مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال ششم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰، صفحات ۱۰۲-۹۳

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

محمد فاضل[۱] ، محمد حسین عزیزی[۲]، سلیمان عباسی[۳]، محسن برزگر[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 دریافت: ۸۹/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۱۲

چکیده

سابقه و هدف: نشاسته یکی از فراوان‌ترین 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 گلیسرول، 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 (۵-۱٪)، نرم‌کننده گلیسرول (۴۰-۱۰٪) و روغن آفتابگردان (۲۰-۰٪) را فرموله و ویژگی‌های مکانیکی، نوری، حلالیت و نفوذپذیری به بخار آب آن‌ها اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج حاصل، مقادیر مختلف ثعلب، گلیسرول 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 گلیسرول باعث کاهش مقاومت به کشش، مدول الاستیک و درصد عبور نور فرابنفش و افزایش میزان کشش‌پذیری، شفافیت، کدورت، حلالیت و نفوذپذیری به بخار آب شد. روغن آفتابگردان میزان کشش‌پذیری، مقاومت به کشش، مدول الاستیک، درصد عبور نور فرابنفش، حلالیت و نفوذپذیری به بخار آب را کاهش و میزان کدورت را افزایش داد.

نتیجه‌گیری: مقدار ۳٪ ثعلب، ۳۲٪ گلیسرول و ۸٪ روغن آفتابگردان 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

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). آلودگی 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 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، پلی‌ساکاریدها 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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-15]

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

صمغ‌ها، پلی‌ساکاریدها و بیوپلیمرهایی 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 (۱۰، ۹). یکی از انواع هیدروکلوئیدها، صمغ ثعلب است. گیاه ثعلب ریشه افشان (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 شکنندگی پلیمر از پلاستی‌سایزرهایی مانند گلیسرول استفاده می‌شود. افزودن پلاستی‌سایزر، برهم‌کنش در ساختار پلیمر، دمای انتقال شیشه‌ای، افز مقاومت به کشش، مدول الاستیک و ممانعت‌کنندگی در برابر انتقال رطوبت، اکسیژن، آروما و روغن را کاهش و میزان کشش‌پذیری را افزایش می‌دهد و باعث بهبود انعطاف‌پذیری فیلم می‌شود (۵-۳).

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 ۶۰ (۱۴، ۱۳).

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

• مواد و روش‌ها

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

استخراج نشاسته از سیب‌زمینی: در ابتدا سیب‌زمینی‌های 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 خلأ 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 ۶۰ml آب افزوده و هم زده شد تا ژلی یکنواخت تهیه شود. در ادامه ۵ گرم نشاسته سوسپانسیون شده در ۴۰ml آب به ژل ثعلب افزوده و مخلوط شد. سپس افزودنی‌های مورد نظر شامل روغن آفتابگردان حاوی ۵٪ توئین ۸۰ به عنوان امولسیفایر و گلیسرول به سوسپانسیون اضافه و هم زده شد. نشاسته در دمای ۹۵°C به مدت ۳۰ دقیقه ژلاتینه شد. سپس مخلوط فیلم با استفاده پهن‌کننده 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 انتها 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 ASTM D0882-02 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 ۳cm و ارتفاع ۳/۵cm ، ۸ml 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.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-15]

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

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

Δm : افت وزنی (گرم)، A: سطح در معرض فنجان (m^2 ۷/۰۶ ×10^{-4})، 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٪ و در خارج آن صفر درصد بود. بنابراین، اختلاف فشار جزئی بین درون و بیرون فنجان در دمای ۲۵°C ، ۳۱۷۹ پاسکال بود (۱۶).

تعیین ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها: آزمون‌های مکانیکی فیلم‌ها بر اساس روش اصلاح شدهٔ ASTM D0882-02 صورت گرفت. فیلم‌ها در قطعات ۱cm×۷ بریده و تحت شرایط رطوبت نسبی ۵۰٪ و دمای ۲۵°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 BZ2.5/TH/S (شرکت Zwick، آلمان) اندازه‌گیری شد. در دستگاه اینستران فاصله بین دو فک ۵۰mm، سرعت حرکت فک بالایی ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و فک پایینی ثابت بود. (۱۵).

اندازه‌گیری حلالیت: فیلم‌ها در ابعاد ۲×۲ cm بریده و به مدت ۲۴ ساعت داخل آون (دمای ۱۰۰°C) قرار گرفتند. نمونه‌های خشک شده، توزین (M_1)، داخل بشرهای حاوی ۵۰ml آب مقطر قرار داده و در انکوباتور شیکردار (۷۰ rpm و دمای ۲۵°C) به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس قطعات باقی‌مانده داخل آون (دمای **۱۰۰°C**) به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و در پایان توزین شدند (M_2). حلالیت 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).

$$Solubility(\%)=\frac{M_1-M_2}{M_1}\times100$$

تعیین رنگ فیلم‌ها: با استفاده از رنگ‌سنج هانترلب مدل ۴۵۱۰ (شرکت *Colorflex*، آمریکا) پارامترهای a^* (a- = سبزی، a+ = قرمزی)، b^* (b- = آبی، a+= زردی) وL^* یا 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 ۱×۳cm بریده 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 RSM (Response Surface Method) طرح مرکب مرکزی یا CCD (Central Composite Design) 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 جدول۱ آورده شده است. درصد ثعلب، گلیسرول و روغن بر اساس مقدار نشاسته است. در پایان، نقطه بهینه یعنی غلظت‌های مناسب از ثعلب، گلیسرول و روغن با استفاده از نرم‌افزار 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، حلالیت و WVP در کمترین مقدار ممکن باشد. نرم‌افزار نقطه‌ایی را که در آن غلظت ثعلب ۳٪، گلیسرول ۳۲٪ و روغن آفتابگردان ۸٪ باشد، به عنوان نقطه بهینه مشخص کرد.

جدول۱- سطوح مورد آزمایش در طرح آماری RSM در قالب CCD

	$-\alpha$	-1	۰	$+1$	$+\alpha$
ثعلب (٪)	۰	۱	۲/۵	۴	۵
گلیسرول (٪)	۱۰	۱۶	۲۵	۳۴	۴۰
روغن (٪)	۰	۴	۱۰	۱۶	۲۰

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-15]

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.

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

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

• یافته‌ها

مقاومت به کشش: نتایج آزمون مکانیکی توسط دستگاه اینستران نشان داد که ثعلب در سطح اطمینان ۹۵٪ باعث افزایش و گلیسرول و روغن در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث کاهش میزان مقاومت به کشش فیلم‌های نشاسته شد (جدول۳). البته، گلیسرول و روغن دارای اثر هم‌افزایی در افزایش مقاومت به کشش داشتند (جدول۳ و شکل۱-A). از طرفی تأثیر گلیسرول (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 (جدول۳).

مدول الاستیک: یکی از ویژگی‌های مکانیکی فیلم، مدول الاستیک است. ثعلب در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث افزایش و گلیسرول و روغن در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث کاهش مدول الاستیک شدند (جدول۳). البته، تأثیر گلیسرول (۱۲۱/۰۵-) در کاهش مدول الاستیک حدود ۳/۷ برابر روغن (۳۲/۸۱-) و مهم‌ترین عامل مؤثر در میزان مدول الاستیک بود (جدول۳).

میزان کشش‌پذیری: نتایج آزمون مکانیکی نشان داد که گلیسرول در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث افزایش و روغن و ثعلب در سطح ۹۵٪ باعث کاهش میزان کشش‌پذیری فیلم‌های نشاسته شدند (جدول۳). با این وجود، تأثیر افزایشی گلیسرول (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 (جدول۳). از طرفی با افزایش مقدار گلیسرول، تأثیر ثعلب افزایش می‌یابد. برای مثال، در فیلمی حاوی ۱۰٪ روغن (نقطه مرکزی) اگر مقدار گلیسرول ۲۵٪ باشد، افزایش مقدار ثعلب تا ۵٪ باعث کاهش ۵ درصدی (از ۱۳/۸ به ۶/۸ درصد) میزان کشش‌پذیری می‌شود، ولی اگر مقدار گلیسرول به ۳۰٪ افزایش یابد، افزایش ۵ درصدی ثعلب باعث کاهش ۱۳/۶ درصدی میزان کشش‌پذیری می‌شود (از ۲۱/۸ به ۸/۲ درصد) (شکل۱-B).

شفافیت یا L^*: بررسی ویژگی‌های رنگی فیلم توسط دستگاه هانترلب نشان داد که ثعلب در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث کاهش میزان شفافیت و گلیسرول 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 (۰/۱۷-) بود] ولی از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول۳). لازم به ذکر است که با افزایش مقدار ثعلب، تأثیر روغن در کاهش میزان شفافیت افزایش می‌یابد. برای مثال، در غلظت ۲۵٪ گلیسرول (نقطه مرکزی) اگر مقدار ثعلب ۱٪ باشد، افزایش روغن تا ۲۰٪ باعث کاهش ۰/۱۵ (از ۹۲/۶۰ به ۹۲/۴۵) در میزان شفافیت می‌شود، ولی اگر مقدار ثعلب ۴٪ باشد، افزایش 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 (جدول۳).

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 گلیسرول 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 گلیسرول به ترتیب ۰/۰۴۹، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۱۸ است). البته، با افزایش مقدار گلیسرول، تأثیر ثعلب افزایش می‌یابد و این مسئله بیانگر اثر هم‌افزایی ضعیفی بین گلیسرول و ثعلب در افزایش میزان سیری رنگ است (جدول۳). برای مثال، در غلظت ۱۰٪ روغن (نقطه مرکزی) اگر مقدار گلیسرول ۱۵٪ باشد، افزایش ثعلب تا ۵٪ باعث افزایش ۰/۰۷ (از ۲/۴۴ به ۲/۵۱) در میزان سیری رنگ می‌شود، ولی اگر میزان گلیسرول به ۳۵٪ افزایش یابد، افزایش ۵ درصدی میزان ثعلب باعث افزایش ۰/۲۵ (از ۲/۳۹ به ۲/۶۴) در میزان سیری رنگ می‌شود (شکل۱-C).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-15]

جدول۲- نتایج بررسی تأثیر ثعلب، گلیسرول و روغن بر ویژگی‌های فیلم نشاسته سیب‌زمینی به روش RSM

	ثعلب	گلیسرول	روغن	میزان کشش‌پذیری (٪)	مقاومت به کشش (MPa)	مدول الاستیک (MPa)	شفافیت (L^*)	سیری رنگ (C^*)	کدورت (AU.nm)	درصد عبور نور UV	حلالیت (٪)	WVP (10^{-10} g/m.s.Pa)
۱	(٪۱) -۱	(٪۱۶) -۱	(٪۴) -۱	۶/۶۹±۰/۲۵	۲۳/۷۸±۰/۳۴	۳۷۲/۱۹±۷/۸۲	۹۲/۴۰±۰/۲۸	۲/۳۹±۰/۰۵	۱/۲۸±۰/۰۴	۷/۱۶±۰/۸۶	۱۸/۸±۳/۰	۱/۵۵±۰/۱۳
۲	(٪۴) ۱	(٪۱۶) -۱	(٪۴) -۱	۷/۲۶±۰/۳۹	۲۵/۶۵±۱/۸۷	۴۰۷/۸۸±۱۵/۹۱	۹۲/۲۵±۰/۱۶	۲/۴۶±۰/۰۲	۱/۳۲±۰/۰۸	۵/۵۷±۱/۰۷	۱۹/۶±۱/۷	۱/۵۸±۰/۱۲
۳	(٪۱) -۱	(٪۳۴) ۱	(٪۴) -۱	۳۲/۸۷±۶/۰۹	۶/۲۹±۰/۰۵	۱۰۳/۸۷±۲۱/۱۶	۹۲/۷۹±۰/۲۹	۲/۴۰±۰/۱۰	۱/۳۳±۰/۰۹	۶/۰۶±۱/۴۱	۲۲/۳±۵/۶	۱/۶۶±۰/۰۸
۴	(٪۴) ۱	(٪۳۴) ۱	(٪۴) -۱	۱۴/۱۹±۰/۶۵	۸/۱۳±۰/۰۱	۱۵۵/۱۵±۱۶/۳۲	۹۲/۴۲±۰/۱۵	۲/۶۱±۰/۲۴	۱/۳۳±۰/۰۲	۷/۱۶±۰/۴۹	۲۱/۱±۲/۱	۱/۷۱±۰/۲۷
۵	(٪۱) -۱	(٪۱۶) -۱	(٪۱۶) ۱	۳/۹۸±۰/۲۰	۱۲/۱۸±۰/۷۷	۳۲۴/۹۶±۲۱/۱۱	۹۲/۵۶±۰/۰۶	۲/۵۰±۰/۰۳	۱/۲۹±۰/۰۰	۶/۶۲±۰/۰۱	۱۸/۱±۲/۶	۱/۴۸±۰/۲۱
۶	(٪۴) ۱	(٪۱۶) -۱	(٪۱۶) ۱	۴/۸۱±۰/۱۴	۱۵/۶۲±۰/۴۰	۳۶۳/۷۱±۹/۷۱	۹۲/۲۳±۰/۷۸	۲/۴۷±۰/۰۴	۱/۴۰±۰/۰۳	۴/۸۴±۰/۴۳	۱۵/۱±۰/۸	۱/۵۰±۰/۱۴
۷	(٪۱) -۱	(٪۳۴) ۱	(٪۱۶) ۱	۱۹/۳۰±۱/۱۴	۳/۷۰±۰/۲۸	۴۳/۳۰±۷/۶۲	۹۲/۸۱±۰/۱۶	۲/۵۰±۰/۰۵	۱/۵۴±۰/۰۷	۴/۱۱±۰/۰۲	۱۶/۹±۰/۴	۱/۶۴±۰/۱۶
۸	(٪۴) ۱	(٪۳۴) ۱	(٪۱۶) ۱	۸/۵۷±۱/۰۷	۵/۷۲±۰/۷۶	۸۲/۷۷±۶/۴۰	۹۲/۲۴±۰/۳۴	۲/۵۳±۰/۰۶	۱/۴۴±۰/۰۳	۳/۹۱±۰/۲۶	۱۸/۰±۳/۷	۱/۶۷±۰/۱۴
۹	(٪۰) -۱/۶۸	(٪۲۵) ۰	(٪۱۰) ۰	۶/۰۵±۱/۲۵	۱۲/۲۱±۰/۹۴	۲۳۸/۳۳±۴۷/۷۲	۹۲/۶۵±۰/۱۶	۲/۴۶±۰/۰۴	۱/۳۴±۰/۱۴	۵/۶۲±۰/۱۷	۱۶/۲±۲/۰	۱/۵۴±۰/۲۰
۱۰	(٪۵) ۱/۶۸	(٪۲۵) ۰	(٪۱۰) ۰	۵/۴۶±۰/۳۸	۱۶/۲۸±۰/۹۸	۳۳۶/۷۵±۱۰/۵۹	۹۲/۱۸±۰/۲۷	۲/۶۸±۰/۰۹	۱/۴۴±۰/۰۳	۵/۲۰±۰/۳۷	۱۶/۴±۰/۶	۱/۶۰±۰/۰۹
۱۱	(٪۲/۵) ۰	(٪۱۰) -۱/۶۸	(٪۱۰) ۰	۶/۵۶±۰/۳۷	۲۴/۳۰±۰/۰۹	۳۹۲/۰۹±۲۴/۶۱	۹۲/۱۸±۰/۵۸	۲/۴۵±۰/۱۵	۱/۳۴±۰/۰۴	۵/۸۱±۰/۷۴	۱۴/۱±۴/۱	۱/۴۴±۰/۱۳
۱۲	(٪۲/۵) ۰	(٪۴۰) ۱/۶۸	(٪۱۰) ۰	۴۰/۱۶±۹/۶۰	۵/۱۰±۰/۴۷	۵۳/۴۳±۱۲/۹۷	۹۲/۹۵±۰/۱۰	۲/۴۶±۰/۰۲	۱/۴۲±۰/۰۳	۴/۷۴±۰/۴۴	۱۶/۳±۱/۵	۱/۷۰±۰/۰۲
۱۳	(٪۲/۵) ۰	(٪۲۵) ۰	(٪۰) -۱/۶۸	۱۰/۲۷±۰/۱۶	۲۹/۰۱±۰/۴۸	۳۴۲/۴۷±۱/۵۵	۹۲/۲۱±۰/۱۵	۲/۴۴±۰/۰۶	۱/۱۴±۰/۰۵	۷/۴۶±۱/۳۷	۲۰/۴±۱/۹	۱/۶۶±۰/۲۶
۱۴	(٪۲/۵) ۰	(٪۲۵) ۰	(٪۲۰) ۱/۶۸	۲/۴۲±۰/۳۳	۵/۳۷±۰/۹۲	۲۰۹/۴۷±۱۲/۹۴	۹۱/۵۰±۰/۰۳	۲/۵۷±۰/۱۰	۱/۳۴±۰/۰۳	۵/۲۲±۰/۳۵	۱۶/۵±۰/۵	۱/۴۲±۰/۰۴
۱۵	(٪۲/۵) ۰	(٪۲۵) ۰	(٪۱۰) ۰	۴/۴۴±۰/۳۷	۸/۸۰±۰/۶۸	۲۵۹/۲۳±۲۸/۷۳	۹۲/۲۹±۰/۴۷	۲/۵۷±۰/۱۱	۱/۳۹±۰/۰۷	۵/۲۱±۱/۲۰	۱۷/۸±۰/۵	۱/۵۶±۰/۱۶
۱۶	(٪۲/۵) ۰	(٪۲۵) ۰	(٪۱۰) ۰	۳/۴۴±۰/۰۸	۹/۳۹±۰/۳۸	۲۶۶/۴۷±۳/۳۸	۹۱/۹۱±۰/۵۷	۲/۲۸±۰/۰۸	۱/۳۸±۰/۰۱	۵/۲۵±۰/۱۳	۲۱/۴±۱/۴	۱/۶۲±۰/۱۹
۱۷	(٪۲/۵) ۰	(٪۲۵) ۰	(٪۱۰) ۰	۵/۳۸±۰/۲۱	۱۵/۸۳±۰/۱۸	۳۴۵/۴۷±۹/۱۷	۹۲/۷۵±۰/۲۷	۲/۵۶±۰/۱۳	۱/۳۷±۰/۰۶	۵/۲۸±۰/۹۶	۱۸/۷±۴/۵	۱/۶۱±۰/۰۷
۱۸	(٪۲/۵) ۰	(٪۲۵) ۰	(٪۱۰) ۰	۴/۴۲±۰/۹۷	۱۱/۳۴±۳/۹۰	۲۹۰/۳۹±۱۰/۸۷	۹۲/۳۲±۰/۴۲	۲/۴۷±۰/۱۷	۱/۳۴±۰/۰۱	۶/۱۱±۰/۱۶	۱۹/۳±۱/۸	۱/۶۰±۰/۰۴

جدول۳- مقادیر ضرایب مدل رگرسیون برازش شده برای پاسخ‌های مورد مطالعه به روش RSM

	پاسخ						
ضریب	میزان کشش پذیری	مقاومت به کشش	مدول الاستیک	شفافیت (L^*)	سیری رنگ (C^*)	کدورت (AU.nm)	درصد عبور نور UV	حلالیت	WVP ($\times 10^{-10}$)
β_0	$۱۰/۳۵^{***}$	$۱۳/۲۶^{***}$	$۲۵۴/۸۹^{***}$	$۹۲/۳۶^{**}$	$۲/۴۹^{**}$	$۱/۳۶^{***}$	$۵/۶۱^{***}$	$۱۸/۱۷^{**}$	$۱/۵۸۴^{**}$
β_1	$-۲/۱۲^{**}$	$۱/۱۷^{**}$	$۲۴/۲۲^{***}$	$-۰/۱۷^{***}$	$۰/۰۴۹^{***}$	$۰/۰۱۶^{ns}$	$-۰/۲۰^{*}$	$-۰/۱۴^{ns}$	$۰/۰۱۶^{ns}$
β_2	$۷/۹۶^{***}$	$-۶/۲۷^{***}$	$-۱۲۱/۰۵^{***}$	$۰/۱۵^{**}$	$۰/۰۱۸^{ns}$	$۰/۰۳۶^{***}$	$-۰/۳۸^{***}$	$۰/۷۵^{*}$	$۰/۰۷۴^{***}$
β_3	$-۲/۷۵^{**}$	$-۴/۸۶^{***}$	$-۳۲/۸۱^{***}$	$-۰/۰۸^{ns}$	$۰/۰۲۵^{ns}$	$۰/۰۵۳^{***}$	$-۰/۷۸^{***}$	$-۱/۴۸^{***}$	$-۰/۰۴۵^{**}$
β_{12}	$-۳/۸۵^{***}$	$-۰/۱۸^{ns}$	$۲/۰۴^{ns}$	$-۰/۰۷^{ns}$	$۰/۰۲۵^{ns}$	$-۰/۰۳۲^{**}$	$۰/۵۹^{***}$	$۰/۲۵^{ns}$	$۰/۰۰۳^{ns}$
β_{13}	$۱/۰۳^{ns}$	$۰/۲۲^{ns}$	$-۱/۰۹^{ns}$	$-۰/۰۴^{ns}$	$-۰/۰۳۶^{ns}$	$-۰/۰۰۴^{ns}$	$-۰/۱۳^{ns}$	$-۰/۱۸^{ns}$	$-۰/۰۰۳^{ns}$
β_{23}	$-۱/۷۵^{ns}$	$۲/۰۸^{***}$	$-۵/۱۹^{ns}$	$-۰/۰۳^{ns}$	$-۰/۰۱۳^{ns}$	$۰/۰۲۸^{**}$	$-۰/۵۵^{***}$	$-۰/۴۲^{ns}$	$۰/۰۱۰^{ns}$

ns، *، ** و *** به ترتیب نشان دهنده غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح اطمینان ۹۰٪، ۹۵٪ و ۹۹٪ هستند.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-15]

از طرفی در غلظت‌های روغن بالاتر از ۱۵٪، افزایش ثعلب تأثیر کمی در افزایش میزان رنگ دارد. این مسئله بیانگر اثر آنتاگونیستی ضعیفی بین روغن و ثعلب در افزایش میزان سیری رنگ است (جدول۳). برای مثال، در غلظت ۲۵٪ گلیسرول (نقطه مرکزی) اگر مقدار روغن ۵٪ باشد، افزایش ۵ درصدی ثعلب 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 ثعلب فقط باعث افزایش ۰/۰۶ (از ۲/۴۹ به ۲/۵۵) در میزان سیری رنگ می‌شود. اگر مقدار ثعلب 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 گلیسرول در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث افزایش میزان کدورت شدند. البته، تأثیر روغن (۰/۰۵۳) در میزان کدورت تقریبا ۱/۵ برابر تأثیر گلیسرول (۰/۰۳۶) بود (جدول۳). با اینکه ثعلب باعث افزایش میزان کدورت شد، ولی تأثیر آن (۰/۰۱۶) حدود ۳ برابر کمتر از روغن بود و از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول۳). از طرفی با کاهش مقدار گلیسرول تأثیر ثعلب در افزایش مقدار کدورت افزایش می‌یابد؛ به ویژه اگر مقدار گلیسرول به کمتر از ۲۵٪ کاهش یابد. این مسئله بیانگر اثر آنتاگونیستی بین گلیسرول و ثعلب روی میزان کدورت است. برای مثال، در مقدار روغن ۱۰٪ (نقطه مرکزی) اگر مقدار گلیسرول ۲۰٪ باشد، با افزایش مقدار ثعلب تا ۵٪، کدورت AU.nm ۰/۱۱ افزایش می‌یابد(از AU.nm ۱/۲۸ به AU.nm ۱/۳۹) ، ولی اگر مقدار گلیسرول ۳۰٪ باشد، با افزایش ثعلب تا ۵٪، کدورت تغییری نمی‌کند و حدود AU.nm ۱/۳۸ خواهد بود (شکل۱-D). روغن و ثعلب دارای اثر هم‌افزایی بالایی (در سطح اطمینان ۹۵٪) در افزایش میزان کدورت بودند (جدول۳).

درصد عبور نور فرابنفش یا UV: یکی دیگر از ویژگی‌های ارزیابی شده توسط دستگاه طیف‌نورسنج، درصد عبور نور UV است. ثعلب در سطح اطمینان ۹۰٪ و روغن و گلیسرول در سطح ۹۹٪ باعث کاهش درصد عبور نور UV از فیلم شدند (جدول۳). البته، تأثیر روغن (۰/۷۸) در کاهش میزان عبور نور UV به ترتیب ۲ و ۴ برابر بیشتر از تأثیر گلیسرول (۰/۳۸) و ثعلب (۰/۲۰) بود (جدول۳). تأثیر ثعلب در کاهش میزان عبور نور UV معمولاً در غلظت‌های کمتر از ۳۰٪ گلیسرول مشاهده شد؛ به گونه‌ای که در غلظت ۳۰٪ گلیسرول، افزایش ثعلب تأثیری در میزان عبور نور UV نداشت و حدود ۵/۲٪ بود، ولی در غلظت گلیسرول ۲۰٪ افزایش ثعلب 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 گلیسرول و ثعلب روی درصد عبور نور UV بود (جدول۳). روغن و گلیسرول دارای اثر هم‌افزایی بالایی (در سطح اطمینان ۹۹٪) در کاهش درصد عبور نور UV بودند (جدول۳).

حلالیت: ثعلب در میزان حلالیت فیلم‌ها تأثیری نداشت، ولی گلیسرول در سطح اطمینان ۹۰٪ باعث افزایش و روغن در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث کاهش میزان حلالیت شدند (جدول۳).

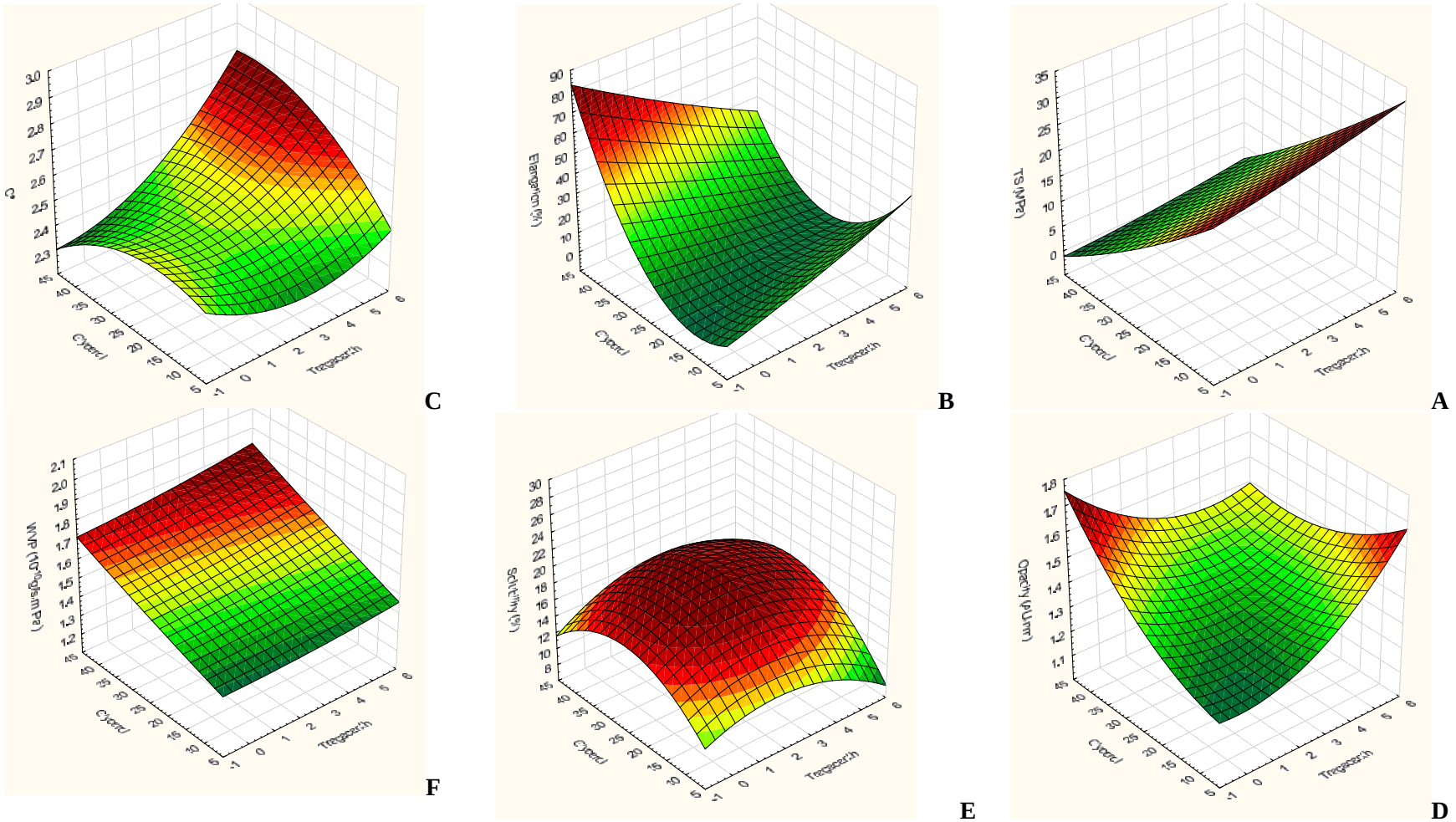
نفوذپذیری به بخار آب (WVP): ثعلب در میزان WVP مؤثر نبود، ولی گلیسرول در سطح اطمینان ۹۹٪ باعث افزایش و روغن در سطح اطمینان ۹۵٪ باعث کاهش میزان WVP شدند (جدول۳).

نقطه بهینه و آزمون اعتبارسنجی (Validation): نتایج آزمون اعتبارسنجی در جدول۴ آورده شده است. با توجه به این جدول می‌توان دریافت که طرح آماری استفاده شده برای پیش‌بینی ویژگی‌های فیلم‌های حاوی نشاسته، گلیسرول، روغن و ثعلب 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.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-15]

جدول۴- بررسی صحت نقطه بهینه در آزمون اعتبارسنجی

ویژگی	میزان کشش‌پذیری (٪)	مقاومت به کشش (MPa)	مدول الاستیک (MPa)	شفافیت (L^*)	سیری رنگ (C^*)	کدورت (AU.nm)	درصد عبور نور UV	حلالیت (٪)	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±۰/۵	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 گلیسرول روی ویژگی‌های مختلف فیلم خوراکی نشان داده شده است.

A: مقاومت به کشش؛ B: میزان کشش‌پذیری؛ C: میزان سیری رنگ؛ D: کدورت؛ E: حلالیت؛ F: WVP

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-15]

• بحث

پلاستی‌سایزرها 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 وحرکات 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 (۲۱-۱۹).

هیدروکلوئیدها یا صمغ‌ها، پلی‌ساکاریدهایی 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 (۱۰، ۹). افزایش گرانروی باعث کاهش سرعت خشک شدن فیلم و در نتیجه، بهبود خصوصیات مکانیکی فیلم‌ها می‌شود (۲۳، ۲۲). از طرفی هیدروکلوئیدها به دلیل جذب آب بالایی که دارند، میزان رطوبت فیلم‌های نشاسته را افزایش می‌دهند و با توجه به اینکه رطوبت مانند پلاستی‌سایزرها عمل می‌کند، باعث تضعیف ویژگی‌های مکانیکی و افزایش میزان کشش‌پذیری می‌شود (۷، ۵-۳).

با توجه به دو اثر متضاد هیدروکلوئیدها، 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 (۲۴) و برخی مانند کاراگینان و پولولان باعث افزایش میزان کشش‌پذیری و کاهش مقاومت به کشش و میزان کشش‌پذیری می‌شوند (۲۶، ۲۵). ثعلب 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 (۲۳، ۲۲). لیپیدها معمولا به دلیل انعطاف‌پذیری پایین باعث کاهش میزان کشش‌پذیری فیلم‌ها می‌شوند (۲۸، ۲۷، ۵-۳).

ثعلب ترکیبی زرد رنگ، غیر شفاف و تا حدودی کدر است و به همین علت باعث کاهش شفافیت و میزان رنگ فیلم می‌شود. گلیسرول ترکیبی شفاف و بی‌رنگ است و باعث افزایش میزان شفافیت می‌شود. از طرفی به خاطر تأثیر حرارت ژلاتینه شدن تا حدودی میزان رنگ گلیسرول 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، ۲۷).

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). گلیسرول 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، ۲۷، ۴، ۳).

معمولاً صمغ‌ها و گلیسرول به دلیل محلول بودن در آب باعث افزایش میزان حلالیت و لیپیدها به دلیل نامحلول بودن در آب باعث کاهش حلالیت می‌شوند. البته، گاهی اوقات به علت برهم‌کنش‌های بین اجزای تشکیل دهنده فیلم‌ها ممکن است صمغ‌ها حلالیت را کاهش دهند (۳۳، ۲۷، ۲۴، ۴، ۳). باید توجه داشت به علت مقدار کم و همچنین حلالیت پایین صمغ ثعلب، تأثیر آن معنی‌دار نشد.

قدرت ممانعت‌کنندگی صمغ‌ها یا هیدروکلوئیدها در برابر انتقال بخار آب به دلیل ماهیت آب‌دوستی آن‌ها ضعیف است (۳۱، ۲۶، ۲۵). البته، در این مطالعه به دلیل مقدار کم صمغ، این تأثیر معنی‌دار نشد. در مقابل، فیلم‌های حاوی لیپیدها خصوصیات ممانعت‌کنندگی خوبی در برابر بخار آب دارند (۳۴، ۲۷، ۲۵). از طرفی گلیسرول با تضعیف پیوندهای هیدروژنی بین ملکولی، فاصله میان ملکول‌های نشاسته را افزایش می‌دهد و ملکول‌های بخار آب از بین این ملکول‌ها عبور می‌کنند (۳۵، ۴، ۳).

• 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.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-15]

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, Garcıa 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.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-15]

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

*Fazel M[1], Azizi MH[*2], Abbasi S[3], Barzegar M[3]*

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@modars.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 studt 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 charactersitics, 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 findfings, 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)

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-15]