

تعیین تأثیر ثعلب، گلیسروول و روغن بر ویژگی‌های خوراکی بر پایه نشاسته سیب‌زمینی

محمد فاضل^۱، محمد حسین عزیزی^۲، سلیمان عباسی^۳، محسن بزرگر^۳

۱- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس پست الکترونیکی: Azizit_m@modares.ac.ir

۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۱۲

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۲۰

چکیده

سابقه و هدف: نشاسته یکی از فراوان ترین بیوپلیمرهای کربوهیدراتی است که ویژگی تشکیل فیلم بسیار خوبی دارد. با این حال، مقاومت کم آن نسبت به بخار آب و ویژگی‌های مکانیکی ضعیف، از مشکلات اصلی این پلیمر است. به همین علت تأثیر گلیسروول، روغن و ثعلب روی ویژگی‌های فیلم بررسی شد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، فیلم‌های خوراکی از مخلوط نشاسته و صمغ ایرانی ثعلب تهیه و خصوصیات آن‌ها بررسی شد. ابتدا فیلم مخلوط نشاسته سیب‌زمینی، ثعلب (۱۵٪) و روغن آفتتابگردان (۴۰٪-۲۰٪) را فرموله و ویژگی‌های مکانیکی، نوری، حلالت و نفوذپذیری به بخار آب آن‌ها اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج حاصل، مقادیر مختلف ثعلب، گلیسروول و روغن بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های خوراکی بر پایه نشاسته سیب‌زمینی مؤثر بودند. صمغ ثعلب باعث افزایش مقاومت به کشش، مدول الاستیک و میزان سیری رنگ شد، ولی میزان کشش‌پذیری و شفافیت فیلم را کاهش داد. در حالی که گلیسروول باعث کاهش مقاومت به کشش، مدول الاستیک و درصد عبور نور فرابینفس و افزایش میزان کشش‌پذیری، شفافیت، دورت، حلالت و نفوذپذیری به بخار آب شد. روغن آفتتابگردان میزان کشش‌پذیری، مقاومت به کشش، مدول الاستیک، درصد عبور نور فرابینفس، حللات و نفوذپذیری به بخار آب را کاهش و میزان دورت را افزایش داد.

نتیجه‌گیری: مقدار ۳٪ ثعلب، ۳۲٪ گلیسروول و ۸٪ روغن آفتتابگردان به عنوان نقاط بهینه ویژگی‌های فیلم خوراکی بر پایه نشاسته سیب‌زمینی تعیین شد.

واژگان کلیدی: فیلم خوراکی، نشاسته سیب‌زمینی، صمغ ثعلب، خواص مکانیکی، نفوذپذیری به بخار آب

• مقدمه

بالای آن‌ها در برابر گازها، مواد معطر، میکروارگانیسم‌ها و چربی‌ها به ویژه در رطوبت‌های نسبی پایین به حفظ کیفیت و افزایش زمان ماندگاری محصول منجر می‌شود (۴، ۳). در تهیه فیلم‌های خوراکی از پروتئین‌ها، پلی‌ساقاریدها و چربی‌ها به صورت ترکیبی یا جداگانه استفاده می‌شود (۵).

نشاسته به دلیل ماهیت پلیمری قابلیت فیلم‌سازی دارد. به علاوه، به دلیل قیمت مناسب و در دسترس بودن توجه زیادی به آن می‌شود (۶). یکی از معایب فیلم‌های نشاسته، مقاومت پایین آن‌ها به رطوبت است (۷). برای حل این مشکل می‌توان از چربی‌ها یا پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر مقاوم به رطوبت استفاده کرد (۸). برای بهبود ویژگی‌های فیلم‌های نشاسته به

امروزه، پلاستیک‌های تهیه شده از مواد نفتی به دلیل در دسترس بودن، قیمت مناسب و داشتن ویژگی‌های عملکردی مطلوب مانند کشش‌پذیری خوب، مقاومت بالا به پاره شدن، ویژگی‌های ممانعتی عالی نسبت به اکسیژن و مواد معطر و قابلیت دوخت حرارتی مناسب به طور وسیع استفاده می‌شوند (۱). آلدگی ناشی از مواد بسته‌بندی تولید شده از مواد نفتی که معمولاً زیست‌تخریب‌پذیر نیستند و مشکلات ناشی از روش‌های مختلف حذف این ترکیبات باعث شده که محققان در سال‌های اخیر در زمینه پلیمرهای سازگار با محیط تحقیق کنند (۲).

از دهه ۸۰ میلادی به فیلم‌های خوراکی توجه بیشتری شده است. زیرا زیست‌تخریب‌پذیری و ویژگی ممانعت‌کنندگی

• مواد و روش‌ها

مواد: در این پژوهش از گلیسروول (شرکت Merk، آلمان)، روغن آفتاگردن (شرکت Sigma، آمریکا)، توئین ۸۰ (شرکت Merk، آلمان)، اتانول (شرکت Merk، آلمان)، صمغ ثعلب (بازارهای محلی) و سیب زمینی (رقم آگریا، جهاد کشاورزی استان شهرکرد) استفاده شد.

استخراج نشاسته از سیب زمینی: در ابتدا سیب زمینی‌های شسته و پوست‌گیری شده، رنده و داخل آب ریخته شد. مخلوط به مدت یک ساعت هم زده و سپس الک شد تا قسمت‌های فیبری و نامحلول آن جدا شود. مخلوط الک شده به مدت ۱۲ ساعت به حال سکون رها شد تا نشاسته رسوب کند. نشاسته رسوب کرده، جمع‌آوری و در آون خلاً در دمای ۵۰°C خشک شد. نشاسته خشک شده، آسیاب و با استفاده از الک با مش ۴۰ الک شد.

روش تهیه فیلم: در یک بالن، مقدار مشخصی ثعلب توزین و به آن ۶۰ ml آب افزوده و هم زده شد تا ژلی یکنواخت تهیه شود. در ادامه ۵ گرم نشاسته سوسپانسیون شده در ۴۰ ml آب به ژل ثعلب افزوده و مخلوط شد. سپس افزودنی‌های مورد نظر شامل روغن آفتاگردن حاوی ۵٪ توئین ۸۰ به عنوان امولسیفایر و گلیسروول به سوسپانسیون اضافه و هم زده شد. نشاسته در دمای ۹۵°C به مدت ۳۰ دقیقه ژلاتینه شد. سپس مخلوط فیلم با استفاده پهنه‌کننده روی پلکسی‌گلاس (Plexiglas) پهن و به مدت ۲۴ ساعت در داخل ژرمیناتور (Germinator) مدل IKH.RH (شرکت ایران خودساز، ایران) در دمای ۲۵°C و رطوبت نسبی ۵۰٪ قرار گرفت تا فیلم خشک شود. در انتهای فیلم خشک شده از روی پلکسی‌گلاس جدا و به مدت ۴۸ ساعت در داخل ژرمیناتور در شرایط ذکر شده قرار داده شد تا فیلم مشروط شود. عمل مشروط کردن بر اساس استاندارد ۰۲ ASTM D0882-۰۲ انجام شد (۱۵).

تعیین میزان نفوذپذیری به بخار آب WVP
(water vapour permeability): آزمون‌های نفوذپذیری به بخار آب برای فیلم‌های خوراکی طبق روش اصلاح شده ASTM E0096-05 صورت گرفت. در داخل فنجان‌هایی با قطر داخلی ۳ cm و ارتفاع ۳/۵ cm، ۸ ml آب مقطر ریخته شد. نمونه‌های فیلم روی فنجان‌ها قرار داده شدند و با واشر لاستیکی، گیره و گریس محکم و آببندی شدند. سپس فنجان‌ها درون دسیکاتور حاوی سیلیکاژل قرار گرفتند و دسیکاتورها در داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵°C گذاشته شدند.

ویژه خصوصیات کششی آن‌ها می‌توان از هیدروکلوفیدها در ترکیب آن‌ها استفاده کرد (۴، ۵).

صمغ‌ها، پلی‌ساکاریدها و بیوپلیمرهای آبدوست و محلول در آب با وزن ملکولی بالا هستند. صمغ‌ها به دلیل ماهیت پلیمری، وزن ملکولی بالا و برهم‌کنش‌هایی که بین زنجیره‌های آن‌ها در محلول رخ می‌دهد، باعث افزایش گرانروی می‌شوند (۹، ۱۰). یکی از انواع هیدروکلوفیدها، صمغ ثعلب است. گیاه ثعلب ریشه افسان (پنجه‌ای)، غده‌ای (قلوه‌ای) یا ریزوم‌های خزنده دارد و از غده‌های زیرزمینی آن، صمغ ثعلب تهیه می‌شود. برای تهیه صمغ ثعلب، غده‌های مذکور را پس از خارج کردن از زمین به خوبی می‌شویند و سپس در آب جوش قرار می‌دهند تا بافت آن‌ها نرم شود. در پایان غده‌ها را خشک و آسیاب می‌کنند (۱۱، ۱۰).

فیلم‌های پروتئینی و پلی‌ساکاریدی به علت برهم‌کنش بین پیوندهای بین ملکولی در درون پلیمر، اغلب سخت و شکننده هستند. به همین علت و برای کاهش شکننده‌گی پلیمر از پلاستی‌سایزرهایی مانند گلیسروول استفاده می‌شود. افزودن پلاستی‌سایزر، برهم‌کنش در ساختار پلیمر، دمای انتقال شیشه‌ای، افر مقاومت به کشش، مدول الاستیک و ممانعت‌کننده‌گی در برابر انتقال رطوبت، اکسیژن، آroma و روغن را کاهش و میزان کشش‌پذیری را افزایش می‌دهد و باعث بهبود انعطاف‌پذیری فیلم می‌شود (۳-۵).

در فیلم‌های امولسیونی که از روغن استفاده می‌شود، برای کاهش کشش سطحی در سطح مشترک آب-لیپید از امولسیون‌کننده‌ها استفاده می‌شود که مواد فعال سطحی با ماهیت آب‌گریز و آبدوست هستند. توئین (tween) به گروهی از امولسیفایرها تعلق دارد که تحت عنوان پلی‌سوربات‌ها یا استرهای اتوکسیله شناخته می‌شوند (۷، ۳). برخی از پلی‌سوربات‌ها توسط FDA به عنوان افزودنی‌های مستقیم غذایی مجاز اعلام شده‌اند، مانند: توئین ۶۰، توئین ۸۰، توئین ۶۵ و پلی‌گلیسرات ۱۴ (۱۴، ۶۰).

در این پژوهش از نشاسته سیب زمینی همراه با روغن آفتاگردن حاوی امولسیفایر، گلیسروول و صمغ ثعلب، فیلم‌های خوراکی شد و ویژگی‌های مکانیکی (مقاومت به کشش، مدول الاستیک و میزان کشش‌پذیری)، نوری (شفافیت، رنگ، دورت و درصد عبور نور UV)، حلایت و نفوذپذیری به بخار آب آن‌ها اندازه‌گیری شد.

شاخص (صفر = رنگ سیاه، ۱۰۰ = رنگ سفید) اندازه‌گیری شد. سیری رنگ فیلم‌ها با استفاده از این فرمول محاسبه شد:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

تعیین کدورت و میزان عبور نور فرابنفش از فیلم‌ها:
اندازه‌گیری کدورت بر اساس استاندارد ASTM D1003-00 انجام شد. نمونه‌های فیلم در ابعاد $1 \times 3 \text{ cm}^2$ برشیده و توسط چسب نواری به یک طرف از کووت کوارتز چسبانده شد. سپس توسط دستگاه طیف‌نورسنج مدل UVS 2100 (شرکت Scinco، کره جنوبی) میزان جذب نوری فیلم‌ها در طول موج ۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر و میزان عبور نوری فیلم‌ها در طول موج ۲۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. از کووت خالی به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. سطح زیر منحنی جذب نور در طول موج ۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر بیانگر مقدار کدورت و میانگین درصد عبور نور در طول موج‌های ۲۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر بیانگر میزان عبور نور فرابنفش از فیلم‌ها اندازه‌گیری شد (۱۸).

تجزیه و تحلیل آماری: از طرح آماری روش سطح پاسخ یا طرح مرکب مرکزی (Response Surface Method) RSM (Central Composite Design) CCD با ۳ متغیر و ۴ نقطه مرکزی (Center Points) استفاده شد. کلیه آزمایش‌ها در ۳ تکرار با استفاده از نرم افزار Design-Expert 7.0.0 انجام شد. سطوح مورد آزمون در جدول ۱ آورده شده است. درصد ثعلب، گلیسروول و روغن بر اساس مقدار نشاسته است. در پایان، نقطه بهینه یعنی غلظت‌های مناسب از ثعلب، گلیسروول و روغن با استفاده از نرم افزار تعیین شد. هدف تعیین نقطه‌ایی بود که در آن، مقاومت به کشش، مدول الاستیک، میزان کشش‌پذیری و شفافیت در بالاترین مقدار ممکن و میزان سیری رنگ، کدورت، درصد عبور نور UV، حلایت و WVP در کمترین مقدار ممکن باشد. نرم افزار نقطه‌ایی را که در آن غلظت ثعلب ۰.۳٪، گلیسروول ۰.۳۲٪ و روغن آفتتابگردان ۰.۸٪ باشد، به عنوان نقطه بهینه مشخص کرد.

جدول ۱- سطوح مورد آزمایش در طرح آماری RSM

در قالب CCD

+α	+1	0	-1	-α
۵	۴	۲/۵	۱	۰
۴۰	۳۴	۲۵	۱۶	۱۰
۲۰	۱۶	۱۰	۴	۰

ثعلب (%)

گلیسروول (%)

روغن (%)

فنجان‌ها هر ۱۲ ساعت یک بار توزین و میزان افت وزنی تعیین شد. میزان نفوذپذیری به بخار آب (m.s.Pa) با استفاده از این فرمول محاسبه شد:

$$WVP = \frac{\Delta m \times x}{A \times \Delta t \times \Delta P}$$

: افت وزنی (گرم)، A: سطح در معرض فنجان $7/06 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ، Δt : زمان (ثانیه)، x: ضخامت فیلم (متر) و ΔP : اختلاف فشار جزئی بین درون و بیرون فنجان (پاسکال) است. رطوبت نسبی در درون فنجان ۱۰۰٪ در خارج آن صفر درصد بود. بنابراین، اختلاف فشار جزئی بین درون و بیرون فنجان در دمای 25°C 3179 پاسکال بود (۱۶).

تعیین ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها: آزمون‌های مکانیکی فیلم‌ها بر اساس روش اصلاح شده ASTM D0882-02 صورت گرفت. فیلم‌ها در قطعات $7 \times 1 \text{ cm}$ برشیده و تحت شرایط رطوبت نسبی ۵٪ و دمای 25°C مشروط شدند. ضخامت آن‌ها در ۵ نقطه اندازه‌گیری و ضخامت متوسط آن‌ها تعیین شد. ویژگی‌های مکانیکی فیلم (میزان کشش‌پذیری (درصد)، مقاومت به کشش (مگاپاسکال) و مدول الاستیک (مگاپاسکال) با استفاده از اینستران مدل Zwick BZ2.5/TH/S (شرکت Zwick آلمان) اندازه‌گیری شد. در دستگاه اینستران فاصله بین دو فک ۵۰ mm، سرعت حرکت فک بالایی ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و فک پایینی ثابت بود (۱۵).

اندازه‌گیری حلایت: فیلم‌ها در ابعاد $2 \times 2 \text{ cm}$ برشیده و به مدت ۲۴ ساعت داخل آون (دمای 100°C) قرار گرفتند. نمونه‌های خشک شده، توزین (M_1)، داخل بشرهای حاوی آب قطرارداده و در انکوباتور شیکردار (۷۰ rpm) و دمای 25°C به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس قطعات باقی‌مانده داخل آون (دمای 100°C) به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و در پایان توزین شدند (M_2). حلایت فیلم‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد. در این رابطه M_1 ماده خشک اولیه فیلم و M_2 ماده خشک نامحلول فیلم می‌باشد (۱۷).

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

تعیین رنگ فیلم‌ها: با استفاده از رنگ‌سنج هانترلب مدل ۴۵۱۰ (شرکت Colorflex، آمریکا) پارامترهای a*، b* = +a، b* = -b، a* = +a، b* = -b، L* = +L، a* = -a، b* = -b، L* = -L یا

۱۳/۸ به ۶/۸ درصد) میزان کشش‌پذیری می‌شود، ولی اگر مقدار گلیسروول به ۳۰٪ افزایش یابد، افزایش ۵ درصدی ثعلب باعث کاهش ۱۳/۶ درصدی میزان کشش‌پذیری می‌شود (از ۲۱/۸ به ۸/۲ درصد) (شکل ۱-B).

شفافیت یا^{*} L: بررسی ویژگی‌های رنگی فیلم توسط دستگاه هانترلب نشان داد که ثعلب در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث کاهش میزان شفافیت و گلیسروول در سطح اطمینان ۹۵٪ باعث افزایش شفافیت شد، ولی روغن با وجود اینکه باعث کاهش شفافیت فیلم شد [تأثیر روغن (۰/۰۸) در حدود ۲ برابر کمتر از تأثیر ثعلب (۰/۰۱۷) بود] ولی از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). لازم به ذکر است که با افزایش مقدار ثعلب، تأثیر روغن در کاهش میزان شفافیت افزایش می‌یابد. برای مثال، در غلظت ۰/۲۵٪ گلیسروول (نقطه مرکزی) اگر مقدار ثعلب ۱٪ باشد، افزایش روغن تا ۰/۲۰٪ باعث کاهش ۰/۱۵٪ (از ۹۲/۴۵ به ۹۲/۶۰) در میزان شفافیت می‌شود، ولی اگر مقدار ثعلب ۰/۴٪ باشد، افزایش ۰/۲۰ درصدی روغن باعث کاهش ۰/۴۰٪ میزان شفافیت می‌شود (از ۹۲/۴۰ به ۹۲). با این حال به دلیل نزدیک بودن شفافیت فیلم‌ها این تأثیر معنی‌داری نیست (جدول ۳).

میزان سیری رنگ یا^{*} C: یکی از ویژگی‌های رنگی فیلم، میزان سیری است. ثعلب در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث افزایش میزان رنگ فیلم‌ها شد، ولی روغن و گلیسروول با وجود اینکه باعث افزایش میزان رنگ فیلم شدند (به ترتیب ۲ برابر و ۳ برابر کمتر از ثعلب) ولی معنی‌دار نبودند (ضریب تأثیر ثعلب، روغن و گلیسروول به ترتیب ۰/۰۴۹، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۱۸ است). البته، با افزایش مقدار گلیسروول، تأثیر ثعلب افزایش می‌یابد و این مسئله بیانگر اثر هم‌افزایی ضعیفی بین گلیسروول و ثعلب در افزایش میزان سیری رنگ است (جدول ۳). برای مثال، در غلظت ۰/۱۰٪ روغن (نقطه مرکزی) اگر مقدار گلیسروول ۰/۱۵٪ باشد، افزایش ثعلب تا ۰/۵٪ باعث افزایش ۰/۰۷ (از ۰/۴۴ به ۰/۵۱) در میزان سیری رنگ می‌شود، ولی اگر میزان گلیسروول به ۰/۳۵٪ افزایش یابد، افزایش ۵ درصدی میزان ثعلب باعث افزایش ۰/۲۵ (از ۰/۳۹ به ۰/۶۴) در میزان سیری رنگ می‌شود (شکل ۱-C).

برای بررسی صحت این نقاط از آزمون اعتبارسنجی (validation) استفاده شد. برای انجام این آزمون در ابتدا باید فیلمی با توجه به نقاط بهینه، تهیه و ویژگی‌های آن اندازه‌گیری می‌شود. سپس این نتایج با نتایج پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار مقایسه شد. برای به دست آوردن خطای پیش‌بینی از این فرمول استفاده شد.

$$E(\%) = \frac{R_t - R_p}{R_p} \times 100$$

R_t: نتایج واقعی به دست آمده طی آزمایش‌های اعتبارسنجی، R_p: نتایج پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار و E: درصد خطای پیش‌بینی.

۰ یافته‌ها

مقاومت به کشش: نتایج آزمون مکانیکی توسط دستگاه اینستران نشان داد که ثعلب در سطح اطمینان ۹۵٪ باعث افزایش و گلیسروول و روغن در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث کاهش میزان مقاومت به کشش فیلم‌های نشاسته شد (جدول ۳). البته، گلیسروول و روغن دارای اثر هم‌افزایی در افزایش مقاومت به کشش داشتند (جدول ۳ و شکل ۱-A). از طرفی تأثیر گلیسروول (۶/۲۷) در کاهش میزان مقاومت به کشش حدود ۳۰٪ بیشتر از روغن (۴/۸۶) و مهم‌ترین عامل روی میزان مقاومت به کشش فیلم‌ها بود (جدول ۳).

مدول الاستیک: یکی از ویژگی‌های مکانیکی فیلم، مدول الاستیک است. ثعلب در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث کاهش مدول گلیسروول و روغن در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث کاهش مدول الاستیک شدند (جدول ۳). البته، تأثیر گلیسروول (۱۲۱/۰۵) در کاهش مدول الاستیک حدود ۳/۷ برابر روغن (۳۲/۸۱) و مهم‌ترین عامل مؤثر در میزان مدول الاستیک بود (جدول ۳).

میزان کشش‌پذیری: نتایج آزمون مکانیکی نشان داد که گلیسروول در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث افزایش و روغن و ثعلب در سطح ۹۵٪ باعث کاهش میزان کشش‌پذیری فیلم‌های نشاسته شدند (جدول ۳). با این وجود، تأثیر افزایشی گلیسروول (۷/۹۶) به ترتیب حدود ۳ و ۴ برابر تأثیر کاهشی روغن (۲/۷۵) و ثعلب (۲/۱۲) و مهم‌ترین عامل در میزان کشش‌پذیری بود (جدول ۳). از طرفی با افزایش مقدار گلیسروول، تأثیر ثعلب افزایش می‌یابد. برای مثال، در فیلمی حاوی ۱۰٪ روغن (نقطه مرکزی) اگر مقدار گلیسروول ۰/۲۵٪ باشد، افزایش مقدار ثعلب تا ۰/۵٪ باعث کاهش ۵ درصدی (از

جدول ۲- نتایج بررسی تأثیر شلب، گلیسرول و روغن بر ویژگی‌های فیلم نشاسته سیب‌زمینی به روش RSM

WVP (10^{-10} g/m.s.Pa)	حالیت	درصد عبور نور UV	کدورت (AU.nm)	سیری رنگ (C°)	شفافیت (L°)	مدول الاستیک (MPa)	مقاومت به کشش (MPa)	میزان کشش پذیری (%)	روغن	گلیسرول	شلب
۱/۵۵±۰/۱۳	۱۸/۸±۳/۰	۷/۱۶±۰/۸۶	۱/۲۸±۰/۰۴	۲/۳۹±۰/۰۵	۹۲/۴۰±۰/۲۸	۳۷۲/۱۹±۷/۸۲	۲۳/۷۸±۰/۳۴	۶/۶۹±۰/۲۵	(٪۴)-۱	(٪۱۶)-۱	(٪۱)-۱
۱/۵۸±۰/۱۲	۱۹/۶±۱/۷	۵/۵۷±۱/۰۷	۱/۳۲±۰/۰۸	۲/۴۶±۰/۰۲	۹۲/۲۵±۰/۱۶	۴۰/۷/۸۸±۱۵/۹۱	۲۵/۶۵±۱/۸۷	۷/۲۶±۰/۳۹	(٪۴)-۱	(٪۱۶)-۱	(٪۴) ۱
۱/۶۶±۰/۰۸	۲۲/۳±۵/۶	۶/۰۶±۱/۱۱	۱/۳۳±۰/۰۹	۲/۴۰±۰/۱۰	۹۲/۷۹±۰/۲۹	۱۰۳/۸۷±۲۱/۱۶	۶/۲۹±۰/۰۵	۳۲/۸۷±۶/۰۹	(٪۴)-۱	(٪۳۴) ۱	(٪۱)-۱
۱/۷۱±۰/۲۷	۲۱/۱±۲/۱	۷/۱۶±۰/۰۴۹	۱/۳۳±۰/۰۲	۲/۶۱±۰/۲۴	۹۲/۴۲±۰/۱۵	۱۵۵/۱۵±۱۶/۳۲	۸/۱۳±۰/۰۱	۱۴/۱۹±۰/۶۵	(٪۴)-۱	(٪۳۴) ۱	(٪۴) ۱
۱/۴۸±۰/۲۱	۱۸/۱±۲/۶	۶/۶۲±۰/۰۱	۱/۲۹±۰/۰۰	۲/۵۰±۰/۰۳	۹۲/۵۶±۰/۰۶	۳۲۴/۹۶±۲۱/۱۱	۱۲/۱۸±۰/۷۷	۳/۹۸±۰/۲۰	(٪۱۶) ۱	(٪۱۶)-۱	(٪۱)-۱
۱/۵۰±۰/۱۴	۱۵/۱±۰/۱۸	۴/۸۴±۰/۰۴۳	۱/۴۰±۰/۰۳	۲/۴۷±۰/۰۴	۹۲/۲۳±۰/۰۷۸	۳۶۳/۷۱±۹/۷۱	۱۵/۶۲±۰/۰۴۰	۴/۸۱±۰/۱۴	(٪۱۶) ۱	(٪۱۶)-۱	(٪۴) ۱
۱/۶۴±۰/۱۶	۱۶/۹±۰/۴	۴/۱۱±۰/۰۲	۱/۵۴±۰/۰۷	۲/۵۰±۰/۰۵	۹۲/۸۱±۰/۱۶	۴۳/۳۰±۷/۶۲	۳/۷۰±۰/۰۲۸	۱۹/۳۰±۱/۱۴	(٪۱۶) ۱	(٪۳۴) ۱	(٪۱)-۱
۱/۶۷±۰/۱۴	۱۸/۰±۳/۷	۳/۹۱±۰/۰۲۶	۱/۴۴±۰/۰۳	۲/۵۳±۰/۰۶	۹۲/۲۴±۰/۰۳۴	۸۲/۷۷±۶/۴۰	۵/۷۲±۰/۰۷۶	۸/۵۷±۱/۰۷	(٪۱۶) ۱	(٪۳۴) ۱	(٪۴) ۱
۱/۵۴±۰/۲۰	۱۶/۲±۲/۰	۵/۶۲±۰/۰۱۷	۱/۳۴±۰/۱۴	۲/۴۶±۰/۰۴	۹۲/۶۵±۰/۱۶	۲۳۸/۳۳±۴۷/۷۲	۱۲/۲۱±۰/۰۹۴	۶/۰۵۰±۱/۲۵	(٪۱۰) ۰	(٪۰)-۱/۶۸	۹
۱/۶۰±۰/۰۹	۱۶/۴±۰/۰۶	۵/۲۰±۰/۰۳۷	۱/۴۴±۰/۰۳	۲/۶۸±۰/۰۹	۹۲/۱۸±۰/۰۲۷	۳۳۶/۷۵±۱/۰۵۹	۱۶/۲۸±۰/۰۹۸	۵/۴۶±۰/۰۳۸	(٪۱۰) ۰	(٪۰)-۰/۶۸	۱۰
۱/۴۴±۰/۱۳	۱۴/۱±۴/۱	۵/۸۱±۰/۰۲۴	۱/۳۴±۰/۰۴	۲/۴۵±۰/۱۵	۹۲/۱۸±۰/۰۵۸	۳۹۲/۰۹±۲۴/۶۱	۲۴/۰۳۰±۰/۰۹	۶/۵۶±۰/۰۳۷	(٪۱۰) ۰	(٪۰)-۱/۶۸	(٪۰)-۰/۶۸
۱/۷۰±۰/۰۲	۱۶/۳±۱/۰۵	۴/۷۴±۰/۰۴۴	۱/۴۲±۰/۰۳	۲/۴۶±۰/۰۲	۹۲/۹۵±۰/۱۰	۵۳/۴۳±۱۲/۹۷	۵/۱۰±۰/۰۴۷	۴۰/۱۶±۹/۶۰	(٪۱۰) ۰	(٪۰)-۰/۶۸	(٪۰)-۰/۶۸
۱/۶۶±۰/۰۲۶	۲۰/۴±۱/۹	۷/۴۶±۱/۰۳۷	۱/۱۴±۰/۰۵	۲/۴۴±۰/۰۶	۹۲/۲۱±۰/۱۵	۳۴۲/۴۷±۱/۰۵۵	۲۹/۰۱±۰/۰۴۸	۱۰/۲۷±۰/۰۱۶	(٪۰)-۱/۶۸	(٪۰)-۰/۶۸	(٪۰)-۰/۶۸
۱/۴۲±۰/۰۴	۱۶/۵±۰/۰۵	۵/۲۲±۰/۰۳۵	۱/۳۴±۰/۰۳	۲/۵۷±۰/۱۰	۹۱/۰۵±۰/۰۳	۲۰۹/۴۷±۱۲/۹۴	۵/۳۷±۰/۰۹۲	۲/۴۲±۰/۰۳۳	(٪۰)-۰/۶۸	(٪۰)-۰/۶۸	(٪۰)-۰/۶۸
۱/۵۶±۰/۱۶	۱۷/۸±۰/۰۵	۵/۲۱±۰/۱۲۰	۱/۳۹±۰/۰۷	۲/۵۷±۰/۱۱	۹۲/۲۹±۰/۰۴۷	۲۵۹/۲۳±۲۸/۷۳	۸/۸۰±۰/۰۶۸	۴/۴۴±۰/۰۳۷	(٪۱۰) ۰	(٪۰)-۰/۶۸	(٪۰)-۰/۶۸
۱/۶۲±۰/۱۹	۲۱/۴±۱/۴	۵/۰۵±۰/۱۲	۱/۳۸±۰/۰۱	۲/۲۸±۰/۰۸	۹۱/۹۱±۰/۰۵۷	۲۶۶/۴۷±۳/۳۸	۹/۳۹±۰/۰۲۸	۳/۴۴±۰/۰۰۸	(٪۱۰) ۰	(٪۰)-۰/۶۸	(٪۰)-۰/۶۸
۱/۶۱±۰/۰۷	۱۸/۷±۴/۵	۵/۰۸±۰/۰۹۶	۱/۳۷±۰/۰۶	۲/۵۶±۰/۱۳	۹۲/۷۵±۰/۰۲۷	۳۴۵/۴۷±۹/۱۷	۱۵/۸۳±۰/۰۱۸	۵/۰۳۸±۰/۰۲۱	(٪۱۰) ۰	(٪۰)-۰/۶۸	(٪۰)-۰/۶۸
۱/۶۰±۰/۰۴	۱۹/۳±۱/۰۸	۶/۱۱±۰/۱۶	۱/۳۴±۰/۰۱	۲/۴۷±۰/۱۷	۹۲/۳۲±۰/۰۴۲	۲۹۰/۳۹±۱۰/۰۷	۱۱/۳۴±۳/۹۰	۴/۴۲±۰/۰۹۷	(٪۱۰) ۰	(٪۰)-۰/۶۸	(٪۰)-۰/۶۸

جدول ۳- مقادیر ضرایب مدل رگرسیون برآورد شده برای پاسخ‌های مورد مطالعه به روش RSM

پاسخ											
WVP ($\times 10^{-10}$)	حالیت	UV	درصد عبور نور	کدورت (AU.nm)	سیری رنگ (C°)	شفافیت (L°)	مدول الاستیک	مقاومت به کشش	میزان کشش پذیری	ضریب	
۱/۵۸۴***	۱۸/۱۷***	۵/۶۱***	۱/۳۶***	۲/۴۹***	۹۲/۳۶***	۲۵۴/۸۹***	۱۳/۲۶***	۱۰/۳۵***	β_0		
-۰/۰۱۶ns	-۰/۱۴ns	-۰/۲۰*	-۰/۰۱۶ns	-۰/۰۴۹***	-۰/۱۷***	۲۴/۲۲***	۱/۱۷**	-۲/۱۲**	β_1		
-۰/۰۷۴***	-۰/۷۵*	-۰/۳۸***	-۰/۰۳۶***	-۰/۰۱۸ns	-۰/۱۵**	-۱۲۱/۰۵***	-۶/۲۷***	۷/۹۶***	β_2		
-۰/۰۴۵**	-۰/۱۴۸***	-۰/۰۷۸***	-۰/۰۵۳***	-۰/۰۲۵ns	-۰/۰۱۰ns	-۳۲/۸۱***	-۴/۸۶***	-۲/۷۵**	β_3		
-۰/۰۰۳ns	-۰/۲۵ns	-۰/۰۵۹***	-۰/۰۲۲**	-۰/۰۲۵ns	-۰/۰۰۷ns	۲/۰۴ns	-۰/۰۱۸ns	-۳/۰۸***	β_{12}		
-۰/۰۰۳ns	-۰/۱۸ns	-۰/۰۱۳ns	-۰/۰۰۰۴ns	-۰/۰۳۶ns	-۰/۰۰۴ns	-۱/۰۹ns	۰/۰۲۳ns	۱/۰۳ns	β_{13}		
-۰/۰۱۰ns	-۰/۰۴۲ns	-۰/۰۵۵***	-۰/۰۲۸**	-۰/۰۱۳ns	-۰/۰۰۳ns	-۰/۰۱۹ns	۲/۰۸***	-۱/۷۵ns	β_{23}		

*** و ** به ترتیب نشان دهنده غیر معنی داری و معنی داری در سطوح اطمینان ۹۰٪ و ۹۵٪ و ۹۹٪ هستند.

در سطح ۹۹٪ باعث کاهش درصد عبور نور UV از فیلم شدند (جدول ۳). البته، تأثیر روغن (۰/۷۸) در کاهش میزان عبور نور UV به ترتیب ۲ و ۴ برابر بیشتر از تأثیر گلیسروول (۰/۳۸) و شلub (۰/۰) بود (جدول ۳). تأثیر شلub در کاهش میزان عبور نور UV معمولاً در غلظت‌های کمتر از ۳۰٪ گلیسروول مشاهده شد؛ به گونه‌ای که در غلظت ۳۰٪ گلیسروول، افزایش شلub تأثیری در میزان عبور نور UV نداشت و حدود ۵/۲٪ بود، ولی در غلظت گلیسروول ۲۰٪ افزایش شلub تا ۵٪ باعث کاهش ۱/۴ درصدی (از ۶/۷ به ۵/۳ درصد) در میزان عبور نور UV شد. این مسئله بیانگر اثر آنتاگونیستی بین گلیسروول و شلub روی درصد عبور نور UV بود (جدول ۳). روغن و گلیسروول دارای اثر هم‌افزایی بالایی (در سطح اطمینان ۹۹٪) در کاهش درصد عبور نور UV بودند (جدول ۳).

حالیت: شلub در میزان حالیت فیلم‌ها تأثیری نداشت، ولی گلیسروول در سطح اطمینان ۹۰٪ باعث افزایش و روغن در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث کاهش میزان حالیت شدند (جدول ۳).

نفوذپذیری به بخار آب (WVP): شلub در میزان WVP مؤثر نبود، ولی گلیسروول در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث افزایش و روغن در سطح اطمینان ۹۵٪ باعث کاهش میزان WVP شدند (جدول ۳).

نقشه بهینه و آزمون اعتبارسنجی (Validation): نتایج آزمون اعتبارسنجی در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به این جدول می‌توان دریافت که طرح آماری استفاده شده برای پیش‌بینی ویژگی‌های فیلم‌های حاوی نشاسته، گلیسروول، روغن و شلub و تعیین نقطه بهینه ویژگی‌های فیلم تا حدود بسیار زیادی مناسب بود. البته لازم به ذکر است فقط میزان کشش‌پذیری فیلم به دلیل انحراف معیار بالای این ویژگی تا حدود زیادی قابل پیش‌بینی نبود.

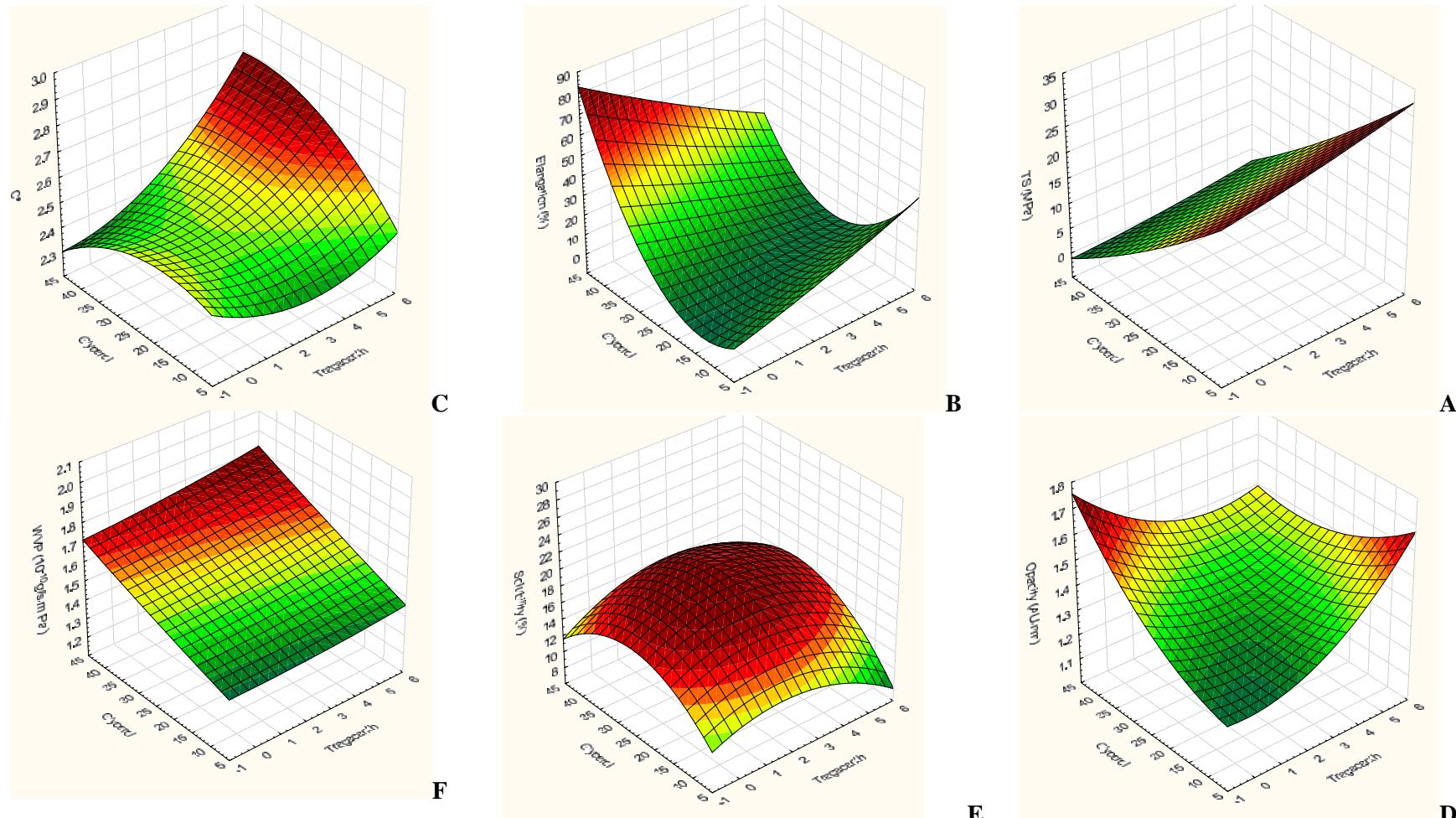
از طرفی در غلظت‌های روغن بالاتر از ۱۵٪، افزایش شلub تأثیر کمی در افزایش میزان رنگ دارد. این مسئله بیانگر اثر آنتاگونیستی ضعیفی بین روغن و شلub در افزایش میزان سیری رنگ است (جدول ۳). برای مثال، در غلظت ۲۵٪ گلیسروول (نقطه مرکزی) اگر مقدار روغن ۵٪ باشد، افزایش ۵ درصدی شلub باعث افزایش ۰/۲۶ (از ۲/۳۴ تا ۲/۶۰ در میزان سیری رنگ می‌شود، ولی اگر غلظت روغن به ۱۵٪ افزایش یابد، افزایش ۵ درصد در میزان شلub فقط باعث افزایش ۰/۰۶ (از ۲/۴۹ به ۲/۵۵ در میزان سیری رنگ می‌شود. اگر مقدار شلub بیشتر از ۳٪ شود، تأثیر روغن در افزایش میزان سیری رنگ کاهش می‌یابد و تقریباً بی‌تأثیر خواهد شد.

کدورت: یافته‌های طیف‌نورسنج نشان داد که روغن و گلیسروول در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث افزایش میزان کدورت شدند. البته، تأثیر روغن (۰/۰۵۳) در میزان کدورت تقریباً ۱/۵ برابر تأثیر گلیسروول (۰/۰۳۶) بود (جدول ۳). با اینکه شلub باعث افزایش میزان کدورت شد، ولی تأثیر آن (۰/۰۱۶) حدود ۳ برابر کمتر از روغن بود و از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). از طرفی با کاهش مقدار گلیسروول تأثیر شلub در افزایش مقدار کدورت افزایش می‌یابد؛ به ویژه اگر مقدار گلیسروول به کمتر از ۲۵٪ کاهش یابد. این مسئله بیانگر اثر آنتاگونیستی بین گلیسروول و شلub روی میزان کدورت است. برای مثال، در مقدار روغن ۱۰٪ (نقطه مرکزی) اگر مقدار گلیسروول ۲۰٪ باشد، با افزایش مقدار شلub تا ۵٪، کدورت ۰/۱۱ AU.nm به ۱/۲۸ AU.nm بود (۱/۳۹ AU.nm)، ولی اگر مقدار گلیسروول ۳۰٪ باشد، با افزایش شلub تا ۵٪، کدورت تغییری نمی‌کند و حدود ۱/۳۸ AU.nm بود (شکل ۱-D). روغن و شلub دارای اثر هم‌افزایی بالایی (در سطح اطمینان ۹۵٪) در افزایش میزان کدورت بودند (جدول ۳).

درصد عبور نور فرابنفش یا UV: یکی دیگر از ویژگی‌های ارزیابی شده توسط دستگاه طیف‌نورسنج، درصد عبور نور UV است. شلub در سطح اطمینان ۹۰٪ و روغن و گلیسروول

جدول ۴- بررسی صحت نقطه بهینه در آزمون اعتبارسنجی

ویژگی	میزان کشش پذیری (%)	مقاومت به کشش (MPa)	مدول الاستیک (MPa)	شفافیت (L^*) (MPa)	سیری رنگ (C°)	کدورت (AU.nm)	درصد عبور نور UV	حالالت (%)	WVP (10^{-10} g/m.s.Pa)
نتایج واقعی	۷/۴۹±۱/۷۰	۹/۴۲±۰/۸۳	۱۷۸/۱۸±۴/۰۲	۹۲/۲۱±۰/۱۱	۲/۵۴±۰/۰۱	۱/۲۲±۰/۰۵	۶/۷۴±۰/۸۶	۱۷/۳±۰/۰۵	۱/۸۷±۰/۰۴
نتایج پیش‌بینی شده	۹/۳۰	۹/۷۵	۱۸۱/۰۸	۹۲/۳۳	۲/۵۳	۱/۳۰	۶/۵۹	۱۷/۴	۱/۸۴
خطای پیش‌بینی	-۱۹/۵	-۳/۴	-۱/۶	-۰/۱	۰/۴	-۶/۲	۲/۳	-۰/۶	۱/۶



شکل ۱- چند نمونه از گراف‌های RSM. در این گراف‌ها اثر متقابل ثعلب و گلیسروول روی ویژگی‌های مختلف فیلم خوراکی نشان داده شده است.
A: مقاومت به کشش؛ B: میزان کشش پذیری؛ C: میزان سیری رنگ؛ D: کدورت؛ E: Hallcrest؛ F: حلالیت؛

• بحث

فیلم می‌شود. گلیسروول ترکیبی شفاف و بی‌رنگ است و باعث افزایش میزان شفافیت می‌شود. از طرفی به خاطر تأثیر حرارت ژلاتینه شدن تا حدودی میزان رنگ گلیسروول افزایش می‌یابد و در نتیجه، باعث کاهش کمی در میزان رنگ فیلم می‌شود (۲۹). روغن تا حدودی باعث کاهش میزان شفافیت می‌شود. روغن به دلیل زرد رنگ بودن (به دلیل حضور توئین ۸۰) و همچنین به علت تغییر رنگ طی حرارت ژلاتینه کردن باعث افزایش میزان رنگ فیلم‌ها می‌شود (۳۰، ۳۱).

تأثیر صمغ‌ها بر میزان کدورت به نوع صمغ و شرایط تهیه آن وابسته است. برخی صمغ‌ها مانند صمغ کهور چون تیره رنگ و کدر هستند، باعث افزایش میزان کدورت می‌شوند (۳۱). گلیسروول باعث افزایش میزان کدورت می‌شود؛ به ویژه اگر مقدار آن بیشتر از ۳۰٪ باشد (۳۲). لیپیدها به ویژه اگر نقطه ذوب آن‌ها بالا باشد، باعث افزایش میزان کدورت و غیر شفاف شدن فیلم‌ها می‌شوند. از طرفی لیپیدها به دلیل اکسید شدن طی زمان تهیه فیلم (در اثر دمای بالا مانند دمای ژلاتینه کردن یا pH‌های اسیدی و قلیایی) باعث افزایش میزان رنگ و کدورت می‌شوند (۳۰، ۳۱، ۴، ۲۷).

معمولًاً صمغ‌ها و گلیسروول به دلیل محلول بودن در آب باعث افزایش میزان حلایت و لیپیدها به دلیل نامحلول بودن در آب باعث کاهش حلایت می‌شوند. البته، گاهی اوقات به علت برهم‌کنش‌های بین اجزای تشکیل دهنده فیلم‌ها ممکن است صمغ‌ها حلایت را کاهش دهند (۳۳، ۳۴، ۴، ۲۴، ۳)، باید توجه داشت به علت مقدار کم و همچنین حلایت پایین صمغ شعلب، تأثیر آن معنی دار نشد. قدرت ممانعت‌کنندگی صمغ‌ها یا هیدروکلوفیدها در برابر انتقال بخار آب به دلیل ماهیت آب‌دوستی آن‌ها ضعیف است (۳۵، ۲۶، ۲۵). البته، در این مطالعه به دلیل مقدار کم صمغ، این تأثیر معنی دار نشد. در مقابل، فیلم‌های حاوی لیپیدها خصوصیات ممانعت‌کنندگی خوبی در برابر بخار آب دارند (۳۶، ۳۷، ۲۷، ۲۵). از طرفی گلیسروول با تضعیف پیوندهای هیدروژنی بین ملکولی، فاصله میان ملکول‌های نشاسته را افزایش می‌دهد و ملکول‌های بخار آب از بین این ملکول‌ها عبور می‌کنند (۳۸، ۴، ۳۵).

پلاستی سایزرها با تخریب پیوندهای هیدروژنی درون و بین ملکولی، پیوندهای هیدروژنی بین زنجیره‌های آمیلوز و آمیلوپکتین را کاهش می‌دهند و برهم‌کنش بین آن‌ها را کم می‌کنند. در نتیجه، فاصله بین ملکول‌های پلیمر و حرکات ملکولی زیاد می‌شود و انعطاف‌پذیری پلیمر افزایش می‌یابد. با کاهش برهم‌کنش بین زنجیره‌های پلیمر، مقاومت به کشش و مدول الاستیک کاهش و میزان کشش‌پذیری افزایش می‌یابد (۲۱-۲۹).

هیدروکلوفیدها یا صمغ‌ها، پلی‌ساقاریدهایی آب‌دوست، محلول در آب با وزن ملکولی بالا هستند که به دلیل ماهیت پلیمری، وزن ملکولی بالا و برهم‌کنش‌هایی که بین زنجیره‌های آن‌ها رخ می‌دهد، باعث افزایش گرانروی محلول تهیه فیلم می‌شوند (۳۰، ۹). افزایش گرانروی باعث کاهش سرعت خشک شدن فیلم و در نتیجه، بهبود خصوصیات مکانیکی فیلم‌ها می‌شود (۲۲، ۲۳). از طرفی هیدروکلوفیدها به دلیل جذب آب بالایی که دارند، میزان رطوبت فیلم‌های نشاسته را افزایش می‌دهند و با توجه به اینکه رطوبت مانند پلاستی سایزرها عمل می‌کند، باعث تضعیف ویژگی‌های مکانیکی و افزایش میزان کشش‌پذیری می‌شود (۷، ۵-۳).

با توجه به دو اثر متضاد هیدروکلوفیدها، نوع و شدت تغییرات به نوع صمغ بستگی دارد. برخی صمغ‌ها مانند زانتان باعث کاهش میزان کشش‌پذیری و افزایش مقاومت به کشش و میزان کشش‌پذیری (۳۴) و برخی مانند کاراگینان و پولولان باعث افزایش میزان کشش‌پذیری و کاهش مقاومت به کشش و میزان کشش‌پذیری می‌شوند (۲۵، ۲۶). شعلب از نظر ویژگی‌های مکانیکی و کششی شباهت زیادی به صمغ زانتان دارد.

لیپیدها به علت تشکیل کمپلکس آمیلوز-لیپید باعث کاهش میزان تورم گرانول‌های نشاسته و کاهش گرانروی می‌شوند (۶). به دنبال کاهش گرانروی محلول نشاسته، سرعت خشک شدن فیلم‌ها کاهش می‌یابد و ویژگی‌های مکانیکی بهبود می‌یابد (۲۲، ۲۳). لیپیدها معمولاً به دلیل انعطاف‌پذیری پایین باعث کاهش میزان کشش‌پذیری فیلم‌ها می‌شوند (۲۷، ۲۸، ۳-۵).

شعلب ترکیبی زرد رنگ، غیر شفاف و تا حدودی کدر است و به همین علت باعث کاهش شفافیت و میزان رنگ

• References

1. Coles R, McDowell D. Food packaging technology. 1st ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, UK; 2003. p. 346.
2. Tharanathan RN. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. Trends in Food Science & Technology 2003; 14: 71-8.

3. Embuscado ME, Huber KC. Edible films and coatings for food applications. 1st ed. Springer Science 2009. p. 430.
4. Han JH. Innovations in Food Packaging. 1st ed. Boca Raton: Academic Press 2006. p. 503.
5. Gennadios A. Protein-Based Films and Coatings. 1st ed. Boca Raton: CRC Press 2004. p. 617.
6. BeMiller J, Whistler R. Starch: chemistry and technology. 3th ed. Maryland. Academic Press 2009. p. 894.
7. Ahvenainen R. Novel food packaging techniques. 1st ed. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd; 2003. p.590.
8. Cutter CN. Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods. *Meat Science* 2006; 74: 131-42.
9. Dickinson E. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloid* 2009; 23: 1473-1482
10. Williams PA, Phillips GO. Gums and stabilizers for the food industry. London: Royal Society of Chemistry; 2008. p.584.
11. Farhoosh R, Riazi A. A compositional study on two current types of salep in Iran and their rheological properties as a function of concentration and temperature. *Food Hydrocolloids* 2007; 21: 660-6.
12. Kayacier A, Dogan M. Rheological properties of some gums-salep mixed solutions. *J Food Eng* 2006; 72: 261-5.
13. Whitehurst RJ. Emulsifiers in food technology. Oxford: Blackwell Publishing Ltd; 2004. p.247.
14. Anonym 1. FDA Home Page in Internet. Available on the <http://www.FDA.gov>. 20 October 2010.
15. Anonym 2. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. Designation: D882-00. In: ASTM annual book of ASTM standards. Cdr ed. Philadelphia: ASTM; 2002. pp. 160-168.
16. Anonym 3. Standard test methods for water vapour transmission of materials. Designation: E96-00. In: ASTM annual book of ASTM standards. Cdr ed. Philadelphia, ASTM; 2002. p. 907-14.
17. Muller CMO, Yamashita F, Laurindo JB. 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. *Carbohad Polym* 2008; 72: 82-7.
18. Anonym 4. Standard test method for haze and luminous transmittance of transparent plastics. Designation: D1003-00. In: ASTM annual book of ASTM standards. Cdr ed. Philadelphia, PA: ASTM; 2002. p. 0-9.
19. Talja RA, Helen H, Roos YH, Jouppila K. Effect of type and content of binary polyol mixtures on physical and mechanical properties of starch-based edible films. *Carbohad Polym* 2008; 71: 269-76.
20. Galdeano MC, Mali S, Grossmann MVE, Yamashita F, Garcia MA. Effects of plasticizers on the properties of oat starch films. *Mater Sci Eng. C*: 2009; 29: 532-8.
21. Chen CH, Lai LS. Mechanical and water vapor barrier properties of tapioca starch/decolorized hsian-tsao leaf gum films in the presence of plasticizer. *Food Hydrocoll* 2008; 22: 1584-1595.
22. Bertuzzi MA, Armada M, Gottifredi JC. Physicochemical characterization of starch based films. *J Food Eng* 2007; 82: 17-25.
23. Mali S, Grossmann MVE, Garcia MA, Martino MN, Zaritzky NE. Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Food Hydrocoll* 2005; 19: 157-64.
24. Flores SK, Costa D, Yamashita F, Gerschenson LN, Grossmann MV. Mixture design for evaluation of potassium sorbate and xanthan gum effect on properties of tapioca starch films obtained by extrusion. *Mater Sci Eng. C*: 2010; 30: 196-202.
25. Fabra MJ, Talens P, Chiralt A. Effect of alginate and k-carrageenan on tensile properties and water vapour permeability of sodium caseinate-lipid based films. *Carbohydrate Polymers* 2008; 74: 419-26.
26. Kristo E, Biliaderis CG, Zampraka A. Water vapour barrier and tensile properties of composite caseinate-pullulan films: Biopolymer composition effects and impact of beeswax lamination. *Food Chem* 2007; 101: 753-64.
27. Zahedi Y, Ghanbarzadeh B, Sedaghat N. Physical properties of edible emulsified films based on pistachio globulin protein and fatty acids. *J Food Eng* 2010; 100: 102-8.
28. Yang L, Paulson AT. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. *Food Res Int* 2000; 33: 571-578.
29. Flores SCS, Mastromatteo M, Gerschenson ACL, Nobile MAD. Influence of glycerol and chitosan on tapioca starch-based edible film properties. *J Food Eng* 2008; 88: 159-68.
30. Perez-Mateos M, Montero P, Gomez-Guille MC. Formulation and stability of biodegradable films made from cod gelatin and sunflower oil blends. *Food Hydrocoll* 2009; 23: 53-61.
31. Oses J, Fabregat-Vazquez M, Pedroza-Islas R, Tomas SA, Cruz-Orea A, Mate JI. Development and characterization of composite edible films based on whey protein isolate and mesquite gum. *J Food Eng* 2009; 92: 56-62.
32. Bertuzzi MA, Armada M, Gottifredi JC. Physicochemical characterization of starch based films. *J Food Eng* 2007; 82: 17-25.
33. Tapia-Blacido D, Sobral PJ, Menegalli FC. Development and characterization of biofilms based on Amaranth flour (*Amaranthus caudatus*). *J Food Eng* 2005; 67: 215-23.
34. Phan The D, Debeaufort F, Voilley A, Luu D. Influence of hydrocolloid nature on the structure and functional properties of emulsified edible films. *Food Hydrocoll* 2009; 23: 691-9.
35. Galdeano MC, Mali S, Grossmann MVE, Yamashita F, Garcia MA. Effects of plasticizers on the properties of oat starch films. *Mater Sci Eng. C*: 2009; 29: 532-8.

Effects of salep, glycerol and sunflower oil on potato starch-based edible film

Fazel M¹, Azizi MH^{*2}, Abbasi S³, Barzegar M³

1- Ph.D Student in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- *Corresponding author: Associate Prof, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: Azizit_m@modares.ac.ir

3- Associate Prof, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Received 10 Mar, 2011

Accepted 3 Jul, 2011

Background and Objective: Starch is one of the most abundant carbohydrate biopolymers with excellent film-forming properties. However, it has a poor resistance to water vapour and poor mechanical properties. The objective of this study was to determine the effects of glycerol, oil and salep on the film properties of starch.

Materials and Methods: Edible films based on mixtures of starch and salep (an Iranian gum) were prepared and their properties (mechanical and optical characteristics, solubility, and water vapor permeability (WVP)) investigated. The mixtures were as follows: potato starch and salep (1-5%), potato and glycerol plasticizer (10-40%), and potato and sunflower oil (0-20%).

Results: The results showed that the physical and mechanical properties of potato starch-based edible films were affected by the their contents of salep, glycerol, and sunflower oil. The salep gum increased tensile strength, elastic modulus, and C*, but reduced elongation at break and L*, while glycerol reduced tensile strength, elastic modulus, and UV transparency but increased elongation at break, L*, opacity, solubility and WVP. On the other hand, sunflower oil decreased elongation at break, tensile strength, elastic modulus, UV transparency, solubility, and water vapor permeability, but it increased opacity.

Conclusion: Based on the findings, it can be concluded that the optimum contents of salep, glycerol, and sunflower oil in potato starch-based edible films are 3%, 32%, and 8%, respectively.

Keywords: Edible film, Potato starch, Salep gum, Mechanical properties, Water vapor permeability (WVP)