعالیت آن‌ها باشد بنابراین در اینجا با استفاده از سه روش مختلف فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس مریم گلی و BHT (کنترل



شکل ۱- تغییرات عدد پراکسید روغن بسته بندی شده با فیلم خوراکی HPMC با و بدون اسانس مریم گلی و نمونه بدون پوشش فیلم

مثبت) مشخص شد. روش DPPH روشی سریع برای بررسی اولیه قدرت آنتی اکسیدانی ترکیبات فعال می‌باشد که در اکثر تحقیقات بکار می‌رود. در بررسی قدرت آنتی اکسیدانی با روش DPPH اسانس مریم گلی ضعیف‌تر از BHT بود. به طوری که در طی آزمایش مشاهده شد که غلظت ۱۰۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر اسانس مریم گلی دارای ۵۰/۶ درصد و غلظت ۱۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر BHT دارای ۹۲/۱ درصد توانایی بازدارندگی رادیکال آزاد DPPH است. در تحقیقی که توسط Bouaziz و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد فعالیت آنتی اکسیدانی با تست DPPH بررسی گردید که طی آن مقدار IC_{50} برای مریم گلی و BHT برابر با ۷/۷ و ۸/۱۳ میکروگرم بر میلی لیتر گزارش شد که مریم گلی بهتر ازBHT عمل کرده است. Viuda Martos و همکاران (۲۰۱۱) مقدار IC_{50} در بازدارندگی رادیکال DPPH را برای اسانس مریم گلی۰/۵۳ گرم بر لیتر گزارش کردند. فعالیت آنتی اکسیدانی به روش بتا کاروتن که معمولاً برای تعیین توانایی آنتی‌اکسیدان‌ها در به تأخیر انداختن تولید پراکسیدها در چربی‌ها است، در این روش واکنش آنتی‌اکسیدان‌ها با رادیکال‌های پراکسیل سریع‌تر از واکنش این رادیکال‌ها با رشته‌های پروتئین‌ها و اسیدهای چرب انجام می‌شود. در بررسی آزمایش مشاهده شد که، کم‌ترین مقدار IC_{50} مربوط به BHT است. مقدار IC_{50} اسانس مریم گلی حدود ۷ برابر بیشتر از BHT بود. همچنین مشاهده شد که با افزایش غلظت اسانس و BHT درصد فعالیت آنتی اکسیدانی نیز بیشتر شد، که دلیل این امر به خاطر افزایش غلظت ترکیبات فنولیک در امولسیون و در نتیجه افزایش قدرت آن‌ها در جلوگیری از بی‌رنگ شدن بتاکاروتن است. Tel و همکاران (۲۰۱۰)، در بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی مریم گلی با روش بتا کاروتن برای غلظت ۸۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر برای اسانس و عصاره هگزانی مریم گلی، BHA و آلفا توکوفرول را به ترتیب ۵۰/۶، ۸۱/۲، ۹۳/۷ و ۹۳/۱ درصد گزارش کردند که اسانس ضعیف‌تر از بقیه بود. همچنین Ebrahimabadi و همکاران (۲۰۱۰)، مقدار IC_{50} را در روش بتا کاروتن برای عصاره متانولی، اسانس مریم گلی و BHT را به ترتیب ۷۲/۴۲ و۶/ ۲۵ و ۸۸/۳۴ میکروگرم بر میلی لیتر گزارش کردند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری قدرت احیاکنندگی نیز نشان داد که مریم گلی بسیار ضعیف‌تر از BHT است.

نتایج سایر محققان نیز نشان می‌دهد که مریم گلی فعالیت کمتری نسبت به آنتی اکسیدان سنتزی BHT دارد ولی با این حال مریم گلی نسبت به بسیاری از گیاهان دیگر فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری دارد (Politeo *et al.*, 2006). دلیل تفاوت نتایج حاصله در سه روش مختلف اندازه‌گیری فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس گیاه مریم گلی به خاطر تفاوت در ماهیت هر کدام از آزمایشات انجام شده می‌باشد و تفاوت‌های که با نتایج سایر محققان وجود دارد به دلیل تفاوت در نوع واریته مریم گلی می‌باشد؛ همچنین شرایط محیطی مانند آب و هوا، خاک، زمان برداشت و بسیاری عوامل دیگر می‌توانند بر روی خواص آنتی اکسیدانی گیاه موثر باشند.

- ضخامت فیلم

ضخامت از فاکتورهای مهم فیلم است که روی ویژگی‌های نفوذپذیری به بخار آب و اکسیژن و همچنین روی خواص مکانیکی فیلم تأثیر مستقیمی دارد. ضخامت بسته به روش تولید، ترکیبات تشکیل دهنده فیلم و مقدار آن‌ها تغییر خواهد کرد. در مطالعه حاضر دلیل ضخامت کمتر فیلم حاوی اسانس احتمالاً به خاطر قرار گرفتن اسانس در فضاهای خالی بین زنجیره‌های پلیمر و کاهش ویژگی آب دوستی فیلم از طریق واکنش ترکیبات اسانس با گروه‌های هیدروکسیل فیلم و در نتیجه کاهش گروه‌های هیدروکسیل در دسترس فیلم است که این باعث مقاومت بیشتر به جذب آب فیلم می‌شود (Dashipour *et al.*, 2015). از طرف دیگر اسانس ترکیب شده با فیلم باعث جلوگیری از جذب رطوبت زیاد توسط گلیسرول ترکیب شده با فیلم به خاطر خاصیت آب گریزی اسانس می‌شود درحالی‌که گلیسرول در فیلم بدون اسانس بدون هیچ مانعی می‌تواند حداکثر رطوبت را جذب خود کرده و متورم شود و باعث افزایش ضخامت فیلم گردد. از آنجا که ترکیبات کربوهیدراتی با جذب رطوبت ساختار شبکه‌ای آنها متورم می‌شود می‌تواند بر ضخامت فیلم‌ها موثر باشد. در این تحقیق نیز قبل از انجام آزمایش‌ها تمامی نمونه‌ها به مدت ۱ساعت در رطوبت نسبی ۵۰ درصد و دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند، بنابراین مقداری رطوبت محیط را جذب خود کرده اند. ولی فیلم‌هایی که دارای اسانس مریم گلی هستند باعث ایجاد خواص آبگریزی در آنها می‌شود و

این فیلم‌ها رطوبت کمتری را جذب می‌کنند.

- نفوذپذیری به بخار آب

بسته به نوع غذا، بسته بندی باید بتواند مانع انتقال رطوبت شود یا اینکه میزان انتقال رطوبت بین غذا و محیط اطراف را به حداقل برساند. این موضوع به خصوص در مورد سبزی‌ها و میوه‌ها اهمیت بیشتری دارد چرا که کاهش وزن آن‌ها از طریق کاهش رطوبت طی نگهداری علاوه بر ضرر اقتصادی باعث کاهش بازار پسندی آن‌ها نیز می‌شود. فیلم‌های دارای اسانس مریم گلی به علت افزایش خاصیت آب گریزی در فیلم نسبت به فیلم بدون اسانس در ممانعت از عبور بخار آب بهتر عمل کرده‌اند به طوری که باعث کاهش ۱/۵ برابری نفوذپذیری به بخار آب شدند. محققین در بررسی اثر اسانس درخت چای در فیلم خوراکی HPMC اعلام کردند که با افزایش غلظت اسانس، نفوذپذیری به بخار آب در فیلم کاهش می‌یابد (Atarés *et al.*, 2011; Sánchez-González *et al.*, 2009). همچنین محققین در بررسی افزودن اسانس زنجبیل به فیلم HPMC مشاهده کرده‌اند که به طور کلی نفوذپذیری به بخار آب با افزایش دما و رطوبت نسبی محیط افزایش قابل توجهی می‌یابد (Atarés *et al.*, 2011). نتایج مشابهی نیز در اثر افزودن اسانس‌های دارچین و زنجبیل به فیلم کازئینات سدیم مشاهده شده است (Atarés *et al.*, 2010). همانطور که در بالا نیز به آن اشاره شده است فیلم‌های دارای اسانس مریم گلی به علت افزایش خاصیت آب گریزی در فیلم نسبت به فیلم بدون اسانس در ممانعت از عبور بخار آب بهتر عمل کرده‌اند و از آنجا که در حین خشک کردن فیلم مقداری از اسانس به سطح فیلم می‌آید باعث تشدید بیشتر خصوصیات آبگریزی در سطح این فیلم‌ها می‌شود.

- نفوذپذیری به اکسیژن

نفوذپذیری فیلم نسبت به اکسیژن بر روی واکنش‌های شیمیایی نیازمند به حضور اکسیژن مانند: فعالیت‌های میکروبی، قهوه‌ای شدن، اکسیداسیون چربی‌ها و میزان تنفس میوه‌ها و سبزی‌های تازه تأثیر بسزایی دارد. از طرف دیگر بسته بندی‌های با نفوذپذیری انتخابی با ایجاد یک اتمسفر اصلاح شده در نگهداری مواد غذایی نقش مهمی دارند. افزودن اسانس مریم گلی به فیلم HPMC باعث کاهش ۱/۷ برابری نفوذپذیری به اکسیژن شد. احتمالاً اسانس‌ها در اینجا با پر کردن فضاهای خالی شبکه HPMC (که به علت وجود گلیسرول در ترکیب فیلم مقدار این فضاهای خالی بیشتر نیز شده است) باعث ایجاد ساختاری با فضاهای خالی بین شبکه‌ای کم‌تری در مقابل عبور گاز شده است. همچنین گروه‌های هیدروکسیل آزاد ترکیبات فنولیک با ایجاد پیوند هیدروژنی با گروه‌های هیدروکسیل HPMC باعث ایجاد ساختار بهم فشرده‌تری در شبکه پلیمر می‌شوند به طوری که گزارش شده است با افزودن آنتی اکسیدان بتاسیانین به فیلم HPMC میزان نفوذپذیری به اکسیژن با افزایش غلظت این ترکیبات فنولیک کاهش یافته است (Akhtar *et al.*, 2013). به طور کلی افزودن اسانس باعث کاهش نفوذپذیری به گازها می‌شود (Sánchez-González *et al.*, 2011).

- تغییرات رنگ در فیلم

مشخصات رنگی بسته بندی‌ها یکی از عوامل مهم در جذابیت و انتخاب محصول توسط مشتری می‌باشد و به نوع ترکیبات بکار رفته و فرایند که در ساخت فیلم بکار رفته است بستگی دارد. فیلم‌های خوراکی معمولاً به صورت شفاف، شیری و یا رنگی وجود دارند. به طور کلی بسته‌بندی‌های شفاف برای مشتری‌ها جذابیت بیشتری دارند چرا که محصول داخل بسته برای آن‌ها قابل رویت می‌باشد. اسانس مریم گلی دارای رنگ زرد کم رنگ است. فیلم HPMC خالص نیز دارای شفافیت بالایی است که افزودن اسانس مریم گلی به فیلم‌ها معمولاً باعث کاهش شفافیت و حالت شیشه‌ای فیلم می‌شود که این امر به دلیل ایجاد یک سطح ناهموار در سطح فیلم در زمان خشک کردن است که اسانس معمولاً در سطح فیلم جمع شده و باعث ایجاد ناهمگونی در سطح می‌شود. البته در غلظت‌های پایین اسانس این تغییرات چندان قابل ملاحظه نمی‌باشد (Sánchez-González *et al.*, 2011). محققین در بررسی اثر اسانس روغنی به فیلم خوراکی کربوکسی متیل سلولز مشاهده کردند که اسانس باعث کاهش در مقدار پارامترهای L^* و a^* شدند ولی پارامترهای b^* و ΔE روند افزایشی نشان دادند (Dashipour *et al.*, 2015). در این مطالعه نیز، تغییرات معنی‌دار در دو پارامتر L^* و b^* به

خاطر خصوصیات رنگی اسانس مریم گلی است که دارای رنگ زرد روشنی می‌باشد در حالیکه فیلم خالص HPMC بسیار شفاف است و با افزودن ترکیبات مختلف خصوصیات رنگی آن نیز تغییر می‌یابد.

- ویژگی‌های مکانیکی فیلم

ویژگی‌های مکانیکی از جمله فاکتورهای مهم در انتخاب نوع بسته بندی برای ماده غذایی است. بسته باید توانایی محافظت در برابر تنش‌های فیزیکی و تغییر شرایط محیطی را در طی زمان انبارداری تا زمان مصرف را داشته باشد. نتایج نشان می‌دهد که اسانس مریم گلی باعث کاهش معنی داری ($P<0/05$) در مقاومت کششی و مدول الاستیسیتی فیلم‌ها شده است ولی درصد کشش تغییر معنی‌داری نداشت ($P>0/05$). این تغییرات به این خاطر است که اسانس باعث تغییر در یکنواختی ساختار فیلم و کاهش نیروهای چسبندگی کل شبکه پلیمر شده است (پیوندهای که باعث اتصال رشته‌های پلیمر HPMC به هم می‌شوند و ساختار شبکه‌ای فیلم را ایجاد می‌کنند) (Sánchez-González *et al.*, 2009; Atarés *et al.*, 2011)؛ همچنین ترکیبات فنولیکی باعث کاهش چگالی شبکه فیلم و در نتیجه جابه‌جایی آسان‌تر زنجیرهای پلیمر تحت استرس‌های مکانیکی می‌شوند (این ترکیبات می‌توانند باعث افزایش کشسانی فیلم‌ها شوند) بنابراین مقاومت کششی فیلم‌ها کاهش پیدا می‌کند (Akhtar *et al.*, 2013). در اثر افزودن اسانس مریم گلی به فیلم HPMC مقاومت کششی کمتر از ۳ برابر و مدول الاستیسیتی بیشتر از ۲ برابر کاهش نشان داد. زمانی که غلظت اسانس زیاد باشد واکنش‌های ضعیفی بین پلیمر و اسانس روغنی ایجاد می‌شود و این باعث کاهش مقاومت کششی و درصد کشش تا نقطه شکست رشته‌های پلیمر می‌شود در صورتی که در غلظت‌های پایین اسانس عکس این حالت اتفاق می‌افتد (Dashipour *et al.*, 2015). نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است (Akhtar *et al.*, 2013; Dashipour *et al.*, 2015; Sánchez-González *et al.*, 2009).

- بررسی ظرفیت آنتی اکسیدانی فیلم‌ها

در تمام نمونه‌ها با گذشت زمان عدد پراکسید نیز زیاد شده است و همان‌طور که در شکل ۱ معلوم است، تغییرات عدد پراکسید از روز پانزدهم به بعد در تمام نمونه‌ها دارای شیب بیشتری است اما این روند افزایش عدد پراکسید برای فیلم حاوی اسانس مریم گلی کمتر از سایرین بوده و در تمام دوره نگهداری دارای شیب نسبتاً ثابتی بوده است و این به معنی آزادسازی تدریجی اسانس در طول مدت نگهداری است. فیلم حاوی اسانس مریم گلی نسبت به دو نمونه دیگر توانسته است باعث کاهش معنی‌داری در روند اکسیداسیون روغن سویا شود. به‌طوری که کم‌ترین میانگین عدد پراکسید به ترتیب به فیلم‌های حاوی اسانس مریم گلی با میانگین ۲۶/۷۳، فیلم بدون آنتی اکسیدان با میانگین ۳۳/۳ و نمونه شاهد داخل شیشه برابر با ۴۰/۸ میلی اکی والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن بود. از آنجا که نمونه‌ها در دمای ۴۰ درجه سلسیوس انبارداری شده‌اند بنابراین این دمای بالا باعث تسریع اکسیداسیون می‌شود. محققین در بررسی اثر فیلم کازئینات سدیم حاوی اسانس‌های زنجبیل و دارچین بر روند اکسیداسیون روغن آفتاب‌گردان مشاهده کردند که نمونه پوشیده شده با این فیلم‌ها نسبت به نمونه بدون پوشش فیلم کاملاً توانستند اکسیداسیون را کاهش دهند (Atarés *et al.*, 2010). همچنین محققین نتایج مشابهی نیز در بررسی اثر فیلم HPMC حاوی اسانس زنجبیل در محافظت از روغن بادام مشاهده کرده‌اند (Atarés *et al.*, 2011).

نتیجه‌گیری

فیلم خوراکی HPMC حاوی اسانس مریم گلی می‌تواند گزینه مناسبی برای نگهداری مواد غذایی از اکسیداسیون باشد. اسانس مریم گلی باعث بهبود خواص ممانعت کنندگی به بخار آب و اکسیژن این فیلم‌ها شد که این امر به دلیل افزایش خواص آب گریزی این نوع از فیلم‌های آبدوست است. فیلم HPMC خالص شفافیت بالایی دارد و افزودن اسانس باعث کاهش شفافیت و روشنایی فیلم‌ها شد ولی میزان تغییرات رنگ آن‌ها به دلیل رنگ زرد روشن اسانس خیلی زیاد نبود. البته بسته به نوع ماده غذایی بسته بندی‌های که تیره‌تر باشند می‌توانند در کاهش فتواکسیداسیون مؤثرتر باشند. در بررسی خواص مکانیکی فیلم‌ها، اسانس باعث کاهش مقاومت کششی و مدول الاستیسیتی شده‌اند اما درصد کشش تغییرات معنی‌داری نداشت. یعنی به طور کلی افزودن اسانس مریم

گلی باعث کاهش سفتی فیلم‌ها شد که این به دلیل واکنش‌های ضعیفی است که بین ترکیبات متفاوت فنولیکی اسانس با رشته‌های پلیمر و نهایتاً حرکت آسان‌تر این رشته‌ها در اثر نیروهای خارجی می‌شود. در بررسی عدد پراکسید، نمونه‌های بسته بندی شده با فیلم حاوی اسانس مریم گلی در مقایسه با نمونه پوشیده شده توسط فیلم بدون اسانس توانستند سرعت اکسیداسیون را کاهش دهند. درحالی‌که نمونه بدون پوشش فیلم نیز سرعت اکسیداسیون بسیار بالاتری را نشان داد. کاربرد این فیلم‌ها در نگهداری مواد غذایی می‌تواند بسیار مفید باشند البته برای افزایش کارایی این نوع بسته بندی‌ها در آینده تحقیقات بیشتری در زمینه خواص ضد میکروبی، زمان زیست تخریب پذیری و تأثیر این پلیمرها در ویژگی‌های ماده غذایی لازم است.

منابع

Akhtar, M. J., Jacquot, M., Jamshidian, M., Imran, M., Arab-Tehrany, E. & Desobry, S. (2013). Fabrication and physicochemical characterization of HPMC films with commercial plant extract: Influence of light and film composition. Food Hydrocolloids, 31, 420-427.

Akhtar, M. J., Jacquot , M., Jasniewski, J., Jacquot, C., Imran, M., Jamshidian, M., Paris, C. & Desobry, S. (2012). Antioxidant capacity and light-aging study of HPMC films functionalized with natural plant extract. Carbohydrate Polymers, 89(4), 1150-1158.

AOCS (1998). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society Method Cd 8-53 , Fifth Ed. Champaign, American Oil Chemists' Society (USA). pp. 8-53.

ASTM (1983). Standard Test Method for Determining Gas Permeability Characteristics of Plastic Film and Sheeting. In Standards Designations: D1434-82 . Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, Pa: American Society for Testing and Materials: pp. 632-647.

ASTM (1995). Standard Test Methods for Water Vapour Transmission of Materials. In Standards Designations: E96-95. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, Pa: American Society for Testing and Materials: pp. 406-413.

ASTM (2001). Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. In Standards Designations: D882. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, Pa: American Society for Testing and Materials. pp. 162-170.

Atarés, L., Bonilla, J. & Chiralt, A. (2010). Characterization of sodium caseinate-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. Journal of Food Engineering, 100, 678-687.

Atarés, L., Pérez-Masiá, R. & Chiralt, A. (2011). The Role of Some Antioxidants in the Hpmc Film Properties and Lipid Protection in Coated Toasted Almonds. Journal of Food Engineering, 104, 649-56.

Bouaziz , M., Yangui , T., Sayadi, S. & Abdelhafidh, D. (2009). Disinfectant properties of essential oils from Salvia officinalis L. cultivated in Tunisia. Food and Chemical Toxicology, 47, 2755–2760.

Dashipour, A., Razavilar, V., Hosseini, H., Shojaee-Aliabadi, S., German, J. B., Ghanati, K., Khakpour, M. & Khaksar, R. (2015). Antioxidant and antimicrobial carboxymethyl cellulose films containing Zataria multiflora essential oil. International Journal of Biological Macromolecules, 72, 606-613.

Ebrahimabadi, A. H., A. Mazoochi, F. J. Kashi, Z. Djafari-Bidgoli & Batooli., H. (2010). Essential Oil Composition and Antioxidant and Antimicrobial Properties of the Aerial Parts of Salvia Eremophila Boiss. From Iran. Food and Chemical Toxicology, 48, 1371-1376.

Embuscado, M. E. & Huber, K. C. (2009). Edible Films and Coatings for Food Applications Springer Dordrecht Heidelberg, New York, pp. 1-233.

Kulisic, T., Radonic, A., Katalinic, V. & Milos, M. (2004). Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil. Food chemistry, 85, 633-640.

Mariscal, P. & Bell, D. A. (1996). Fiber-based fat mimetics: methylcellulose gums, Handbook of Fat Replacers, CRC press, Florida, USA. pp. 145-158.

Miliauskasa, G., Venskutonisa, P. R. & Beek, T. a. V. (2004). Screening of Radical Scavenging Activity of Some Medicinal and Aromatic Plant Extracts. Food Chemistry, 85, 231-237.

Politeo, O., Juki, M. & Milo, M. (2006). Chemical Composition and Antioxidant Activity of Essential Oils of Twelve Spice Plants. Croatica Chemica Acta, 79, 545-552.

tea tree essential oil. Food Hydrocolloids, 23, 2102–2109.

Tel , G., Öztürk , M., Duru , M. E., Harmandar , M. & Topçu , G. (2010). Chemical composition of the essential oil and hexane extract of Salvia chionantha and their antioxidant and anticholinesterase activities. Food and Chemical Toxicology: 48, 3189–3193.

Viuda-Martos, M., M. A. Mohamady ., J. Fernández-López ., K. A. Abd Elrazik ., E. A. Omer ., J. A. Pérez-Alvarez . & Sendra, E. (2011). In vitro antioxidant and antibacterial activities of essentials oils obtained from Egyptian aromatic plants. Food Control, 22, 1715-1722.

Sánchez-González, L., Chiralt, A., González-Martínez, C. & Cháfer, M. (2011). Effect of essential oils on properties of film forming emulsions and films based on hydroxypropylmethylcellulose and chitosan. Journal of Food Engineering, 105, 246–253.

Sánchez-González, L., Saavedra, J. I. Q. & Chiralt, A. (2013). Physical properties and antilisterial activity of bioactive edible films containing Lactobacillus plantarum. Food Hydrocolloids, 33, 92-98.

Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A. & Cháfer, M. (2009). Characterization of edible films based on hydroxyl propylmethylcellulose and