



## بررسی خواص فیزیکی فیلم‌های خوراکی بر پایه نشاسته ذرت و پودر بادمجان حاوی اسانس پونه کوهی (*Mentha longifolia* L.)

مهسا نورالدینی<sup>۱</sup>، محسن اسمعیلی<sup>۲\*</sup> و فروغ محترمی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۷/۱/۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۱۰

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

<sup>۲</sup> به‌ترتیب استاد و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

\*مسئول مکاتبه: Email: m.esmaili@urmia.ac.ir

### چکیده

**زمینه مطالعاتی:** افزودن اسانس پونه کوهی می‌تواند سبب بهبود خواص فیزیکی فیلم‌های بر پایه پودر بادمجان و ذرت شود. **هدف:** هدف از این پژوهش تهیه فیلم‌های خوراکی پایه نشاسته و پودر بادمجان و بررسی افزودن غلظت‌های مختلف اسانس پونه کوهی بر روی خواص فیزیکی فیلم‌های تهیه شده می‌باشد. **روش کار:** فیلم‌های خوراکی بر پایه نشاسته ذرت و پودر بادمجان به نسبت ۱:۱ تهیه شده و اسانس پونه کوهی در سطوح ۱، ۳ و ۵٪ (وزنی/وزنی) به آن‌ها افزوده شد. ضخامت، میزان رطوبت، دانسیته، خواص مکانیکی، رنگ، مقدار کدورت و عبور نور، حلالیت و شاخص تورم فیلم‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. **نتایج:** ضخامت، شاخص تورم، پارامتر  $L^*$  فیلم‌های حاوی اسانس بیشتر از فیلم‌های شاهد بود ( $P < 0/05$ ). با افزودن اسانس، مقاومت کششی، مدول یانگ، ازدیاد طول تا نقطه شکست، کدورت، میزان رطوبت، حلالیت و دانسیته فیلم‌ها به طور معنی‌داری ( $P < 0/05$ ) کاهش یافت. اندازه‌گیری رنگ در فیلم‌ها نشان داد که با افزایش درصد اسانس، پارامترهای قرمزی ( $a^*$ )، زردی ( $b^*$ ) و مقدار شفافیت فیلم‌ها افزایش یافتند. مقدار عبور نور در محدوده UV دارای مقدار ناچیز بوده و برای فیلم‌های شاهد بیشتر از فیلم‌های حاوی اسانس مشاهده شد. **نتیجه‌گیری نهایی:** افزودن اسانس پونه کوهی به فیلم‌های خوراکی بر پایه نشاسته ذرت و پودر بادمجان سبب بهبود شفافیت و حلالیت در آب فیلم‌ها، همچنین موجب تضعیف خواص مکانیکی و نفوذپذیری به بخار آب گردید.

**واژگان کلیدی:** اسانس پونه کوهی، پودر بادمجان، فیلم خوراکی، نشاسته ذرت

### مقدمه

ممانعت‌کننده، انتقال رطوبت، اکسیژن، لیپیدها و ترکیبات طعم‌دار را کنترل کرده و می‌توانند مانع فساد و افزایش زمان ماندگاری محصولات غذایی شوند (شجاعی-علی‌آبادی و همکاران ۲۰۱۳). همچنین، فیلم‌های خوراکی ممکن است حامل مواد افزودنی مختلفی همچون مواد ضد میکروبی، مواد آنتی‌اکسیدانی، طعم‌ها، مواد رنگی و

در سال‌های اخیر، مواد بسته‌بندی ساخته شده از پلیمرهای تجدیدپذیر و طبیعی مانند پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و لیپیدها توجه محققان و صنایع بسته‌بندی را به خود جلب کرده است (سولانو و دگانته ۲۰۱۴). فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی و زیست‌تخریب‌پذیر به عنوان

می‌شود (پلیساری و همکاران ۲۰۱۳ و وارگاس و همکاران ۲۰۱۷).

بادمجان (*Solanum melongena* L.) گیاهی چند ساله و گرمسیری از آفریقا می‌باشد که در جنوب آسیا، برزیل و اروپا نیز گسترش یافته که ارقام آن میوه‌های متنوعی در شکل، اندازه و رنگ تولید می‌کنند (اوتومپورن و همکاران ۲۰۱۶). بادمجان دارای مقادیر بالایی ترکیبات فنولی، فیبر رژیمی، مواد معدنی بوده و همچنین دارای ظرفیت بالای آنتی‌اکسیدانی و خاصیت مهارکنندگی رادیکال آزاد اکسیژن می‌باشد (اوتومپورن و همکاران ۲۰۱۶). ترکیبات فنولی موجود در آن شامل کلروژنیک اسید است که بیشترین ترکیب فنولی استری شده در بادمجان بوده؛ در حالیکه ایزومرهای آن کریپتوکلروژنیک اسید و نئوکلروژنیک اسید به مقدار کمتری وجود دارند. علاوه بر آن بادمجان دارای رنگدانه فلاونوئید و مقادیر بالای آنتوسیانین در پوست است که آنتوسیانین آن شامل مقادیر بالایی دلفینیدین می‌باشد. آنتوسیانین و فنولیک اسید موجود در بادمجان به خوبی متابولیزه و جذب می‌شوند (اوتومپورن و همکاران ۲۰۱۶ و نینو و همکاران ۲۰۱۷).

امروزه برای افزایش خاصیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی فیلم‌های خوراکی و افزایش زمان ماندگاری محصولات غذایی و حفظ کیفیت آن‌ها از افزودنی‌هایی همچون اسانس‌ها استفاده می‌شود (سوزا و همکاران ۲۰۱۳). پونه‌ی کوهی (*Mentha longifolia* L.) از خانواده‌ی *Laminaceae* و گیاهی چند ساله و معطر از تیره‌ی نعناعیان می‌باشد که با نام‌های آویشن کوهی و فودنج جبلی نیز شناخته شده که به صورت وحشی در مکان‌های مرطوب مانند حاشیه رودخانه‌ها روییده و در سراسر مناطق معتدله نواحی مرکزی و جنوب اروپا، جنوب غربی آسیا و استرالیا رشد می‌کند (پژوهی الموتی و همکاران ۱۳۸۹). برگ، گل و ساقه گونه‌های پونه کوهی در چای‌های گیاهی یا به عنوان افزودنی در مخلوط ادویه‌های تجارتي برای طعم دادن به

چاشنی‌ها باشند که می‌توانند خواص عملکردی مواد بسته‌بندی را بهبود بخشند (جاهد و همکاران ۲۰۱۷). نشاسته به علت فراوانی، قیمت ارزان، تجدیدپذیری و زیست‌تخریب‌پذیری، مهم‌ترین پلیمر پلی‌ساکاریدی مورد استفاده در فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر می‌باشد (سانگ و همکاران ۲۰۱۷). قابلیت تشکیل فیلم در نشاسته به محتوای آمیلوز آن بستگی دارد. فیلم‌های خوراکی ساخته شده از نشاسته بی‌مزه، بی‌بو و شفاف هستند که از تغییرات ظاهر، طعم و بوی محصولات غذایی جلوگیری می‌کنند (سوپوت و همکاران ۲۰۱۵). مزیت اصلی این فیلم‌ها ممانعت‌کنندگی عالی در برابر اکسیژن و کربن‌دی‌اکسید است ولی از طرفی به علت آبدوست بودن شدید ممانعت‌کنندگی ضعیفی در برابر آب دارند (گارسیا و همکاران ۲۰۰۸). قابلیت تهیه فیلم از نشاسته‌های گندم (سانگ و همکاران ۲۰۱۷)، کاساوا (پینروس-هرناندز و همکاران ۲۰۱۷)، ذرت (قاسملو و همکاران ۲۰۱۳)، برنج (دایس و همکاران ۲۰۱۰) و نخود (سان و همکاران ۲۰۱۳) گزارش شده است. اخیراً، استفاده از پودر و آرد حاصل از محصولات کشاورزی در تهیه فیلم‌های خوراکی به علت قیمت ارزان، محتوای پروتئینی، تهیه راحت و در دسترس بودن در مقایسه با نشاسته توجه زیادی را به خود جلب کرده است (مجدویی و همکاران ۲۰۱۵). در سال‌های اخیر، مطالعات فراوانی روی ارزیابی خواص فیلم‌های خوراکی حاصل از آرد تربیتکاله (برنتو و همکاران ۲۰۱۶)، موز (پلیساری و همکاران ۲۰۱۳)، برنج (دایس و همکاران ۲۰۱۰)، چیا<sup>۱</sup> (دیک و همکاران ۲۰۱۶) انجام گرفته است. مطابق نتایج حاصل شده، اغلب فیلم‌های تهیه شده از آردها و پودرها، دارای ساختار غیریکنواخت با خواص مکانیکی ضعیف و نفوذپذیری زیاد به بخار آب در مقایسه با فیلم‌های نشاسته هستند. بنابراین، ترکیب نشاسته با پودر حاصل از محصولات کشاورزی موجب بهبود این خواص

<sup>1</sup> Chia flour

از نور بسته‌بندی شده و در یخچال با دمای  $4^{\circ}\text{C}$  نگهداری شد.

#### استخراج اسانس پونه کوهی

برای استخراج اسانس از روش تقطیر آبی با استفاده از دستگاه کلونجر به مدت ۳ ساعت استفاده شد. اسانس حاصل شده بعد از جداسازی، در ظروف تیره رنگ در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  نگهداری شد (نوشیروانی و همکاران ۱۳۹۶).

#### روش تهیه فیلم

جهت تهیه محلول فیلم‌ها از روش اصلاح شده دیک و همکاران (۲۰۱۶) استفاده شد. محلول فیلم با حل کردن ۶٪ (وزنی/حجمی) پودر بادمجان و نشاسته ذرت در آب مقطر با نسبت ۱:۱ تهیه شده و با همزن مغناطیسی به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق همزده شد. سپس pH محلول با NaOH ۰/۱ نرمال روی ۷/۵ تنظیم شد. محلول پس از تنظیم pH، برای تکمیل ژلاتیناسیون به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای  $85^{\circ}\text{C}$  قرار داده شد. پس از رسیدن دمای محلول فیلم به دمای محیط، ۳۶٪ گلیسرول (وزنی/وزنی)، بر اساس وزن ماده خشک) به عنوان پلاستی‌سایزر به آن اضافه شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط روی همزن مغناطیسی همزده شد. سپس اسانس پونه کوهی در سطوح ۱، ۳ و ۵٪ (وزنی/وزنی، بر اساس وزن ماده خشک) همراه با توئین ۸۰ (۲/۰٪ وزنی/وزنی بر اساس وزن اسانس) به عنوان امولسیفایر به محلول اضافه شدند و محلول در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه توسط هموژنایزر (Ultra Turrax IKA, T25, Werke, Germany) هم زده شد و به مدت ۲۰ دقیقه نیز برای حباب‌زدایی در هموژنایزر اولتراسونیک (KND-1200 UH1-011, Iran) (۱۲۰۰W) و ۲۰ kHz قرار داده شد. در نهایت ۳۰ میلی‌لیتر از هر محلول درون پلیت‌های پلی‌استایرنی (قطر ۱۰ سانتی‌متر) منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط خشک شدند. فیلم‌های خشک شده از پلیت‌ها جدا شده و به مدت ۴۸ ساعت قبل از انجام آزمون‌ها در دسیکاتور حاوی کلسیم

غذاها استفاده می‌شود. خواص درمانی آن رفع سیاه سرفه، آسم، هیستری، نفخ و نقرس است. در استعمال خارج نیز به منظور رفع لکه‌های جلدی و به عنوان عاملی قاعده‌آور مورد استفاده قرار می‌گیرد. اعضای مختلف این گیاه دارای تانن، مواد رزینی، مواد پکتیکی، قند و اسانس هستند (فرضایی و همکاران ۲۰۱۷). مقدار اسانس این گیاه ۳/۲۱٪ گزارش شده که بیشترین ترکیبات موجود در اسانس شامل پیپرتون (۳۸/۷۹٪) و منتون (۱۱/۲۰٪) می‌باشد (میمیکا-دوکیک و همکاران ۲۰۰۳).

مطابق بررسی‌های صورت گرفته، تاکنون تحقیقی در مورد تأثیر اسانس پونه کوهی بر فیلم‌های خوراکی تهیه شده از نشاسته ذرت و پودر بادمجان صورت نگرفته است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر اسانس پونه کوهی در غلظت‌های مختلف بر روی خواص فیزیکی فیلم‌های خوراکی تهیه شده بر پایه نشاسته و پودر بادمجان می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

پونه کوهی خشک شده و بادمجان از بازار محلی ارومیه خریداری شدند. نشاسته ذرت و گلیسرول با درجه خلوص ۹۹/۵٪، توئین ۸۰، کلسیم سولفات، کلسیم نترات، پتاسیم سولفات، سدیم هیدروکسید و هیدروکلریدریک اسید ۳۷٪ از شرکت مرک (آلمان) خریداری شدند.

#### تهیه پودر بادمجان

پودر بادمجان مطابق روش اوتومپورن و همکاران (۲۰۱۶) تهیه شد. ابتدا بادمجان‌ها شسته شده و بدون پوستگیری برش داده شده و در آون با دمای  $50^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. بادمجان‌های خشک شده را آسیاب کرده و با استفاده از الک با مش ۶۰ (۲۵۰ میکرومتر) الک شد. پودر حاصله در ظروف شیشه‌ای پوشیده شده با فویل آلومینیومی، برای حفاظت نمونه‌ها

مدت ۲۴ ساعت خشک گردیدند. درصد حلالیت در آب فیلم‌ها مطابق معادله زیر محاسبه گردید:

$$\text{حلالیت (\%)} = [(W_i - W_f) / W_i] \times 100$$

که  $W_i$  و  $W_f$  به ترتیب وزن اولیه و وزن نهایی نمونه‌های فیلم هستند.

#### میزان رطوبت فیلم‌ها

میزان رطوبت فیلم‌ها مطابق روش پلیساری و همکاران (۲۰۱۳) تعیین گردید. برای اندازه‌گیری میزان رطوبت، وزن مشخص از هر نمونه با اندازه  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  بریده شده و در آون با دمای  $105^\circ \text{C}$  تا رسیدن به وزن ثابت (۲۴ ساعت) خشک و پس از خروج از آون، نمونه‌ها توزین شدند. وزن نهایی بر اساس اختلاف دو توزین متوالی تعیین و ثبت گردید. میزان رطوبت فیلم‌ها طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{میزان رطوبت (\%)} = [(M_w - M_d) / M_w] \times 100$$

که در آن  $M_w$  وزن اولیه فیلم‌ها و  $M_d$  وزن خشک فیلم‌ها می‌باشد.

#### نفوذپذیری به بخار آب

نفوذپذیری به بخار آب (WVP) فیلم‌ها مطابق روش ASTM E96 اندازه‌گیری شد (ASTM ۱۹۹۵). برای انجام آزمون از ویال‌هایی با قطر ۲۰ و عمق ۴۵ میلی‌متر استفاده شد. فیلم‌های بریده شده در قسمت درب ویال‌های حاوی ۳ گرم کلسیم سولفات (RH=۰٪) قرار داده شدند. ویال‌ها پس از توزین اولیه، در دسیکاتور حاوی پتاسیم سولفات (RH=۹۷٪) جای گرفتند. سپس، مقدار بخار آب منتقل شده از فیلم که توسط کلسیم سولفات جذب شده، از روی وزن اضافه شده بر ویال‌ها تعیین شد. ویال‌ها به مدت ۷۲ ساعت در فواصل زمانی معین توزین شدند. سرعت انتقال بخار آب (WVTR:  $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ) از روی شیب حاصل از آنالیز رگرسیون مقدار رطوبت منتقل شده در سطح فیلم در مدت زمان

نیترا (RH=۵۵٪) در دمای محیط قرار گرفتند تا مشروط گردند.

#### آزمایش‌های فیزیکی

##### ضخامت

ضخامت فیلم‌ها به وسیله میکرومتر دیجیتالی (Mitutoyo No. 293-766, Tokyo, Japan) با دقت  $0.001$  میلی‌متر در ۱۰ نقطه تصادفی از هر فیلم اندازه‌گیری شد. میانگین ضخامت نقاط مختلف هر فیلم در محاسبات خواص مکانیکی و نفوذپذیری به بخار آب مورد استفاده قرار گرفت (شجاعی-علی‌آبادی و همکاران ۲۰۱۳).

##### دانسیته

دانسیته فیلم‌ها از روی وزن و حجم نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نمونه فیلم‌ها با اندازه  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  بریده شده و توزین شدند. حجم فیلم‌ها نیز از روی مساحت و ضخامت نمونه فیلم‌ها تعیین شد (پلیساری و همکاران ۲۰۱۳).

##### شاخص تورم

شاخص تورم فیلم‌ها مطابق روش نیسار و همکاران (۲۰۱۷) تعیین شد. نمونه‌ها به قطعات  $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$  بریده شده و توزین شدند ( $W_1$ ). سپس نمونه‌ها به مدت ۲ دقیقه در آب مقطر غوطه‌ور شدند. آب اضافی نمونه‌های مرطوب با کاغذ صافی گرفته و نمونه‌ها دوباره توزین شدند ( $W_2$ ). مقدار آب جذب شده به صورت درصد بیان شد.

$$\text{شاخص تورم (\%)} = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100$$

##### حلالیت

حلالیت در آب فیلم‌ها مطابق روش گونتارد و همکاران (۱۹۹۴) اندازه‌گیری شد و به صورت درصد ماده خشک فیلم حل شده بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب بیان گردید. نمونه فیلم‌ها به قطعات  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  بریده شده و توزین گردیدند. سپس فیلم‌های توزین شده در ۳۰ mL آب مقطر غوطه‌ور شدند و به مدت ۳ ساعت روی همزن، همزده شدند. سپس آب اضافی فیلم‌ها توسط کاغذ صافی گرفته شد و نمونه‌ها در آون با دمای  $105^\circ \text{C}$  به

<sup>1</sup> Water vapor permeability

### خواص مکانیکی

مقاومت کششی، ازدیاد طول تا نقطه شکست و مدول یانگ فیلم‌ها توسط دستگاه بافت‌سنج TA.XT.Plus Texture analyser مطابق روش ASTM D882-95 اندازه‌گیری شدند (ASTM ۲۰۰۱). نمونه‌های فیلم در ابعاد ۵cm×۱cm بریده شده و به مدت ۴۸ ساعت در رطوبت نسبی ۵۵٪ (کلسیم نیترات) و دمای محیط مشروط گردیدند. فاصله اولیه بین دو فک دستگاه و سرعت حرکت فک‌ها به ترتیب ۳۰mm و ۰/۸۳ mm/sec بود. پارامترهای مکانیکی با روابط ذیل محاسبه شدند:

$$F_{max}/A = \text{مقاومت کششی}$$

$$(L_{max}/L_0) \times 100 = \text{ازدیاد طول تا نقطه شکست}$$

$$FL_0/A\Delta L = \text{مدول یانگ}$$

که  $A$  برابر سطح مقطع عرضی فیلم ( $m^2$ )،  $F_{max}$  برابر حداکثر نیرو در نقطه شکست ( $N$ )،  $L_{max}$  برابر کشیدگی فیلم در نقطه پارگی ( $m$ )،  $L_0$  برابر طول اولیه نمونه فیلم ( $m$ )،  $F$  برابر نیرو ( $N$ ) و  $\Delta L$  برابر تغییر طول نمونه ( $m$ ) می‌باشد.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

همه آزمون‌ها در سه تکرار در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام گرفتند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) انجام شد. جهت مقایسه آماری ویژگی‌های فیلم‌ها ابتدا از تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و سپس برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. تمامی نتایج به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار ارائه گردید و مقایسه‌های آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام پذیرفت.

### نتایج و بحث

#### ضخامت

نتایج حاصل از اندازه‌گیری ضخامت فیلم‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، ضخامت فیلم‌ها از ۰/۲۰۵ تا ۰/۲۳۴ میلی‌متر متغیر بوده

معین محاسبه گردید. سپس WVTR فیلم‌ها برای محاسبه نفوذپذیری به بخار آب استفاده شد.

$$WVTR = \Delta w / A \Delta t$$

$$WVP = \frac{WVTR \times x}{\Delta P}$$

که  $WVP$  برابر ضریب نفوذپذیری فیلم،  $x$  برابر ضخامت فیلم و  $\Delta P$  اختلاف فشار بخار آب بین سطح درونی و بیرونی فیلم در ویال‌ها ( $\Delta P = 3169 \text{ Pa}$ ) می‌باشد.

#### رنگ

جهت تعیین رنگ سطحی نمونه‌های فیلم از دستگاه رنگ‌سنج (Minolta CR300 Series, Minolta Camera Co. Ltd., Osaka, Japan) استفاده شد. نتایج به صورت روشنی-تاریکی ( $L^*$ )، سبز-قرمز ( $a^*$ ) و آبی-زرد ( $b^*$ ) بیان شدند. با رابطه‌ی زیر مقادیر کل اختلاف رنگ ( $\Delta E$ ) نمونه‌ها محاسبه گردید (خزایی و همکاران ۲۰۱۴):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

که  $\Delta L^*$ ،  $\Delta a^*$  و  $\Delta b^*$  تفاوت بین پارامترهای رنگ مربوط به نمونه‌ها و پارامترهای صفحه سفید استاندارد ( $L^* = 97/39$ ،  $a^* = -0/11$  و  $b^* = 7/16$ ) می‌باشند.

#### خواص نوری

مقدار عبور نور فیلم‌ها مطابق روش شیکو و همکاران (۲۰۰۴) در محدوده نور مرئی-فرابنفش (۸۰۰-۲۰۰nm) با اسپکتروفوتومتر مرئی-فرابنفش مدل (T60 UV-Visible Spectrophotometer, USA) اندازه‌گیری شد. نمونه‌های فیلم در ابعاد ۱cm×۴cm بریده شده و در سل کوارتز قرار داده شدند. از سل خالی نیز به عنوان نمونه شاهد استفاده شد.

اندازه‌گیری مقدار شفافیت فیلم‌ها، از معادله هان و فلورس (۱۹۹۷) محاسبه گردید و برابر با نسبت جذب در ۶۰۰nm به ضخامت فیلم‌ها (mm) می‌باشد.

<sup>1</sup> Water vapor transfer rate

(۲۰۱۰) نیز در بررسی اثر اسانس دارچین و زنجبیل در فیلم‌های بر پایه ایزوله پروتئین سویا به نتایج مشابهی دست یافتند.

#### شاخص تورم

شاخص تورم نشان دهنده‌ی حفظ کیفیت محصول غذایی در طول بسته‌بندی و ذخیره‌سازی می‌باشد. همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، اختلاف معناداری بین نتایج حاصل از شاخص تورم وجود دارد ( $P < 0.05$ ) و فیلم‌های دارای اسانس، شاخص تورم بیشتری نسبت به فیلم‌های فاقد اسانس دارند. با افزایش درصد اسانس پونه کوهی، شاخص تورم فیلم‌های بر پایه پودر بادمجان و نشاسته ذرت افزایش یافت. دلیل این رفتار را می‌توان به گرایش برای تعاملات بین مولکولی شدید، بین ماتریس پلیمر و ترکیبات فنولی موجود در اسانس نسبت داد که منجر به کاهش یکپارچگی فیلم و در نهایت شکستن بخش‌هایی از این فیلم می‌شود (هاشمی و موسوی خانقاه ۲۰۱۷). نتایج مشابه توسط والدرا و همکاران (۲۰۱۵) ارائه شد که با افزایش غلظت اسانس آویشن شیرازی در فیلم‌های کیتوزان، شاخص تورم افزایش یافت. هاشمی و موسوی خانقاه (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند که با افزایش درصد اسانس پونه، شاخص تورم در فیلم‌های بر پایه صمغ دانه ریحان افزایش یافت.

و با افزایش درصد اسانس پونه کوهی، ضخامت فیلم‌ها افزایش یافت. علت این افزایش ضخامت را می‌توان به تراکم ذرات کوچک اسانس در فیلم نسبت داد که تأثیر کمی بر تغییر ضخامت فیلم‌های تهیه شده دارد و ضخامت را به میزان کمی افزایش می‌دهد. علاوه بر آن، افزودن اسانس سبب ایجاد ساختار غیریکنواخت همراه با منافذ می‌شود که نشان‌دهنده‌ی افزایش ضخامت است (جامروز و همکاران ۲۰۱۸). قاسملو و همکاران (۲۰۱۳) نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند. بطوریکه با افزایش غلظت اسانس پونه و آویشن شیرازی ضخامت فیلم‌های بر پایه نشاسته ذرت افزایش یافت. همچنین نتایج در توافق با نتایج نیسار و همکاران (۲۰۱۷) بود که نشان دادند با افزایش اسانس میخک در فیلم‌های بر پایه پکتین، ضخامت فیلم‌ها افزایش یافت.

#### دانسیته

نتایج حاصل از اندازه‌گیری دانسیته فیلم‌ها در جدول ۱ مشخص شده است. همانطور که قابل مشاهده است اختلاف معناداری بین نتایج وجود دارد ( $P < 0.05$ ). با افزایش درصد اسانس پونه کوهی، دانسیته فیلم‌های بر پایه نشاسته ذرت و پودر بادمجان کاهش یافت. کاهش دانسیته ممکن است به علت افزایش ضخامت و در نتیجه افزایش حجم باشد که مرتبط با افزایش درصد اسانس است (جعفرزاده و همکاران ۲۰۱۷). آتارس و همکاران

جدول ۱- ضخامت، دانسیته و شاخص تورم فیلم‌های حاوی اسانس پونه کوهی

Table 1- Thickness, density and swelling index of films containing *Mentha Longifolia* EO

EO concentration (%)	Thickness (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Swelling index (%)
0	0.205 ± 0.003 <sup>d</sup>	1.29 ± 0.01 <sup>a</sup>	280.4 ± 6.4 <sup>b</sup>
1	0.214 ± 0.002 <sup>c</sup>	1.26 ± 0.02 <sup>b</sup>	298.2 ± 9.2 <sup>b</sup>
3	0.223 ± 0.002 <sup>b</sup>	1.22 ± 0.01 <sup>c</sup>	327.5 ± 5.3 <sup>a</sup>
5	0.234 ± 0.002 <sup>a</sup>	1.18 ± 0.08 <sup>d</sup>	339.7 ± 22.4 <sup>a</sup>

Mean with different letters within a column indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

Essential oil: EO

کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). این نتایج قابل مقایسه با یافته‌های شجاعی-علی‌آبادی و همکاران (۲۰۱۳) می‌باشد که گزارش کردند افزودن اسانس مرزه به فیلم‌های کاپا کاراگینان موجب کاهش حلالیت در آب فیلم‌ها گردید.

#### حلالیت

جدول ۲ حلالیت در آب فیلم‌های حاوی غلظت‌های مختلف اسانس پونه کوهی را نشان می‌دهد. با افزایش درصد اسانس، حلالیت در آب فیلم‌ها به طور معنی‌داری



### نفوذپذیری به بخار آب

مقدار نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های شاهد و حاوی اسانس پونه کوهی در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج حاصله نشان داد که با افزایش درصد اسانس، نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های بر پایه نشاسته و پودر بادمجان افزایش یافت. دلیل این رفتار احتمالاً به علت وجود ترک و شکاف ایجاد شده به علت تبخیر اسانس موجود در فرمولاسیون فیلم‌ها می‌باشد. علاوه بر آن نسبت ترکیبات هیدروفیلیک به هیدروفوبیک مواد موجود در فیلم، تاثیر مستقیمی روی میزان انتقال بخار آب در فیلم دارد (پینروس-هرناندز و همکاران ۲۰۱۷). به طوریکه برهم کنش بین اسانس روغنی و زنجیره هیدروفیلی پروتئین ممکن است باعث کاهش خاصیت آبریزی ماتریکس فیلم شده و در نتیجه نفوذپذیری به بخار آب افزایش یابد. بنابراین نمی‌توان تصور کرد که با افزودن یک ترکیب هیدروفوبیک به فرمولاسیون فیلم، میزان نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها کاهش یابد؛ اگرچه تأثیر افزودن ترکیب روغنی روی میکروساختار فیلم یک ویژگی تعیین کننده در میزان نفوذپذیری به بخار آب است (حسینی و همکاران ۲۰۱۵). نتایج حاصل شده هماهنگ با نتایج حسینی و همکاران (۲۰۱۵) می‌باشد که با افزایش اسانس پونه کوهی، نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های بر پایه ژلاتین-کیتوزان افزایش یافت. همچنین نتایج مشابه دیگری توسط پینروس-هرناندز و همکاران (۲۰۱۷) ارائه شد که با افزایش عصاره رزماری در فیلم‌های نشاسته کاساوا، نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها افزایش یافت.

همچنین نتایج مشابه دیگری توسط سانگ و همکاران (۲۰۱۷) ارائه شده است که نشان می‌دهد افزایش اسانس لیمو به فیلم‌های نشاسته ذرت و گندم موجب کاهش حلالیت شده است. دلیل کاهش حلالیت را می‌توان به کاهش طبیعت آبدوستی فیلم‌ها در اثر برهمکنش بین ترکیبات اسانس و گروه‌های هیدروکسیل فیلم‌ها نسبت داد که می‌تواند دسترسی راحت گروه‌های هیدروکسیل برای واکنش با مولکول‌های آب را کاهش داده و متعاقباً منجر به آبریزی فیلم‌ها شود (شجاعی-علی‌آبادی و همکاران ۲۰۱۳).

### میزان رطوبت فیلم‌ها

محتوای رطوبت پارامتری است که به حجم اشغال شده توسط مولکول‌های آب در میکروساختار فیلم بستگی دارد. مطابق جدول ۲، فیلم تهیه شده فاقد اسانس پونه کوهی مقدار رطوبت ۲۰/۶۲٪ را نشان می‌دهد که این مقدار در فیلم‌های حاوی اسانس به طور معناداری کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). دلیل این حالت را می‌توان به علت خاصیت آبریزی اسانس در نگهداری رطوبت فیلم‌ها نسبت داد (قاسملو و همکاران ۲۰۱۳). نتایج مشابهی توسط قاسملو و همکاران (۲۰۱۳) برای فیلم‌های بر پایه نشاسته ذرت به همراه اسانس پونه و آویشن شیرازی بدست آمده است. همچنین نتایج حاصل در توافق با یافته‌های سانگ و همکاران (۲۰۱۷) بود که کاهش محتوای رطوبت فیلم‌ها را با افزودن اسانس لیمو به فیلم‌های حاصل از نشاسته ذرت و گندم گزارش نموده‌اند.

جدول ۲- حلالیت، مقدار رطوبت و نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های حاوی اسانس پونه کوهی

Table 2- Solubility, moisture content and WVP of films containing *Mentha Longifolia* EO

EO concentration (%)	Solubility (%)	Moisture Content (%)	WVP(g.mm/m <sup>2</sup> .h.Pa)
0	67.61 ± 2.05 <sup>a</sup>	20.62 ± 1.82 <sup>a</sup>	0.0023 ± 0.0009 <sup>c</sup>
1	62.47 ± 1.84 <sup>b</sup>	15.55 ± 0.37 <sup>b</sup>	0.0026 ± 0.0001 <sup>b</sup>
3	61.31 ± 1.16 <sup>b</sup>	14.76 ± 0.71 <sup>b</sup>	0.0027 ± 0.0006 <sup>b</sup>
5	60.05 ± 3.07 <sup>b</sup>	11.84 ± 0.64 <sup>c</sup>	0.0028 ± 0.0006 <sup>a</sup>

Mean with different letters within a column indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

Essential oil: EO, WVP: Water Vapor Permeability

## رنگ

شد. میزان قرمزی ( $a^*$ ) و زردی ( $b^*$ ) فیلم‌ها با افزایش غلظت اسانس پونه کوهی به ترتیب از ۱۱/۲۶ و ۱۶/۲۳ به ۱۲/۳۹ و ۲۲/۳۳ افزایش یافت. این نتایج مطابق با یافته‌های کرالس و همکاران (۲۰۰۹) می‌باشد که گزارش کردند افزایش عصاره دانه انگور موجب افزایش پارامترهای  $a^*$  و  $b^*$  فیلم‌های بر پایه نشاسته نخود گردید. این تغییرات رنگی ممکن است در ارتباط با مقدار ترکیبات فنولیک اسید و فلاونوئیدهای موجود در اسانس پونه کوهی باشد.

رنگ از عوامل مهم برای انتخاب محصولات غذایی توسط مصرف‌کننده‌ها می‌باشد. اثر غلظت‌های مختلف اسانس پونه کوهی روی پارامترهای  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$  و  $\Delta E$  در جدول ۳ آورده شده است. نتایج حاصله اختلاف معناداری ( $P < 0.05$ ) بین پارامترهای رنگ نشان می‌دهد که این اختلاف ناشی از اثر غلظت‌های مختلف اسانس روی فیلم‌های بر پایه نشاسته ذرت و پودر بادمجان می‌باشد. افزایش درصد اسانس پونه کوهی در فیلم‌ها باعث افزایش روشنایی ( $L^*$ ) و کاهش اختلاف کلی رنگ ( $\Delta E$ )

جدول ۳- پارامترهای مربوط به رنگ فیلم‌ها حاوی اسانس پونه کوهی

Table 3- Color parameters of films containing *Mentha Longifolia* EO

EO concentration (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
0	$31.75 \pm 0.05^d$	$11.26 \pm 0.01^d$	$16.23 \pm 0.05^d$	$68.253 \pm 0.003^a$
1	$33.27 \pm 0.01^c$	$11.35 \pm 0.04^c$	$18.56 \pm 0.01^c$	$67.175 \pm 0.014^b$
3	$37.04 \pm 0.01^b$	$11.87 \pm 0.01^b$	$20.26 \pm 0.01^b$	$64.047 \pm 0.004^c$
5	$38.63 \pm 0.01^a$	$12.39 \pm 0.01^a$	$22.33 \pm 0.01^a$	$63.159 \pm 0.004^d$

Mean with different letters within a column indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

Essential oil: EO

## خواص نوری

کاهش میزان عبور نور بر اثر افزودن اسانس احتمالاً به علت وجود ترکیبات آروماتیک در اسانس پونه کوهی می‌باشد که این ترکیبات موجب می‌شوند اسانس به عنوان مانع خوبی در برابر اشعه‌ی UV عمل کند (پینروس-هرناندز و همکاران ۲۰۱۷). همچنین، دلیل این رفتار را می‌توان به عدم تناسب در ترکیبات مواد نسبت داد که سبب تغییرات قابل توجهی در خواص نوری فیلم‌ها می‌شوند، علاوه بر این شفافیت اسانس نیز روی شفافیت فیلم‌ها تأثیر می‌گذارد (احمد و همکاران ۲۰۱۲). نتایج حاصله در تطابق با یافته‌های احمد و همکاران (۲۰۱۲) می‌باشد که با افزایش درصد اسانس ترنج (*Citrus bergamia*) و همچنین اسانس پوتار (*Cymbopogon citrates*) میزان عبور نور از فیلم‌ها کاهش، در حالیکه کدورت فیلم‌ها نیز کاهش یافت.

شفافیت فیلم‌ها می‌تواند روی ظاهر، بازارپسندی محصولات غذایی و مناسب بودن آن‌ها برای تقاضاهای مختلف اثر گذارد. همانطور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود، افزودن اسانس پونه کوهی در فیلم‌ها اثر مستقیمی بر شفافیت آن‌ها داشت. با افزایش درصد اسانس از ۱ به ۵٪، کدورت فیلم‌ها در مقایسه با نمونه شاهد به طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) کاهش یافته و فیلم‌ها شفاف‌تر شدند. نتایج حاصل از عبور نور نیز مقدار عبور نور ناچیزی را در محدوده‌ی UV (۴۰۰- nm) برای فیلم‌های حاوی اسانس نشان داد (شکل ۱) و با افزایش طول موج (محدوده مرئی) مقدار عبور نور نیز افزایش یافت. مطابق نتایج، بیشترین میزان عبور نور مربوط به فیلم‌های فاقد اسانس پونه کوهی بود و با افزایش درصد اسانس میزان عبور نور کاهش یافت.



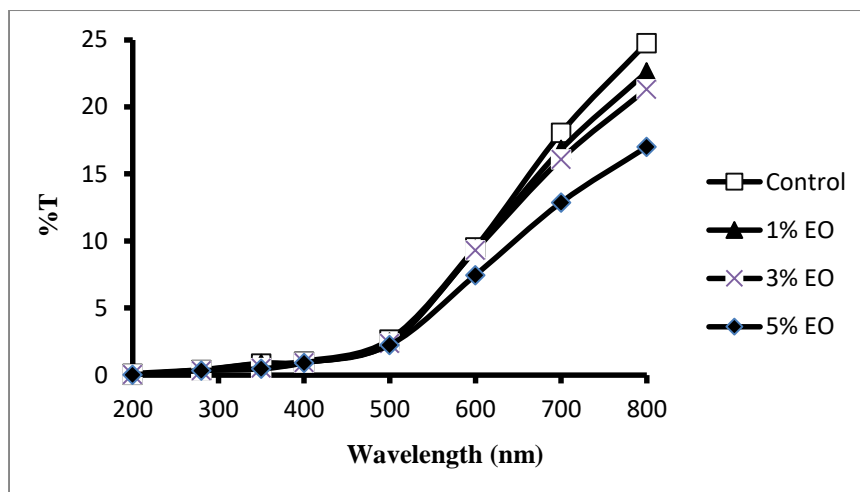
جدول ۴- کدورت فیلم‌های حاوی اسانس پونه کوهی

Table 4- Opacity of films containing *Mentha Longifolia* EO

EO concentration (%)	Opacity
0	4.64 ± 0.18 <sup>a</sup>
1	4.19 ± 0.03 <sup>b</sup>
3	3.99 ± 0.04 <sup>c</sup>
5	3.82 ± 0.06 <sup>c</sup>

Mean with different letters within a column indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

Essential oil: EO



شکل ۱- درصد عبور نور از فیلم‌های حاوی اسانس در طول موج‌های مختلف

Figure 1- Light transmittance percent of films containing EO at different wavelength

نتایج مشابه توسط کاووسی و همکاران (۲۰۱۳) ارائه شده است، بطوریکه با افزایش درصد تیمول در فیلم‌های بر پایه ژلاتین، مقاومت کششی و مدول یانگ فیلم‌ها کاهش یافت. همچنین، حسینی و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که با افزایش اسانس پونه کوهی در فیلم‌های بر پایه ژلاتین و کیتوزان، مقاومت کششی و مدول یانگ کاهش یافتند. این رفتار ممکن است به علت تاثیر وجود اسانس روی ساختار هتروژن فیلم و تعامل ضعیف بین گلیسرول و نشاسته باشد (پینرووس-هرناندز و همکاران ۲۰۱۷). همچنین افزودن اسانس ممکن است باعث کاهش بر هم کنش بین پلیمرها شده، در نتیجه سبب تضعیف خواص مکانیکی می‌گردد (کاووسی و همکاران ۲۰۱۳).

#### خواص مکانیکی

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مواد بسته‌بندی محصولات غذایی، ویژگی‌های مکانیکی آن‌ها می‌باشد. داده‌های مربوط به مقاومت کششی، مدول یانگ و ازدیاد طول تا نقطه شکست فیلم‌های بر پایه نشاسته ذرت- پودر بادمجان حاوی اسانس پونه کوهی در جدول ۵ نشان داده شده است. همانطور ملاحظه می‌شود، فیلم‌های فاقد اسانس پونه کوهی با مقاومت کششی و مدول یانگ بیشتر نسبت به فیلم‌های دارای اسانس، محکم‌تر هستند. مقاومت کششی، مدول یانگ و ازدیاد طول تا نقطه شکست فیلم‌ها با افزایش درصد اسانس، کاهش یافتند.

Essential oil: EO

## جدول ۵- خواص مکانیکی فیلم‌های حاوی اسانس پونه کوهی

Table 5- Mechanical properties of films containing *Mentha Longifolia* EO

EO concentration (%)	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (MPa)	Elongation at break (%)
0	5.33 ± 0.08 <sup>a</sup>	84.09 ± 0.04 <sup>a</sup>	30.523 ± 0.003 <sup>a</sup>
1	4.29 ± 0.02 <sup>b</sup>	83.21 ± 0.24 <sup>b</sup>	30.500 ± 0.003 <sup>ab</sup>
3	3.80 ± 0.07 <sup>c</sup>	63.54 ± 0.01 <sup>c</sup>	30.470 ± 0.003 <sup>b</sup>
5	2.36 ± 0.02 <sup>d</sup>	47.38 ± 0.41 <sup>d</sup>	30.001 ± 0.033 <sup>c</sup>

Mean with different letters within a column indicate significant differences (p<0.05).

Essential oil: EO

## نتیجه‌گیری

با افزودن اسانس، پارامتر قرمزی ( $a^*$ )، زردی ( $b^*$ )، ضخامت، شاخص تورم و نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها افزایش یافتند. حلالیت و میزان رطوبت فیلم‌ها نیز با افزایش اسانس کاهش یافتند. به طور کلی، افزودن اسانس پونه کوهی به فیلم‌های خوراکی تهیه شده بر پایه نشاسته نرت و پودر بادمجان باعث تضعیف خواص مکانیکی، نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها شد، در حالیکه شفافیت و حلالیت در آب فیلم‌ها را بهبود بخشید.

در این پژوهش، اسانس پونه کوهی در سطوح ۰، ۱، ۳ و ۵٪ وزنی/وزنی به فیلم‌های بر پایه نشاسته و پودر بادمجان افزوده شد. نتایج حاصل از آزمون مکانیکی نشان داد که با افزایش درصد اسانس پونه کوهی، مقاومت کششی و مدول یانگ و ازدیاد طول تا نقطه شکست فیلم‌ها کاهش یافتند. همچنین با افزایش غلظت اسانس، شفافیت و پارامتر  $L^*$  فیلم‌ها افزایش یافت، که ویژگی مطلوب در بسته‌بندی محصولات غذایی می‌باشد.

## منابع مورد استفاده

- پژوهی الموتی م ر، تاجیک ح، آخوندزاده الف، گندمی نصرآبادی ح و احسانی ع، ۱۳۹۱. مطالعه ترکیب شیمیایی و فعالیت ضد میکروبی اسانس‌های پونه کوهی (*Mentha longifolia* L.) و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در سوپ. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۳۶، ۳۳ تا ۴۵.
- نوشیروانی ن، قنبرزاده ب، رضایی مکرم ر و هاشمی م، ۱۳۹۶. تهیه فیلم‌های فعال بر پایه کربوکسی متیل سلولز-کیتوزان-اسید اولئیک حاوی اسانس زنجبیل و تعیین ویژگی‌های فیزیکی، ضد کپکی و ضد اکسایشی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲، ۱۳۵-۱۴۸.
- Acosta S, Chiralt A, Santamarina P, Rosello J, González-Martínez C and Cháfer M, 2016. Antifungal films based on starch-gelatin blend, containing essential oils. *Food Hydrocolloids* 61: 233-240.
- Ahmad M, Benjakul S, Prodpran T and Agustini T W, 2012. Physico-mechanical and antimicrobial properties of gelatin film from the skin of unicorn leatherjacket incorporated with essential oils. *Food Hydrocolloids* 28(1): 189-199.
- ASTM. 1995. Standard test methods for water vapor transmission of material, E 96-95. Annual book of ASTM. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM, 2001. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. Standard D882. Annual book of ASTM. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.
- Atarés L, De Jesús C, Talens P and Chiralt A, 2010. Characterization of SPI-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering* 99(3): 384-391.
- Borneo R, Alba N and Aguirre A, 2016. New films based on triticale flour: Properties and effects of storage time. *Journal of Cereal Science* 68: 82-87.

- Corrales M, Han J H and Tauscher B, 2009. Antimicrobial properties of grape seed extracts and their effectiveness after incorporation into pea starch films. *International Journal of Food Science & Technology* 44(2): 425-433.
- Dias A B, Müller C M, Larotonda F D and Laurindo J B, 2010. Biodegradable films based on rice starch and rice flour. *Journal of Cereal Science* 51(2): 213-219.
- Dick M, Henrique Pagno C, Haas Costa T M, Gomaa A, Subirade M, de Oliveira Rios A and Hickmann Flôres S, 2016. Edible films based on chia flour: Development and characterization. *Journal of Applied Polymer Science* 133(2).
- Farzaei M H, Bahramsoltani R, Ghobadi A, Farzaei F and Najafi F, 2017. Pharmacological activity of *Mentha longifolia* and its phytoconstituents. *Journal of Traditional Chinese Medicine* 37(5): 710-720.
- García M, Rojas A, Laurindo J, Romero-Bastida C, Grossmann M, Martino M and Zaritzky N, 2008. Innovations in starch-based film technology. *Food Engineering: Integrated Approaches* 431-454.
- Ghasemlou M, Aliheidari N, Fahmi R, Shojaee-Aliabadi S, Keshavarz B, Cran M J and Khaksar R, 2013. Physical, mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils. *Carbohydrate polymers* 98(1): 1117-1126.
- Gontard N, Duchez C, CUQ J L and Guilbert S, 1994. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. *International Journal of Food Science & Technology* 29(1): 39-50.
- Gulluce M, Sahin F, Sokmen M, Ozer H, Daferera D, Sokmen A and Ozkan H, 2007. Antimicrobial and antioxidant properties of the essential oils and methanol extract from *Mentha longifolia* L. ssp. *longifolia*. *Food chemistry* 103(4), 1449-1456.
- Han J H and Floros J D, 1997. Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. *Journal of Plastic Film & Sheeting* 13(4): 287-298.
- Hashemi S M B and Khaneghah A M, 2017. Characterization of novel basil-seed gum active edible films and coatings containing oregano essential oil. *Progress in Organic Coatings* 110: 35-41.
- Hosseini S F, Rezaei M, Zandi M and Farahmandghavi F, 2015. Bio-based composite edible films containing *Origanum vulgare* L. essential oil. *Industrial Crops and products* 67: 403-413.
- Jafarzadeh S, Alias A, Ariffin F, Mahmud S, Najafi A and Sheibani S, 2017. Characterization of a new biodegradable edible film based on semolina loaded with nano kaolin. *International Food Research Journal* 24(1): 304-309.
- Jahed E, Khaledabad M A, Bari M R and Almasi H, 2017. Effect of cellulose and lignocellulose nanofibers on the properties of *Origanum vulgare* ssp. *gracile* essential oil-loaded chitosan films. *Reactive and Functional Polymers* 117: 70-80.
- Jamróz E, Juszczak L and Kucharek M, 2018. Investigation of the physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of ternary potato starch-furcellaran-gelatin films incorporated with lavender essential oil. *International journal of biological macromolecules* 114: 1094-1101.
- Kavoosi G, Dadfar S M M and Purfard A M, 2013. Mechanical, physical, antioxidant, and antimicrobial properties of gelatin films incorporated with thymol for potential use as nano wound dressing. *Journal of Food Science* 78(2).
- Khazaei N, Esmaili M, Emam Djomeh Z, Ghasemlou M and Jouki M, 2014. Characterization of new biodegradable edible film made from basil seed (*Ocimum basilicum* L.) gum. *Carbohydrate polymers* 102: 199-206.
- Majzoubi M, Pesaran Y, Mesbahi G, Golmakani M T and Farahnaky A, 2015. Physical properties of biodegradable films from heat-moisture-treated rice flour and rice starch. *Starch-Stärke* 67(11-12): 1053-1060.
- Mimica-Dukić N, Božin B, Soković M, Mihajlović B and Matavulj M, 2003. Antimicrobial and antioxidant activities of three *Mentha* species essential oils. *Planta medica* 69(05): 413-419.
- Niño-Medina G, Urías-Orona V, Muy-Rangel M and Heredia J, 2017. Structure and content of phenolics in eggplant (*Solanum melongena*)-a review. *South African Journal of Botany* 111: 161-169.

- Nisar T, Wang Z C, Yang X, Tian Y, Iqbal M and Guo Y, 2018. Characterization of citrus pectin films integrated with clove bud essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. *International journal of biological macromolecules* 106: 670-680.
- Nouradini M, Esmaili M and Mohtarami F, 2018. Development and characterization of edible films based on eggplant flour and corn starch. *International journal of biological macromolecules* 120: 1639-1645.
- Pelissari F M, Andrade-Mahecha M M, do Amaral Sobral P J and Menegalli F C, 2013. Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Food Hydrocolloids* 30(2): 681-690.
- Piñeros-Hernandez D, Medina-Jaramillo C, López-Córdoba A and Goyanes S, 2017. Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. *Food Hydrocolloids* 63: 488-495.
- Ramos M, Jiménez A, Peltzer M and Garrigós M C, 2012. Characterization and antimicrobial activity studies of polypropylene films with carvacrol and thymol for active packaging. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 513-519.
- Shiku Y, Hamaguchi P Y, Benjakul S, Visessanguan W and Tanaka M, 2004. Effect of surimi quality on properties of edible films based on Alaska pollack. *Food chemistry* 86(4): 493-499.
- Shojaee-Aliabadi S, Hosseini H, Mohammadifar M A, Mohammadi A, Ghasemlou M, Ojagh S M, Hosseini S M and Khaksar R, 2013. Characterization of antioxidant-antimicrobial  $\kappa$ -carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. *International journal of biological macromolecules* 52: 116-124.
- Solano A C V and de Gante C R, 2014. Development of biodegradable films based on blue corn flour with potential applications in food packaging. Effects of plasticizers on mechanical, thermal, and microstructural properties of flour films 60(1): 60-66.
- Song X, Zuo G and Chen F, 2018. Effect of essential oil and surfactant on the physical and antimicrobial properties of corn and wheat starch films. *International journal of biological macromolecules* 107: 1302-1309.
- Souza A, Goto G, Mainardi J, Coelho A C V and Tadini C C, 2013. Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: Antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. *LWT-Food Science and Technology* 54(2): 346-352.
- Sun Q, Sun C and Xiong L, 2013. Mechanical, barrier and morphological properties of pea starch and peanut protein isolate blend films. *Carbohydrate polymers* 98(1): 630-637.
- Šuput D Z, Lazić V L, Popović S Z and Hromiš N M, 2015. Edible films and coatings: Sources, properties and application. *Food and Feed Research* 42(1): 11-22.
- Uthumporn U, Fazilah A, Tajul A, Maizura M and Ruri A, 2016. Physico-chemical and Antioxidant Properties of Eggplant Flour as a Functional Ingredient. *Advance Journal of Food Science and Technology* 12(5): 235-243.
- Valderrama N, Albarracín W and Algecira N, 2015. Physical and microbiological evaluation of chitosan films: effect of essential oils and storage. *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Chem. Mol. Nucl. Mater. Metall. Eng* 9: 262-269.
- Vargas C G, Costa T M H, de Oliveira Rios A and Flôres S H, 2017. Comparative study on the properties of films based on red rice (*Oryza glaberrima*) flour and starch. *Food Hydrocolloids* 65: 96-106.

Journal of Food Researches/vol.29 No.4/ 2020/pp 171-184  
<https://foodresearch.tabrizu.ac.ir>

## Development and characterization of edible films based on corn starch and eggplant powder with *Mentha longifolia* L. essential oil

M Nouraddini<sup>1</sup>, M Esmaili<sup>2\*</sup> and F Mohtarami<sup>2</sup>

Received: March 22, 2018

Accepted: September 1, 2018

<sup>1</sup>MSc Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

<sup>2</sup>Professor and <sup>3</sup>Assistant Professor, respectively, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

\*Corresponding author: E mail: m.esmaili@urmia.ac.ir

**Introduction:** Recently, the increase in synthetic polymers has been pushing researchers toward the development of new biodegradable and natural polymers, suitable for food packaging. To extend the shelf-life of foods and the preservation them from microbial spoilage and oxidation while reducing packaging waste, the tendency is to use natural materials such as edible films and coatings. (Khazaei et al., 2014). These films, as the carrier of the functional components like antioxidants, the antimicrobial agents, colorants, flavors and spices can improve both the capability and the functionality of the packaging materials (Ramos et al., 2012). Biodegradable and edible films can be prepared using proteins, carbohydrates, lipids or mixture of them. Among the natural and renewable resources, starch is one of the most important ingredients of films. It is commonly used in the packaging industry due to its abundance, low price, ability to form the edible films and biodegradability. The films based on starch are odorless, tasteless, colorless and transparent, while enjoying good gas barrier properties (Acosta et al., 2016; Šuput et al., 2015). In recent years, there is an increasing attention in developing edible films by agriculture crop flours and powders due to their availability, easy obtaining and low cost compared to pure components such as starch and proteins (Nouraddini et al., 2018). Among the agriculture crop, eggplant (*Solanum melongena* L.) is recognized for its high dietary fiber content, antioxidant capacity, oxygen radical scavenging capacity and minerals. Also, it has flavonoids and high amount of anthocyanin in peel (Niño-Medina et al., 2017). Eggplant powder has significant amount of protein, carbohydrates, fat and crude fiber (Nouraddini et al., 2018). In the last decades, the essential oils of plants and spices have got attention to use as the antimicrobial and antioxidant agents, which can be added to the edible films (Jahed et al., 2017). *Mentha longifolia* essential oil and extract showed the antioxidant and antimicrobial activity (Farzaei et al., 2017; Gulluce et al., 2007). The antioxidant activity of *Mentha longifolia* EO and the extract might be related to its phenolic content such as phenolic acid, rosmarinic acid and polyphenols (Gulluce et al., 2007).

According to our survey, there are no studies on the development of edible films using eggplant powder and *Mentha longifolia* essential oil. Therefore, the object of this study was to prepare the edible active films based on corn starch and eggplant powder incorporation with *Mentha longifolia* essential oil (0, 1, 3 and 5% w/w), in order to examine their physical properties.

**Material and methods:** For the extraction of *Mentha longifolia* essential oil, the dried samples were submitted to the hydro-distillation for approximately 3 h by a Clevenger. The obtained essential oil was kept in dark glass at 5 °C. For the preparation of eggplant powder, the eggplants were sliced and dried in hot air oven at 50°C for 24 h without peeling off the skin. Then the dried samples were grinded into powder and it stored in glass dishes at 4 °C. The corn starch and eggplant

powder based films were prepared at ratio of 1:1 by the casting method. The pH of solution was adjusted at 7.5 by NaOH and then it was stirred and heated at 85 °C in a water bath. After that, the glycerol was added at 36% w/w/ and the solution was mixed for 30 min. Then the *Mentha longifolia* essential oil was added at different ratio (1, 3 and 5% w/w) to film solutions. The emulsion was homogenized with a Rotor-stator homogenizer and degassed using an ultrasonic homogenizer. The film samples solution was dried at room temperature for 48 h. Physical properties such as thickness, moisture content, density, mechanical properties, color, opacity and light transmittance values, solubility and swelling index of films were evaluated. All the tests were carried out in triplicate. The analysis of variance (ANOVA) was applied to the data and the means were compared by Duncan's test using SPSS statistical software.

**Results and discussion:** The thickness, swelling index of films incorporated with essential oil were higher than control films ( $P < 0.05$ ). A decrease was observed in the density and moisture content of the films that incorporated with *Mentha longifolia* essential oil. The solubility in water of control films was the highest (67.61%), while the addition of *Mentha longifolia* essential oil, the solubility values significantly ( $P < 0.05$ ) decreased. The results showed that the lowest level of water vapor permeability was found for the control films ( $0.0023 \pm 0.0009$  g.mm/m<sup>2</sup>.h.Pa) and the highest was related to films containing 5% *Mentha longifolia* essential oil ( $0.0028 \pm 0.0006$ ). Results showed significant differences between color parameters ( $P < 0.05$ ). Color measurement of the edible films indicated that increasing the concentration of *Mentha longifolia* essential oil, increased the lightness ( $L^*$ ), redness ( $a^*$ ) and yellowness ( $b^*$ ) and decreased the  $\Delta E$  of films. The addition of essential oil decreased the tensile strength, Young's modulus and elongation at break of films. Light transmittance value at UV region was negligible and for control films were higher than other films and with an increase in the wavelength (visible light region), the light transmittance of the films increased. According to the results, the maximum light transmittance was related to control films. The evaluation of the opacity values revealed that the control films showed higher opacity compared to the films incorporated with essential oil.

**Conclusion:** The edible active films based on corn starch and eggplant powder with *Mentha longifolia* essential oil were successfully prepared. The addition of *Mentha longifolia* essential oil to edible films led to the formation of a film with good transparency and lightness characteristics. According to results the mechanical properties of films were decreased with the addition of essential oil. In general, addition of *Mentha longifolia* essential oil to edible films based on corn starch and eggplant powder improved the water solubility and transparency of films, furthermore it has negative effect on mechanical properties and water vapor permeability of films. According to the results obtained in this research, eggplant powder and corn starch based films with *Mentha longifolia* essential oil can be used in food packaging.

**Key words:** *Mentha longifolia* essential oil, Eggplant powder, Edible film, Corn starch