

# تأثیر غلظت‌های متفاوت گلیسرول و سوربیتول بر خصوصیات فیلم خوراکی بر پایه ایزوله پروتئین کانولا

فرزانه ولی پور<sup>\*۱</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی پردیس بین‌المللی ارس دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۲۲)

## چکیده

فیلم‌های خوراکی، از ایزوله پروتئین کانولا (CPI) حاوی مقادیر مختلف گلیسرول و سوربیتول (۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰٪ وزنی-وزنی بر پایه پروتئین) تولید شدند. هدف از این مطالعه، بررسی اثر نوع و غلظت پلاستیسایزرها بر خصوصیات فیلم‌های بدست آمده از CPI بود. نوع و غلظت پلاستیسایزر بطور معنی‌داری خصوصیات مکانیکی، ممانعتی، دمایی، سطحی و همچنین کدورت فیلم‌ها را تحت تأثیر قرار داد ( $P < 0/05$ ). همانطور که غلظت پلاستیسایزر افزایش یافت، مقاومت در برابر پارگی (TS) کاهش یافت، در حالی که میزان کشیدگی فیلم تا لحظه پاره شدن (EAB) و نفوذپذیری به بخار آب افزایش یافت. روند رفتاری مشابهی نیز برای حلالیت فیلم مشاهده گردید، که با افزایش غلظت پلاستیسایزر افزایش یافت. فیلم‌های دارای سوربیتول، بیشترین مقادیر مقاومت در برابر پارگی را داشتند، در هر حال، تأثیر سوربیتول بر نفوذپذیری به بخار آب کم بود. در مقابل، فیلم‌های دارای گلیسرول، پائین‌ترین مقادیر مقاومت در برابر پارگی را نمایش دادند، که سبب افزایش نفوذپذیری به بخار آب گردید. کدورت فیلم‌های دارای گلیسرول، کمتر از فیلم‌های دارای سوربیتول بود، و با افزایش میزان پلاستیسایزر کاهش یافت ( $P < 0/05$ ). همچنین، کاهش معنی‌داری در دمای انتقال شیشه‌ای ( $T_g$ ) و مقادیر هیدروفوبیسیتیه سطحی با افزایش میزان پلاستیسایزر مشاهده گردید ( $P < 0/05$ ). مشاهده شد که فیلم‌های دارای سوربیتول، مقادیر رطوبت کمتری را نسبت به فیلم‌های دارای گلیسرول داشتند.

**کلید واژگان:** فیلم خوراکی، ایزوله پروتئین کانولا (CPI)، پلاستیسایزر، خصوصیات مکانیکی، خصوصیات ممانعتی، دمای انتقال شیشه‌ای.

\*مستول مکاتبات: farzane\_vm@yahoo.com

## ۱- مقدمه

فیلم‌های خوراکی تولید شده از مواد زیست‌تخریب‌پذیر (مانند پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها و لیپیدها) توجه زیادی را در صنعت غذا به خود جلب کرده‌اند، زیرا نیاز مصرف‌کننده به جایگزین‌هایی برای مواد بسته‌بندی مرسوم بر پایه‌ی نفت، که محیط زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهند، افزایش یافته است [۱، ۲]. فیلم‌های خوراکی تجزیه‌پذیر زیستی از پروتئین‌ها (مانند ژلاتین، گلوتن گندم و پروتئین بادام‌زمینی)، پلی‌ساکاریدها (مانند کیتوزان، پکتین و نشاسته) و لیپیدها (مانند موم و رزین)، خصوصیات مکانیکی و ممانعتی را فراهم می‌کنند، و علاوه بر آن می‌توانند به شکل حامل مواد فعال زیستی (مانند صمغ سدیم آلزینات-ژلان دارای N-استیل سیستئین و گلوکوتایون [۳]) یا ترکیبات آنتی‌میکروبی (مانند فیلم بر پایه هیدروکسیل پروپیل متیل سلولز حاوی نایسین [۴]) برای حفظ کیفیت محصول و افزایش ماندگاری فرموله شوند [۵]. معمولا، فیلم‌های بر پایه پروتئین و پلی‌ساکارید به سمت خصوصیات مطلوب مکانیکی و ممانعت‌کنندگی به گاز گرایش دارند اما به دلیل طبیعت هیدروفیلیک‌شان، خصوصیت ضعیف ممانعت‌کنندگی به بخار آب دارند [۶]. در مقابل، فیلم‌های بر پایه‌ی لیپید، در کنترل پخش گاز و مقابله با استرس‌های مکانیکی ضعیف هستند، اما به دلیل طبیعت هیدروفوبشان در کنترل مهاجرت رطوبت مناسب می‌باشند [۶]. به دلیل نگرانی‌های ایمنی (مانند بیماری پریون) و برخی محدودیت‌های رژیمی مرتبط با استفاده از پروتئین‌های با منشأ حیوانی برای آماده‌سازی فیلم‌ها؛ پروتئین‌های گیاهی، مانند پروتئین‌های سویا [۷، ۸]، آفتابگردان [۹]، باقلا [۱۰]، کلزا [۱۱]، به عنوان گزینه‌هایی عالی در نظر گرفته می‌شوند.

کانولا (*Brassicaceae spp.*) امروزه عمدتاً به دلیل روغن غنی از اسیدهای چرب غیراشباعش، که برای مقاصد پخت و پز و بیودیزل استفاده می‌گردد، پرورش داده می‌شود [۱۲].

محصول جانبی بدست آمده از صنعت روغن کانولا، یک ماده غنی از پروتئین و فیبر است که در بازار بسیار کم استفاده می‌گردد و عموماً برای استفاده به عنوان غذای دام فروخته می‌شود. میزان پروتئین درون این خوراک<sup>۲</sup> می‌تواند تا ۵۰٪ بر اساس وزن خشک باشد، همچنین پروفایل اسید آمینه متوازی دارد [۱۳]. اکثریت این پروتئین‌ها یک پروتئین گلوبولینی محلول در نمک بنام کروسیفرین<sup>۳</sup> (۱۱S)؛ وزن مولکولی kDa ۳۰۰؛  $\text{pI}$  ۶۰٪؛ از پروتئین کل، و یک پروتئین آلبومینی محلول در آب، که به عنوان نپین<sup>۴</sup> (۲۵S)؛ وزن مولکولی kDa ۱۵-۱۲/۵؛  $\text{pI}$  ۲۰٪؛ از پروتئین کل) شناخته می‌شود، هستند [۱۴]. گرچه خصوصیات فانکشنال کنستانتتره یا ایزوله پروتئین کانولای تولید شده از خوراک، مانند حلالیت پروتئین، پایداری امولسیون، و ظرفیت کف زایی، بررسی شده اند [۵]، اما کاربرد آنها در صنعت غذا، مانند بسته بندی، هنوز نیاز به بررسی دارد.

در تلاش برای بهبوددهی خصوصیات مکانیکی و ممانعتی فیلم‌های بر پایه‌ی پروتئین، فاکتورهای زیادی شامل غلظت پروتئین [۱۱]، غلظت/نوع پلاستیسایزر [۱۵-۱۷]، شرایط تشکیل فیلم (مانند pH، دما و حضور نمک‌ها) [۲، ۱۰] پیش از این بررسی شده‌اند. به منظور بهبود انعطاف‌پذیری و غلبه بر شکنندگی فیلم‌ها، پلاستیسایزرهایی (مانند گلیسرول و سوربیتول) معمولاً برای نرم کردن ساختار اضافه می‌شوند [۱۵-۱۷]. کارایی آنها به ترکیب، اندازه و شکل پلاستیسایزر استفاده شده بستگی دارد [۱۸].

هدف کلی از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر نوع و غلظت پلاستیسایزرهای گلیسرول و سوربیتول بر خصوصیات مکانیکی، ممانعتی، دامایی، سطحی و کدورت فیلم‌های خوراکی بر پایه ایزوله پروتئین کانولا (CPI) بود. افزایش استفاده از پروتئین کانولا می‌تواند واردسازی آنها را به بازار پروتئین گیاهی افزایش دهد.

2. Meal  
3. Cruciferin  
4. Napin

1. Prion disease

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد شیمیایی

دانه کانولا (*Brassicaceae spp.*) از استان تهران و از شرکت دانه‌های روغنی خریداری شد. سوربیتول (۹۷٪) از شرکت آکروس آمریکا تهیه شد. بقیه مواد شیمیایی از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

### ۲-۲- روش‌ها

#### ۲-۲-۱- آماده‌سازی ایزوله پروتئین کانولا

دانه‌های کانولا، در طول شب در  $40^{\circ}\text{C}$  - نگهداری شده و سپس با استفاده از یک آسیاب سنگی (Morehouse-Cowles, USA) خرد شدند. سپس پوست دانه‌ها جداسازی گردید. روغن دانه‌های بدون پوست، تا حدود ۱۳٪ به طور مکانیکی و با استفاده از یک دستگاه پرس اسکرو، به طور مداوم حذف شد (Komet, Germany). که این عمل در سرعت  $59\text{ rpm}$  و با استفاده از یک منفذ  $3/5$  میلی‌متری انجام گردید. روغن باقی‌مانده در خوراک با استفاده از هگزان (۳)  $\times$  در نسبت ۳:۱ خوراک به هگزان به مدت ۸ ساعت خارج گردید. سپس خوراک به منظور تبخیر هگزان باقی مانده، به مدت ۸ ساعت با هوا خشک شد. CPI از خوراک کانولای چربی‌زدایی شده، بر طبق روش توصیف شده توسط آپتن و فولویو [۱۹]، و کلاسن و همکاران [۲۰] آماده گردید. به طور خلاصه، ۱۰۰ گرم خوراک کانولای چربی‌زدایی شده در ۱۰۰۰ گرم بافر  $0/05\text{ Tris-HCL}$  مولار حاوی  $0/1\text{ NaCl}$  مولار ( $\text{PH} = 7$ ) در دمای اتاق ( $23-21^{\circ}\text{C}$ ) به مدت ۲ ساعت تحت همزنی مداوم مکانیکی حل شد. سپس محلول در

$3000 \times \text{g}$  به مدت ۱ ساعت به منظور جمع‌آوری محلول شفاف رویی، سانتریفوژ گردید (-Sorvall RC Plus Super-speed Centrifuge، آمریکا). محلول شفاف رویی سپس با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ فیلتر شده (Whatman International Ltd، انگلیس) و سپس در  $4^{\circ}\text{C}$  به مدت ۷۲ ساعت به منظور حذف نمک دیالیز گردیده (Spectro/Por، آمریکا) و سپس برای حصول پودر CPI

برای استفاده‌ی بعدی، تحت خشک شدن انجمادی قرار گرفت (Labconco Corporation، کانادا).

ترکیب پروتئین خام پودر CPI با استفاده از AOAC (۱۹۹۵) تعیین شد [۲۱]. CPI تولید شده حاوی  $90/45\%$  پروتئین ( $6/25 \times \text{N}$ ) بود.

#### ۲-۲-۲- آماده‌سازی فیلم‌های بر پایه‌ی ایزوله پروتئین

##### کانولا

محلول‌های تشکیل دهنده‌ی فیلم، با حل کردن آهسته‌ی  $50\%$  وزنی-وزنی CPI در آب مقطر تحت همزنی مداوم مکانیکی در  $500\text{ rpm}$  (IKAMAG RET-G, Germany) آماده شده و سپس با استفاده از  $1\text{ HCL}$  مولار تا  $3/0\text{ pH}$  تعدیل شده (pH اسیدی به منظور تهیه فیلم‌ها انتخاب شد، زیرا CPI در شرایط اسیدی محلول‌تر است) و سپس به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق هم زده شدند. سوربیتول و گلیسرول در غلظت‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد وزنی وزنی بر پایه پروتئین به محلول‌های تشکیل دهنده‌ی فیلم اضافه شده و سپس در  $500\text{ rpm}$  به مدت ۱۰ دقیقه هم زده شدند. محلول‌های تشکیل دهنده‌ی فیلم به مدت ۱۰ دقیقه در یک حمام اولتراسونیک در فرکانس  $40\text{ kHz}$  (Branson 2510R-DTH, USA) در دمای اتاق گاززدایی شدند. پس از آن، محلول‌های تشکیل دهنده‌ی فیلم تا  $50^{\circ}\text{C}$  تحت همزنی در  $500\text{ rpm}$  به مدت ۵ دقیقه حرارت‌دهی شده و سپس بر روی ظروف شیشه‌ای با روکش تفلون ریخته شدند. فیلم‌های CPI پس از خشک شدن در دمای اتاق در طول شب، تشکیل شدند. سپس فیلم‌ها از ظروف جدا شده و درون دسیکاتور حاوی نمک نیترات منیزیم که در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  رطوبت نسبی  $54\%$  ایجاد میکند، قرار داده شدند. دسیکاتورها در انکوباتور با دمای ثابت  $25^{\circ}\text{C}$  قرار داده شدند. همه‌ی فیلم‌ها در ۳ تکرار تولید شدند.

مطالعه‌ی ما نشان داد که فیلم‌های خوراکی منسجم از پروتئین کانولا زمانی آماده می‌شوند که این پلاستیسایزرها در غلظتی بین ۲۰ تا ۷۰ درصد وزنی-وزنی بر پایه‌ی پروتئین افزوده شوند. در هر حال، فیلم‌های حاصله از CPI حاوی ۲۰ درصد وزنی-وزنی سوربیتول، شککننده بودند و طی جداسازی از

مقتر (برای ایجاد رطوبت نسبی ۱۰۰٪ در داخل فنجانک) ریخته شد. نمونه‌های فیلم (هر یک در سه تکرار) روی دهانه فنجانک‌ها توسط گریس، واشر لاستیکی و گیره فلزی تثبیت شده و فنجانک‌ها داخل دسیکاتور حاوی سیلیکاژل (رطوبت نسبی صفر درصد) قرار گرفتند و دسیکاتور در داخل ژرمیناتور با دمای °C ۲۵ قرار گرفت. وزن فنجانک‌ها هر ۱۲ ساعت یک بار تا زمان ثابت شدن اختلاف وزن دو توزین متوالی ثبت شد و مقدار نفوذپذیری به بخار آب با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$WVP = W \cdot X \cdot A^{-1} \cdot t^{-1} \cdot (P_2 - P_1)^{-1}$$

WVP: نفوذپذیری به بخار آب (گرم/متر.پاسکال.ثانیه)

W: میزان کاهش وزن (گرم)

X: میزان ضخامت فیلم (میلی متر)

A: سطح در معرض فیلم (متر مربع)

t: زمان کاهش وزن (ثانیه)

$P_2 - P_1$ : میزان اختلاف فشار در دو سوی فیلم (پاسکال) که این اختلاف فشار در رطوبت ۱۰۰ درصد و دمای °C ۲۵، ۳۱۷۹ پاسکال (با استفاده از جدول بخار آب اشباع) در نظر گرفته شد.

#### ۲-۲-۷- اندازه‌گیری کدورت

مقدار کدورت فیلم‌های خوراکی طبق روش گونارد و همکاران (۱۹۹۲) تعیین گردید [۲۳]. فیلم‌ها به ابعاد مناسب بریده شده و داخل سل اکسپکتروفوتومتر UV-Vis (Shimadzu, UV-160 A, Japan) قرار گرفتند. مقدار جذب فیلم در دامنه طول موج ۸۰۰-۴۰۰ نانومتر اندازه‌گیری و طیف جذبی آن رسم شد. مساحت زیر منحنی "طول موج - جذب" توسط دستگاه مساحت سنج LI-3100C بیان شد و به عنوان کدورت فیلم بیان گردید.

#### ۲-۲-۸- اندازه‌گیری زاویه تماس

برای تعیین زاویه تماس، از روش قطره‌ی چسبنده<sup>۱</sup> که یک روش رایج در تعیین ویژگی مرطوب‌شوندگی سطوح جامد میباشد استفاده شد. با استفاده از یک سرنگ، یک قطره آب مقطر بر روی سطح نمونه‌ها قرار داده شد. توسط دوربین

صفحه‌ی تشکیل فیلم به آسانی می‌شکستند. در مقابل، فیلم‌های تشکیل شده از CPI حاوی ۷۰٪ وزنی-وزنی گلیسرول بسیار چسبنده بودند. نهایتاً، در این مطالعه، خصوصیات فیلم‌های تشکیل شده از CPI حاوی ۶۰-۳۰٪ وزنی-وزنی گلیسرول و سوربیتول مورد آزمون قرار گرفت.

#### ۲-۲-۳- اندازه‌گیری ضخامت

ضخامت نمونه‌ها توسط یک ریزسنج دیجیتال (Mitutoyo, Japan) با دقت ۰/۰۰۱ میلی متر حداقل در ۷ نقطه از فیلم به طور تصادفی اندازه‌گیری و میانگین حاصله در محاسبات منظور شد.

#### ۲-۲-۴- اندازه‌گیری میزان رطوبت

فیلم‌ها در ظروف آلومینیومی قرار داده شدند و در °C ۱۰۵ به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک شدند. میزان رطوبت با توجه به تفاوت وزن اولیه و نهایی و نیز وزن اولیه نمونه‌ها محاسبه شد.

#### ۲-۲-۵- اندازه‌گیری حلالیت

برای انجام آزمون، فیلم‌ها در ابعاد  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  بریده شده و به مدت ۲۴ ساعت داخل آون (دمای °C ۱۰۰) قرار گرفتند. سپس نمونه‌های خشک شده، توزین ( $M_1$ ) و داخل بشرهای حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند. بشرها داخل انکوباتور شیکردار (۷۰ rpm و دمای °C ۲۵) به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس قطعات باقی‌مانده داخل آون (°C ۱۰۰) برای ۲۴ ساعت قرار گرفتند و در پایان توزین شدند ( $M_2$ ). حلالیت فیلم‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید. در این رابطه  $M_1$  ماده خشک اولیه فیلم و  $M_2$  ماده خشک نامحلول فیلم می باشد.

$$\text{Solubility (\%)} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

#### ۲-۲-۶- اندازه‌گیری نفوذپذیری به بخار آب

میزان نفوذپذیری فیلم‌ها نسبت به بخار آب مطابق روش ارائه شده در استاندارد ASTM E96-93 اندازه‌گیری شد [۲۲]. بدین منظور فنجانک‌های شیشه‌ای با قطر داخلی ۳ سانتی‌متر و عمق ۳/۵ سانتی‌متر طراحی و داخل هر یک ۸ میلی‌متر آب

1. Sessile drop

گرمایی - دما" به عنوان دمای انتقال شیشه‌ای در نظر گرفته شد.

### ۲-۱۱- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق از طرح آزمایشی کاملاً تصادفی استفاده شده و داده‌ها با استفاده از آزمون تجزیه واریانس در سطح اطمینان ۹۵٪ به کمک نرم افزار آماری SPSS 19 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

### ۳- نتایج و بحث

معمولاً فیلم‌های پروتئینی نیازمند این هستند که مقداری پلاستیسیزور برای ایجاد انعطاف‌پذیری کافی و جلوگیری از ترک خوردگی فیلم‌ها طی خشک شدن و فرآیندهای حمل و نقل به آنها وارد گردد. عملکرد عمومی پلاستیسیزور، کاهش برهم کنش‌های داخل-مولکولی و بین-مولکولی میان زنجیره‌های پلی‌مری است، که به افزایش فضای خالی ختم میگردد و حرکت مولکولها را تسهیل می کند [۲۵]. نتیجتاً، شبکه‌ی پلیمری نرم و انعطاف‌پذیر می گردد. بسیار مهم است که نوع و مقدار صحیح پلاستیسیزور برای آماده‌سازی فیلم انتخاب گردد، زیرا اثر آن می‌تواند به طور معنی‌داری خصوصیات عملکردی مواد حاصله را تغییر دهد. پلاستیسیزورهایی که متداولاً استفاده می‌شوند، گلیسرول و سوربیتول می‌باشند که در رنج ۱-۲ گرم در هر گرم عامل تشکیل دهنده‌ی فیلم اضافه می‌گردند [۲۶-۳۲].

### ۳-۱- ضخامت

در غلظت ۵ CPI درصد و در مقادیر متفاوت پلاستیسیزور ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد وزنی-وزنی، ضخامت فیلم مقادیر مشابهی را از  $0.03 \pm 0.06$  تا  $0.04 \pm 0.069$  mm نشان داد (جدول ۱). تفاوت‌ها در ضخامت معنی‌دار نبود ( $P > 0.05$ ). همانطور که بوسیله‌ی رودریگوئز و همکاران (۲۰۰۶) نیز مشاهده گردید، ضخامت فیلم CPI تحت تاثیر غلظت گلیسرول و سوربیتول قرار نگرفت [۳۳].

Canon MV50 (ژاپن) با زوم ۶ برابر، از زاویه تماس قطره با سطح فیلم، عکس گرفته شد. سپس برای محاسبه‌ی زاویه‌ی تماس با سطح فیلم‌ها از نرم افزار Adobe Acrobat 8 Professional استفاده شد. محاسبه‌ی زاویه بین خط مماس بر قطره در نقطه‌ی تماس و خط رسم شده در راستای سطح فیلم، زاویه تماس را نشان میدهد. این آزمون در مورد هر یک از فیلم‌ها سه بار تکرار شد.

### ۲-۹- اندازه‌گیری خواص مکانیکی

مقاومت در برابر پارگی (Tensile strength) و میزان کشیدگی فیلم تا لحظه پاره شدن آن (Elongation at break) با دستگاه بافت‌سنج (Zwick, B2 2.5 TH 1S, Germany) برای هر نمونه فیلم حداقل در ۶ تکرار با توجه به استاندارد ASTM D882-91 تعیین گردید [۲۴]. فاصله اولیه بین دو فک دستگاه و سرعت حرکت آن به ترتیب ۵۰ میلی‌متر و ۵۰۰ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم شدند. مقاومت فیلم در برابر پارگی با واحد مگاپاسکال بیان شده و از تقسیم نمودن حداکثر نیروی وارده به حداقل سطح در معرض نمونه محاسبه گردید. میزان کشش فیلم نیز با تقسیم میزان افزایش طول در لحظه پاره شدن به طول اولیه و ضرب عدد حاصله در ۱۰۰ محاسبه گردید.

### ۲-۱۰- اندازه‌گیری دمای انتقال شیشه‌ای<sup>۱</sup>

تعیین دمای انتقال شیشه‌ای با دستگاه کالریمتری روبشی افتراقی<sup>۲</sup> (Shimadzu, DSC-60, Japan) انجام شد. حدود ۲ میلی‌گرم از هر نمونه برای آزمون استفاده شد. آزمون در محدوده دمایی  $100 \pm 200$  °C و با آهنگ تغییرات دمایی  $10$  °C/min انجام گردید. برای کاهش درجه حرارت از دمای محیط تا  $100$  °C از ازت مایع استفاده شد. ابتدا دما از درجه حرارت محیط تا  $100$  °C کاهش داده شد، سپس از این دما تا  $200$  °C افزایش داده شد. آهنگ تغییرات دمایی در هنگام کاهش و افزایش دما یکسان و برابر  $10$  °C/min بود. نقطه تغییر شیب منحنی (نقطه عطف) در نمودار "جریان

1. Glass transition temperature (Tg)

2. Differential Scanning Calorimetry (DSC)

**Table 1** Values (average  $\pm$  standard deviation) of thickness, moisture content and water solubility of CPI-based edible films, with various glycerol and sorbitol contents.

Plasticizer type	Content % (w/w)	Thickness (mm)	Moisture content (%)	Water solubility (%)
Glycerol	30	0.060 $\pm$ 0.003 <sup>a</sup>	21.47 $\pm$ 0.89 <sup>c</sup>	48.11 $\pm$ 1.09 <sup>d</sup>
	40	0.062 $\pm$ 0.003 <sup>a</sup>	27.05 $\pm$ 1.62 <sup>b</sup>	59.14 $\pm$ 0.76 <sup>c</sup>
	50	0.064 $\pm$ 0.002 <sup>a</sup>	31.56 $\pm$ 2.17 <sup>ab</sup>	68.09 $\pm$ 0.91 <sup>bc</sup>
	60	0.066 $\pm$ 0.003 <sup>a</sup>	36.66 $\pm$ 1.51 <sup>a</sup>	70.65 $\pm$ 1.30 <sup>b</sup>
Sorbitol	30	0.066 $\pm$ 0.002 <sup>a</sup>	16.11 $\pm$ 0.91 <sup>e</sup>	60.66 $\pm$ 0.50 <sup>c</sup>
	40	0.066 $\pm$ 0.004 <sup>a</sup>	16.84 $\pm$ 0.77 <sup>e</sup>	55.87 $\pm$ 0.43 <sup>cd</sup>
	50	0.068 $\pm$ 0.002 <sup>a</sup>	17.28 $\pm$ 1.12 <sup>de</sup>	71.08 $\pm$ 0.19 <sup>b</sup>
	60	0.069 $\pm$ 0.004 <sup>a</sup>	18.12 $\pm$ 0.42 <sup>d</sup>	80.34 $\pm$ 0.74 <sup>a</sup>

Note: the values with the same letter are not significantly different at the  $p < 0.05$ .

حفظ کردند. بدون توجه به نوع پلاستیسایزر، افزایش میزان

پلاستیسایزر سبب افزایش حلالیت فیلم گردید (جدول ۱).

بدون تردید نتیجه‌گیری می‌شود که پلاستیسایزرهای هیدروفیل،

حلالیت فیلم در آب را افزایش داده‌اند.

کمترین حلالیت فیلم‌های خوراکی CPI، دارای ۳۰٪ وزنی-

وزنی از این پلاستیسایزرها بودند، در حالی که افزایش میزان

پلاستیسایزر سبب افزایش حلالیت فیلمها گردید. افزایش

غلظت گلیسرول به طور معنی‌داری حلالیت فیلم‌های بر پایه‌ی

CPI را از ۴۸/۱۱ تا ۷۰/۶۵٪ تغییر داد، در حالی که افزایش

سوربیتول حلالیت را از ۶۰/۶۶ تا ۸۰/۳۴٪ افزایش داد (۰/۰۵

$P < 0.05$ ). بیشترین حلالیت زمانی بدست آمد که غلظت بالاتری

از سوربیتول (۶۰٪ وزنی-وزنی) افزوده شد. پلاستیسایزرها

می‌توانند اتصالات عرضی میان مولکول‌های بیوپلیمر را کاهش

دهند، و بنابراین حلالیت فیلم را افزایش دهند [۳۸]. این نتایج

با یافته‌های بدست آمده توسط ویتایا (۲۰۱۳) که گزارش کرد

که افزایش میزان پلاستیسایزر (Sor و Gly) در فیلم‌های

پروتئینی ماش، حلالیت فیلم را افزایش میدهد، مشابه بود

[۳۹].

### ۳-۴- نفوذپذیری به بخار آب<sup>۲</sup>

فیلم به عنوان یک ماده بسته‌بندی غذایی، اغلب برای جلوگیری

یا کاهش انتقال رطوبت بین ماده غذایی و اتمسفر اطراف، مورد

نیاز است و نفوذپذیری به بخار آب آن بایستی در حداقل

ممکن باشد [۴۰]. نفوذ پذیری به بخار آب، عددی است که

اعتقاد بر این است که مستقل از تفاوت فشار بخار آب موجود

در دو طرف فیلم است. در هر حال، مواد هیدروفیل، مانند

2. Water vapor permeability

### ۳-۲- میزان رطوبت

مقادیر MC<sup>۱</sup> فیلم‌های دارای درصدهای مختلف گلیسرول و

سوربیتول در جدول ۱ نمایش داده شده‌اند. فیلم‌های دارای

سوربیتول رطوبت پائین‌تری نسبت به فیلم‌های دارای گلیسرول

داشتند ( $P < 0.05$ ) که می‌تواند به دلیل این واقعیت باشد که

سوربیتول توانایی کمتری در اتصال به آب نسبت به گلیسرول

دارد، بنابراین MC کمتری را فراهم می‌سازد. بعلاوه،

جنادیوس و همکاران (۱۹۹۳) گزارش کردند که آبدوستی

بالای مولکولهای گلیسرول، که برای جذب مولکولهای آب

مناسب هستند، نیز می‌تواند به افزایش رطوبت در فیلم‌ها مرتبط

باشد [۳۴]. این نتایج با مطالعه‌ی چیک و اوستونول (۱۹۹۸) که

گزارش کردند که فیلم‌های کازئینی دارای گلیسرول، مقادیر

MC بالاتری نسبت به فیلم‌های دارای سوربیتول داشتند

(زمانی که مقادیر مشابهی پلاستیسایزر استفاده شد) [۳۵].

مشابه بود.

### ۳-۳- حلالیت در آب

حلالیت در آب فیلم‌های خوراکی نیز در زمان انتخاب یک

فیلم برای کاربردهای ویژه، یک ویژگی مهم است [۳۶].

معمولاً، زمانی که حلالیت در آب یک فیلم بالا است، فیلم

نمی‌تواند از ماده غذایی در مقابل رطوبت یا از دست دادن

رطوبت محافظت کند. برای برخی کاربردها مانند بسته‌بندی،

حلالیت بالا شاخص تجزیه‌پذیری زیستی است، که می‌تواند

برای برخی فیلم‌ها امتیاز باشد [۳۷]. بدون توجه به نوع و

میزان پلاستیسایزر، فیلم‌های خوراکی CPI به طور مشهودی

تمامیت خود را پس از گذشت ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

1. Moisture Content

چیک و اوستونول (۱۹۹۸) گزارش کردند که فیلم‌های کازئینی دارای گلیسرول مقادیر نفوذپذیری به بخار آب بالاتری را نسبت به فیلم‌های دارای سوربیتول (در زمانی که مقادیر پلاستیسیزور مشابهی استفاده شد) داشتند [۳۵]. افزایش نفوذپذیری به بخار آب با افزایش آبدوستی ناشی از افزایش غلظت پلاستیسیزور در فیلم‌های خوراکی امری شایع است [۴۴ و ۴۵].

سوربال و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که آبدوستی پلاستیسیزورها، میزان آب فیلم‌ها را افزایش خواهد داد، نتجتاً تحرک مولکولها را افزایش می‌دهد. بعلاوه، افزایش میزان آب می‌تواند حلالیت را نیز در فیلم‌ها تاثیر قرار دهد [۴۶].

عربستانی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که افزودن گلیسرول به فیلم حاصل از کنستانتره پروتئینی دانه گاو دانه سبب افزایش معنی‌داری در میزان نفوذپذیری به بخار آب می‌گردد [۴۷].

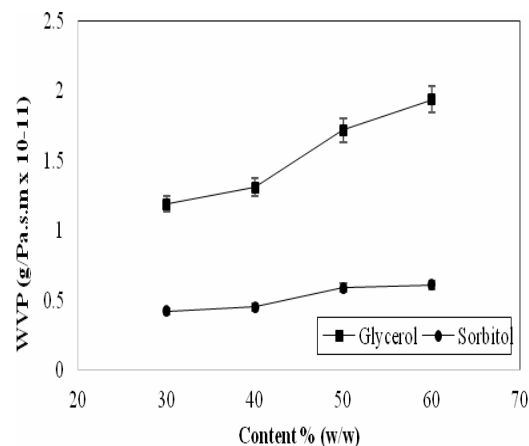
### ۳-۵- کدورت فیلم

کدورت فیلم ویژگی مهمی در اصطلاحات بسته‌بندی غذایی است، زیرا شفافیت بسته‌بندی به مصرف کنندگان اجازه می‌دهد تا محصول را قبل از خریداری ببینند [۹ و ۲۳].

کدورت فیلم به عنوان عملکردی از نوع و غلظت پلاستیسیزور بررسی شده و در شکل ۲ نمایش داده شد. آنالیز واریانس، تاثیر نوع و غلظت پلاستیسیزور را معنی‌دار نشان داد (۰/۰۵  $P <$ ), بدین معنی که عبور نور از طریق فیلم‌ها با نوع و غلظت پلاستیسیزور تغییر یافت. به طور کلی، فیلم‌های دارای گلیسرول کدورت کمتری داشتند. بر اساس یافته‌ها، فرض بر این است که چون مولکول گلیسرول کوچکتر از سوربیتول است، بطور همگونی‌تری پراکنده می‌گردد. در مقابل، سوربیتول به طور ناهمگونی‌تری پراکنده می‌شود که سبب پراکندگی بیشتر نور می‌گردد.

این نتایج با یافته‌های چنگ و نیکرسون (۲۰۱۴) که گزارش کردند که فیلم‌های تولید شده از ایزوله پروتئین کانولای دارای ۵۰٪ وزنی-وزنی سوربیتول، کدورت بالاتری از فیلم‌های دارای ۵۰٪ وزنی-وزنی گلیسرول (هر دو حاوی ۱٪ وزنی-وزنی ژنیپین) داشتند، مشابه بود [۴۸].

فیلم‌های پروتئینی، به دلیل برهم‌کنش مولکولهای آب با گروه‌های قطبی در ساختار فیلم از این رفتار ایده‌آل منحرف می‌شوند [۴۱]. همچنین، انحراف از رفتار ایده‌آل می‌تواند توسط تاثیرات ساختار بر فیلم القا گردد [۴۲]. نفوذ پذیری به بخار آب فیلم‌های خوراکی CPI، با نوع و غلظت متفاوت پلاستیسیزور مورد آزمون قرار گرفت (شکل ۱). نفوذ پذیری به بخار آب با افزایش غلظت پلاستیسیزور افزایش یافت. این گرایش می‌تواند بوسیله‌ی اصلاح ساختاری شبکه‌ی پروتئینی توضیح داده شود. واردسازی پلاستیسیزورها، با افزایش حجم آزاد، سازماندهی مولکولی شبکه‌ی پروتئینی را اصلاح می‌کند. تراکم شبکه کاهش می‌یابد و نتیجتاً نفوذپذیرتر می‌شود [۴۳]. افزایش نفوذپذیری با افزایش میزان پلاستیسیزور می‌تواند با آبدوستی مولکولهای پلاستیسیزور مرتبط باشد. گزارش شده است که واردسازی پلاستیسیزورهای هیدروفیل که برای جذب مولکول‌های آب مطلوب هستند، نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های بر پایه‌ی هیدروکلوئید را افزایش می‌دهد [۱ و ۴۴]. مقایسه‌ی مقادیر نفوذپذیری به بخار آب برای هر فیلم در شکل ۱ نشان داده شده است.

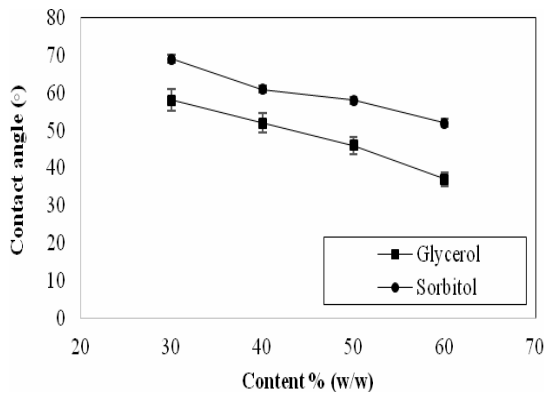


**Fig 1** Water vapor permeability of 5 % (w/w) CPI films in the presence of 30, 40, 50 and 60 % (w/w) of CPI glycerol and sorbitol. Data represent the mean  $\pm$  one standard deviation ( $n = 3$ ).

فیلم‌های دارای سوربیتول در مقایسه با فیلم‌های دارای گلیسرول در هر غلظت پلاستیسیزور، نفوذپذیری کمتری به بخار آب داشتند (۰/۰۵  $P <$ ), به این علت که سوربیتول نسبت به گلیسرول توانایی کمتری به اتصال با آب دارد، بنابراین، نفوذپذیری به بخار آب کمتری را فراهم می‌کند [۴۴].

پروتئینی CPI دارای بالاترین مقدار گلیسرول (۶۰٪ وزنی- وزنی) بیشترین سطح هیدروفیل را داشتند. بعلاوه، تفاوت‌های آماری معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) میان فیلم‌های دارای مقادیر متفاوت Gly و Sor مشاهده شد.

همچنین در شکل ۳ واضح است که مقدار  $\theta$  (برای سطوح بالایی و پائینی) فیلم‌های پروتئینی CPI با افزایش Gly و Sor کاهش یافت، انتظار می‌رود که چنین رفتاری به دلیل طبیعت هیگروسکوپیک Gly و Sor باشد [۵۲]. این نتایج با ادعای سوربال و همکاران (۲۰۰۵) که گزارش کردند که افزایش غلظت Gly، جذب و انتقال آب درون فیلم‌ها را تسهیل می‌کند سازگار است [۵۲].



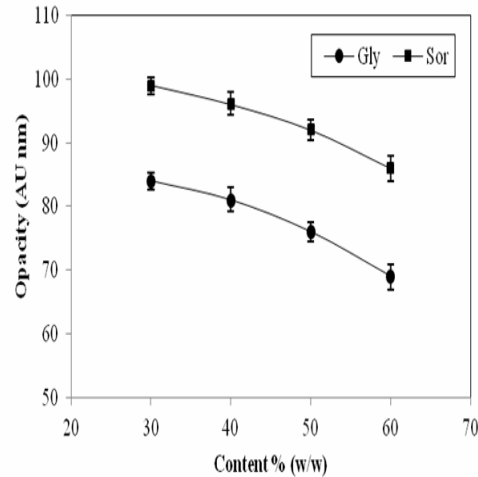
**Fig 3** Water contact angle values (average  $\pm$  standard deviation,  $n=10$ ) for upper and lower surface of 5% (w/w) CPI-edible films, with various glycerol and sorbitol contents.

۳-۷- مقاومت در برابر پارگی<sup>۱</sup> (TS) و میزان

کشیدگی فیلم تا لحظه پاره شدن<sup>۲</sup> (EAB)

فیلم‌های خوراکی ممکن است طی استفاده در معرض انواع گوناگونی از استرس قرار بگیرند، تعیین ویژگی‌های مکانیکی، نه تنها جنبه‌های علمی بلکه جنبه‌های تکنولوژیکی و عملی را نیز در بر می‌گیرد [۵۳].

آزمایش اولیه نشان داد که فیلم‌های خوراکی CPI بدون پلاستیسیایزر، نسبتاً شکننده بوده و به آسانی طی جداسازی از ظرف می‌شکستند. بنابراین، خصوصیات مطلوب فیلم‌های خوراکی بوسیله‌ی دو نوع پلاستیسیایزر (Gly و Sor) در



**Fig 2** Opacity of 5% (w/w) CPI films in the presence of 30, 40, 50 and 60% (w/w) of glycerol and sorbitol. Data represent the mean  $\pm$  one standard deviation ( $n = 3$ ).

این یافته‌ها بدین دلیل مهم هستند که شفافیت یا کدورت فیلم خصوصیتی بحرانی در کاربردهای بسیاری از فیلم است، خصوصاً اگر فیلم به عنوان پوشش سطحی غذا یا برای بهبود ظاهر محصول استفاده گردد [۲۳]. در کاربردهای بسیاری، افزایش کدورت نامطلوب است، گرچه برخی کاربردها نیاز به فراهم‌سازی محافظت علیه واکنش‌های تخریبی که در اثر نور ایجاد می‌شوند دارند، که امتیازاتی را برای این نوع فیلم پیشنهاد می‌دهند.

امام جمعه و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که افزودن روغن زیتون به فیلم‌های بر پایه‌ی کازئینات سدیم دارای گلیسرول، سبب افزایش قابل ملاحظه‌ای در کدورت فیلم‌ها گردید [۴۹].

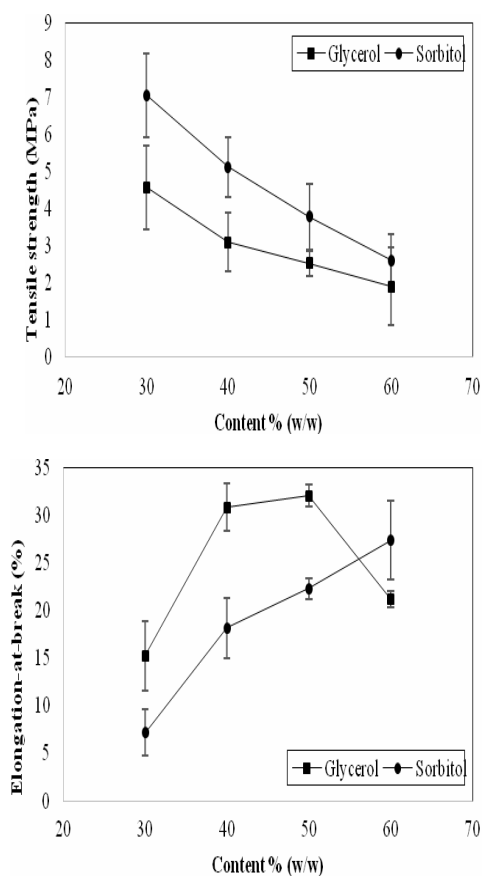
### ۳-۶- زاویه تماس

هیدروفوبیسیته‌ی سطحی فیلم‌های پروتئینی، با اندازه‌گیری زاویه تماس آب ( $\theta$ ) با سطح فیلم توسط روش قطره‌ی چسبنده ارزیابی گردید. به طور کلی، فیلم‌های دارای مقادیر بالاتر  $\theta$ ، هیدروفوبیسیته‌ی سطحی بیشتری را نمایش می‌دهند [۵۰]. در واقع، تفاوت کمی بین سطوح "هیدروفوبیک" و "هیدروفیلیک" بر این اساس است که به ترتیب،  $\theta \geq 65$  یا  $\theta \leq 65$  هست یا خیر [۵۱].

با بررسی شکل ۳ مشاهده می‌گردد که فیلم‌های دارای ۳۰٪ وزنی-وزنی سوربیتول دارای سطوح هیدروفوبیک می‌باشند، زیرا مقادیر  $\theta$  برای سطوح بالایی و پائینی به ترتیب  $2/6 \pm 2/1$  و  $69/5 \pm 65/8$  بود. در مقابل، فیلم‌های

1. Tensile strength  
2. Elongation at break





**Fig 4** Tensile strength and Elongation at break of 5 % (w/w) CPI films in the presence of 30, 40, 50 and 60 % (w/w of CPI) glycerol and sorbitol. Data represent the mean  $\pm$  one standard deviation ( $n = 3$ ).

فیلم‌های دارای گلیسرول، نسبت به فیلم‌های دارای سوربیتول کشش‌پذیرتر بودند (شکل ۴)، که پیشنهاد میکند که گلیسرول می‌تواند پلاستیسایزری کارآمدتر نسبت به سوربیتول در فیلم‌های خوراکی باشد. کارایی گلیسرول در فیلم‌های خوراکی CPI، بیشتر به دلیل اندازه‌ی کوچک و کونفورماسیون آن است که به گلیسرول اجازه می‌دهد تا سریعتر میان زنجیره‌های پلیمری وارد گردد، و نتیجتاً اثر بیشتری بر خصوصیات مکانیکی در مقایسه با مولکول بزرگتر اعمال کند. دونهو و فنما (۱۹۹۳) دریافتند که پلاستیسایزر دارای وزن مولکولی کمتر مانند گلیسرول نسبت به پلاستیسایزرهای دارای وزن مولکولی بالا در فیلم‌های بر پایه‌ی متیل سلولز موثرتر بودند [۵۵]. بطور مشابهی، مک‌هاق و کروچتا (۱۹۹۴) پیشنهاد کردند که پلاستیسایزر با اندازه‌ی کوچکتر در مقایسه با پلاستیسایزر با اندازه‌ی بزرگتر در فیلم‌های پروتئین آب پنیر کارآمدتر بود [۵۶]. جنادیوس و همکاران (۱۹۹۳) گزارش کردند که گروه

غلظت‌های متفاوت (۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد وزنی-وزنی) بهبود یافت. خصوصیات مکانیکی فیلم‌های دارای غلظت‌های متفاوت گلیسرول و سوربیتول توسط اندازه‌گیری مقاومت در برابر پارگی (TS) و میزان کشیدگی فیلم تا لحظه پارگی شدن (EAB) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج در شکل ۴ نمایش داده شده است. مشاهده شد که افزایش میزان این پلاستیسایزرها سبب کاهش مقاومت در برابر پارگی و افزایش گرایش به کشش‌پذیری (میزان کشیدگی فیلم تا لحظه پارگی شدن) گردید. گلیسرول و سوربیتول مولکول‌های هیدروفیل با وزن مولکولی کم هستند که به راحتی درون زنجیره‌های پروتئینی قرار می‌گیرند و با گروه‌های فعال پروتئین‌ها پیوندهای هیدروژنی تشکیل می‌دهند. در کنار هم قرار گرفتن پلاستیسایزرها و پروتئین‌ها، تشکیل برهم‌کنش‌های پروتئین-پلاستیسایزر را برای از بین بردن برهم‌کنش‌های پروتئین-پروتئین القا می‌کند. نتیجتاً، دانسیته‌ی برهم‌کنش‌های بین‌مولکولی در ماده کاهش می‌یابد و حجم آزاد بین زنجیره‌های پلیمری افزایش می‌یابد [۴۵]. تغییرات خصوصیات مکانیکی که بوسیله پلاستیسایزرهای هیدروفیل ایجاد می‌شوند، در فیلم‌های گوناگون بر پایه‌ی هیدروکلئید نیز مشاهده شده‌اند [۱ و ۵۴]. در شکل ۴ خصوصیات مکانیکی فیلم‌های دارای گلیسرول و سوربیتول در غلظت‌های برابر مقایسه شدند.

فیلم‌های دارای سوربیتول، به طور معنی‌داری مقادیر TS بالاتر و EAB پایین‌تری در مقایسه با فیلم‌های دارای گلیسرول در تمامی غلظت‌ها داشتند. این موضوع می‌تواند با کونفورماسیون مولکولی حلقوی مولکول‌های سوربیتول مرتبط باشد، که می‌تواند به طور استریکی، برهم‌کنش‌های بین زنجیره‌های پروتئینی را کاهش دهند که سبب کارایی کمتر تخریب برهم‌کنش‌های پروتئین-پروتئین می‌گردد. مک‌هاق و همکاران (۱۹۹۴) فیلم‌های تشکیل شده از ایزوله پروتئین آب پنیر/سوربیتول (۱:۱) و ایزوله پروتئین آب پنیر/گلیسرول (۳:۲) را مطالعه کردند و مقادیر مشابه TS را گزارش کردند. آنها نتیجه‌گیری کردند که مقدار بالاتر سوربیتول نسبت به گلیسرول برای ایجاد مقادیر مشابه TS مورد نیاز بود [۴۴].

دمای انتقال شیشه‌ای ( $T_g$ ) دمایی است که در آن ماده دچار انتقال ساختاری از حالت شیشه‌ای به حالت لاستیکی می‌گردد [۵۷]. زیر  $T_g$ ، فیلم‌ها سخت و شکننده هستند، در حالی که در بالای آن فیلم‌ها انعطاف پذیر و نرم می‌شوند.

فیلم‌های دارای سوربیتول به طور معنی‌داری مقادیر  $T_g$  بالاتری را در مقایسه با فیلم‌های حاوی گلیسرول، در غلظت‌های معین گلیسرول و سوربیتول نشان دادند (جدول ۲)، که فیلم‌های دارای استحکام بالاتر را پیشنهاد می‌دهد.

از بررسی جدول ۲ اینطور نتیجه‌گیری می‌شود که با افزایش مقدار Gly و Sor از ۳۰ تا ۶۰٪ وزنی-وزنی،  $T_g$  کاهش می‌یابد ( $P < 0.05$ ). این گرایش نتیجه‌ای از اثر نرم‌کنندگی مولکولهای Gly و Sor است که معمولاً حجم آزاد شبکه‌ی پروتئینی و تحرک زنجیره‌های پلی‌مری را افزایش می‌دهد، بنابراین سبب کاهش  $T_g$  می‌گردد [۴۶ و ۵۹].

قطبی (OH-) در اطراف زنجیره‌های پلاستیسیزور سبب ایجاد پیوندهای هیدروژنی پلیمر-پلاستیسیزور می‌گردد که جایگزین برهم‌کنش‌های پلیمر-پلیمر در فیلم‌های بیوپلیمری می‌گردند [۳۴]. اندازه مولکولی، کونفورماسیون و تعداد گروه‌های فانکشنال هیدروکسید پلاستیسیزورها و همچنین سازگاری آنها با پلی‌مر، می‌تواند برهم‌کنش‌های میان پلاستیسیزور و پلیمر را تحت تأثیر قرار دهد [۵۷].

دهقان شعار و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که افزودن گلیسرول منجر به بهبود معنی‌داری در ویژگی‌های مکانیکی، کاهش مقاومت کششی و افزایش میزان کش‌آمدگی فیلم‌های تولید شده از ایزوله پروتئین سویا گردید [۵۸].

### ۳-۸- خصوصیات دمایی

مطالعه DSC فیلم‌های پروتئینی تولید شده از CPI حاوی غلظت‌های مختلف گلیسرول و سوربیتول به منظور درک بهتر ساختار و برهم‌کنش‌های میان پلیمر و پلاستیسیزور انجام شد.

**Table 2** DSC measurement results of CPI based Films with various glycerol and sorbitol contents, in term of glass transition temperature ( $T_g$ ).

Plasticizer type	Content % (w/w)	$T_g$ (°C)
Glycerol	30	41.12±1.56 <sup>c</sup>
	40	36.43±1.64 <sup>cd</sup>
	50	30.11±0.97 <sup>d</sup>
	60	26.69±1.85 <sup>e</sup>
Sorbitol	30	53.19±1.54 <sup>a</sup>
	40	52.61±0.95 <sup>a</sup>
	50	50.49±1.09 <sup>ab</sup>
	60	49.14±1.12 <sup>b</sup>

Note: the values with the same letter are not significantly different at the  $p < 0.05$ .

زاهدی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که دمای انتقال شیشه‌ای فیلم پروتئین گلوبولین پسته  $127/19$  °C بود و افزودن اسید استتاریک اثر قابل ملاحظه‌ای روی آن نداشت [۶۲].

### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه بیان می‌کند که با افزایش غلظت پلاستیسیزور، مقاومت در برابر پارگی (TS) کاهش یافته و میزان کشیدگی فیلم تا لحظه پاره شدن (EAB) و همچنین نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های CPI افزایش می‌یابد. فیلم‌های دارای سوربیتول، بالاترین مقاومت مکانیکی و کمترین انعطاف‌پذیری را ایجاد کردند. در مقابل، فیلم‌های دارای گلیسرول، ساختاری

به علاوه، نتایج پیشنهاد می‌دهند که Gly و Sor با CPI سازگار بوده و کارایی پلاستیسیزاسیون را تأیید کردند، زیرا تنها یک  $T_g$  مشاهده گردید [۴۶ و ۵۹]. اگر یک پلیمر و پلاستیسیزور، یا دو پلیمر مختلف، امتزاج‌ناپذیر باشند، مخلوط، دو مقدار  $T_g$  را که مرتبط با دو فاز خالص است را نشان می‌دهد [۳۶ و ۶۰].

این نتایج با یافته‌های راموس و همکاران (۲۰۱۳) مشابه بود. آنها گزارش کردند که مقادیر پایتتر  $T_g$  در فیلم‌های خوراکی دارای ایزوله پروتئین آب پنیر (WPI) و کنستانتره پروتئین آب پنیر (WPC) می‌تواند با کاهش نیروهای بین‌مولکولی و افزایش تحرک زنجیره‌های پلیمری در اثر پلاستیسیزاسیون مرتبط باشد [۶۱].

- [9] Orliac, O., Rouilly, A., Silvestre, F. and Rigal, L. 2003. Effects of various plasticizers on the mechanical properties, water resistance and aging of thermo-moulded films made from sunflower proteins. *Ind Crops Prod*, 18, 91–100.
- [10] Saremnezhad, S., Azizi, M.H., Barzegar, M., Abbasi, S. and Ahmadi, E. 2011. Properties of a new edible film made of faba bean protein isolate. *J Agric Sci Technol*, 13, 181–192.
- [11] Jang, S.A., Lim, G.O. and Bin Song, K. 2011. Preparation and mechanical properties of edible rapeseed protein films. *J Food Sci*, 76, 218–223.
- [12] Wu, J. and Muir, A.D. 2008. Comparative structural, emulsifying, and biological properties of 2 major canola proteins, cruciferin and napin. *J Food Sci*, 73, 210–216.
- [13] Uppstrom, B. 1995. In: Kimber S, McGregor DI (eds) *Brassica oilseeds: production and utilization*. England, Wallingford.
- [14] Wanasundara, J.P.D. 2011. Proteins of Brassicaceae oilseeds and their potential as a plant protein.
- [15] Cao, N., Yang, X. and Fu, Y. 2009. Effects of various plasticizers on mechanical and water vapor barrier properties of gelatin films. *Food Hydrocoll*, 23, 729–735.
- [16] Gennadios, A., Weller, C.L., Hanna, M.A. and Froning, G.W. 1996. Mechanical and barrier properties and egg albumen films. *J Food Science*, 61, 585–589.
- [17] Mikkonen, K.S., Heikkinen, S., Soovre, A., Peura, M., Serimaa, R., Talja, R.A., Helen, H., Hyvonen, L. and Tenkanen, M. 2009. Films from oat spelt arabinoxylan plasticized with glycerol and sorbitol. *J Appl Polym Science*, 114, 457–466.
- [18] Sothornvit, R. and Krochta, J.M. 2001. Plasticizer effect on mechanical properties of beta-lactoglobulin in films. *J Food Engineering*, 50, 149–155.
- [19] Folawiyo, Y.L. and Apenten, R.K.O. 1996. Effect of pH and ionic strength on the heat stability of rapeseed 12S (cruciferin) by the ANS fluorescence method. *J Science of Food and Agriculture*, 70, 241–246.
- [20] Klassen, D.R., Elmer, C.M. and Nickerson, M.T. 2011. Associative phase separation involving canola protein isolate with both sulphated and carboxylated

انعطاف‌پذیر را نشان دادند که دارای مقاومت مکانیکی پائین بود، در حالی که نفوذپذیری به بخار آب بطور معکوسی تحت تاثیر قرار گرفت. افزایش غلظت پلاستیسایزر سبب افزایش حلالیت گردید. فیلم‌های دارای سوربیتول، مقادیر حلالیت، کدورت، دمای انتقال شیشه‌ای و هیدروفوبیسیتی سطحی بالاتری را در مقایسه با فیلم‌های دارای گلیسرول نشان دادند. بعلاوه، فیلم‌های دارای سوربیتول، میزان رطوبت پائین‌تری در مقایسه با فیلم‌های دارای گلیسرول داشتند.

## ۵- منابع

- [1] Gontard, N., Guilbert, S. and Cuq, J.L. 1993. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *J Food Sci*, 58, 206–211.
- [2] Kowalczyk, D. and Baraniak, B. 2011. Effects of plasticizers, pH and heating of film-forming solution on the properties of pea protein isolate films. *J Food Eng*, 105, 295–305.
- [3] Rojas-Grau, M.A., Tapia, M.S., Rodriguez, F.J., Carmona, A.J. and Martin-Belloso, O. 2007. Alginate and gellan based edible coatings are carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. *Food Hydrocoll*, 21, 118–127.
- [4] Sebt, I. and Coma, V. 2002. Active edible polysaccharide coating and interactions between solution coating compounds. *Carbohydr Polym*, 49, 139–144.
- [5] Han, J.H. and Gennadios, A. 2005. In: Han JH (ed) *Edible films and coating: a review*. Elsevier Acad, New York.
- [6] Janjarasskul, T. and Krochta, J.M. 2010. Edible packaging materials. *Annu Rev Food Sci Technol*, 1, 415–448.
- [7] Pruned, E., Hernandez-Peralta, J.M., Esquivel, K., Lee, S.Y., Godinez, L.A. and Mendoza, S. 2008. Water vapor permeability, mechanical properties and antioxidant effect of Mexican oregano-soy based edible films. *J Food Chem*, 73, 488–493.
- [8] Tang, C.H., Jiang, Y., Wen, Q.B. and Yang, X.Q. 2005. Effect of transglutaminase treatment on the properties of cast films of soy protein isolates. *J Biotechnol*, 120, 296–307.

- snapper. *European Food Research and Technology*, 222(3-4), 229-235.
- [32] Osés, J., Fernández-Pan, I., Mendoza, M. and Maté, J. I. 2009. Stability of the mechanical properties of edible films based on whey protein isolate during storage at different relative humidity. *Food Hydrocolloids*, 23(1), 125-131.
- [33] Rodríguez, M., Osés, J., Ziani, K. and Mate, J. I. 2006. Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible films. *Food Research International*, 39(8), 840-846.
- [34] Gennadios, A., Weller, C.L. and Testin, R.F. 1993. Property modification of edible wheat, gluten-based films. *Transactions of the ASAE*, 36(2), 465-470.
- [35] Chick, J. and Ustunol, Z. 1998. Mechanical and Barrier Properties of Lactic Acid and Rennet Precipitated Casein - Based Edible Films. *Journal of Food Science*, 63(6), 1024-1027.
- [36] Arvanitoyannis, I., Psomiadou, E., Nakayama, A., Aiba, S. and Yamamoto, N. 1997. Edible films made from gelatin, soluble starch and polyols, Part 3. *Food Chemistry*, 60(4), 593-604.
- [37] Stuchell, Y. and Krichta, J. 1994. Enzymatic treatments and thermal effects on edible soy protein films. *Journal of Food Science*, 59(6), 1332-1357.
- [38] Ghasemlou, M., Khodaiyan, F. and Oromiehie, A. 2011. Physical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from kefiran. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 477-483.
- [39] Wittaya, T. 2013. Influence of type and concentration of plasticizers on the properties of edible film from mung bean proteins. *KMITL Science and Technology Journal*, 13(1), 51-58.
- [40] Ma, X., Chang, P. R. and Yu, J. 2008. Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. *Carbohydrate Polymers*, 72(3), 369-375.
- [41] Hagenmaier, R. D. and Shaw, P.E. 1990. Moisture permeability of edible films made with fatty acid and hydroxypropyl methyl cellulose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(9), 1799-1803.
- [42] Myers, A.W., Meyer, J.A., Roger, C.E., Stannett, V. and Szwarc, M. 1962. The polysaccharides. *Food Chem*, 126, 1094-1101.
- [21] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. In: Cunniff P (ed) Official method 920.87—protein (total) in flour, final action. 16th edn. AOAC, Arlington
- [22] ASTM E96-93. 1993. Annual book of ASTM standards. American Society for Testing & Materials, Philadelphia, PA.
- [23] Gontard, N., Guilbert, S. and Cuq, J.L. 1992. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *Journal of food science*, 57, 190-195.
- [24] ASTM D882-91. 1991. Annual book of ASTM standards. American Society for Testing & Materials, Philadelphia, PA.
- [25] Lieberman, E.R and Gilbert, S. G. 1973. Gas permeation of collagen films as affected by cross - linkage, moisture, and plasticizer content. In *Journal of Polymer Science: Polymer Symposia*, 41(1), 33-43. Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company.
- [26] Chae, S.I. and Heo, T.R. 1997. Production and properties of edible film using whey protein. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2(2), 122-125.
- [27] Tanaka, M., Iwata, K., Sanguandekul, R., Handa, A. and Ishizaki, S. 2001. Influence of plasticizers on the properties of edible films prepared from fish water - soluble proteins. *Fisheries science*, 67(2), 346-351.
- [28] Cho, S.Y. and Rhee, C. 2002. Sorption characteristics of soy protein films and their relation to mechanical properties. *LWT-Food Science and Technology*, 35(2), 151-157.
- [29] Ryu, S.Y., Rhim, J.W., Roh, H.J. and Kim, S.S. 2002. Preparation and physical properties of zein-coated high-amylose corn starch film. *LWT-Food Science and Technology*, 35(8), 680-686.
- [30] Shaw, N.B., Monahan, F.J., O'riordan, E.D. and O'sullivan, M. 2002. Physical properties of WPI films plasticized with glycerol, xylitol, or sorbitol. *Journal of Food Science*, 67(1), 164-167.
- [31] Jongjareonrak, A., Benjakul, S., Visessanguan, W. and Tanaka, M. 2006. Effects of plasticizers on the properties of edible films from skin gelatin of bigeye snapper and brownstripe red

- films based on muscle protein of Thai Tilapia. *Journal of Food Engineering*, 70, 93-100.
- [53] Cagri, A., Ustunol, Z. and Ryser, E.T. 2004. Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of Food Protection*, 67(4), 833-848.
- [54] Park, H.J. and Chinnan, M.S. 1990. Properties of edible coatings for fruits and vegetables. *Paper-American Society of Agricultural Engineers*, (90-6510).
- [55] Donhowe, I.G. and Fennema, O. 1993. The effects of plasticizers on crystallinity, permeability, and mechanical properties of methylcellulose films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 17(4), 247-257.
- [56] McHugh, T. H. and Krochta, J. M. 1994. Sorbitol-vs glycerol-plasticized whey protein edible films: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(4), 841-845.
- [57] Yang, L. and Paulson, A.T. 2000. Mechanical and water vapour barrier properties of edible gellan films. *Food Research International*, 33(7), 563-570.
- [58] Dehghan Shoar, Z., Badii, F., and Behmadi, H. 2009. Effect of glycerol addition on the mechanical and physical properties of soy protein isolate film. *JFST*, 6(1), 1-10.
- [59] Sobral, P.D.A., Monterrey-Q, E.S. and Habitante, A.M.Q.B. 2002. Glass transition study of Nile Tilapia myofibrillar protein films plasticized by glycerin and water. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 67(2), 499-504.
- [60] Vanin, F.M., Sobral, P.J.A., Menegalli, F.C., Carvalho, R.A. and Habitante, A.M.Q.B. 2005. Effects of plasticizers and their concentrations on thermal and functional properties of gelatin-based films. *Food Hydrocolloids*, 19(5), 899-907.
- [61] Ramos, Ó.L., Reinas, I., Silva, S.I., Fernandes, J.C., Cerqueira, M.A., Pereira, R.N. and 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.
- [62] Zahedi, Y., Sedaghat, N. and Ghanbarzadeh, B. 2012. Physical properties of edible emulsified films from pistachio oil cake globulin protein and stearic acid. *JFST*, 33(1), 8, 47-57.
- permeation of water vapor. In M. Kouris (Eds). *Permeability of plastic Films and Coated Paper to Gases and Vapors*, pp 62-77. *Technical Pulp and Paper Industry* New York.
- [43] Ashley, R.J. 1985. Permeability and plastics packaging. In J. Comyn (ed.), *Polymer Permeability*, pp. 269-309. Elsevier Applied Science. London.
- [44] McHugh, T.H., Aujard, J.F. and Krochta, J. M. 1994. Plasticized whey protein edible films: water vapor permeability properties. *Journal of Food Science*, 59(2), 416-419.
- [45] Cuq, B., Gontard, N., Cuq, J.L. and Guilbert, S. 1997. Selected functional properties of fish myofibrillar protein-based films as affected by hydrophilic plasticizers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(3), 622-626.
- [46] Sobral, P.D.A., Menegalli, F.C., Hubinger, M.D. and Roques, M.A. 2001. Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. *Food Hydrocolloids*, 15(4), 423-432.
- [47] Arabestani, A., Kadivar, M., Shahedi, M. and Hossein Goli, S.A. 2015. Preparation and determination of some physicochemical properties of biodegradable proteinous film from bitter vetch (*Vicia ervilia*). *JFST*, 48(12), 129-138.
- [48] Chang, C. and Nickerson, M.T. 2014. Effect of plasticizer-type and genipin on the mechanical, optical, and water vapor barrier properties of canola protein isolate-based edible films. *European Food Research and Technology*, 238(1), 35-46.
- [49] Emam-Jomeh, Z., Karami Moghadam, A. and Yasini Ardakani, S.A. 2015. Effects of olive on physical, mechanical and moisture barrier properties of caseinate-based edible film. *JFST*, 49(12), 155-166.
- [50] Tang, C.H. and Jiang, Y. 2007. Modulation of mechanical and surface hydrophobic properties of food protein films by transglutaminase treatment. *Food research international*, 40(4), 504-509.
- [51] Vogler, E.A. 1998. Structure and reactivity of water at biomaterial surfaces. *Advances in colloid and interface science*, 74(1), 69-117.
- [52] Sobral, P.J.A., dos Santos, J.S. and García, F.T. 2005. Effect of protein and plasticizer concentrations in film forming solutions on physical properties of edible

## Influence of concentration of glycerol and sorbitol on the properties of edible film based on canola protein isolate

Valipour, F. <sup>1\*</sup>

1. Graduated MSc student, Department of Food Science and Technology, Aras International Campus, University of Tabriz, Tabriz, Iran

(Received: 2016/09/20 Accepted:2016/11/12)

Edible films from canola protein isolate (CPI) containing different contents of glycerol and sorbitol (30, 40, 50 and 60% w/w of protein) were developed. The aim of this study was to investigate the influence of type and concentration of plasticizers on the properties of edible films obtained from CPI. Type and concentration of plasticizer significantly ( $p < 0.05$ ) affected the mechanical, barrier, thermal and surface properties as well as opacity of the films. As plasticizer concentration increased, tensile strength decreased concomitant with increase in elongation at break and water vapor permeability. The similar trend behavior was observed for the film solubility, which increased with increasing plasticizer concentration. Sorbitol plasticized films, showed higher film solubility compared to glycerol plasticized films. Sorbitol plasticized films provided the most tensile strength values; however, its effect on water vapor permeability was low. In contrast, glycerol plasticized films exhibited the least tensile strength values, resulting in increasing water vapor permeability. Opacity of glycerol plasticized films was lower than that of sorbitol plasticized films, and decreased with increasing plasticizer content ( $p < 0.05$ ). Also, a significant decrease ( $p < 0.05$ ) was observed in  $T_g$  and surface hydrophobicity values with increasing in plasticizer contents. It was observed that the films plasticized with sorbitol had lower moisture content than those with glycerol.

**Keywords:** Edible films, Canola protein isolate (CPI), Plasticizer, Mechanical properties, Barrier properties, Glass transition temperature.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: Farzane\_vm@yahoo.com