

## خواص فیزیکی، حرارتی و مکانیکی فیلم‌های خوراکی بر پایه صمغ دانه بارهنگ حاوی روغن‌های زیتون، ذرت و کانولا

رسول نیکنام<sup>۱</sup>، علی ایاسه<sup>۲\*</sup>، بابک قنبرزاده<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۲۳)

### چکیده

در این پژوهش، تأثیر افزودن روغن‌های گیاهی مختلف شامل روغن زیتون، ذرت و کانولا با مقدار ۰/۲۵ و ۰/۵٪ حجمی - حجمی بر ویژگی‌های فیزیکی، حرارتی و مکانیکی فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ مورد بررسی قرار گرفت. افزودن روغن به فیلم‌ها سبب افزایش ضخامت و کاهش محتوای رطوبتی، جذب رطوبت، نفوذ پذیری فیلم به بخار آب (WVP)، استحکام کششی نهایی (UTS)، دمای ذوب ( $T_m$ ) و دمای انتقال شیشه‌ای ( $T_g$ ) گردید. روغن‌های گیاهی افزوده شده به فیلم‌ها، خصوصیت نرم کنندگی را نیز نشان دادند که از نتایج کرنش تا نقطه شکست (SAB) به دست آمد. تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی نشان داد که فیلم کنترل (بدون روغن)، ساختار همگن و یکنواخت داشت. با افزودن روغن‌های گیاهی، ساختار فیلم به ساختاری ناهمگن، غیر یکنواخت و زبر تغییر یافت. فیلم‌های حاوی روغن ذرت با وجود داشتن ساختار زبرتر نسبت به فیلم کنترل، پخش یکنواخت‌تر و بهتر روغن را نسبت به فیلم‌های حاوی روغن‌های دیگر نشان داد. فیلم‌های حاوی روغن‌های زیتون و کانولا پخش غیر یکنواختی را داشتند و زبری فیلم‌ها بیشتر از فیلم‌های حاوی روغن ذرت و کنترل بود. این مسئله ناشی از توزیع یکنواخت‌تر قطرات روغن ذرت و پایداری مناسب امولسیون در طی تولید فیلم است.

کلید واژگان: صمغ دانه بارهنگ، فیلم‌های خوراکی، روغن‌های گیاهی، خواص فیلم‌های خوراکی

\* مسئول مکاتبات: ayaseh@tabrizu.ac.ir

## ۱- مقدمه

امروزه، میلیون‌ها تن پلاستیک در طول سال تولید می‌گردد و این تولید رو به افزایش است. به دلیل زیست تخریب پذیر نبودن پلاستیک‌ها، مشکلات محیط زیستی مختلفی گریبانگیر جوامع انسانی شده است [۱]. استفاده از بیوپلیمرهای خوراکی برای بسته بندی یا پوشش دادن مواد غذایی سالیان طولانی است که مورد توجه محققین بوده است. مزایای تولید و کاربرد این بیوپلیمرها در صنایع بسته بندی به اختصار توضیح داده می‌شود: (۱) چون بخش عمده‌ای از این بیوپلیمرها منشأ کشاورزی دارند و معمولاً از محصولات گیاهی و حیوانی به دست می‌آیند، می‌توان با تولید و استخراج آن‌ها ارزش افزوده محصولات کشاورزی را بالا برد. (۲) این بیوپلیمرها از منابع تجدید پذیر به دست می‌آیند (برخلاف پلیمرهای سنتزی که بیشتر منشأ نفتی دارند). بنابراین تولید آن‌ها می‌تواند موجب حفظ منابع تجدید - ناپذیر برای نسل‌های آینده گردد [۳ و ۲]. بیوپلیمرهای مورد استفاده در بسته بندی را می‌توان بر اساس ساختار شیمیایی به ۴ دسته پروتئین‌ها (مانند زئین ذرت، گلوٹین و گلیادین گندم، پروتئین‌های سویا، ژلاتین، کلاژن، میوفیریل گوشت، کازئین شیر، پروتئین‌های آب پنیر شیر و پروتئین‌های تخم مرغ)، پلی‌ساکاریدها (مانند سلولز و مشتقات سلولز (متیل سلولز، کربوکسی متیل سلولز و هیدروکسی پروپیل سلولز)، نشاسته و مشتقات آن، ترکیبات پکتیکی، کیتین و کیتوزان و صمغ‌هایی مانند کاراگینان، لوان، گزانتان، خرنوب و گوار، لیپیدها (مانند چربی‌ها و روغن‌های گیاهی و حیوانی، موم‌ها (مانند موم زنبورعسل) و مشتقات گلیسیریدی مانند گلیسرول مونو استئارات و سورفاکتانت‌ها (امولسیفایرها) و پلی‌استرها (مانند پلی‌هیدروکسی بوتیرات (PHB)، پلی‌هیدروکسی والرات (PHV)، پلی‌لاکتیک اسید (PLA) و پلی‌گلیکولیک اسید) تقسیم کرد [۴]. فیلم‌های خوراکی ممکن است به عنوان لایه‌ای از بسته بندی‌های چند لایه مورد استفاده قرار گیرند. برخلاف فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های زیست تخریب پذیر با هدف جایگزینی کامل با مواد بسته بندی سنتزی صورت می‌گیرد. فیلم‌ها و پوشش‌های زیست تخریب پذیر دارای قابلیت بازدارندگی مقابل رطوبت، اکسیژن، مواد طعمی، آروما و روغن بوده و کیفیت

غذا یا دارو را حفظ می‌کنند اما در اکثر موارد خواص ممانعت‌کنندگی ضعیف تری را نسبت به فیلم‌های سنتزی نشان می‌دهند. فیلم‌ها و پوشش‌های زیست تخریب پذیر ویژگی‌های ظاهری مانند رنگ، جلا و شفافیت محصول را بهبود می‌بخشند. برای تولید فیلم‌های خوراکی معمولاً بیوپلیمر را در یک حلال با یک ماده نرم‌کننده (پلاستی‌سایزر) مخلوط می‌کنند. نرم‌کننده‌ها معمولاً ترکیبات آلی با وزن مولکولی پایین و غیر فرار هستند. البته آب نیز به عنوان نرم‌کننده عمل می‌کند. این مواد باعث کاهش برهم‌کنش‌های زنجیره به زنجیره و جدا شدن نسبی زنجیر-ها از همدیگر و کاهش اصطکاک بین آن‌ها و تسریع حرکت مولکولی زنجیرهای پلیمر می‌شوند و در حقیقت به عنوان یک لیزکننده داخلی<sup>۱</sup> عمل می‌کنند. نرم‌کننده‌ها با تغییر شبکه سه بعدی باعث افزایش انعطاف پذیری و کشش پذیری و کاهش الاستیسیته و مقاومت مکانیکی می‌گردد [۵]. در تولید فیلم‌های خوراکی باید به این نکته توجه شود که نرم‌کننده‌ها علاوه بر کارایی بالا، غیر سمی بوده و خوراکی باشند [۶]. تا به حال از پلی‌ساکاریدهای مختلفی جهت تولید فیلم‌های خوراکی و زیست تخریب پذیر استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به مواردی هم چون، نشاسته [۷]، مشتقات سلولز، کیتوزان [۸]، صمغ دانه شاهی [۹]، موسیلاژ دانه به [۱۰] و صمغ دانه اسفرزه [۱۱] اشاره کرد. تولید فیلم‌های کامپوزیت و به عبارتی افزودن لیپیدها و پروتئین‌ها به فیلم‌های بر پایه پلی‌ساکارید ویژگی‌های مختلف آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علت اصلی افزودن روغن به این نوع از فیلم‌ها، جلوگیری از انتقال رطوبت به دلیل قطبیت پایین این مواد است. هم‌چنین افزودن روغن می‌تواند نیاز به روغن‌های ضروری بدن را مرتفع کرده و دیگر احتیاجی به افزودن مستقیم این نوع از روغن‌ها به محصولات غذایی نباشد [۱۲]. روغن‌های گیاهی از انواع اسیدهای چرب تشکیل شده‌اند که وجه مشترک همه آن‌ها آب‌گریز بودن است. توجه به این نکته لازم و ضروری است که افزودن روغن‌های گیاهی و یا روغن‌های ضروری نباید بر روی خواص فیلم‌ها و به خصوص شفافیت آن‌ها تأثیر سوء بگذارد. در این پژوهش ۳ نوع روغن گیاهی به فیلم‌های بر پایه پلی‌ساکارید افزوده خواهد شد که به اختصار توضیح داده می‌شود: (۱) روغن

1. Internal lubricant

ذرت: حدود ۸۰٪ اسیدهای چرب روغن ذرت را اسید اولئیک و اسید لینولئیک تشکیل می‌دهند و دارای کمتر از ۱٪ اسید لینولئیک است (۲) روغن زیتون: حدود ۶۵ تا ۸۵٪ اسیدهای چرب روغن زیتون را اسید اولئیک و حدود ۸٪ آن را اسید لینولئیک و ۱۱٪ آن را اسید پالمیتیک تشکیل می‌دهد. (۳) روغن کانولا: این روغن دارای ۶۴٪ اسید اولئیک، ۲۰٪ اسید لینولئیک و ۹-۱۲٪ اسید لینولئیک است و کمترین مقدار اسیدهای چرب اشباعی را در بین روغن‌ها دارا است. براساس بررسی‌های صورت گرفته، تا به حال پژوهشی بر روی تأثیر افزودن روغن‌های گیاهی مختلف بر خصوصیات فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ صورت نگرفته است. در نتیجه، هدف اصلی این تحقیق، بررسی امکان تولید فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ به عنوان یک منبع هیدروکلوئیدی جدید جهت استفاده در بسته بندی محصولات و سپس بررسی خواص مختلف این فیلم‌ها در حضور روغن‌های گیاهی مختلف می‌باشد.

ذرت: حدود ۸۰٪ اسیدهای چرب روغن ذرت را اسید اولئیک و اسید لینولئیک تشکیل می‌دهند و دارای کمتر از ۱٪ اسید لینولئیک است (۲) روغن زیتون: حدود ۶۵ تا ۸۵٪ اسیدهای چرب روغن زیتون را اسید اولئیک و حدود ۸٪ آن را اسید لینولئیک و ۱۱٪ آن را اسید پالمیتیک تشکیل می‌دهد. (۳) روغن کانولا: این روغن دارای ۶۴٪ اسید اولئیک، ۲۰٪ اسید لینولئیک و ۹-۱۲٪ اسید لینولئیک است و کمترین مقدار اسیدهای چرب اشباعی را در بین روغن‌ها دارا است. براساس بررسی‌های صورت گرفته، تا به حال پژوهشی بر روی تأثیر افزودن روغن‌های گیاهی مختلف بر خصوصیات فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ صورت نگرفته است. در نتیجه، هدف اصلی این تحقیق، بررسی امکان تولید فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ به عنوان یک منبع هیدروکلوئیدی جدید جهت استفاده در بسته بندی محصولات و سپس بررسی خواص مختلف این فیلم‌ها در حضور روغن‌های گیاهی مختلف می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- آماده سازی نمونه

دانه‌های بارهنگ استفاده شده در این تحقیق از بازار محلی تبریز خریداری شده و پس از بسته بندی در ظروف پلاستیکی، تا زمان استفاده در جای خشک و خنک نگهداری شدند. لازم به ذکر است که صمغ دانه بارهنگ به صورت استخراج شده و آماده در محل انجام پژوهش موجود بود. همه مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق از شرکت مرک خریداری شدند.

### ۲-۲- تولید فیلم‌های خوراکی

برای تولید فیلم‌های امولسیون بر پایه صمغ دانه بارهنگ، ۱ گرم پودر صمغ در ۸۰ سی سی آب مقطر در دمای ۸۰ درجه سانتی-گراد به مدت ۲ ساعت توسط هیتر همزن‌دار (فن‌آزما گستر، ایران) حل گردید و سپس مقدار ۰/۵٪ وزنی - وزنی صمغ افزوده شده، گلیسیرویل به صورت آرام و تدریجی حین هم زدن محلول به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد افزوده شد و بعد، دمای محلول حاصل تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد کاهش داده شد. همزمان، ۰/۳ میلی‌لیتر توئین ۸۰ در دمای ۲۵ درجه

سانتی‌گراد به عنوان امولسیفایر به ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد و محلول تشکیل شده در ۲۰۰۰۰ دور در دقیقه با همزنایزر اولتراتوراکس (IKA - WERKEE، آمریکا) به مدت ۱ دقیقه هموزن شد. بعد، ۰/۲۵ و ۰/۵ - حجمی - حجمی روغن زیتون<sup>۱</sup>، روغن کانولا<sup>۲</sup> و روغن ذرت<sup>۳</sup> به محلول حاوی توئین ۸۰ و آب مقطر اضافه گردید و محلول حاصل در ۲۰۰۰۰ دور در دقیقه با همزنایزر اولتراتوراکس (IKA - WERKEE، آمریکا) به مدت ۶ دقیقه در سیکل‌های هموزنیزاسیون (۱ دقیقه) - استراحت (۲ دقیقه) هموزن شد. در مرحله بعد، دو محلول تهیه شده به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بر روی هیتر همزن دار (فن‌آزما گستر، ایران) مخلوط گردید و پس از سرد شدن و حذف حباب‌های هوا، ۵۰ میلی‌لیتر از محلول تهیه شده در ظروف تفلون (۱۰×۱۵ سانتی‌متر مربع) پخش شد و جهت خشک شدن به انکوباتور با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شد. پس از گذشت ۱۸ ساعت، نمونه‌های خشک شده از انکوباتور خارج شده و تا زمان انجام آزمون‌های بعدی در دمای ۱ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. لازم به ذکر است مقادیر در نظر گرفته شده برای گلیسیرویل، توئین ۸۰ و روغن‌ها همگی بر-اساس آزمایشات انجام شده در آزمایشگاه و بررسی منابع انتخاب گردید [۱۳].

### ۲-۳- ضخامت فیلم

ضخامت فیلم‌های تولید شده توسط میکرومتر دیجیتالی (Alton M820-25، چین) با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه گیری و برای هر فیلم میانگین ضخامت توسط اندازه گیری در ۱۰ نقطه فیلم گزارش شد [۱۴].

### ۲-۴- محتوای رطوبتی فیلم

برای اندازه گیری محتوای رطوبتی، ابتدا نمونه‌های فیلم برش داده شدند و وزن هرکدام از نمونه‌های برش داده شده، ۰/۵ گرم در نظر گرفته شد. بعد از برش، جهت مشروط کردن، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دسیکاتور حاوی منیزیم نیترات اشباع قرار

1. Olive oil
2. Canola oil
3. Maize oil
4. Film thickness
5. Moisture content

می‌گرفت. ۳ گرم سولفات کلسیم که رطوبت نسبی معادل صفر ایجاد می‌کند در داخل ظرف‌ها قرار داده شد. ابتدا نمونه‌های فیلم در رطوبت نسبی ۰.۵۵٪ که با استفاده از منیزیم نیترات اشباع ایجاد شده بود، به مدت ۲۴ ساعت مشروط شدند. سپس قطعه‌ای از فیلم بریده شد و روی درپوش ظرف شیشه‌ای قرار گرفت و روی آن بسته شد. ظروف شیشه‌ای همراه با محتویات آن‌ها توزین شدند و درون دسیکاتور حاوی محلول سدیم کلرید اشباع قرار گرفتند. سدیم کلرید اشباع در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی حدود ۷۷٪ ایجاد می‌کند. توزین ظروف شیشه‌ای ابتدا به صورت ساعت به ساعت و سپس هر ۲۴ ساعت یک بار و در نهایت هر ۴۸ ساعت یک بار تا رسیدن به وزن ثابت صورت گرفت. مقدار بخار آب انتقال یافته از فیلم‌ها، از روی افزایش وزن ظرف‌ها معین شد. منحنی افزایش وزن ظرف‌ها با گذشت زمان، رسم و پس از محاسبه برگشت خطی، شیب خط حاصل محاسبه شد. از تقسیم شیب خط مربوط به هر ظرف به سطح کل فیلم که در معرض انتقال بخار آب قرار داشت، سرعت انتقال بخار آب (WVTR) به دست آمد. سپس با استفاده از رابطه زیر، نفوذ پذیری نسبت به بخار آب محاسبه شد:

$$WVP = \frac{WVTR}{P(R_1 - R_2)} X \quad \text{رابطه ۳}$$

که در این رابطه،  $X$  ضخامت فیلم بر حسب میلی‌متر،  $P$  فشار بخار محلول سدیم کلرید اشباع در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر حسب پاسکال،  $R_2$  رطوبت نسبی در دسیکاتور و  $R_1$  رطوبت نسبی در ظرف شیشه‌ای است. این آزمون برای هر یک از نمونه‌ها سه مرتبه تکرار شد [۱۷].

## ۲-۷- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

بررسی ساختار میکروسکوپی سطح فیلم‌های مختلف توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (LEO 1430VP، آلمان و انگلستان) موجود در دانشکده علوم دانشگاه محقق اردبیلی صورت پذیرفت. برای آماده سازی قبل از تصویر برداری، تکه-هایی کوچک از وسط سطح نمونه برش داده شده و با استفاده از چسب دو طرفه به روی ابزار نگهدارنده نمونه‌های میکروسکوپ الکترونی متصل شد. بعد، دور نمونه را با چسب رسانای نقره‌ای

گرفتند (دمای  $1 \pm 25$  درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۰.۵۵٪). پس از مشروط شدن، نمونه‌ها توزین شده سپس به آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. خشک کردن نمونه‌ها در آون تا زمان رسیدن به وزن ثابت ادامه یافت. محتوای رطوبتی فیلم‌های امولسیون بر اساس رابطه زیر به دست آمد:

$$\%MC = \frac{W_0 - W_f}{W_0} \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه،  $W_0$  وزن نمونه قبل از خشک شدن و  $W_f$  وزن نمونه بعد از خشک شدن می‌باشد. این آزمون در ۳ تکرار انجام شد [۱۵].

## ۲-۵- جذب رطوبت فیلم

برای اندازه گیری جذب رطوبت، ابتدا نمونه‌های فیلم در ابعاد  $2 \times 2$  cm بریده شدند و سپس جهت مشروط شدن به مدت ۲۴ ساعت در دسیکاتور حاوی کلسیم سولفات اشباع قرار گرفتند (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۰.۱٪). بعد از مشروط شدن، توزین نمونه‌ها صورت گرفت و پلیت‌های حاوی نمونه-های توزین شده در دسیکاتور حاوی سدیم کلرید اشباع (رطوبت نسبی  $1 \pm 97\%$ ) قرار گرفتند. توزین نمونه‌ها در ابتدا به صورت ساعت به ساعت و سپس هر ۲۴ ساعت یک بار و در نهایت هر ۴۸ ساعت یک بار تا رسیدن به وزن ثابت صورت گرفت. میزان جذب رطوبت فیلم‌های امولسیون بر اساس رابطه زیر به دست آمد:

$$\%MA = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این رابطه،  $W_0$  وزن اولیه نمونه مشروط شده و  $W_t$  وزن نمونه بعد از گذشت زمان (t) می‌باشد. این آزمون در ۳ تکرار انجام شد [۱۶].

## ۲-۶- نفوذ پذیری فیلم به بخار آب<sup>۱</sup> (WVP)

از روش ارائه شده در ASTM E96 برای تعیین نفوذ پذیری به بخار آب فیلم‌های امولسیون استفاده شد. برای این کار از ظروف شیشه‌ای ویژه‌ای با قطر ۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر استفاده شد. روی درپوش این ظرف‌ها منفذی به قطر ۱۰ میلی‌متر قرار داشت که قطعه‌ای از فیلم مورد آزمون در این بخش قرار

2. Scanning electron microscopy (SEM)

1. Water vapor permeability (WVP)

دانکن (Duncan) در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفتند.

### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱- ضخامت فیلم

ضخامت فیلم‌های مورد استفاده در بسته بندی محصولات غذایی از عواملی است که مورد توجه تولید کنندگان قرار گرفته است. بر اساس پژوهش‌های پیشین می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش ضخامت فیلم‌های مورد استفاده در بسته بندی، نفوذ پذیری به گازهای مختلف افزایش و مقاومت مکانیکی کاهش می‌یابد [۲۱]. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد، ضخامت فیلم‌های حاوی روغن‌های گیاهی با غلظت‌های مختلف بیشتر از فیلم‌های بدون روغن (فیلم‌های کنترل) می‌باشد. ضخامت فیلم‌ها با افزایش مقدار روغن مصرفی به طور معنی‌داری افزایش یافت. در میان فیلم‌های حاوی ۰/۲۵٪ حجمی - حجمی روغن، فیلم‌های حاوی روغن کانولا و ذرت به ترتیب دارای بیشترین و کمترین ضخامت نسبت به سایر فیلم‌ها بودند. افزایش مقدار روغن از ۰/۲۵ به ۰/۵٪ حجمی - حجمی سبب افزایش ضخامت فیلم‌های مورد بررسی گردید اما تفاوت معنی‌داری بین فیلم‌های حاوی ۰/۵٪ حجمی - حجمی - حجمی روغن وجود نداشت. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داد که وجود مواد آبرگیز مانند روغن‌ها و چربی‌ها می‌تواند سبب افزایش ضخامت گردد [۲۲]. افزایش ضخامت فیلم‌های امولسیون‌ی حاوی روغن‌های گیاهی احتمالاً به دلیل سازش مناسب بین روغن و صمغ دانه بارهنگ می‌باشد. هم چنین، این افزایش می‌تواند به دلیل تغییرات ایجاد شده در ساختار فیلم بر پایه صمغ باشد [۸]. Nur - Fatin و همکاران (۲۰۱۷) بر روی فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان حاوی روغن‌های گیاهی مختلف شامل روغن زیتون، ذرت، آفتابگردان و سویا پژوهشی انجام دادند و نتایج حاصل نشان داد که ضخامت فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان با افزودن روغن به طور معنی‌داری افزایش یافت که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر مطابقت داشت [۱۳].

پوشانده و پس از آن stub حاوی نمونه، تحت خلأ بالا با لایه بسیار نازکی از آلیاژ طلا / پالادیوم در محیط پلاسمای آرگونی با استفاده از تکنیک کند و پاش اتمی، پوشش دهی فلزی شد. در نهایت نمونه به داخل میکروسکوپ الکترونی منتقل و از قسمت‌های مختلف نمونه با بزرگنمایی ۶۰۰× تصویر برداری گردید [۱۸].

#### ۲-۸- گرماسنجی روبشی افتراقی<sup>۳</sup> (DSC)

بررسی خواص حرارتی فیلم‌های مختلف توسط دستگاه گرماسنجی روبشی افتراقی (Linsies PT-10، آلمان) صورت پذیرفت. نمونه‌ها قبل از آزمون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۵٪ مشروط شدند. سپس در حدود ۵ میلی‌گرم از هر فیلم داخل پن آلومینیومی در بسته قرار داده شد و با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه در بازه دمایی ۵۰- تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد در حضور گاز نیتروژن گرم و سرد شد. یک پن خالی آلومینیومی به عنوان رفرنس در نظر گرفته شد. آنالیز همه نمونه‌ها در ۲ تکرار صورت گرفت [۱۹].

#### ۲-۹- خواص مکانیکی فیلم‌ها<sup>۴</sup>

بررسی خواص مکانیکی براساس روش استاندارد ASTM D882-02 و با استفاده از دستگاه آزمون کششی (SANAF، ایران) انجام پذیرفت. مهم‌ترین مؤلفه‌های خواص مکانیکی شامل استحکام کششی نهایی<sup>۵</sup> (UTS) که مقاومت فیلم را مورد بررسی قرار می‌دهد و کرنش تا نقطه شکست<sup>۶</sup> (STB) که مربوط به کشش پذیری فیلم تا هنگام پاره شدن است، می‌باشد. مقادیر استحکام کششی نهایی بر حسب MPa و ازدیاد طول تا نقطه شکست بر حسب ٪ محاسبه شد. قبل از آزمون، فیلم‌ها به صورت دمبلی بریده شده و به مدت ۴۸ ساعت در رطوبت نسبی ۵۵٪ مشروط شدند [۲۰].

#### ۲-۱۰- تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری نتایج از طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. داده‌ها توسط آنالیز واریانس (ANOVA) و اختلاف بین میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 با آزمون چند دامنه‌ای

3. Differential scanning calorimetry (DSC)

4. Mechanical properties

5. Ultimate tensile strength (UTS)

6. Strain to break (SAB)

**Table 1** Thickness and water sensitivity of the PMS gum based films formulated with different types and concentration of plant oils\*

Film	Thickness (mm)	Moisture content (%)	Moisture absorption (%)	WVP ( $\times 10^{-9} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ )
Control	0.12 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	22.46 $\pm$ 1.02 <sup>a</sup>	35.44 $\pm$ 1.11 <sup>a</sup>	12.77 $\pm$ 1.69 <sup>a</sup>
Olive oil (0.25% v/v)	0.15 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	19.25 $\pm$ 0.95 <sup>b</sup>	31.46 $\pm$ 0.84 <sup>b</sup>	12.03 $\pm$ 1.46 <sup>a</sup>
Olive oil (0.50% v/v)	0.19 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>	15.56 $\pm$ 1.31 <sup>c</sup>	28.80 $\pm$ 1.02 <sup>c</sup>	10.83 $\pm$ 1.38 <sup>c</sup>
Canola oil (0.25% v/v)	0.16 $\pm$ 0.08 <sup>b,c</sup>	17.63 $\pm$ 0.86 <sup>b,c</sup>	30.90 $\pm$ 1.47 <sup>b</sup>	11.45 $\pm$ 2.03 <sup>b</sup>
Canola oil (0.50% v/v)	0.19 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	15.35 $\pm$ 1.18 <sup>c</sup>	27.26 $\pm$ 0.65 <sup>c</sup>	10.58 $\pm$ 1.68 <sup>c</sup>
Maize oil (0.25% v/v)	0.14 $\pm$ 0.03 <sup>a,b</sup>	15.53 $\pm$ 0.98 <sup>c</sup>	30.70 $\pm$ 1.65 <sup>b</sup>	10.76 $\pm$ 1.18 <sup>c</sup>
Maize oil (0.50% v/v)	0.19 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>	15.05 $\pm$ 0.19 <sup>c</sup>	27.16 $\pm$ 1.48 <sup>c</sup>	10.51 $\pm$ 2.07 <sup>c</sup>

\*Different letters indicate significant differences between concentrations at  $p < 0.05$  by Duncan test

[۱۳]. هم چنین افزودن روغن زیتون و اولئیک اسید به فیلم‌های پروتئینی بر پایه آلومین سبب کاهش محتوای رطوبتی گردید [۲۲].

### ۳-۳- جذب رطوبت فیلم

به طور کلی فیلم‌های بدون نرم کننده (به عنوان مثال گلیسیرویل) نسبت به فیلم‌های دارای نرم کننده، جذب رطوبت پایین‌تری دارند [۳]. افزودن گلیسیرویل به فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ سبب افزایش جذب رطوبت آن‌ها گردید. گلیسیرویل، به عنوان ترکیب آبدوستی است که در بین پیوندهای صمغ دانه بارهنگ جریان یافته و با مولکول‌های آب واکنش می‌دهد. بر خلاف گلیسیرویل، افزودن روغن‌های گیاهی به فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ سبب کاهش جذب رطوبت آن‌ها گردید [۱۶]. همان طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، افزودن روغن‌های گیاهی سبب کاهش میزان جذب رطوبت از ۳۵/۴۴٪ برای فیلم‌های کنترل (حاوی گلیسیرویل به عنوان پلاستی‌سایزر) به ۲۷/۱۶٪ برای فیلم‌های حاوی ۰/۵٪ حجمی - حجمی روغن ذرت شد. لازم به ذکر است که فیلم‌های حاوی ۰/۵٪ حجمی - حجمی روغن ذرت، پایین‌ترین میزان جذب رطوبت را در میان فیلم‌های مورد بررسی نشان دادند. ماهیت آبریز روغن‌های گیاهی سبب کاهش میزان جذب رطوبت فیلم‌ها گردید. هم چنین با افزودن روغن به فیلم‌ها، بر هم کنش‌هایی بین روغن و پلی-ساکارید ایجاد می‌شود که دیگر امکان برقراری پیوند بین پلی-ساکارید و مولکول‌های آب را از بین می‌برد و در نتیجه میزان جذب رطوبت کاهش می‌یابد [۱۵]. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داد که با افزودن اسید اولئیک به فیلم‌های بر پایه کربوکسی

### ۲-۳- محتوای رطوبتی فیلم

مقدار آب موجود در فیلم‌های تولید شده را می‌توان بر اساس محتوای رطوبتی آن‌ها تعیین کرد. محتوای رطوبتی فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ بدون روغن، ۱/۰۲  $\pm$  ۲۲/۴۶٪ به دست آمد که در جدول ۱ نشان داده شده است. محتوای رطوبتی حاصل شده برای فیلم‌های کنترل از مقادیر گزارش شده برای فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه با ۱۵٪ حجمی - حجمی گلیسیرویل (۰/۳۳  $\pm$  ۱۳٪/۵۰) [۱۱]، فیلم‌های بر پایه موسیلاژ دانه به (۰/۲۵  $\pm$  ۱۸/۶۷٪) [۱۰] و فیلم‌های بر پایه صمغ دانه ریحان با ۵۰٪ وزنی - وزنی گلیسیرویل (۰/۲۳  $\pm$  ۱۸/۵۴٪) [۱] بالاتر و از مقادیر فیلم‌های بر پایه صمغ مریم گلی با ۴۰٪ وزنی - وزنی گلیسیرویل (۰/۲۶/۶۳٪) [۲۳] پایین‌تر بود. با افزودن روغن‌های گیاهی به فیلم‌ها، محتوای رطوبتی نمونه‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت. همانند بخش قبل، محتوای رطوبتی فیلم‌های حاوی ۰/۵٪ حجمی - حجمی روغن، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند اما فیلم‌های حاوی ۰/۵٪ حجمی - حجمی روغن ذرت، پایین‌ترین میزان محتوای رطوبتی را از خود نشان دادند. در میان فیلم‌های حاوی ۰/۲۵٪ حجمی - حجمی روغن، فیلم‌های حاوی روغن زیتون و ذرت به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین محتوای رطوبتی را از خود نشان دادند و این مورد از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۱). تفاوت در محتوای رطوبتی روغن‌های مورد استفاده می‌تواند به دلیل تفاوت در ساختار شیمیایی آن‌ها باشد [۲۴]. نتایج پژوهش‌های پیشین از جمله Nur - Fatin و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که با افزودن روغن‌های گیاهی به فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان، محتوای رطوبتی کاهش یافت

WVP می‌گردد. با افزایش مقدار روغن از ۰/۲۵ به ۰/۵٪ حجمی - حجمی، WVP به مقدار بیشتری کاهش یافت. پایین‌ترین میزان WVP مربوط به فیلم‌های حاوی ۰/۵٪ حجمی - حجمی روغن ذرت بود که با نتایج به دست آمده در بخش محتوای رطوبتی و جذب رطوبت مطابقت داشت. تفاوت فیلم‌های حاوی روغن‌های گیاهی مختلف می‌تواند به مواردی هم چون ابعاد قطرات روغن در ساختار فیلم بستگی داشته باشد. پایداری مناسب امولسیون در طول تولید فیلم تأثیر بسیار مهمی بر خصوصیات فیلم دارد [۳]. با توجه به نتایج می‌توان گفت که روغن ذرت توانایی تولید امولسیون پایدارتری نسبت به دو روغن دیگر (زیتون و کانولا) دارد. هم چنین، خصوصیات فیزیکوشیمیایی مختلف روغن‌ها از جمله دمای ذوب، طول زنجیره و اشباعیت اسیدهای چرب می‌تواند نقش بسیار مهمی در نفوذ پذیری به بخار آب فیلم‌های هیدروفیلک ایفا نماید [۱۸]. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داد که افزودن اولئیک اسید به فیلم‌های بر پایه کربوکسی متیل سلولز (CMC) [۳]، استناریک اسید به فیلم‌های بر پایه هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) [۱۱]، روغن‌های گیاهی به فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان [۱۳] و اولئیک اسید به کیتوزان [۳] سبب کاهش میزان نفوذ پذیری به بخار آب می‌گردد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

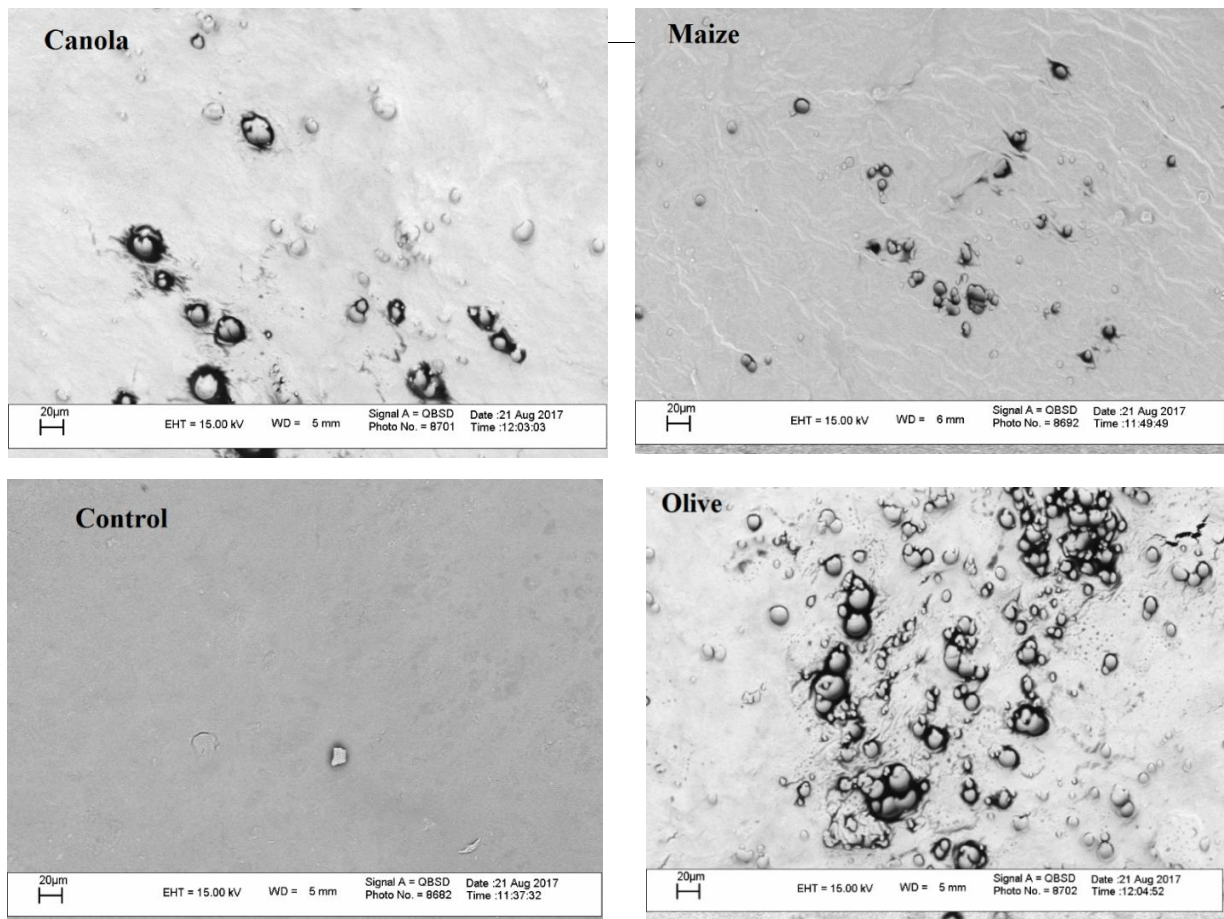
### ۳-۵- بررسی مورفولوژی فیلم‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی

بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روشی اطلاعات مهمی را درباره میکروساختار فیلم‌ها و بر هم کنش‌های بین اجزای تشکیل دهنده فیلم در اختیار قرار می‌دهد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روشی سطح فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ با مقادیر مختلف روغن‌های گیاهی در شکل ۱ آورده شده است.

متیل سلولز (CMC) میزان جذب رطوبت کاهش یافت [۳]. هم چنین افزودن اسیدهای چرب به فیلم‌های بر پایه صمغ دانه قدمه شهری سبب کاهش میزان جذب رطوبت از ۱۵۲/۶۰٪ برای نمونه‌های کنترل به ۵۶/۹۱٪ برای فیلم‌های حاوی ۳۰٪ اسید استناریک گردید [۱۶]. Pereda و همکاران (۲۰۱۲) طی تحقیقی نشان دادند که افزودن روغن زیتون به فیلم‌های بر پایه کیتوزان سبب کاهش جذب رطوبت گردید که علت آن، از دسترس خارج شدن گروه‌های آمینی کیتوزان و پیوند با روغن بود [۲۵].

### ۳-۴- نفوذ پذیری فیلم به بخار آب (WVP)

از بررسی نفوذ پذیری فیلم‌ها در مقابل بخار آب می‌توان به توانایی فیلم‌های مورد استفاده در بسته بندی در مقابل انتقال بخار آب بین ماده غذایی و هوا پی برد که این مسئله تأثیر بسیار مهمی در ماندگاری محصول ایفا می‌کند. به عبارتی این خصوصیت در فیلم‌ها به طور مستقیم با واکنش‌های مربوط به فساد محصول غذایی در ارتباط است [۲۶]. مقادیر نفوذ پذیری به بخار آب فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ در جدول ۱ آورده شده است. میزان نفوذ پذیری به بخار آب فیلم کنترل،  $10^{-9} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$  به دست آمد که بالاتر از مقادیر ارائه شده برای فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه با ۱۵٪ وزنی - وزنی گلیسیروول ( $0.02 \pm 0.05$ ) [۱۱]، فیلم‌های بر پایه صمغ دانه ریحان با ۲۵٪ وزنی - وزنی گلیسیروول ( $0.06 \pm 0.07$ ) [۱] و فیلم‌های بر پایه صمغ مریم گلی با ۴۰٪ وزنی - وزنی گلیسیروول ( $0.57 \pm 0.23$ ) [۲۳] بود. بالا بودن نفوذ پذیری به بخار آب در فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ، امکان استفاده از این فیلم‌ها را در بسته بندی مواد غذایی تحت الشعاع قرار می‌دهد. به طور معمول، نفوذ پذیری فیلم‌های آب دوست به بخار آب به عواملی هم چون انتشار و حلالیت مولکول‌های آب در ساختار فیلم بستگی دارد [۲۷]. همان طور که در جدول ۱ نیز مشاهده می‌شود، افزودن روغن‌های گیاهی به فیلم‌ها به طور معنی‌داری سبب کاهش مقدار



**Fig 1** SEM of PMS gum based films; control and samples with 0.5% v/v of various plant oils

۱۶ کربنه و ۱۸ کربنه، ساختار زبرتر و غیر یکنواختی را داشتند و ساختار فیلم به دو فاز بیوپلیمر و روغن تبدیل شد [۱۶]. عواملی هم چون انبوهش، هم آمیختگی (ادغام) و خامه‌ای شدن قطرات روغن در طول فرآیند خشک کردن سبب تغییر ساختار فیلم می‌گردد. نتایج مشابهی در فیلم‌های بر پایه کفیران و حاوی اسید اولئیک [۱۵] و فیلم‌های بر پایه کیتوزان و حاوی اسید اولئیک [۲۸] گزارش شده است. Nur Hanani و Nur Fatin در سال ۲۰۱۷ نشان دادند که فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان حاوی روغن ذرت ساختار یکنواخت‌تر و بهتری را نسبت به فیلم‌های حاوی روغن‌های گیاهی دیگر شامل روغن آفتابگردان و زیتون داشتند [۱۳].

### ۳-۶- خواص حرارتی فیلم‌ها

آزمون حرارتی روبشی افتراقی (DSC) فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ برای تعیین دقیق‌تر ساختار و بر هم کنش‌های بین بیوپلیمر و روغن انجام شد. ویژگی‌های حرارتی فیلم‌های بر پایه

فیلم کنترل (بدون روغن)، ساختار همگن و یکنواختی را نشان داد. با افزودن روغن‌های گیاهی، ساختار فیلم به ساختاری ناهمگن، غیر یکنواخت و زبر تغییر یافت. فیلم‌های حاوی روغن ذرت با وجود داشتن ساختار زبرتر نسبت به فیلم کنترل، پخش یکنواخت‌تر و بهتر روغن را نسبت به فیلم‌های حاوی روغن‌های دیگر نشان داد. فیلم‌های حاوی روغن‌های زیتون و کانولا پخش غیر یکنواختی را داشتند و زبری فیلم‌ها بیشتر از فیلم‌های حاوی روغن ذرت و کنترل بود. این مسئله ناشی از توزیع یکنواخت‌تر قطرات روغن ذرت و پایداری مناسب امولسیون در طی تولید فیلم است. از آن جایی که ماهیت و اجزای روغن‌ها با همدیگر متفاوت است، رفتار فیلم‌های حاوی این روغن‌های گیاهی در طول فرآیند هموژنیزاسیون متفاوت بوده و فیلم‌های خشک شده مختلفی تولید می‌گردد. Seyedi و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که فیلم‌های کنترل بر پایه صمغ دانه قدومه شهری، ساختار همگن و یکنواختی داشتند در حالی که فیلم‌های حاوی اسیدهای چرب

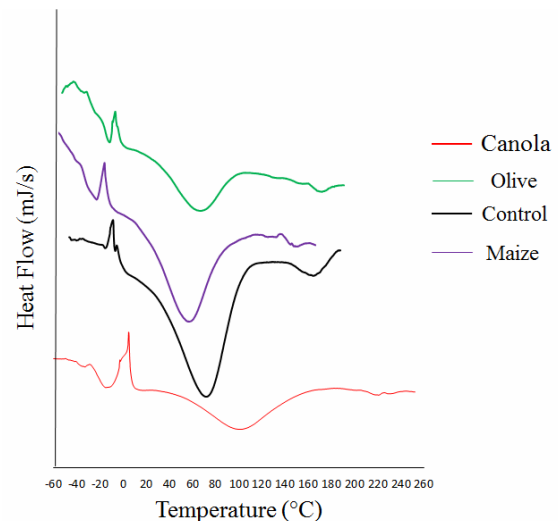


بیشتر می‌شود. هر ماده دارای دمای انتقال شیشه‌ای ویژه خود است و هم چنین پدیده انتقال شیشه‌ای در یک گستره دمایی رخ می‌دهد تا در یک دمای معین. تعیین دمای انتقال شیشه‌ای یکی از روش‌های مهم در تعیین ماندگاری مواد غذایی به شمار می‌رود. در دماهای بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای، نفوذ پذیری فیلم‌های پلیمری نسبت به گازها و بخار آب افزایش می‌یابد [۳]. پایین‌تر از دمای انتقال شیشه‌ای، نمونه‌های فیلم به صورت سخت و زبر و بالاتر از آن به صورت انعطاف پذیر و نرم می‌باشد. همان طور که در شکل ۲ نیز مشاهده می‌گردد، دمای انتقال شیشه‌ای فیلم‌های کنترل، ۱۶/۵- درجه سانتی‌گراد به دست آمد که این دما در فیلم‌های حاوی روغن زیتون، کانولا و ذرت به ۱۷/۵-، ۳۳/۵- و ۲۹/۵- درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. این کاهش در دمای انتقال شیشه‌ای می‌تواند به عواملی هم چون افزایش حجم آزاد و حرکت ناشی از افزودن روغن در شبکه پلیمر بستگی داشته باشد که سبب تغییر در ساختار فیلم‌های تولید شده می‌گردد [۱۰].

### ۳-۷- خواص مکانیکی فیلم‌ها

فیلم‌های مورد استفاده در تولید محصولات غذایی باید مقاومت مناسبی در برابر تنش و فشار داشته باشند تا در طی نگهداری و حمل و نقل بتوانند کیفیت خود را حفظ نمایند [۱۳]. بنابراین، محاسبه استحکام کششی نهایی (MPa) (UTS) و کرنش تا نقطه شکست (%)(STB) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مقاومت کششی نهایی یا مقاومت کششی یا کشش نهایی عبارت است از بیشینه تنش که نمونه فیلم در هنگام کشیده شدن از طرفین، تا قبل از این که مقطع نمونه، به صورت قابل توجهی باریک شود، می‌تواند تحمل کند. مقاومت کششی نهایی با استفاده از نتایج آزمایش کشش و ثبت میزان تنش و کرنش نمونه مورد آزمایش به دست می‌آید. کرنش تا نقطه شکست بیان‌کننده بالاترین میزان تغییر در طول نمونه مورد آزمایش قبل از شکستن و پاره شدن آن است. مقادیر استحکام کششی نهایی و کرنش تا نقطه شکست فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ حاوی مقادیر مختلف روغن‌های گیاهی در جدول ۲ آورده شده است.

صمغ دانه بارهنگ حاوی روغن‌های گیاهی مختلف در شکل ۲ آورده شده است.



**Fig 2** Thermographs of the PMS gum based films incorporated with 0.5% v/v of various plant oils

همان طور که در این شکل نیز مشاهده می‌گردد، پیک ذوب فیلم کنترل در دمای ۱۰۳/۵ درجه سانتی‌گراد ظاهر شد. این پیک در فیلم‌های حاوی روغن زیتون، کانولا و ذرت به ترتیب به ۹۴/۵، ۱۰۰/۴ و ۹۸/۸ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. این کاهش دما می‌تواند به دلیل کاهش در گروه‌های هیدروکسیل صمغ دانه بارهنگ باشد که سبب ایجاد پیوندهای هیدروژنی قوی بین زنجیرهای پلیمرها می‌شوند. Norziah و Al - Hassan (۲۰۱۲) نشان دادند که دمای ذوب پایین‌تر فیلم‌های بر پایه نشاسته - ژلاتین می‌تواند به دلیل کاهش نیروهای بین مولکولی و افزایش حرکت پلیمرهای قطبی باشد [۲۹]. هم چنین Ghanbarzadeh و Almasi (۲۰۱۲) نشان دادند که دمای ذوب فیلم‌های کنترل کربوکسی متیل سلولز (CMC) و فیلم‌های بر پایه CMC حاوی اسید اولئیک به ترتیب ۱۸۲/۴ و ۱۷۰/۷ درجه سانتی‌گراد بود که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر مطابقت دارد [۳]. مواد آمورف و نیمه آمورف در دمای موسوم به دمای انتقال شیشه‌ای ( $T_g$ ) از حالت جامد شیشه‌ای به شکل لاستیکی در می‌آیند (یا برعکس). در دمای انتقال شیشه‌ای، تحرک مولکول‌ها افزایش یافته و فاصله بین زنجیرها در پلیمرها

**Table 2** Mechanical properties of the PMS gum based films formulated with different types and concentration of plant oil\*

Film	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
Control	23.41 ± 1.28 <sup>a</sup>	14.93 ± 2.03 <sup>a</sup>
Olive oil (0.25% v/v)	16.38 ± 1.69 <sup>b</sup>	20.28 ± 1.98 <sup>b</sup>
Olive oil (0.50% v/v)	6.79 ± 0.74 <sup>c</sup>	26.18 ± 2.14 <sup>c</sup>
Canola oil (0.25% v/v)	14.91 ± 1.84 <sup>b</sup>	19.85 ± 0.49 <sup>b</sup>
Canola oil (0.50% v/v)	6.31 ± 0.19 <sup>c</sup>	28.73 ± 1.86 <sup>c</sup>
Maize oil (0.25% v/v)	13.86 ± 1.33 <sup>b</sup>	20.16 ± 1.74 <sup>b</sup>
Maize oil (0.50% v/v)	6.27 ± 1.47 <sup>c</sup>	29.25 ± 0.34 <sup>c</sup>

\*Different letters indicate significant differences between concentrations at  $p < 0.05$  by Duncan test

باشد که با گروه‌های هیدروکسیل صمغ دانه بارهنگ در طول تولید فیلم، اتصالات عرضی برقرار می‌کنند. بر خلاف نتایج به دست آمده برای استحکام کششی نهایی، با افزودن روغن‌های گیاهی به فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ، مقادیر کرنش تا نقطه شکست نمونه‌ها افزایش یافت. مقادیر کرنش تا نقطه شکست فیلم‌های کنترل  $2/03 \pm 14/93\%$  به دست آمد که پایین‌تر از مقادیر گزارش شده برای فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه ( $24/57\%$ ) [۱۱]، فیلم‌های بر پایه موسیلاژ دانه به ( $21/67\%$ ) [۱۰] و فیلم‌های بر پایه صمغ دانه ریحان ( $18/55\%$ ) [۱] بود. با افزایش میزان روغن فیلم‌ها از  $0/25$  به  $0/5$  حجمی - حجمی، مقادیر کرنش تا نقطه شکست به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. بالاترین مقادیر کرنش تا نقطه شکست مربوط به فیلم‌های حاوی  $0/5$  حجمی - حجمی روغن ذرت ( $29/25\%$ ) و کمترین مربوط به فیلم‌های حاوی  $0/25$  حجمی - حجمی روغن کانولا ( $19/85\%$ ) بود. این افزایش در مقادیر کرنش تا نقطه شکست می‌تواند به دلیل ماهیت نرم کنندگی یا پلاستی‌سایزری روغن باشد [۱۶]. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داد که با افزودن روغن‌های گیاهی به فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان، مقادیر کرنش تا نقطه شکست افزایش یافت که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر مطابقت داشت [۱۳].

#### ۴- نتیجه گیری کلی

در این پژوهش، امکان تولید فیلم‌های خوراکی بر پایه صمغ دانه بارهنگ به عنوان یک منبع هیدروکلوئیدی جدید مورد بررسی

مقدار استحکام کششی نهایی فیلم کنترل،  $23/41$  MPa به دست آمد که بالاتر از مقادیر ارائه شده برای فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه ( $14/31$  MPa) [۱۱]، فیلم‌های بر پایه موسیلاژ دانه به ( $21/24$  MPa) [۱۰] و فیلم‌های بر پایه صمغ مریم گلی ( $16/56$ ) [۲۳] و پایین‌تر از مقادیر مربوط به فیلم‌های بر پایه صمغ دانه ریحان ( $31/69$  MPa) [۱] بود. افزودن روغن‌های گیاهی به فیلم‌های بر پایه صمغ دانه بارهنگ به طور معنی‌داری استحکام کششی نهایی نمونه‌ها را کاهش داد. پایین‌ترین و بالاترین میزان استحکام کششی نهایی به ترتیب مربوط به فیلم‌های حاوی  $0/5$  حجمی - حجمی روغن ذرت ( $6/27$  MPa) و  $0/25$  حجمی - حجمی روغن زیتون بود ( $16/38$  MPa). لازم به ذکر است که نتایج مشابهی در فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان حاوی روغن ضروری *Satureja hortensis* [۱۲]، فیلم‌های بر پایه کاپا-کاراگینان حاوی روغن‌های گیاهی مختلف [۱۳]، فیلم‌های امولسیون‌ی بر پایه کفیران حاوی اسید اولئیک [۱۵]، فیلم‌های کامپوزیت بر پایه کیتوزان حاوی روغن ضروری درخت چای [۳۰] و فیلم‌های بر پایه هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) حاوی روغن ضروری چای حاصل شده است که در همه این موارد با افزودن روغن، استحکام کششی نهایی کاهش یافته است. افزودن روغن‌های گیاهی به محلول‌های فیلم سبب جایگزینی بخشی از بر هم کنش‌های پلیمر - پلیمر با بر هم کنش‌های پلیمر - روغن در ساختار فیلم می‌گردد. این امر سبب تضعیف نمونه فیلم و به دنبال آن، کاهش استحکام کششی نهایی می‌شود [۳۰]. بالا بودن استحکام کششی نهایی می‌تواند مربوط به حضور برخی ترکیبات عملگرایی موجود در ساختار روغن

- water activity. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 1360 – 1366.
- [8] Perez – Mateos, M., Montero, P., & Gomez – Guillen, U. (2009). Formulation and stability of biodegradable films made from cod gelatin and sunflower oil blends. *Food Hydrocolloids*, 23, 53 – 61.
- [9] Jouki, M., Khazaei, N., Ghasemlou, M., & Hadinezhad, M. (2013). Effect of glycerol concentration on edible film production from cress seed carbohydrate gum. *Carbohydrate Polymers*, 96, 39 – 46.
- [10] Jouki, M., Mortazavi, S.A., Yazdi, F., & Koocheki, A. (2014). Characterization of antioxidant-antibacterial quince seed mucilage films containing thyme essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 99, 537 – 546.
- [11] Ahmadi, R., Kalbasi-Ashtari, A., Oromiehie, A., Yarmand, M.S., & Jahandideh, F. (2012). Development and characterization of a novel biodegradable edible film obtained from psyllium seed (*Plantago ivata Forsk*). *Journal of Food Engineering*, 109, 745 – 751.
- [12] Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, H., Mohammadifar, M.A., Mohammadi, A., Ghasemlou, M., Ojagh, S.M., et al. (2013). Characterization of antioxidant antimicrobial kappa-carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 52 (1), 116 – 124.
- [13] Nur Fatin Nazurah, R., & Nur Hanani, Z.A. (2017). Physicochemical characterization of kappa-carrageenan (*Eucheima cottoni*) based films incorporated with various plant oils. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1479 – 1487.
- [14] Nur Hanani, Z.A., Roos, Y.H., & Kerry, J.P. (2012). Use of beef, pork and fish gelatin sources in the manufacture of films and assessment of their composition and mechanical properties. *Food Hydrocolloids*, 29, 144 – 151.
- [15] Ghasemlou, F., Khodaiyan, A., Oromiehie, M.S., Yarmand, M.S. (2011). Characterization of edible emulsified films with low affinity to water based on Kefiran and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 49, 378 – 384.
- [16] Seyedi, S., Koocheki, A., Mohebbi, M., & Zahedi, Y. (2015). Improving the physical and moisture barrier properties of *Lepidium* قرار گرفت و سپس تأثیر افزودن روغن‌های گیاهی (زیتون، ذرت و کانولا) بر این فیلم‌ها بررسی گردید و در نهایت خواص فیلم‌های بدون روغن و دارای روغن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزودن روغن به فیلم‌ها، ضخامت افزایش و محتوای رطوبتی، جذب رطوبت، نفوذ پذیری به بخار آب، استحکام کششی نهایی، دمای ذوب و دمای انتقال شیشه‌ای کاهش می‌یابد. فیلم‌های حاوی روغن ذرت، خواص بهتری را نسبت به فیلم‌های حاوی روغن زیتون و کانولا نشان دادند. تحقیقات گسترده‌تری لازم است تا بتوان امکان استفاده از این فیلم‌ها را در بسته بندی مواد غذایی فراهم کرد.

## ۵- منابع

- [1] Khazaei, N., Esmaili, M., Emam Djomeh, Z., Ghasemlou, M., & Jouki, M. (2014). Characterization of new biodegradable edible film made from basil seed (*Ocimum basilicum* L.) gum. *Carbohydrate Polymers*, 102, 199 – 206.
- [2] Guilbert, S. (1986). Technology and application of edible protective films. In *Food Packaging and Preservation*, 371 – 394.
- [3] Ghanbarzadeh, B., & Almasi, H. (2011). Physical properties of edible emulsified films based on carboxymethyl cellulose and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48, 44 – 49.
- [4] Vieira, M.G.A., da Silva, M.A., dos Santos, L.O., & Beppu, M.M. (2011). Naturel-based plasticizers and biopolymer films: a review. *European Polymer Journal*, 47, 254 – 263.
- [5] Lai, H.M., & Padua, G.W. (1997). Properties and Microstructure of plasticized zein films. *Cereal Chemistry*, 74 (6), 771 – 775.
- [6] Karbowiak, T., Hervet, H., Leger, L., Champion, D., Debeaufort, F., & Voilley, A. (2006). Effect of plasticizers (water and glycerol) on the diffusion of a small molecule in kappa caragennan biopolymer films for edible coating application. *Biomacromolecules*, 7, 2011 – 2019.
- [7] Oses, J., Niza, S., Ziani, K., & Mate, J.I. (2009). Potato starch edible films to control oxidative rancidity of polyunsaturated lipids: Effects of film composition, thickness and

- [24] Pelissari, M.C., Andrade – Mahecha, M.M., Sobral, P.J.A., & Menegalli, F.C. (2013). Comparative study on the properties of flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Food Hydrocolloids*, 30, 681 – 690.
- [25] Pereda, M., Amica, G., & Marcovich, N.E. (2012). Development and characterization of edible chitosan / olive oil emulsion films. *Carbohydrate polymers*, 87, 1318 – 1325.
- [26] Spotti, M., Cecchini, J., Spotti, M., & R. Carrara, C. (2016). Brea gum (from *Cercidium praecox*) as a structural support for emulsion-based films. *LWT – Food Science and Technology*, 68, 127 – 134.
- [27] Gontard, N., Guilbert, S., & Cuq, J. (1993). Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *Journal of Food Science*, 58, 206 – 211.
- [28] Vargas, M., Albors, A., & Chiralt, A. (2011). Application of chitosan-sunflower oil edible films to pork meat hamburgers. *Procedia Food Science*, 1, 39 – 43.
- [29] Al-Hassan, A.A., & Norziah, M.H. (2012). Starch-gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids*, 26, 108 – 117.
- [30] Sanchez Gonzalez, L., Gonzalez – Martinez, C., Chiralt, A., & Chafer, M. (2010). Physical and antimicrobial properties of chitosan – tea tree essential oil composite films. *Journal of Food Engineering*, 98, 443 – 452.
- perfoliatum* seed gum biodegradable film with stearic and palmitic acids. *International Journal of Biological Macromolecules*, 77, 151 – 158.
- [17] ASTM E96-95. Annual Book of ASTM, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1996.
- [18] Noshirvani, N., Ghanbarzadeh, B., Rezaei Mokarram, R., Hashemi, M., & Coma, V. (2018). Preparation and characterization of active emulsified films based on chitosan-carboxymethyl cellulose containing zinc oxide nano particles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 99, 530 – 538.
- [19] Kurt, A., & Kahyaoglu, T. (2014). Characterization of a new biodegradable edible film made from salep glucomannan. *Carbohydrate Polymers*, 104, 50 – 58.
- [20] ASTM. (2002). Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting D882-02. In Annual book of ASTM. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.
- [21] Allahvaisi, S. (2012). Polypropylene in the industry of food packaging. In: F. Dogan (Ed.), *Polypropylene*, In Tech, Europe, pp. 7 – 10.
- [22] Taqi, A., Askar, K.A., Nagy, K., Mutihac, L., & Stomatin, I. (2011). Effect of different concentrations of olive oil and oleic acid on the mechanical properties of albumen (egg white) edible films. *African Journal of Biotechnology*, 10, 12963 – 12972.
- [23] Razavi, S.M.A., Mohammad Amini, A., & Zahedi, Y. (2014). Characterization of a new biodegradable edible film based on sage seed gum: Influence of plasticizer type and concentration. *Food Hydrocolloids*, 18, 1 – 9.

## Physical, thermal and mechanical properties of *Plantago major* seed gum based edible films incorporated with olive, maize and canola oils

Niknam, R.<sup>1</sup>, Ayaseh, A.<sup>2\*</sup>, Babak Ghanbarzadeh.<sup>3</sup>

1. MSc Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

3. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

(Received: 2018/03/11 Accepted:2018/10/15)

This study has investigated the effects of different types of plant oil, including olive oil, maize oil and canola oil (0.25 and 0.5% v/v) on the physical, thermal and mechanical properties of the PMS gum based films. The incorporation of plant oils increased the film thickness and decreased moisture content, moisture absorption, WVP, ultimate tensile strength (UTS), melting point ( $T_m$ ) and glass transition point ( $T_g$ ). The plant oils also showed plasticizing effect, whereby the values for strain (SAB) increased significantly ( $p < 0.05$ ). The images taken from scanning electron microscopy indicated that, the control film appeared smooth, compact and homogeneous. Incorporating plant oils to the film matrix led to rougher surface films, demonstrating that oil droplets were embedded and aggregated in the polymer matrix. PMS gum based films incorporated with maize oil appeared more compact and has a smoother and more uniform physical appearance compared to films incorporated with canola and olive oils. This could be described by the more uniform distribution of maize oil droplets and good stability of the emulsion during casting.

**Key Words:** *Plantago major* L. seed gum, Edible films, Plant oils, Edible film properties

---

\* Corresponding Author Email Address: ayaseh@tabrizu.ac.ir