

تأثیر غلظت‌های مختلف گلیسرول بر ویژگی‌های فیلم ترکیبی بر پایه پلی وینیل الکل - صمغ قدومه شیرازی

لیلا منجذب مرودشتی^۱، مسعود یاورمنش^{۲*}، آرش کوچکی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۹

چکیده

فیلم زیست تخریب‌پذیر ترکیبی با استفاده از پلی‌وینیل الکل - صمغ قدومه شیرازی با نسبت ۶۰ به ۴۰ با افزودن شش غلظت مختلف گلیسرول (۷۰٪-۲۰٪) به روش قالب‌گیری ساخته شد. ویژگی‌های فیلم شامل ضخامت، دانسیته، میزان رطوبت، جذب رطوبت، حلالیت در آب، زاویه تماس قطره آب، رنگ، نرخ عبور بخار آب و خواص مکانیکی آنها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در ضمن از آزمون‌های طیف‌سنج مادون قرمز و میکروسکوپ الکترونی نیز برای بررسی برهمکنش‌های شیمیایی و ویژگی‌های ریزساختار فیلم‌ها استفاده شد. افزایش غلظت گلیسرول بطور معنی‌داری ($P < 0.05$) باعث افزایش ضخامت، میزان رطوبت، جذب رطوبت، حلالیت در آب، دانسیته، شفافیت، کاهش زاویه تماس، نفوذپذیری به بخار آب و کدورت گردید. افزایش غلظت گلیسرول بر پارامترهای رنگ نیز اثر گذاشت، بطوری که میزان روشنایی و زردی فیلم را بترتیب از ۹۰ به ۹۴/۴ و از ۰/۵ به ۱/۳ افزایش و میزان قرمزی را از ۰/۹ به ۰/۵ کاهش داد. بطور کلی فاکتورهای رنگی شامل اندیس سفیدی، اندیس زردی و میزان اشباعیت رنگ افزایش و اختلاف رنگ نمونه‌ها با پلیت سفید کاهش یافت. آزمون مکانیکی فیلم‌ها نشان داد که مقاومت کششی از ۶۴/۶ به ۱۳/۲ و مدول یانگ نیز از ۸۹۲ به ۱۵۶/۸۵ مگاپاسکال کاهش و درصد کشیدگی از ۲/۱ به ۱۵/۴۷ درصد افزایش یافت. افزایش غلظت گلیسرول، نفوذپذیری به بخار آب را تا بیش از ۴/۷ برابر افزایش داد. با افزایش غلظت گلیسرول تغییر اندکی در ساختار فیلم‌ها مشاهده شد. فیلم‌ها با نسبت بالاتر گلیسرول تصاویر ریزساختار با سطوح یکنواخت و بدون منفذی را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: پلی‌وینیل الکل، صمغ قدومه شیرازی، گلیسرول، فیلم زیست تخریب‌پذیر

مقدمه

شده و از آلودگی محیط زیست و سایر اثرات مخرب جلوگیری می‌کند.

معمولا فیلم بر پایه یک پلیمر زیستی نسبت به شرایط محیطی بسیار حساس بوده و بطور کلی دارای مقاومت مکانیکی پایینی می‌باشد (Kanatt et al., 2012). فیلم‌های ترکیبی را می‌توان توسط روش‌های مختلفی تولید کرد. ترکیب پلیمر یک روش موثر در جهت حصول مواد جدید با خواص مورد نظر است (Kanatt et al., 2012). معمولا ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های تشکیل شده از طریق ترکیب پلیمرها در مقایسه با فیلم‌های تکی اصلاح می‌شود. در سال‌های اخیر اختلاط فیزیکی پلیمرهای زیستی و پلیمرهای مصنوعی برای رسیدن به ویژگی‌های مورد نظر توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. از آنجا که پلیمرهای مصنوعی می‌توان به راحتی و با هزینه نسبتا کم تولید می‌شود، ترکیب پلیمر زیستی (مانند صمغ قدومه شیرازی) و پلیمر مصنوعی (مانند PVA) ممکن است عملکرد هزینه فیلم نتیجه را بهبود بخشند.

معمولا فیلم‌های بیوپلیمر به شرایط محیطی بسیار حساس

در جهان حدود ۱۲۵ میلیون تن پلاستیک در سال تولید می‌شود که ۴۲ درصد از مصرف پلاستیک‌ها در صنعت بسته‌بندی و ۴۷ درصد آن به بسته‌بندی مواد غذایی مربوط می‌شود (Nkwachukwu et al., 2013). بسته بندی های پلاستیکی یا فیلم های سنتزی به دلیل خواص مکانیکی خوب و بازدارندگی مؤثر در برابر اکسیژن و رطوبت بطور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. تقریباً همه این فیلم‌ها زیست تخریب‌پذیر نبوده، در نتیجه منجر به آلودگی محیط زیست و مسائل اکولوژیکی جدی می‌شوند (Marsh & Bugusu, 2007).

چالش و نگرانی اشاره شده، با پلیمرهای زیست تخریب پذیر مرتفع می‌گردد چرا که فرایند زیست تخریب‌پذیری در طبیعت انجام

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استادیار ودانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
* - نویسنده مسئول (Email: yavarmanesh@um.ac.ir)

با توجه به موارد فوق، هدف از تحقیق اخیر تعیین مناسب‌ترین سطح گلیسرول در فیلم ترکیبی بر پایه صمغ قدومه شیرازی/ پلی‌وینیل الکل، به‌منظور تهیه فیلمی با ویژگی‌های مکانیکی، بازدارندگی و فیزیکی (حلالیت، جذب رطوبت و میزان رطوبت)، ظاهری و رنگی و مناسب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

دانه قدومه شیرازی از فروشگاه گیاهان دارویی در مشهد، پلی‌وینیل الکل و گلیسرول از شرکت سیگمای آمریکا، کلرید کلسیم بدون آب، سولفات پتاسیم، نیترات کلسیم و هیدرواکسید سدیم از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. اسید کلریدریک نیز از شرکت شارلو خریداری شد.

استخراج صمغ

استخراج صمغ دانه قدومه شیرازی از دانه کامل و با استفاده از آب دیونیزه تحت شرایط بهینه استخراج در دمای ۳۶ درجه سانتی‌گراد، pH معادل ۴ و نسبت آب به دانه ۴۰ به ۱ به مدت یک ساعت صورت گرفت (Koocheki et al., 2010). سپس صمغ استخراج شده توسط سه حجم الکل ۹۶ درصد رسوب داده شد. رسوبات بدست آمده از ناخالصی‌های دیگر جدا شد و پس از آبیگری کامل به مدت یک شبانه روز در فریزر ۱۸- درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از آن توسط خشک‌کن انجمادی (Martin Christ Freeze Dryer, 1500w, 380v, 0.9 vacuum, German بصورت پودر خشک گردید. در انتها صمغ خشک شده آسیاب و پس از عبور از صافی، بسته‌بندی و در شرایط خشک و خنک نگهداری گردید (Koocheki et al., 2010).

آماده سازی فیلم

فیلم ترکیبی با ۱/۵ درصد ماده خشک کل و نسبت پلی‌وینیل الکل به صمغ ۶۰ به ۴۰ تهیه گردید. به‌منظور آماده‌سازی فیلم ابتدا صمغ با غلظت تعیین شده را در ۵۰ سی‌سی آب دیونیزه حل کرده و به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه توسط هات پلیت مجهز به همزن مغناطیسی (Heidolph MR3001K) در دمای محیط همگن شد. دیسپرسیون تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاه قرار گرفت تا آبیگری کامل شود. پلی‌وینیل الکل با غلظت تعیین شده را نیز در ۲۵ سی‌سی آب دیونیزه حل کرده و به مدت یک ساعت با سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به همگن شد. پس از توزین پلاستی سائیزر با غلظت‌های معین (۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد وزنی/ وزنی)، محلول

هستند و بطور کلی مقاومت مکانیکی پایینی دارند (Kanatt et al., 2012) که در فرآیندهای بعدی ایجاد مشکل می‌کند و موجب می‌شود تا کاربردهای آنها محدود گردد. به‌منظور بهبود ویژگی‌های مکانیکی و تراوش‌پذیری فیلم‌های تک پلیمری، می‌توان بطور همزمان از ترکیب پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و لیپیدها یا پلیمرهای سنتزی و طبیعی برای تهیه فیلم‌ها استفاده کرد.

جنس *Alyssum* شامل حدود ۱۷۰-۱۰۰ گونه از گیاهان گلدار در خانواده Cruciferae می‌باشد. این گیاه، بومی مصر، عربستان، عراق، ایران و پاکستان است. صمغ قدومه شیرازی حاوی ۸۵/۳۳ درصد کربوهیدرات، ۵/۳ درصد پروتئین، ۴ درصد رطوبت، ۰/۱۵ درصد خاکستر و فاقد چربی می‌باشد. ترکیب قندهای موجود در این صمغ عبارت است از رامنوز (۵/۰۴ درصد)، آرابینوز (۰/۵۳ درصد)، زایلوز (۲/۷۲ درصد)، مانوز (۳/۰۴ درصد)، گلوکز (۵/۷ درصد) و گالاتوز (۸۲/۹۷ درصد). این صمغ از لحاظ رئولوژیکی یک سیال شل‌شونده با برش با وزن مولکولی پائین (1.0×10^5 Da)، ویسکوسیته ذاتی متوسط (۱۸/۳ dl/g) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و انرژی فعال‌سازی معادل 0.51×10^7 j/kgmol می‌باشد (Hesarinejad et al., 2015). صمغ قدومه شیرازی می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین چربی در سیستم‌های امولسیون، ماده ژل‌دهنده و قوام‌دهنده و پایدارکننده در کاربردهای غذایی، دارویی و آرایشی مورد استفاده قرار گیرد (Koocheki et al., 2010; Koocheki et al., 2011).

پلی‌وینیل الکل پلیمری سنتزی، محلول در آب، با خاصیت تشکیل فیلم عالی، امولسیون‌کننده، و همچنین دارای خواص چسبندگی خوبی می‌باشد. علاوه بر ویژگی‌های ذکر شده آماده‌سازی آسان، مقاومت در برابر مواد شیمیایی، خواص مکانیکی خوب و قابلیت زیست تخریب‌پذیری، پلی‌وینیل الکل را به گزینه‌ای بسیار مناسب جهت استفاده با پلیمرهای طبیعی در فیلم‌های ترکیبی تبدیل کرده است (Srinivasa et al., 2003). به این ترتیب، پلی‌وینیل الکل به‌عنوان یک جزء در تولید فیلم‌های ترکیبی با پلیمرهای زیستی مانند کیتوزان (Kanatt et al., 2012)، نشاسته (Yang & Huang, 2008) و کربوکسی‌متیل سلولز (Gupta et al., 2013)، صمغ بادام هندی (Silva et al., 2016)، پالپ چقدر قند (Shen, 2014) (Ghasemlou, & Kamdem, 2014) مورد استفاده قرار گرفته است.

به‌منظور افزایش کارایی و انعطاف‌پذیری فیلم‌ها از پلاستی‌سایزرهای مختلف، معمولاً پلی‌اول‌ها، بطور گسترده‌ای استفاده می‌شود. گلیسرول یک پلاستی‌سایزر آبدوست است، و هنگامی که به مقدار صحیح و با توجه به میزان مواد جامد مورد استفاده، اضافه شود می‌تواند به کاهش نیروها مولکولی و افزایش تحرک زنجیر پلیمر کمک کند (Ghasemlou et al., 2011).

توزین شد و سپس در دسیکاتور حاوی محلول اشباع پتاسیم سولفات قرار گرفت و توزین مانند مرحله قبلی (تا رسیدن به وزن ثابت) انجام گردید. جذب رطوبت طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$(3) \quad \text{جذب رطوبت} = (M_2 - M_1) / M_1$$

M_2 : وزن فیلم بعد از رسیدن به وزن ثابت در محلول اشباع سولفات پتاسیم (گرم) و M_1 : وزن فیلم بعد از رسیدن به وزن ثابت در کلرید کلسیم بدون آب (گرم).

حلالیت

حلالیت در آب فیلم‌های خوراکی توسط روش Gontard و همکاران (۱۹۹۴) محاسبه شد. فیلم به ابعاد $2 \times 2 \text{ cm}^2$ بریده و در 10.5°C به مدت ۲۴ ساعت خشک و برای اندازه‌گیری ماده خشک اولیه وزن گردید. سپس قطعه دیگری با وزن برابر نمونه اولیه در 50 ml آب مقطر (25°C) به مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور و در شیکر مکانیکی (JANKE & KUNKEL KA-WERK) با دور ملایم به همزده شد. محلول توسط قیف بوختر بر روی کاغذ صافی تحت شرایط خلاء صاف و در 10.5°C به مدت ۲۴ ساعت خشک و به‌منظور تعیین ماده خشک نهایی توزین شد. حلالیت با استفاده از فرمول ذیل محاسبه گردید:

$$(4) \quad \text{حلالیت} = (DM_1 - DM_2) / DM_1$$

DM_1 : ماده خشک قطعه فیلم قبل از حلالیت در آب (گرم) و ماده خشک باقی‌مانده فیلم بعد از حلالیت در آب (گرم).

زاویه تماس

در این روش با استفاده از یک سمپلر، یک قطره آب مقطر 20 میکرولیتری بر سطح نمونه‌ها قرار داده شد و سریعاً توسط دوربین از زاویه تماس قطره با سطح فیلم عکس گرفته شد. برای محاسبه زاویه تماس آب با سطح فیلم‌ها از نرم افزار Image J استفاده گردید. محاسبه زاویه بین خط مماس بر قطره در نقطه تماس و خط رسم شده در راستای سطح فیلم، زاویه تماس را نشان می‌دهد (Motedayen et al., 2013).

نفوذپذیری به بخار آب (WVP)

اندازه‌گیری میزان تراوش‌پذیری به بخار آب فیلم‌های خوراکی بر اساس استاندارد ASTM-E96-00 (ASTM, 2000) انجام شد. بعد از مشروط کردن فیلم‌ها به مدت ۳ روز توسط محلول اشباع نیترات کلسیم (چهار آب) ضخامت فیلم در ۵ نقطه (۴ نقطه در اطراف و یک نقطه در مرکز فیلم)، اندازه‌گیری شد. فیلم تهیه شده بر روی ظرف‌های شیشه‌ای استوانه‌ای شکل حاوی 4 گرم کلرید کلسیم بدون آب توسط یک گیره بسته شد. سپس این ظرف‌ها در درون

پلی‌وینیل الکل خنک شده و صمغ به آن اضافه شد و به مدت 20 دقیقه در دمای $45-50^\circ \text{C}$ اختلاط ادامه یافت. محلول حاصل به مدت یک دقیقه توسط توراکس (IKA T25 digital ULTRA-) با دور 8000 rpm مخلوط گردید. محلول تا دمای اتاق سرد شد و به‌منظور خروج حباب‌های هوا به مدت 10 دقیقه با دور 7000 g سانتریفوژ گردید. سپس قالب‌گیری در پلیت‌های شیشه‌ای با قطر $14/5$ سانتی‌متر انجام شد. پلیت‌ها در آون با دمای 45°C به مدت $30-24$ ساعت قرار گرفت تا فیلم‌ها کاملاً خشک شوند. فیلم‌های سالم و بدون حباب برای ارزیابی ویژگی‌های فیلم انتخاب شدند.

ضخامت

ضخامت فیلم به‌وسیله میکرومتر دیجیتال (QLR digit-IP54, China) با دقت نزدیک به 0.0001 میلی‌متر در حداقل 10 نقطه تصادفی هر فیلم اندازه‌گیری شد.

دانسیته

فیلم به ابعاد $4 \times 4 \text{ cm}^2$ بریده شده و به مدت 3 روز در دسیکاتور حاوی محلول اشباع نیترات کلسیم (با رطوبت نسبی 55 درصد) مشروط و سپس توزین شد. (Ramos et al., 2013) و دانسیته مطابق فرمول زیر محاسبه شد:

$$(1) \quad \rho = \frac{m}{A \times \delta}$$

m وزن نمونه (گرم)، δ : میانگین ضخامت فیلم (سانتی‌متر)، A مساحت فیلم (سانتی‌متر مربع).

میزان رطوبت

برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت از روش Muñoz و همکاران (۲۰۱۲) استفاده شد. حدود یک گرم از فیلم به مدت $2-3$ روز مشروط شد و پس از توزین، به مدت 24 ساعت در آون $103 \pm 2^\circ \text{C}$ قرار گرفت. نمونه‌ها پس از سرد شدن در دسیکاتور توزین شدند. میزان رطوبت به روش ذیل بدست آمد:

$$(2) \quad \text{میزان رطوبت} = (W_i - W_f) / W_f$$

W_i وزن بعد از مشروط شدن (گرم) و W_f : وزن بعد از آون‌گذاری (گرم).

جذب رطوبت

جذب رطوبت با استفاده از روش Angles & Dufresne (۲۰۰۰) محاسبه گردید. فیلم به ابعاد $2 \times 2 \text{ cm}^2$ تهیه و در دسیکاتور حاوی کلرید کلسیم بدون آب با رطوبت صفر در دمای آزمایشگاه قرار داده شد. نمونه هر 24 ساعت یکبار (تا رسیدن به وزن ثابت)،

ویژگی‌های نوری

فیلم‌ها به ابعاد $۳\text{cm} \times ۴\text{cm} \times ۰.۷$ بریده شده و داخل سل اسپکتروفوتومتر (مدل Shimadzu UV-160A) قرار گرفتند. شاخص عبور نور در ۶۰۰ نانومتر (Han & Floros, 1997) و کدورت (Gontard & Guilbert, 1994) با روابط زیر محاسبه شدند:

$$T600 = -\log\%T/b \quad (۱۱)$$

$$\text{Opacity} = \text{absorbance at } 500 \text{ nm} \times \text{film thickness} \quad (۱۲)$$

$T\%$: درصد عبور نور و b : ضخامت فیلم (میلی‌متر)

طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)

در ابتدا نمونه‌های فیلم ترکیبی تهیه شده با کمک نیتروژن مایع و با استفاده از یک هاون چینی به صورت پودر در آورده شد. نمونه پودر فیلم ترکیبی پلی‌وینیل الکل/ صمغ قدومه شیرازی با پودر پتاسیم بروماید (KBr) مخلوط شده و به شکل قرص در محفظه کوچک قرار گرفت. طیف‌سنجی مادون قرمز با دستگاه AVATAR 370 FT-IR Thermo Nicolet Japan و در دامنه $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ انجام شد.

مطالعه ریزساختار با استفاده از میکروسکوپ الکترونی

ریزساختار سطح و مقطع عرضی فیلم‌های خشک شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل (LEO 1450 VP) مشخص گردید. پوشش‌های پالادیوم-طلا با استفاده از اسکاتر کوتیر مدل (SC7620، ساخت انگلیس) بر روی نمونه پوشش داده شد. سپس تحت شرایط خلاء و ولتاژ 20kV از سطح و مقطع عرضی نمونه تصویربرداری شد (Sun et al., 2013).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در بخش‌های مختلف تحقیق تمامی آزمون‌ها حداقل در سه تکرار انجام شدند. تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. میانگین‌ها در سطح احتمال خطای ۵ درصد با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

نتایج

ضخامت و دانسیته

ضخامت فیلم روی ویژگی‌های ممانعتی، مکانیکی و همچنین شفافیت فیلم موثر است (Kurt et al., 2014). افزایش غلظت کلیسروول باعث افزایش ($P < 0.05$) ضخامت فیلم ترکیبی صمغ دانه قدومه شیرازی- پلی وینیل الکل شد (جدول ۱) بطوریکه با افزایش

دسیکاتور حاوی محلول اشباع سولفات پتاسیم با رطوبت ۹۷ درصد قرار گرفت و در طی ۱۲ ساعت اول هر ۲ ساعت یکبار و بعد از آن هر ۲۴ ساعت یکبار با ترازو با دقت 0.001 (AND GF600) به مدت ۷۲ ساعت توزین شد. نمودار افزایش وزن ظرف به صورت تابعی از زمان رسم شد و شیب خط در قسمت خطی محاسبه گردید. نرخ عبور بخار آب و تراوش پذیری به بخار آب مطابق روش ذیل محاسبه شد:

$$WVTR = \frac{\text{Slope}}{A} = \frac{\Delta m}{\Delta t \times A} \quad (۵)$$

$WVTR$: نرخ عبور بخار آب، Slope: شیب تغییرات وزنی نسبت به تغییرات زمان (گرم/ساعت)، Δm : تغییرات وزنی (گرم)، Δt : تغییرات زمانی (ساعت) و A : مساحت دهانه ظرف (مترمربع).

$$WVP = \frac{WVTR \times X}{\Delta P \times (R_1 - R_2)} \quad (۶)$$

WVP : تراوش‌پذیری به بخار آب (گرم. میلی‌متر بر مترمربع. روز. کیلوپاسکال)، X : ضخامت فیلم (میلی‌متر)، ΔP : اختلاف فشار بخار بین داخل و خارج ظرف شیشه‌ای (کیلو پاسکال)، R_1 : رطوبت نسبی موجود در محیط داخلی دسیکاتور، R_2 : رطوبت نسبی موجود در ظرف شیشه‌ای.

ویژگی‌های مکانیکی فیلم

این ویژگی‌ها بر اساس استاندارد ASTM-882-02 و با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (TA-Plus, England) محاسبه شد (ASTM, 2002). ابتدا فیلم به ابعاد $۱۴ \times ۱ \text{ cm}^2$ بریده شد و ضخامت در ۱۰ نقطه محاسبه گردید. فیلم به مدت ۳ روز در دسیکاتور حاوی محلول نیترات کلسیم با رطوبت ۵۵ درصد مشروط شد و سپس بین دو فک دستگاه بافت‌سنج با فاصله‌ی اولیه 100 mm و سرعت حرکت فک $12/5 \text{ mm/min}$ قرار داده شد و ویژگی‌های مکانیکی محاسبه شد.

آزمون رنگ‌سنجی^۱

برای اندازه‌گیری رنگ از روش Gennadios و همکاران (۱۹۹۶) و از دستگاه هانتربل (color selex, USA) استفاده شد. پارامترهای رنگ نیز بر اساس روابط زیر محاسبه شد:

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (۷)$$

$$C = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (۸)$$

$$YI = 142.86b/L \quad (۹)$$

$$WI = 100 - [(100-L)^2 + a^2 + b^2]^{0.5} \quad (۱۰)$$

گزارش شد.

با افزایش غلظت گلیسرول مقدار دانسیته بطور معنی‌داری ($P < 0.05$) افزایش پیدا کرد (جدول ۱). درست است که گلیسرول به دلیل دارا بودن خصوصیات آبدوستی بالا با تعداد زیادی از مولکول‌های آب پیوند هیدروژنی برقرار کرده و باعث افزایش ضخامت و در نتیجه افزایش حجم فیلم می‌شود (حجم و دانسیته نسبت عکس دارند)، اما باید در نظر گرفت که وزن نمونه‌ها بر اثر افزایش میزان گلیسرول و افزایش میزان رطوبت موجود در فیلم به همان نسبت افزایش پیدا می‌کند. بدلیل اینکه نرخ افزایش وزن بیش از افزایش ضخامت می‌باشد، بنابراین، با افزایش غلظت گلیسرول، دانسیته نمونه‌ها افزایش پیدا خواهد کرد. نتایج مشابهی نیز توسط Müller و همکاران (۲۰۰۸) و Ramos و همکاران (۲۰۱۳) به ترتیب بر روی فیلم‌های تهیه شده از نشاسته کاساوا و کنسانتره پروتئین آب پنی‌ر گزارش شد.

محتوای گلیسرول، مقدار ضخامت از ۰/۰۶۵ به ۰/۱۴۲ میلی‌متر افزایش یافت ($P < 0.05$). جوکی و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی اثر گلیسرول بر ضخامت فیلم تهیه شده از صمغ دانه به و فیلم دانه شاهی بیان کردند که میزان رطوبت جذب شده توسط فیلم با افزایش غلظت گلیسرول افزایش یافته که باعث متورم شدن فیلم و به دنبال آن افزایش ضخامت فیلم خواهد گردید. از طرف دیگر رضوی و همکاران (۲۰۱۵) افزایش ضخامت فیلم صمغ دانه مرو را نتیجه عملکرد مولکول‌های پلاستی‌سایزر در برهم‌زدن پیوندهای بین مولکولی زنجیره‌های پلیمر دانستند، بطوری که بازسازی ساختمان پلیمرها منجر به گسترش بیشتر ساختار با افزایش حجم و در نتیجه تولید فیلم‌هایی با ضخامت‌های بالاتر گردید. نتایج مشابهی نیز در فیلم‌های تهیه شده از کفیران (Ghasemlou *et al.*, 2011)، صمغ دانه اسفرزه (Ahmadi *et al.*, 2012)، صمغ دانه ریحان (Khazaei *et al.*, 2014) و صمغ قدومه شهری (Seyedi *et al.*, 2014)

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی فیلم ترکیبی صمغ قدومه شیرازی- پلی وینیل الکل با نسبت‌های مختلف گلیسرول

درصد گلیسرول	ضخامت (میلی متر)	دانسیته (گرم بر سانتی متر مکعب)	رطوبت (%)	حلالیت (%)	جذب رطوبت (%)
۲۰	۰/۰۶۵±۰/۰۰۴ ^a	۰/۱۰۹±۰/۰۰۹ ^a	۲۲/۵±۰/۴ ^e	۱۶/۶±۰/۳ ^a	۱۱۸/۷۶±۱/۵ ^a
۳۰	۰/۰۹۵±۰/۰۰۴ ^b	۰/۱۱۸±۰/۰۰۴ ^{ab}	۳۳/۶±۰/۹ ^d	۲۸/۹۲±۱/۱ ^b	۱۲۱/۲±۲/۰۴ ^{ab}
۴۰	۰/۰۹۹±۰/۰۰۱ ^b	۰/۱۱۴±۰/۰۰۸ ^{ab}	۳۵/۹±۱/۳ ^c	۲۹/۳۲±۰/۸ ^b	۱۲۳/۳±۱/۳ ^b
۵۰	۰/۱۰۷±۰/۰۰۷ ^b	۰/۱۲±۰/۰۱۳ ^{ab}	۳۷/۵±۰/۳ ^{bc}	۲۹/۴۱±۰/۳ ^b	۱۳۱/۱±۱/۳ ^c
۶۰	۰/۱۲۷±۰/۰۰۴ ^c	۰/۱۱۸±۰/۰۰۵ ^{ab}	۳۸/۱±۱/۱۳ ^b	۴۱/۳۶±۱/۵ ^c	۱۳۸/۸±۱/۸ ^d
۷۰	۰/۱۴۲±۰/۰۰۹ ^d	۰/۱۲۶±۰/۰۰۸ ^b	۴۰/۹±۱/۶ ^a	۵۱/۰۲±۱/۰۳ ^d	۱۵۲/۶±۱/۳ ^e

میزان رطوبت

میزان رطوبت پارامتری است که به کل حجم خالی اشغال شده توسط مولکول‌های آب در میکروساختار فیلم بستگی دارد (Li *et al.*, 2011). میزان رطوبت فیلم‌های ترکیبی پلی وینیل الکل / صمغ قدومه شیرازی در جدول ۱ مشاهده می‌شود. نتایج نشان داد با افزایش غلظت گلیسرول از ۲۰ به ۷۰ درصد (وزنی / وزنی) میزان رطوبت فیلم‌ها بطور معنی‌داری ($P < 0.05$) از ۲۲/۵ به ۴۰/۹ درصد افزایش می‌یابد. گلیسرول به دلیل داشتن خاصیت آبدوستی بالا و اندازه کوچک وارد فضای خالی بین زنجیره‌ای پلیمر می‌شود و برهمکنش هیدروژنی گلیسرول- پلیمری گلیسرول- آب ایجاد می‌کند (Jouki *et al.*, 2013a). بنابراین، با افزایش غلظت گلیسرول، میزان رطوبت فیلم افزایش پیدا کرد. نتایج مشابهی نیز بر روی تاثیر پلاستی‌سایزرها روی میزان رطوبت فیلم‌های خوراکی هیدروکلوتیدی گزارش شده است (Ahmadi *et al.*, 2012; Ebrahimi *et al.*, 2016; Ghasemlou *et al.*, 2011; Piermaria *et al.*, 2011; Seyedi *et al.*, 2014; Thakhiew *et al.*, 2010). نتایج تحقیق رضوی و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که با افزایش غلظت گلیسرول در فیلم تهیه شده از صمغ دانه مرو،

میزان رطوبت فیلم افزایش می‌یابد. علت این امر به ظرفیت بالای نگهداری آب توسط گلیسرول نسبت داده شد.

جذب رطوبت

میزان جذب رطوبت در فیلم‌ها برای پیش‌بینی پایداری و تغییرات کیفی فیلم طی بسته‌بندی محصولات غذایی اهمیت دارد (Abugoch *et al.*, 2011). افزایش غلظت گلیسرول از ۲۰ تا ۷۰ درصد (وزنی / وزنی) باعث افزایش معنی‌دار ($P < 0.05$) در میزان جذب رطوبت فیلم‌ها از ۱۱۸/۷۶ تا ۱۵۲/۶ درصد شد (جدول ۱). مولکول‌های گلیسرول به علت داشتن اندازه کوچک می‌توانند به راحتی بین زنجیره‌های پلیمر قرار بگیرند. آنها توانایی کاهش برهمکنش‌های پلیمر- پلیمر و ایجاد پیوند پلیمر- گلیسرول را دارند. در غلظت‌های بالای پلاستی‌سایزر، دنباله‌های غنی از گلیسرول در ماتریکس پلیمر ایجاد می‌شوند (Sothornvit, & Krochta, 2005). از طرف دیگر، گلیسرول خاصیت آبدوستی بالایی دارد، بنابراین ممکن است نفوذ رطوبت به فیلم پلی‌وینیل الکل / صمغ قدومه شیرازی را تسریع کند (Mali *et al.*, 2005). در طی

غذایی به حداقل رساندن انتقال رطوبت بین غذا و اتمسفر اطراف می‌باشد، بنابراین نفوذپذیری مواد بسته‌بندی به بخار آب باید حداقل باشد (Zhou *et al.*, 2009).

با افزایش غلظت گلیسرول، WVP و WVTR برای تمام نسبت‌های مختلف گلیسرول فیلم ترکیبی افزایش ($P < 0.05$) پیدا کرد (جدول ۲). گلیسرول دمای انتقال شیشه‌ای پایینی (۲۲- تا ۴۴-) دارد بنابراین با اضافه شدن به پلیمر سبب کاهش دمای انتقال شیشه‌ای فیلم حاصل گردیده، فضای آزاد و تحرک زنجیره‌های پلیمر را افزایش (دمای انتقال شیشه‌ای پایین) و بنابراین به مولکول‌های بخار آب اجازه نفوذ بیشتری به ساختارشان را داده است. گلیسرول به دلیل داشتن اندازه کوچک به آسانی در ساختار فیلم نفوذ می‌کند و نیروهای قوی بین زنجیره‌های پلیمر را تضعیف کرده و از طریق ایجاد پیوند هیدروژنی پلیمر-پلاستی سایزر باعث افزایش حجم آزاد بین زنجیره‌های پلیمرها و تحرک زنجیره‌ها می‌گردد. تحرک بیشتر که در اثر افزایش حجم ایجاد شده است مهاجرت مولکول‌های آب در عرض فیلم را افزایش می‌دهد (Jia *et al.*, 2009; Sothornvit, 2001 & Krochta). گلیسرول به دلیل طبیعت آبدوستی بالا با مقدار زیادی از مولکول‌های آب پیوند هیدروژنی برقرار می‌کند که باعث افزایش WVP می‌گردد (Gontard *et al.*, 1993). بدلیل خوشه‌ای شدن گلیسرول در غلظت‌های بالاتر باز شدن زنجیره‌های پلیمر و تراوش پذیری به رطوبت افزایش می‌یابد (Khazaei *et al.*, 2014). نتایج مشابهی در فیلم‌های تهیه شده از صمغ دانه به (Jouki *et al.*, 2013b)، صمغ تارا (Antonioni *et al.*, 2014) و آلزینات (Jost *et al.*, 2014) بدست آمده است. بر اساس نتایج این تحقیقات گلیسرول باعث کاهش برهمکنش بین زنجیره‌های پلیمر، ایجاد برهمکنش هیدروژنی پلیمر-پلاستی سایزر، افزایش حجم آزاد فیلم و افزایش WVP می‌شود

زاویه تماس

اندازه‌گیری زاویه تماس قطره آب با سطح فیلم، شاخصی مناسب برای تعیین میزان آبدوستی سطحی فیلم می‌باشد (Motedayen *et al.*, 2013). فیلم‌هایی با آبدوستی $90^\circ - 30^\circ$ آبدوست نسبی می‌باشند (Ghanbarzadeh *et al.*, 2007). بر اساس داده‌های جدول ۲، با افزایش غلظت گلیسرول از ۲۰ به ۷۰ درصد (وزنی/وزنی) زاویه تماس فیلم‌ها بطور معنی‌داری از 74.5° به 42.5° کاهش یافت ($P < 0.05$). گلیسرول به دلیل طبیعت بسیار آبدوست باعث افزایش سطح تماس قطره با فیلم و کاهش آبگریزی سطحی می‌گردد (Jouki *et al.*, 2013a). نتایج مشابهی نیز روی کاهش زاویه تماس فیلم‌های هیدروکلوتیدی با افزایش پلاستی‌سایزر نیز

هیدراسیون فیلم، مولکول‌های آب اضافه شده باعث افزایش پیوندهای هیدروژنی پلیمر-آب، کاهش برهمکنش‌های بین زنجیره‌ای و افزایش تحرک زنجیره‌ها می‌شوند. نتایج تحقیق Seyedi و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان داد که در فیلم‌های بر پایه صمغ قدومه شهری افزایش گلیسرول از ۴۰ تا ۵۰ درصد تغییر چندانی بر جذب رطوبت نداشت، اما در غلظت‌های بالاتر جذب رطوبت فیلم‌ها بطور محسوسه افزایش یافت.

حلالیت

حلالیت یکی از مهم‌ترین ویژگی فیلم‌ها برای بسته‌بندی مواد غذایی است. آزمون حلالیت، میزان مقاومت فیلم برای حفظ یکپارچگی ساختار آن در محیط آبی را نشان می‌دهد. حلالیت فیلم به میزان گروه‌های هیدروکسیل و سایر گروه‌های آبدوست آزاد در ماتریس پلیمری بستگی دارد که منجر به ایجاد تعاملات هیدروژنی بین فیلم و آب می‌شود (Mchugh *et al.*, 1994). هنگامی که فیلم به‌عنوان ماده بسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید مقاومت بالایی نسبت به آب (یا حلالیت پایینی) داشته باشد (Arismendi *et al.*, 2013).

افزایش غلظت گلیسرول باعث افزایش معنی‌دار ($P < 0.05$) در حلالیت فیلم شد (جدول ۱). حلالیت فیلم‌های ترکیبی پلی‌وینیل الکل / صمغ قدومه شیرازی با افزایش میزان گلیسرول از ۲۰ به ۷۰ درصد (وزنی/وزنی) از $16/6$ به $51/02$ درصد رسید که این رفتار می‌تواند به دلیل خاصیت آبدوستی بالای گلیسرول باشد. گلیسرول تمایل مولکول‌های پلی‌مر برای جذب آب را افزایش داده و با تضعیف ساختار فیلم متورم شده در محیط آبی حلالیت را افزایش می‌دهد (Ahmadi *et al.*, 2012; Ghasemlou *et al.*, 2011; da Silva *et al.*, 2009; Razavi *et al.*, 2015; Piermaria *et al.*, 2009). رضوی و همکاران (۲۰۱۵)، جوکی و همکاران (۲۰۱۳b) و خزائی و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی اثر گلیسرول بر فیلم‌های حاصل از صمغ دانه مرو و صمغ دانه شاهی به ترتیب به نتایج مشابهی دست یافتند. نامبردگان گزارش کردند که گلیسرول، با کاهش برهمکنش‌های بین مولکول‌های پلیمر و همچنین به علت خاصیت آبدوستی، باعث افزایش حلالیت این فیلم‌ها می‌شود.

نفوذپذیری به بخار آب

نفوذپذیری فیلم به بخار آب تحت تاثیر عوامل متعددی مانند تحرک زنجیره‌های پلیمر، برهمکنش بین گروه‌های عملگرای پلیمرها، یکپارچگی ساختار فیلم، نسبت گروه‌های آبدوست به آبگریز و نسبت ناحیه کریستالی به آمورف می‌باشد (Ghanbarzadeh *et al.*, 2010; Martins *et al.*, 2012; Sun *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2010). چون یکی از مهمترین کاربردهای بسته‌بندی در مواد

برهمکنش بین آنها و همچنین روش‌های فرآوری بستگی دارد (Tian *et al.*, 2011). معمولا فیلمی از نظر مکانیکی مطلوب است که نسبت به کشش مقاوم بوده، میزان کش آمدگی و انعطاف پذیری آن بالا بوده و ترد و شکننده نباشد (رضایی تقی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۱).

گزارش شده است (Ghasemlou *et al.*, Ahmadi *et al.*, 2012) Suyatma *et Jouki et al.*, 2013b Seyedi *et al.*, 2014 2011 *al.*, 2005). این محققین علت این امر را طبیعت آبدوست گلیسرول اعلام کردند.

ویژگی‌های مکانیکی

ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها به طبیعت مواد تشکیل دهنده فیلم،

جدول ۲- نفوذ پذیری به بخار آب و زاویه تماس فیلم ترکیبی صمغ قدومه شیرازی- پلی وینیل الکل با نسبت های مختلف گلیسرول

درصد گلیسرول	زاویه تماس (درجه)	نفوذ پذیری به بخار آب (g mm/m ² kPa d)	سرعت نفوذ بخار آب (g/m ² d)
۲۰	۷۴/۵۲±۱/۵ ^a	۴/۹±۰/۰۰۷ ^a	۱۵۲/۸۶±۰/۴ ^a
۳۰	۷۰/۷±۲/۰ ^b	۷/۰۰۶±۰/۰۰۱ ^b	۱۸۳/۴±۰/۱۹ ^b
۴۰	۶۹/۴۲±۱/۷۵ ^b	۸/۵۷±۰/۰۰۵ ^d	۲۲۱/۰۶±۰/۴ ^d
۵۰	۶۱/۷۳±۰/۹۴ ^b	۷/۹۷±۰/۰۱ ^c	۲۱۱/۶۶±۰/۷۸ ^c
۶۰	۴۲/۵۲±۱/۳ ^c	۱۱/۸۳±۰/۰۱ ^e	۲۷۰/۴۵±۰/۳ ^e
۷۰	۳۷/۸±۰/۸۹ ^d	۲۳/۰۷±۰/۰۱۵ ^f	۳۰۱/۰۲±۰/۳۱ ^f

دگرگون می‌کند که تحرک پلیمرها در ماتریکس فیلم افزایش یابد. این امر باعث افزایش انعطاف پذیری و میزان کش آمدگی و کاهش مقاومت مکانیکی فیلم می‌گردد (Haq *et al.*, 2014; Razavi *et al.*, 2015; Su *et al.*, 2010). نتایج مشابهی نیز برای فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه (Ahmadi *et al.*, 2012)، صمغ تارا (Antoniou *et al.*, 2014)، صمغ کوردیا (Haq *et al.*, 2014)، صمغ دانه به (Jouki *et al.*, 2013b)، صمغ دانه قدومه شهری (Seyedi *et al.*, 2014) و آلزینات (Jost *et al.*, 2014) گزارش شده است. علاوه بر این مولکول‌های گلیسرول از طریق کاهش دمای انتقال شیشه‌ای فیلم حاصل، سبب افزایش تحرک مولکول‌های پلیمر در فیلم شده و ساختار نرم‌تری را تولید کرده و بنابراین سبب کاهش مقاومت به کشش و افزایش کش آمدگی فیلم شدند.

مقدار مقاومت به کشش (TS)، مدول یانگ (YM) و درصد کشش (E%) فیلم‌های ترکیبی پلی وینیل الکل / صمغ قدومه شیرازی با غلظت‌های مختلف گلیسرول در جدول ۳ نشان داده شده است. با افزایش غلظت گلیسرول از ۲۰ تا ۷۰ درصد (وزنی/وزنی) مقاومت نسبت به کشش و مدول یانگ کاهش (به ترتیب از ۶۴/۶ به ۱۰/۰۱ و ۸۹۲ به ۱۴۹ مگا پاسکال) و میزان کش آمدگی فیلم (از ۲/۱ به ۲۵۴/۴۸ درصد) افزایش پیدا کرد ($P < 0.05$). تاثیر گلیسرول به عنوان پلاستی‌سایزر بر ویژگی‌های مکانیکی فیلم را می‌توان این گونه بیان کرد که گلیسرول به دلیل داشتن اندازه کوچک و گروه‌های هیدروکسیل بالا (قطبیت بالا) وارد فضای بین زنجیره‌ای پلیمرها شده، نیروهای بین مولکولی را کاهش داده و با تشکیل پیوندهای هیدروژنی ساختار پلی‌مرهای موجود در فیلم را بگونه‌ای

جدول ۳- ویژگی‌های مکانیکی فیلم ترکیبی صمغ قدومه شیرازی- پلی وینیل الکل با نسبت های مختلف گلیسرول

درصد گلیسرول	میزان کش آمدگی (%)	مقاومت به کشش (مگا پاسکال)	مدول یانگ (مگا پاسکال)
۲۰	۲/۱±۰/۰۰۴ ^a	۶۴/۶±۰/۸۷ ^a	۸۹۲±۱۰/۳۹ ^a
۳۰	۲/۶±۰/۰۰۴ ^b	۳۷/۱±۱/۰۴ ^b	۶۹۲/۴±۱۵/۰۴ ^b
۴۰	۱۰±۰/۰۱ ^b	۱۷/۱۷±۰/۶۸ ^c	۴۰۰/۰۳±۹/۹۸ ^c
۵۰	۱۵/۴۷±۰/۰۰۷ ^b	۱۳/۲±۰/۳۳ ^d	۱۵۶/۸۵±۱۲/۱ ^d
۶۰	۱۱۴/۰۲±۰/۰۰۴ ^c	۱۰/۸±۰/۹۵ ^e	۸۴/۳۱±۱۷/۱۵ ^e
۷۰	۲۵۴/۸±۰/۰۰۹ ^d	۲/۰۹±۰/۸ ^f	۱/۴۹±۰/۱۱ ^f

نمونه‌ها با پلیت سفید، WI (اندیس سفیدی)، C (غلظت رنگ) و YI (اندیس زردی) را نشان می‌دهد. بطور کلی با افزایش میزان گلیسرول پارامترهای L^* و b^* افزایش و فاکتور a^* کاهش یافت. با افزایش میزان گلیسرول از ۲۰ تا ۷۰ درصد (وزنی/وزنی) میزان پارامتر L^* ، a^* افزایش پیدا کرد. Ramos و همکاران (۲۰۱۳)

رنگ

یکی دیگر از ویژگی‌های مهم فیلم رنگ است چرا که بطور مستقیم بر ظاهر و پذیرش محصول از طرف مصرف کننده اثر می‌گذارد (Ramos *et al.*, 2013). جدول ۴ پارامترهای L^* (روشنایی)، a^* (سبز- قرمز) و b^* (آبی- زرد)، ΔE (اختلاف رنگ

نتایج مشابهی برای فیلم‌های بر پایه صمغ دانه اسفرزه (Ahmadi *et al.*, 2012)، دانه به و شاهی (Jouki *et al.*, 2013a,b)، دانه ریحان (Khazaei *et al.*, 2014) و دانه قدومه شهری (Seyedi *et al.*, 2014) بدست آمد.

همچنین با افزایش میزان گلیسرول درجه زردی (YI) و اشباعیت رنگ (C) نمونه‌ها نیز افزایش یافت. نتایج مشابهی نیز برای فیلم‌های صمغ قدومه شهری (Seyedi *et al.*, 2014) و صمغ دانه اسفرزه (Ahmadi *et al.*, 2012) بدست آمد.

نتیجه مشابهی را در مورد فیلم پروتئین آب پنیر گزارش کردند و دلیل این امر را افزایش انعکاس نور از سطح فیلم در نتیجه افزایش میزان گلیسرول بیان کردند.

با اندازه‌گیری ΔE تفاوت رنگی نمونه‌ها مشخص می‌شود چرا که در محاسبه این اندیس از مقدار هر سه پارامتر رنگ (L^* ، a^* و b^*) استفاده می‌شود. گلیسرول یک ترکیب بی‌رنگ است، با افزایش میزان گلیسرول، اجزاء فیلم (صمغ و پلی‌وینیل الکل) رقیق شده و در نتیجه اختلاف رنگ نمونه‌ها با نمونه استاندارد کاهش یافت. درجه سفیدی (WI) نمونه‌ها نیز با افزایش میزان گلیسرول افزایش یافت.

جدول ۴- ویژگی‌های رنگی فیلم ترکیبی صمغ قدومه شیرازی- پلی وینیل الکل با نسبت‌های مختلف گلیسرول

YI	WI	C	ΔE	b^*	a^*	L^*	درصد گلیسرول
0.79 ± 0.08^e	89.94 ± 0.03^f	1.02 ± 0.01^f	51.04 ± 0.03^a	0.5 ± 0.05^f	0.9 ± 0.09^a	90 ± 0.04^f	۲۰
1.44 ± 0.09^d	91.09 ± 0.03^e	1.21 ± 0.07^e	3.9 ± 0.021^b	0.92 ± 0.06^e	0.79 ± 0.04^b	91.18 ± 0.04^e	۳۰
1.56 ± 0.03^c	92.39 ± 0.09^d	1.25 ± 0.06^d	2.6 ± 0.08^c	1.01 ± 0.02^d	0.74 ± 0.08^c	92.5 ± 0.01^d	۴۰
1.56 ± 0.013^c	93.62 ± 0.04^c	1.23 ± 0.01^c	1.52 ± 0.02^d	1.025 ± 0.08^c	0.68 ± 0.013^d	93.74 ± 0.07^c	۵۰
1.72 ± 0.1^b	93.74 ± 0.02^b	1.31 ± 0.08^b	1.46 ± 0.03^c	1.134 ± 0.07^b	0.68 ± 0.05^d	93.89 ± 0.04^b	۶۰
1.96 ± 0.07^a	94.22 ± 0.07^a	1.39 ± 0.07^a	1.27 ± 0.03^f	1.3 ± 0.05^a	0.5 ± 0.08^e	94.4 ± 0.09^a	۷۰

دیگر، مواد بسته‌بندی باید محصولات غذایی را از اثرات مخرب نور، مخصوصاً اشعه فرابنفش محافظت کنند (Kowalczyk, & Baraniak, 2011).

با افزایش گلیسرول از ۲۰ به ۷۰ درصد، شفافیت فیلم‌های ترکیبی بطور معنی‌داری ($P < 0.05$) از $24/36$ به $58/35$ افزایش و کدورت از 0.69 به 0.31 کاهش پیدا کرد (جدول ۵).

ویژگی‌های نوری

شاخص کدورت مقدار نور جذب شده توسط ماده بسته‌بندی را نشان می‌دهد (Abdollahi *et al.*, 2013; Saurabh *et al.*, 2013). بطور کلی شفافیت و کدورت با هم نسبت عکس دارند. بنابراین مقادیر بالای شفافیت نشان‌دهنده کدورت پایین است. شفافیت مواد بسته‌بندی در بسته‌بندی مواد غذایی، یک مزیت بشمار می‌آید چرا که روی جذابیت برای خریدار تاثیرگذار است. از طرف

جدول ۵- ویژگی‌های نوری فیلم ترکیبی صمغ قدومه شیرازی- پلی وینیل الکل با نسبت‌های مختلف گلیسرول

کدورت (A/mm)	درصد عبور نور در ۵۰۰ نانو متر	شفافیت	درصد گلیسرول
0.69 ± 0.04^d	9.43 ± 0.09^a	$24/36 \pm 1.0^c$	۲۰
0.58 ± 0.01^c	6.22 ± 0.28^b	$25/5 \pm 3.0^c$	۳۰
0.55 ± 0.06^c	4.65 ± 0.2^c	$35/0.3 \pm 1.5^b$	۴۰
0.4 ± 0.1^{ab}	4.19 ± 0.3^c	$35/4 \pm 2/27^b$	۵۰
0.44 ± 0.05^b	3.28 ± 0.48^d	$37/0.6 \pm 2/74^b$	۶۰
0.33 ± 0.03^a	1.64 ± 0.35^e	$58/35 \pm 4/3^a$	۷۰

باعث کاهش مقدار نور جذب شده توسط ذرات پلمر شده و به دنبال آن کدورت نیز کاهش پیدا می‌کند. نتایج مشابهی نیز در فیلم‌هایی بر پایه آلئید کربوکسی متیل سلولوز- ژلاتین (Mu *et al.*, 2012)،

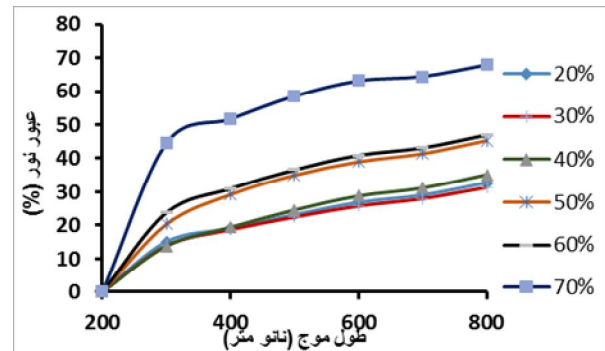
گلیسرول به علت داشتن اندازه کوچک وارد فضای بین زنجیره‌های پلیمر شده و نیروهای بین زنجیره‌ها را تضعیف کرده و باعث افزایش فضای بین زنجیره‌ها می‌شود. بنابراین، این امر احتمالاً

در مخلوط با هم پیوند شیمیایی برقرار کرده که تغییرات در ساختار را می‌توان در ویژگی پیک‌های ظاهر شده مشاهده کرد. شکل ۱ طیف مادون قرمز فیلم‌های ترکیبی پلی‌وینیل الکل / صمغ قدومه شیرازی که حاوی ۲۰ تا ۷۰ درصد گلیسرول می‌باشند را نشان می‌دهد. با مقایسه طیف‌های موجود، زمانی که غلظت گلیسرول افزایش می‌یابد تغییراتی در پیک‌های فیلم ایجاد می‌شود. نواحی مشخص طیف مادون قرمز فیلم ترکیبی پلی‌وینیل الکل - صمغ قدومه شیرازی شامل پیک پهن در ناحیه $3100-3500 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات کششی گروه هیدروکسیل صمغ قدومه شیرازی، پلی‌وینیل الکل و آب (Synytsya *et al.*, 2003) و پهنای باند $2800-3000 \text{ cm}^{-1}$ که مربوط به ارتعاش کششی C-H می‌باشد (Yuen *et al.*, 2009). با افزایش غلظت گلیسرول از ۲۰ به ۷۰ درصد (وزنی / وزنی)، شدت پیک موجود در پهنای باند $3300-3500 \text{ cm}^{-1}$ افزایش یافت. این تغییر را می‌توان به افزایش گروه‌های هیدروکسیل آزاد و درگیر موجود در ترکیب (صمغ، پلی‌وینیل الکل و گلیسرول) و همچنین به جذب آب بیشتر توسط این فیلم‌ها نسبت داد (Haq *et al.*, 2014). در همین ناحیه، با افزایش غلظت گلیسرول عدد موجی بیشترین شدت جذب از عدد موج 3369 cm^{-1} به 3399 cm^{-1} انتقال پیدا کرد. این امر نشان‌دهنده تغییر در ماهیت پیوندهای هیدروژنی موجود در فیلم بود. در غلظت‌های بالاتر پیک‌های نامتقارن در عدد موج‌های بالاتر هم دیده شد. بطور کلی سه نوع پیوند هیدروژنی در ترکیب فیلم وجود دارد که شامل پیوندهای بین گروه‌های هیدروکسیل پلیمر، گروه‌های هیدروکسیل پلی‌مر و هیدروکسیل گلیسرول و گروه‌های هیدروکسیل گلیسرول است. تنوع در این پیوندها انرژی‌های متفاوت به همراه دارد. در غلظت پائین گلیسرول همه گروه‌های هیدروکسیل پلیمر با گروه‌های هیدروکسیل مولکول‌های گلیسرول پیوند برقرار می‌کنند. بنابراین برهمکنش‌های پلی‌مر-پلیمر به برهمکنش پلیمر-پلاستی‌سایزر تبدیل می‌گردد. این را اثر حالیت^۱ پلاستی‌سایزر می‌نامند (Fabra *et al.*, 2010). به هر حال با افزایش میزان گلیسرول گروه‌های هیدروکسیل آزاد در گلیسرول افزایش یافته که همین امر سبب انتقال پیک به طول موج بالاتر می‌گردد.

ریزساختار

ریزساختار فیلم می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد ارتباط بین ساختار با برخی از ویژگی‌های فیلم (مانند نفوذپذیری به بخار آب، ویژگی‌های مکانیکی و ویژگی‌های ظاهری) در اختیار قرار دهد (Jouki *et al.*, 2013b). شکل ۳ سطح مقطع و ریزساختار سطحی نمونه‌هایی با درصد‌های مختلف گلیسرول را نشان می‌دهد.

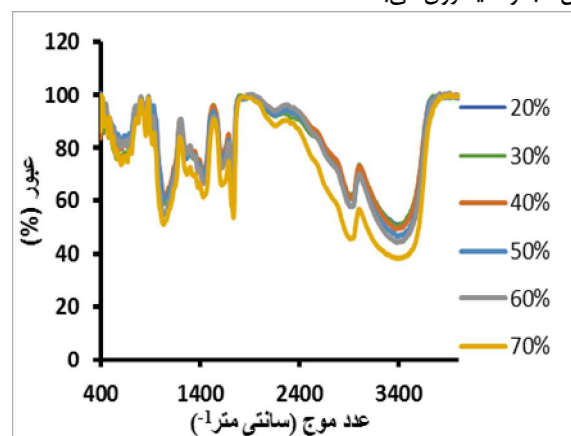
صمغ قدومه شهری (Seyedi *et al.*, 2014)، صمغ قدومه شیرازی - پروتئین نخود (Ebrahimi *et al.*, 2016) و نشاسته ذرت-کیتوزان (Garcia *et al.*, 2006) گزارش شده است. افزایش درصد گلیسرول در فیلم توانایی مسدود کردن نور فرا بنفش را بهبود بخشید (شکل ۱).



شکل ۱- درصد عبور نور فیلم ترکیبی صمغ قدومه شیرازی-پلی وینیل الکل با نسبت‌های مختلف گلیسرول

طیف‌سنج مادون قرمز

آنالیز طیف مادون قرمز برای تعیین گروه عاملی و نوع برهمکنش‌های بین صمغ قدومه شیرازی، پلی‌وینیل الکل و پلاستی‌سایزر انجام شد. پیک مشخصه گلیسرول در عدد موج معادل 1429 cm^{-1} برای نمونه حاوی ۲۰ درصد گلیسرول ظاهر شد (شکل ۲) (Wilhelm *et al.*, 2003). با افزایش درصد گلیسرول از ۲۰ به ۷۰ درصد این پیک از طول موج 1429 cm^{-1} به 1431 cm^{-1} انتقال پیدا کرد. این انتقال عدد موج نشان‌دهنده فعل و انفعالات انجام شده بین آب و گلیسرول می‌باشد.

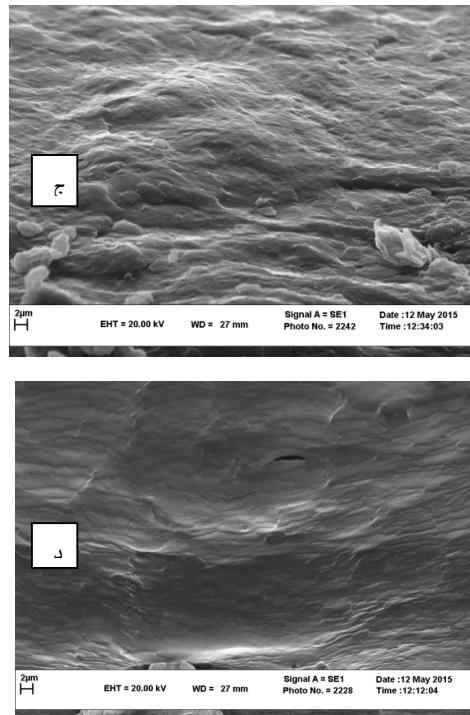
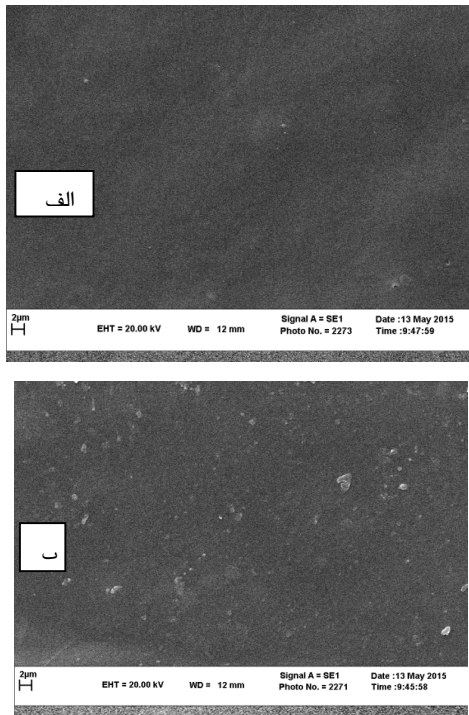


شکل ۲- طیف اسپکتروسکوپی FT-IR فیلم ترکیبی صمغ قدومه شیرازی-پلی وینیل الکل با نسبت‌های مختلف گلیسرول

برای تثبیت برهمکنش، آنالیز طیف مادون قرمز مورد استفاده قرار می‌گیرد، وقتی که دو یا چند ماده با هم مخلوط می‌شود، مواد موجود

موثر باشد. نتیجه مشابهی در فیلم‌های تهیه شده از صمغ دانه شاهی (Seyedi *et al.*, 2013a)، صمغ دانه قدومه شهری (Jouki *et al.*, 2014) آلژینات (Jost *et al.*, 2014) و صمغ دانه ریحان (Khazaei *et al.*, به دست آمد.

افزایش غلظت گلیسرول تغییر اندکی در ساختار فیلم‌ها مشاهده شد. تصاویر نشان می‌دهد، فیلم با نسبت بالاتر گلیسرول سطح یکنواخت‌تری داشته و برخلاف انواع دیگر هیچ‌گونه منفذی در آن دیده نمی‌شود. این امر می‌تواند در افزایش میزان کش‌آمدگی فیلم



شکل ۳- سطح و مقطع عرضی فیلم ترکیبی صمغ قدومه شیرازی- پلی وینیل الکل با نسبت‌های مختلف گلیسرول. میکروگراف‌های سطحی ۴۰ (الف)، ۷۰ (ب) و مقطع عرضی ۴۰ (ج)، ۷۰ (د) درصد گلیسرول.

رنگ نمونه‌ها با پلیت سفید کاهش یافت. آنالیز طیف مادون قرمز هم نشان داد که با افزایش درصد گلیسرول از ۲۰ به ۷۰ درصد برخی پیک‌ها به عدد موجی بالاتری انتقال پیدا کردند. این انتقال عدد موج نشان‌دهنده فعل و انفعالات انجام شده بین آب و گلیسرول می‌باشد. فیلم با درصد بالاتر گلیسرول تصاویر ریز ساختار با سطوح یکنواخت و بدون منفذی را نشان دادند.

قدردانی

این مقاله بر اساس طرح پژوهشی شماره ۳ گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است. لذا بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد تشکر و قدردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که گلیسرول نقش اساسی و مهمی را در تولید فیلم ترکیبی هموزن و انعطاف پذیر را بر عهده دارد. در این تحقیق از نسبت‌های ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ (وزنی/وزنی) گلیسرول برای تهیه فیلم‌های ترکیبی پلی‌وینیل الکل / صمغ قدومه شیرازی استفاده شد. در نسبت ۲۰٪ گلیسرول، فیلم ترکیبی کمترین مقدار نفوذ پذیری به بخار آب ($4/9 \text{ g mm/m}^2 \text{ kPa d}$)، میزان کش‌آمدگی (۲/۱٪)، حلالیت در آب (۱۶/۶٪) و بیشترین مقدار در مقاومت به کشش (۶۴/۶ مگا پاسکال) و زاویه تماس با قطره آب (۷۴/۵۲ درجه) را داشت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، در فیلم ترکیبی پلی‌وینیل الکل / صمغ قدومه شیرازی با افزایش غلظت گلیسرول میزان روشنایی، زردی و شفافیت فیلم افزایش و میزان قرمزی کاهش یافت. بطور کلی فاکتورهای رنگی شامل اندیس سفیدی، اندیس زردی و میزان اشباعیت رنگ افزایش و اختلاف

- Abdollahi, M., Alboofetileh, M., Rezaei, M., & Behrooz, R, (2013). Comparing physico-mechanical and thermal properties of alginate nanocomposite films reinforced with organic and/or inorganic nanofillers. *Food Hydrocolloids*, 32(2), 416-424 .
- Abugoch, L. E ., Tapia, C., Villamán, M. C., Yazdani-Pedram, M., & Díaz-Dosque, M, (2011). Characterization of quinoa protein–chitosan blend edible films. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 879-886 .
- 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 ovata* Forsk). *Journal of Food Engineering*, 109(4), 745-751 .
- Angles, M. N., & Dufresne, A, (2000). Plasticized starch/tunicin whiskers nanocomposites. 1. Structural analysis. *Macromolecules*, 33(22), 8344-8353 .
- Antoniou, J., Liu, F., Majeed, H., Qazi, H. J., & Zhong, F, (2014). Physicochemical and thermomechanical characterization of tara gum edible films: effect of polyols as plasticizers. *Carbohydrate polymers*, 111, 359-365 .
- Arismendi, C., Chillo, S., Conte, A., Del Nobile, M. A., Flores, S., & Gerschenson, L. N, (2013). Optimization of physical properties of xanthan gum/tapioca starch edible matrices containing potassium sorbate and evaluation of its antimicrobial effectiveness. *LWT-Food Science and Technology*, 53(1), 290-296 .
- ASTM, Designation E96-00, (2000). Standard method for water Vapor transmission of materials. In Annual Book of ASTM Standards. *American Society for Testing and Materials*.
- ASTM, Designation D882-02, (2002). Standard method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. In Annual Book of ASTM Standards. *American Society for Testing and Materials*.
- da Silva, M. A., Bierhalz, A. C. K., & Kieckbusch, T. G, (2009). Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca 2+ ions: effect of the plasticizer concentration. *Carbohydrate polymers*, 77(4), 736-742 .
- Ebrahimi, S. E., Koocheki, A., Milani, E., & Mohebbi, M, (2015). Interactions between *Lepidium perfoliatum* seed gum–grass pea (*Lathyrus sativus*) protein isolate in composite biodegradable film. *Food Hydrocolloids* .
- Fabra, M., Talens, P., & Chiralt, A, (2010). Water sorption isotherms and phase transitions of sodium caseinate–lipid films as affected by lipid interactions. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 384-391 .
- Garcia, M. A., Pinotti, A., & Zaritzky, N. E, (2006). Physicochemical, water vapor barrier and mechanical properties of corn starch and chitosan composite films. *Starch □ Stärke*, 58(9), 453-463 .
- Gennadios, A., Weller, C., Hanna, M., & Froning, G, (1996). Mechanical and barrier properties of egg albumen films. *Journal of food science*, 61(3), 585-589 .
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., & Entezami, A. A, (2010). Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. *Innovative food science & emerging technologies*, 11(4), 697-702 .
- Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., & Oromiehie, A, (2011). Physical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from kefiran. *Carbohydrate polymers*, 84(1), 477-483 .
- Gontard, N., & Guilbert, S, (1994). Bio-packaging: technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin Food packaging and preservation (pp. 159-181): *Springer*.
- Gontard, N., Guilbert, S., & Cuq, J. L, (1993). Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *Journal of food science*, 58(1), 206-211 .
- Gupta, B., Agarwal, R., & Sarwar Alam, M. S. (2013). Preparation and characteri-zation of polyvinyl alcohol–polyethylene oxide–carboxymethyl cellulose blendmembranes. *Journal of Applied Polymer Science*, 127(2), 1301–1308.
- Han, J. H., & Floros, J. D, (1997). Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 13(4), 287-298 .
- Haq, M. A., Hasnain, A., & Azam, M, (2014). Characterization of edible gum cordia film: Effects of plasticizers. *LWT-Food Science and Technology*. 55(1), 163-169.
- Hesarinejad, M. A., Razavi, S. M., & Koocheki, A, (2015). Alyssum homolocarpum seed gum: Dilute solution and some physicochemical properties. *International journal of biological macromolecules*, 81, 418-426 .
- Jia, D., Fang, Y., & Yao, k, (2009). Water vapor barrier and mechanical properties of konjac glucomannan–chitosan–soy protein isolate edible films. *Food and bioproducts processing*, 87(1), 7-10 .
- Jost, V., Kobsik, K., Schmid, M., & Noller, K, (2014). Influence of plasticiser on the barrier, mechanical and grease resistance properties of alginate cast films. *Carbohydrate polymers*, 110, 309-319 .
- Jouki, M., Khazaei, N., Ghasemlou, M., & HadiNezhad, M, (2013a). Effect of glycerol concentration on edible film production from cress seed carbohydrate gum. *Carbohydrate polymers*, 96(1), 39-46 .
- Jouki, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., & Koocheki, A, (2013b). Physical, barrier and antioxidant properties of a

- novel plasticized edible film from quince seed mucilage. *International journal of biological macromolecules*, 62, 500-507 .
- Kanatt, S. R., Rao, M., Chawla, S., & Sharma, A. (2012). Active chitosan–polyvinyl alcohol films with natural extracts. *Food Hydrocolloids*, 29(2), 290-297 .
- Khazaei, N., Esmaili, M., Djomeh, Z. E., Ghasemlou, M., & Jouki, M. (2014). Characterization of new biodegradable edible film made from basil seed (*Ocimum basilicum* L.) gum. *Carbohydrate polymers*, 102, 199-206 .
- Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., Razavi, S., Kadkhodae, R., & Milani, J. M. (2010). Optimization of mucilage extraction from Qodume shirazi seed (*Alyssum homolocarpum*) using response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering*, 33(5), 861-882 .
- Koocheki, A., Shahidi, F., Mortazavi, S.A., Karimi, M., & Milani, E. (2011). Effect of QodumeShirazi (*Alyssum Homolocarpum*) seed and xanthan gum on rheological properties of wheat flour dough and quality of bread. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 7(1): 9-16.
- Kowalczyk, D., & Baraniak, B. (2011). Effects of plasticizers, pH and heating of film-forming solution on the properties of pea protein isolate films. *Journal of Food Engineering*, 105(2), 295-305 .
- Kurt, A., & Kahyaoglu, T. (2014), Characterization of a new biodegradable edible film made from salep glucomannan. *Carbohydrate polymers*, 104, 50-58.
- Li, Y., Jiang, Y., Liu, F., Ren, F., Zhao, G., & Leng, X. (2011). Fabrication and characterization of TiO₂/whey protein isolate nanocomposite film. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1098-1104 .
- Mali, S., Sakanaka, L., Yamashita, F., & Grossmann, M. (2005). Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. *Carbohydrate polymers*, 60(3), 283-289 .
- Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). *Food packaging—roles, materials, and environmental issues*. *Journal of food science*, 72(3), R39-R55 .
- Martins, J. T., Cerqueira, M. A., Bourbon, A. I., Pinheiro, A. C., Souza, B. W., & Vicente, A. A. (2012). Synergistic effects between κ -carrageenan and locust bean gum on physicochemical properties of edible films made thereof. *Food Hydrocolloids*, 29(2), 280-289 .
- Mchugh, T. H., Aujard, J. F., & Krochta, J. (1994). Plasticized whey protein edible films: water vapor permeability properties. *Journal of food science*, 59(2), 416-419 .
- Motedayen, A. A., Khodaiyan, F., & Salehi, E. A. (2013). Development and characterisation of composite films made of kefir and starch. *Food chemistry*, 136(3), 1231-1238 .
- Mu, C., Guo, J., Li, X., Lin, W., & Li, D. (2012). Preparation and properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatin edible films. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 22-29 .
- Müller, C. M., Yamashita, F., & Laurindo, J. B. (2008). Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. *Carbohydrate polymers*, 72(1), 82-87 .
- Muñoz, L., Aguilera, J., Rodriguez-Turienzo, L., Cobos, A., & Diaz, O. (2012). Characterization and microstructure of films made from mucilage of *Salvia hispanica* and whey protein concentrate. *Journal of Food Engineering*, 111(3), 511-518 .
- Nkwachukwu, O. I., Chima, H. C., Ikenna, A. O., & Albert, L. (2013). Focus on potential environmental issues on plastic world towards a sustainable plastic recycling in developing countries. *International Journal of Industrial Chemistry*, 4, 1-34.
- Piermaria, J., Bosch, A., Pinotti, A., Yantorno, O., Garcia, M. A., & Abraham, A. G. (2011). Kefiran films plasticized with sugars and polyols: water vapor barrier and mechanical properties in relation to their microstructure analyzed by ATR/FT-IR spectroscopy. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1261-126 .
- Piermaria, J. A., Pinotti, A., Garcia, M. A., & Abraham, A. G. (2009). Films based on kefir, an exopolysaccharide obtained from kefir grain: Development and characterization. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 684-690 .
- Ramos, Ó. L., Reinas, I., Silva, S. I., Fernandes, J. C., Cerqueira, M. A., Pereira, R. N., & Malcata, F. X. (2013). Effect of whey protein purity and glycerol content upon physical properties of edible films manufactured therefrom. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 110-122 .
- Razavi, S. M. A., Amini, A. M., & Zahedi, Y. (2015). Characterisation of a new biodegradable edible film based on sage seed gum: Influence of plasticiser type and concentration. *Food Hydrocolloids*, 43, 290-298 .
- Rezaee Taghiabadi, M., Maftoonazad, N., Badiie, F., & Hosseini, S.A. A. (2013). Evaluation of factors affecting mechanical properties, opacity and water vapor permeability of edible films based on gum tragacanth by using RSM method. *Journal of Food Science*, 9 (37), 123 to 134.
- Saurabh, C. K., Gupta, S., Bahadur, J., Mazumder, S., Variyar, P. S., & Sharma, A. (2013). Radiation dose dependent change in physicochemical, mechanical and barrier properties of guar gum based films. *Carbohydrate polymers*,

- 98(2), 1610-1617 .
- Seyedi, S., Koocheki, A., Mohebbi, M., & Zahedi, Y. (2014). Lepidium perfoliatum seed gum: A new source of carbohydrate to make a biodegradable film. *Carbohydrate polymers*, 101, 349-358 .
- Shen, Z., Ghasemlu, M., & Kamdem, D. P. (2015). Development and compatibility assessment of new composite film based on sugar beet pulp and polyvinyl alcohol intended for packaging applications. *Journal of applied polymer science*, 132, 41354.
- Silva, F. E. F., Batista, K. A., Di-Medeiros, M. C. B., Silva, C. N. S., Moreira, R. B., & Fernandes, K. F. (2016). A stimuli-responsive and bioactive film based on blended polyvinyl alcohol and cashew gum polysaccharide. *Materials Science and Engineering*, 58, 927-934.
- Sothornvit, R., & Krochta, J. (2005). Plasticizers in edible films and coatings. *Innovations in food packaging*, 403-433 .
- Sothornvit, R., & Krochta, J. M. (2001). Plasticizer effect on mechanical properties of β -lactoglobulin films. *Journal of Food Engineering*, 50(3), 149-155 .
- Souza, B. W., Cerqueira, M. A., Teixeira, J. A., & Vicente, A. A. (2010). The use of electric fields for edible coatings and films development and production: a review. *Food Engineering Reviews*, 2(4), 244-255 .
- Srinivasa, P., Ramesh, M., Kumar, K., & Tharanathan, R. (2003). Properties and sorption studies of chitosan-polyvinyl alcohol blend films. *Carbohydrate polymers*, 53(4), 431-438 .
- Su, J.-F., Huang, Z., Yuan, X.-Y., Wang, X.-Y., & Li, M. (2010). Structure and properties of carboxymethyl cellulose/soy protein isolate blend edible films crosslinked by Maillard reactions. *Carbohydrate polymers*, 79(1), 145-153 .
- Sun, Q., Sun, C., & Xiong, L. (2013). Mechanical, barrier and morphological properties of pea starch and peanut protein isolate blend films. *Carbohydrate polymers*, 98(1), 630-637 .
- Suyatma, N. E., Tighzert, L., Copinet, A., & Coma, V. (2005). Effects of hydrophilic plasticizers on mechanical, thermal, and surface properties of chitosan films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 3950-3957 .
- Synitsya, A., Čopíková J., Matějka, P., & Machovič, V. (2003). Fourier transform Raman and infrared spectroscopy of pectins. *Carbohydrate polymers*, 54(1), 97-106 .
- Thakhiew, W., Devahastin, S., & Soponronnarit, S. (2010). Effects of drying methods and plasticizer concentration on some physical and mechanical properties of edible chitosan films. *Journal of Food Engineering*, 99(2), 216-224 .
- Tian, H., Xu, G., Yang, B & Guo, G. (2011). Microstructure and mechanical properties of soy protein/agar blend films: Effect of composition and processing methods. *Journal of Food Engineering*, 107(1), 21-26 .
- Wilhelm, H.-M., Sierakowski, M.-R., Souza, G., & Wypych, F. (2003). Starch films reinforced with mineral clay. *Carbohydrate polymers*, 52(2), 101-110 .
- Yang, S. Y., & Huang, C. Y. (2008). Plasma treatment for enhancing mechanical and thermal properties of biodegradable PVA/starch blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 109(4), 2452-2459.
- Yuen, S.-N., Choi, S.-M., Phillips, D. L., & Ma, C.-Y. (2009). Raman and FTIR spectroscopic study of carboxymethylated non-starch polysaccharides. *Food chemistry*, 114(3), 1091-1098.
- Zhou, J., Wang, S., & Gunasekaran, S. (2009). Preparation and characterization of whey protein film incorporated with TiO₂ nanoparticles. *Journal of food science*, 74(7), N50-N56 .

The Effect of Different Concentrations of Glycerol on Properties of Blend Films Based on Polyvinyl Alcohol-*Allysum Homolocarpum* Seed Gum

L. Monjazez Marvdashti¹, M. Yavarmanesh^{2*}, A. Koocheki³

Received: 2016.01.13

Accepted: 2016.06.18

Introduction: Packaging is an important factor in food industry and is dominated by petroleum-derived polymers. Therefore, the amount of research involving the production and characterization of biodegradable films has increased substantially, mainly due to interest in minimizing the ecological impact caused by the use of synthetic packaging materials. Several biopolymers have been exploited to develop eco-friendly food packaging materials. Usually, films based on biopolymers are highly sensitive to environmental conditions and generally present low mechanical resistance. As a result, several researchers have developed films based on mixtures of biopolymers and synthetic polymers. In order to increase the workability and flexibility of biodegradable films, various plasticizers, usually poly-ols, have been widely used, glycerol being one of the most preferred and most studied. Plasticizers reduce intermolecular forces, increase the mobility of the biopolymer chains and thereby improve the mechanical properties of the films. Therefore, the aim of the present study were to investigate the effect of different proportions (20-100% w/w) of plasticizer (glycerol) on physicochemical, mechanical, permeability, surface and thermal properties of biodegradable PVA-AHSG blend films.

Polymer blending is one of the most effective methods to have new material with desired properties. Films formed by blending of polymers usually results in modified physical and mechanical properties compared to films made of individual components. Since synthetic polymers are easily obtained and have low production cost, blending of natural and synthetic polymers improves the cost performance ratio of the resulting films.

Since *Alyssum homolocarpum* seed gum (AHSG) is environmentally friendly due to its biodegradability and has good film forming properties, it is considered as a very promising biopolymer.

Some synthetic polymers from non-renewable sources are also biodegradable, such as polyvinyl alcohol (PVA). PVA is a synthetic, water soluble polymer with excellent film forming, emulsifying, and adhesive properties. It also imparts good tensile strength (TS) and biodegradability and hence has been used in many biomaterial applications. PVA has also been approved for use in packaging meat and poultry products by the USDA (DeMerlis&Schonek, 2003). AHSG contains free hydroxyl and amine groups, and is therefore miscible with PVA due to the formation of hydrogen bonds.

Materials and methods: The aim of this study was to investigate the possibility of producing a novel biodegradable blend film from PVA-AHSG with glycerol as plasticizer in the different concentrations. Films were prepared by the casting method using PVA and AHSG (60:40 ratio). Glycerol was used as plasticizer because it is compatible with PVA-AHSG blend improving film flexibility, facilitating its handling and preventing cracks. The PVA-AHSG blend film was prepared with different glycerol concentration (20-70%, w/w). The optical properties such as opacity and color were measured. Water vapor permeability, moisture content, water solubility and density of the films were also investigated. Films were evaluated for mechanical and antioxidant properties. The PVA-AHSG blend films were characterized using DSC, FTIR and scanning electron microscopy.

Results and Discussion: The results of this study showed that blend of PVA and AHSG could be used as a new film-forming material. However, it was not possible to make PVA-AHSG blend films without addition of glycerol as a plasticizer to the formula. Glycerols in 20-70% (w/w) concentration were used to prepare the blend films. At the level of 20% (W/W) of glycerol, PVA-AHSG blend films had the lowest thickness (0.065 mm), moisture sorption (118.76%), water vapor permeability (WVP) values ($4.9 \text{ g mm m}^{-2} \text{ kPa}^{-1} \text{ d}^{-1}$), elongation at break (EB)(2.1%), moisture content (22.5%) and water solubility (16.6%) and the highest values for tensile

1, 2 and 3. Former MSc student, Assistant professor and Associated Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

(*-Corresponding Author Email: yavarmanesh@um.ac.ir)

strength (TS)(64.6 MPa), young modulus (YM) (892 MPa), density (0.109 g cm^{-3}), opacity (0.069 A/mm) and water contact angle (74.52°). Increasing of glycerol concentration in PVA-AHSG blend films resulted in increase in water vapor permeability and percent of elongation while, decreased tensile strength and surface hydrophobicity.

Increasing the glycerol concentration significantly ($p < 0.05$) diminished initial water contact angle of films from 74.52° to 37.80° . It has been shown that the addition of plasticizers diminished the films' water contact angle, which in turn, decreased hydrophobicity of the films. The higher hydro-philicity of the samples is attributable to the hygro-scopicity (water-binding capacity) of the plasticizer. Plasticizer can diminish interactions between biopolymer molecules and increase solubility due to its hydrophilic nature, giving the polymer molecules higher affinity to attract water. The moisture content increased significantly from 22.5% to 40.9% as the plasticizer content increased ($p < 0.05$). Because of glycerol acts as a water-holding agent, with the higher number of water molecules in glycerol-plasticized films increasing plasticizing activity. WVP increases as plasticizer content of the film increases due to its hydrophilic nature. WVP can be directly related to the quantity of OH group on the molecule. Also, environmental conditions can significantly affect the WVP. Increasing plasticizer concentration decreased the intermolecular forces between polymer chains and increased free volume and segmental motions, allowing water molecules to diffuse more easily and giving a higher WVP. Mechanical strength of films decreases due to plasticizer addition resulting in decreased tensile strength and increased elongation. The measurement of color values showed that by the increasing of the glycerol concentration in polymers blend matrix, the b and L values increased while a value decreased. Furthermore, the addition of glycerol promoted the interactions among PVA, AHSG and glycerol through hydrogen bonding as reflected on the shifting of main peaks of the glycerol-free film to higher wavenumbers as shown by FTIR spectra. Microscopic views indicated smooth and uniform surface morphology without obvious cracks, breaks, or openings on the surfaces after the incorporation of glycerol as a plasticizer. Scanning electron microscopy showed that the microstructure of PVA-AHSG blend films have a critical effect on their physical and mechanical properties that is important in food packaging applications.

Keywords: *Alyssum homolocarpum* seeds gum; Biodegradable; Polyvinyl alcohol; Glycerol.