

ارزیابی خواص شیمیایی، مکانیکی و نوری فیلم‌های خوراکی بر پایه پوره کدومسمایی به کمک روش سطح پاسخ

اصغر ترابی^{1*} و یونس زاهدی²

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

2- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ پذیرش: 1396/04/25

تاریخ دریافت: 1396/01/15

چکیده

امروزه استفاده از پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی یا زیست تخریب‌پذیر در بسته‌بندی مواد غذایی نه تنها از بعد تغذیه‌ای و بازاری پستی حائز اهمیت است بلکه از نظر عدم آسیب به محیط‌زیست و استفاده بهینه از منابع طبیعی تجدیدپذیر نیز مورد توجه قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش بهینه‌سازی فرمولاسیون فیلم خوراکی بر پایه کدومسمایی (ماده اصلی پیکره فیلم) با استفاده از غلظت‌های مختلف کربوکسی‌متیل سلولز (CMC) (0/1-0/9 گرم، عامل ساختار دهنده و استحکام)، کتیرا (0-0/4 گرم، عامل ساختار دهنده و استحکام) و گلیسرول (1/5-6/5 گرم، به‌عنوان پلاستی‌سایزر) بود. سپس، برخی ویژگی‌های فیلم خوراکی شامل کدورت، پارامترهای رنگی ($L^*a^*b^*$ ؛ درجه سیری، اندیس‌های سفیدی و زردی)، خصوصیات مکانیکی و دانسیته فیلم‌های حاصله با روش‌ها و استانداردهای مربوطه ارزیابی گردید. طراحی آزمایش‌ها و بهینه‌سازی فرمولاسیون به کمک روش آماری سطح پاسخ، طرح مرکب مرکزی انجام شد. طبق نتایج به دست آمده افزایش مقدار CMC سبب افزایش مقاومت به کشش و کشش‌پذیری فیلم‌ها شد ($p < 0/05$). کتیرا تا غلظت 0/2 گرم سبب افزایش کشش‌پذیری شده و در مقادیر بالاتر عامل شکننده شدن فیلم‌ها گردید. افزایش مقدار کدورت فیلم‌ها را نیز افزایش داد ($p < 0/05$). گلیسرول بیشترین اثر معنی‌دار را روی متغیرهای وابسته داشت؛ با افزایش مقدار گلیسرول کشش‌پذیری و دانسیته ($p < 0/05$) افزایش یافتند و مقاومت به کشش و مدول الاستیک ($p < 0/01$) کاهش یافتند. با افزایش کتیرا تا میزان 0/2 گرم سیری رنگ و اندیس زردی کاهش و اندیس سفیدی فیلم‌ها افزایش یافت و در مقادیر بیش از 0/2 گرم سیری رنگ و اندیس زردی افزایش و اندیس سفیدی فیلم‌ها کاهش یافت ($p < 0/05$). نتایج حاصل از بهینه‌سازی فرمولاسیون نشان داد که مطلوبیت در مقادیر بالای کتیرا و پایین CMC بیشتر بوده و بهترین فرمولاسیون حاوی 0/14 گرم CMC، 0/25 گرم کتیرا و 1/88 گرم گلیسرول بود.

واژه‌های کلیدی: فیلم خوراکی، کدومسمایی، کتیرا، کربوکسی‌متیل سلولز، سطح پاسخ.

1- مقدمه

در عصر حاضر، آلودگی‌های زیست‌محیطی یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی بشر در سراسر جهان است. نگرانی در مورد مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مواد بسته‌بندی پلاستیکی حاصل از فرآورده‌های نفتی، مهاجرت ترکیبات استفاده شده در فرمولاسیون پلاستیک‌ها به داخل مواد غذایی و همچنین تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات غذایی با کیفیت بالا از جمله مشکلات مصرف بسته‌بندی‌های پلاستیکی است. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی برای جایگزینی پلاستیک‌های سنتزی مشتق شده از ترکیبات نفتی با پلاستیک‌های به دست آمده از منابع تجدیدپذیر صورت گرفته است و پلیمرهای زیستی مختلفی مانند پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها به عنوان فیلم‌های بسته‌بندی توسعه پیدا کرده‌اند (3). کتیرا (تراگاکانت) و کربوکسی‌متیل سلولز (CMC) از جمله پلی ساکاریدهایی هستند که به تنهایی و یا در ترکیب با سایر مواد در تهیه پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی به کار برده می‌شوند. این دو ماده با توجه ماهیت پلیمری خود به تشکیل ساختار پیوسته در فیلم‌های تهیه شده از پوره میوه‌ها و سبزی‌ها کمک می‌کنند؛ زیرا در پوره‌ها ترکیبات دارای وزن مولکولی پایین مانع از ایجاد شبکه پیوسته فیلم می‌شوند (18، 23، 26). CMC یکی از مشتقات سلولز بوده و بیوپلیمری خطی و محلول در آب است. CMC توانایی تشکیل فیلم‌های مقاوم، شفاف، پیوسته و یکنواخت را دارد. علاوه بر این، فراوانی و در دسترس بودن منابع آن و قیمت مناسب، از دیگر مزایای استفاده از این پلیمر در تولید فیلم است (6). کتیرا (تراگاکانت)، عصاره خشک شده حاصل از ساقه نوعی گون از جنس آستراگالوس است که به‌طور طبیعی در بخش‌هایی از آسیا از جمله ترکیه و ایران رشد می‌کند. این صمغ از دو پلی ساکارید با سورین¹ و تراگاکانتین² تشکیل می‌شود (4). بررسی‌ها نشان می‌دهد تراگاکانت عمدتاً در ترکیب با سایر بیوپلیمرها و مواد طبیعی دیگر در تهیه فیلم و پوشش خوراکی مورد استفاده قرار گرفته است؛ به‌عنوان

مثال در پژوهشی، طلائی و کیانی (2015) با ترکیب کردن تراگاکانت، کیتوزان و اکسید گرافن فیلم زیست تخریب‌پذیر تهیه نمودند (28). مصطفوی و همکاران (2016) از طریق آمیختن صمغ لوبیای لوکاست و تراگاکانت موفق به تولید فیلمی خوراکی شدند (21). محققان دیگر با اضافه کردن کتیرا و روغن آفتابگردان به نشاسته فیلم خوراکی تهیه کردند (5). همچنین در تحقیقی، محبی و همکاران (2012) موفق به افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای با کمک پوشش خوراکی تهیه شده از کتیرا و آلورا شدند (20). در دو دهه اخیر به موازات تهیه فیلم و پوشش خوراکی از بیوپلیمرهای خالص، به‌منظور بهره‌وری بیشتر از ضایعات و افزایش ارزش غذایی تهیه فیلم‌ها و فیلم‌های خوراکی از پوره میوه‌ها و سبزی‌ها نیز توسعه پیدا کرده است. از جمله میوه‌ها و سبزی‌هایی که جهت تولید فیلم خوراکی بر پایه پوره مورد استفاده قرار گرفته‌اند می‌توان پوره هلو (17)، پوره سیب (12، 18، 23)، پوره موز (26)، پوره انبه (27) و پوره هویج (29) را نام برد. برای اولین بار مک‌هیوگ و همکاران (1996) فیلم خوراکی را بر پایه پوره هلو تهیه کردند (17). به فاصله چند سال، مک‌هیوگ و سنسی (2000) در تحقیقی اثر پوشش‌های خوراکی بر پایه پوره سیب و حاوی لیسید را روی افت رطوبت و تغییرات رنگ برش‌های تازه سیب طی ذخیره‌سازی مطالعه نمودند (18). در پژوهشی، سوتورنویت و پیتاک (2007) موفق به تهیه فیلم خوراکی از ترکیب آرد موز، پکتین و گلیسرول شدند (26). در مطالعه‌ای دیگر، روجازگرا و همکاران (2007) فیلم‌های خوراکی بر پایه پوره سیب را جهت افزایش عمر نگهداری و بهبود کیفیت برش‌های سیب تازه تولید کردند (23). همچنین، نتایج مطالعه سوتورنویت و رودسامران (2008) نشان داد فیلم خوراکی بر پایه پوره انبه سبب کاهش افت وزن و افزایش دوره رسیدگی در انبه‌ها گردید (27). دو و همکاران (2009) طی تحقیقی روغن‌های اسانسی استحصال شده از گیاهان دارچین، میخک و فلفل فرنگی را به فیلم خوراکی تهیه شده از پوره سیب اضافه نمودند (12). وانگ و همکاران (2011) تأثیر مقادیر مختلف

1- Bassorin
2- Tragacanthin

ضایعات کاهش و از خواص تغذیه‌ای و دارویی کدو می‌توان بهره‌مند گردید. بررسی‌های کتابخانه‌ای نشان داده است که تاکنون هیچ تلاشی برای تهیه فیلم خوراکی از پوره کدومسمایی بصورت فیلم خالص و یا در ترکیب با سایر مواد انجام نشده است. بنابراین، هدف این پژوهش بهینه‌سازی فرمولاسیون فیلم خوراکی بر پایه کدومسمایی و سپس بررسی اثر غلظت CMC، کتیرا و گلیسرول بر برخی ویژگی‌های فیلم خوراکی شامل پارامترهای رنگی، کدورت، دانسیته و خصوصیات مکانیکی بود؛ طراحی آزمایش‌ها و بهینه‌سازی فرمولاسیون به کمک روش آماری سطح پاسخ، طرح مرکب مرکزی انجام شد.

2- مواد و روش‌ها

کدومسمایی رقم مشهدی از بازار میوه و تره‌بار مشهد خریداری شد. صمغ کتیرا از نوع نواری یا مفتولی از بازار محلی تهیه گردید. ناتامایسین، اتانول، گلیسرول، CMC (مرک، آلمان) و نیترات کلسیم (فلوکا) در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

2-1- تهیه فیلم خوراکی بر پایه کدومسمایی

2-1-1- تولید پوره

کدومسمایی پس از شستشو و پوستگیری، قطعه‌قطعه شده و جهت نرم‌تر شدن بافت، 12 دقیقه بخارپز شد. سپس، به‌وسیله مخلوط‌کن با دور ثابت به مدت 3 دقیقه عمل مخلوط کردن انجام شد تا پوره کاملاً یکنواخت به دست آید.

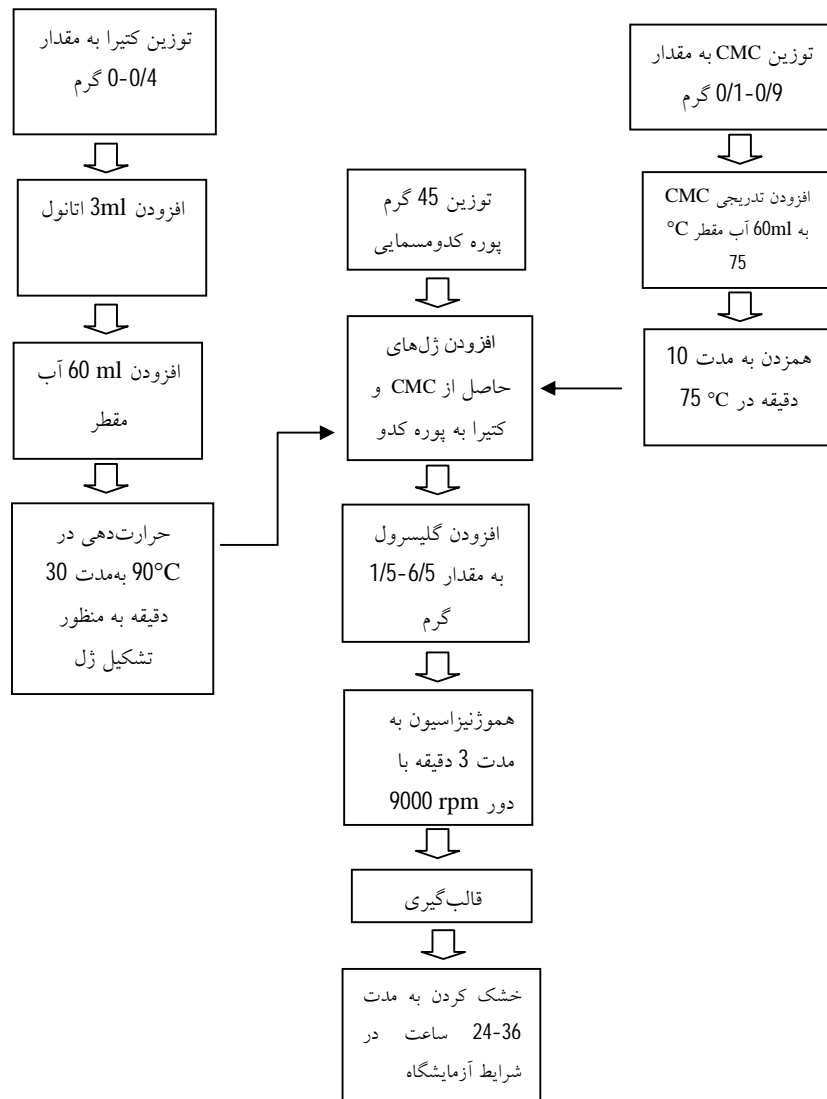
2-1-2- تولید فیلم

جهت تولید فیلم‌های خوراکی، نخست CMC (به مقدار 0/1-0/9 گرم) توزین و به بشر حاوی 60 ml آب مقطر با دمای 75 °C به صورت تدریجی و تحت هم زدن افزوده شد. عمل هم زدن محلول CMC توسط همزن مغناطیسی و به مدت 10 دقیقه ادامه یافت. صمغ کتیرا (به مقدار 0-0/4 گرم) توزین و با 3 ml اتانول ترکیب گردید تا

CMC، نشاسته، ژلاتین و گلیسرول را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و نفوذپذیری فیلم‌های تولید شده بر پایه پوره هویج مورد بررسی قرار دادند (29). کدومسمایی با نام علمی Cucurbita pepo گیاهی چندساله و متعلق به تیره Cucurbitace می‌باشد. کدومسمایی تازه حاوی مقدار قابل‌ملاحظه‌ای آب، پروتئین، چربی، کربوهیدرات، مواد سلولزی، مواد معدنی (کلسیم، فسفر، آهن، منیزیم و پتاسیم) و ویتامین‌های A، C، B₁، B₂ و B₃ می‌باشد. مقدار انرژی آن به‌طور متوسط 80 تا 150 کیلوژول به ازای هر 100 گرم ماده تازه می‌باشد. کدو ارزش تغذیه‌ای زیادی دارد و برای سلامتی بسیار مفید است. آن به دلیل مواد تغذیه‌ای با ارزش از بروز بیماری‌هایی مانند اسکوربوت، ام‌اس، سرطان کولون، بیماری‌های قلبی در افراد دیابتی و گرفتگی عروق محافظت می‌کند. همچنین به دلیل محتوای زیاد آب به‌عنوان یکی از بهترین غذاها برای افرادی که رژیم غذایی دارند، مطرح است (2). در تهیه فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی نیز به منظور بررسی همه‌جهدات اثرگذار بر تهیه آن‌ها و بهینه‌سازی فرمول، از روش سطح پاسخ بهره گرفته شده است. مشکانی و همکاران (1391) برای بررسی تأثیر غلظت پروتئین ایزوله نخود و غلظت پلاستی‌سایزر روی ویژگی‌های فیلم خوراکی از روش سطح پاسخ استفاده نمودند (7). در پژوهشی دیگر، روش سطح پاسخ برای مطالعه اثرات افزودن مقادیر مختلف کتیرا، گلیسرول و روغن بر ویژگی‌های فیزیکی فیلم نشاسته سیب‌زمینی بکار رفت (5). کولا و همکاران (11) از آرد گل تاج خروس¹ فیلم خوراکی تهیه کردند و اثرات اضافه کردن اسید استتاریک، گلیسرول و سرعت هم زدن را با روش سطح پاسخ مطالعه کردند. علاوه بر این‌ها، برای تهیه و بهینه‌یابی فرمولاسیون فیلم خوراکی از گلوتن گندم در نسبت‌های مختلف حلال (آب + اتانول) و pH از روش سطح پاسخ بهره گرفته شد (14). تهیه فیلم خوراکی از پوره کدو به‌ویژه در فصل تولید روشی برای تولید فراورده‌ای با ارزش و مفید با ماندگاری بالا تلقی می‌شود؛ بدین ترتیب

سوسپانسیونی یکنواخت به دست آید. سپس، ۶۰ ml آب مقطر به آن افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۰°C حرارت داده شد. در اثر گرما کتیرا بطور کامل حل شده و در هنگام کاهش دما امکان تشکیل ژل فراهم می شود. مقدار ۴۵ گرم پوره کدومسمایی (۳۰٪ وزن محلول فیلم ساز) توزین شده و ژل های تهیه شده از CMC و کتیرا با این پوره مخلوط شدند. در این مرحله گلیسرول (به مقدار ۶/۵-۱/۵ گرم) نیز به عنوان پلاستی ساینر افزوده شد. نمونه ها به مدت ۳ دقیقه توسط هموژنایزر (مدل IKA T25 digital, سوسپانسیونی یکنواخت به دست آید. سپس، ۶۰ ml آب مقطر به آن افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۰°C حرارت داده شد. در اثر گرما کتیرا بطور کامل حل شده و در هنگام کاهش دما امکان تشکیل ژل فراهم می شود. مقدار ۴۵ گرم پوره کدومسمایی (۳۰٪ وزن محلول فیلم ساز) توزین شده و ژل های تهیه شده از CMC و کتیرا با این پوره مخلوط شدند. در این مرحله گلیسرول (به مقدار ۶/۵-۱/۵ گرم) نیز به عنوان پلاستی ساینر افزوده شد. نمونه ها به مدت ۳ دقیقه توسط هموژنایزر (مدل IKA T25 digital,

سوسپانسیونی یکنواخت به دست آید. سپس، ۶۰ ml آب مقطر به آن افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۰°C حرارت داده شد. در اثر گرما کتیرا بطور کامل حل شده و در هنگام کاهش دما امکان تشکیل ژل فراهم می شود. مقدار ۴۵ گرم پوره کدومسمایی (۳۰٪ وزن محلول فیلم ساز) توزین شده و ژل های تهیه شده از CMC و کتیرا با این پوره مخلوط شدند. در این مرحله گلیسرول (به مقدار ۶/۵-۱/۵ گرم) نیز به عنوان پلاستی ساینر افزوده شد. نمونه ها به مدت ۳ دقیقه توسط هموژنایزر (مدل IKA T25 digital,



شکل ۱- نمودار جریان فرایند تولید فیلم خوراکی بر پایه پوره کدو مسمایی

2-2-آزمایش‌ها

1-2-2- خصوصیات شیمیایی محلول فیلم‌ها

pH محلول فیلم‌ها توسط دستگاه pH متر (Metrohm، مدل pH lab827، سوئیس) و بریکس آن‌ها توسط رفاکتومتر (DOCKET، مدل PAL-3، ژاپن) اندازه‌گیری گردید.

2-2-2- تعیین ضخامت فیلم‌ها

ضخامت فیلم‌ها توسط میکرومتر دیجیتال (QLR digit-IP54، چین) با دقت 0/001 میلی‌متر و قبل از انجام آزمون‌ها تعیین شد. برای فیلم‌های آماده شده به‌منظور تعیین خواص مکانیکی ضخامت در 8 نقطه در امتداد فیلم اندازه‌گیری گردید (22).

3-2-2- تعیین دانسیته فیلم‌ها

ابتدا قطعاتی به ابعاد 2cm × 2cm بریده و توزین شدند. با در دست داشتن ابعاد و ضخامت قطعات نمونه، دانسیته (ρ_s) با استفاده از رابطه‌ی (1) محاسبه شد. در این رابطه A سطح فیلم (cm^2)، x ضخامت فیلم (cm)، m جرم فیلم برحسب گرم و ρ_s دانسیته فیلم خوراکی (g/cm^3) می‌باشند (22).

$$\rho_s = \frac{m}{A \cdot x}$$

4-2-2- اندازه‌گیری میزان کدورت فیلم‌های خوراکی

میزان کدورت فیلم‌های خوراکی طبق روش گونتارد و همکاران (1992) تعیین شد (14). فیلم‌ها در ابعاد سل اسپکتروفوتومتر بریده شده و داخل سل اسپکتروفوتومتر UV-Vis (مدل Shimadzu UV-160A، ژاپن) قرار گرفتند. مقدار جذب فیلم در دامنه طول موج 400-800 نانومتر اندازه‌گیری و طیف جذبی آن رسم شد. مساحت زیر منحنی طول موج - جذب توسط دستگاه مساحت سنج (مدل LI-3100C) تعیین شده، به‌عنوان کدورت فیلم (AV.nm) بیان گردید.

2-2-5- رنگ فیلم‌ها

تعیین رنگ فیلم‌ها با استفاده از رنگ‌سنج هانتربل (Colorflex، مدل 4510، آمریکا) انجام شد (5). در این آزمون پارامترهای a^* (قرمزی-سبزی)، b^* (آبی-زردی) و L^* (شفافیت) اندازه‌گیری گردید. سبزی رنگ (C)، اندیس زردی (YI^1) و اندیس سفیدی (WI^2) نیز به ترتیب با استفاده از روابط 2، 3 و 4 محاسبه گردید:

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

$$YI = \frac{142.86b^*}{L^*} \quad (3)$$

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (4)$$

2-2-6- خصوصیات مکانیکی

پارامترهای مقاومت به کشش TS^3 ، ازدیاد طول تا نقطه پارگی E^4 و مدول الاستیک E^5 بر اساس استاندارد ASTM D882 - 02 (9) و به‌وسیله دستگاه بافت‌سنج (مدل QTS texture analyzer، CNS Farnell، Essex، UK) اندازه‌گیری گردید. فیلم‌ها در ابعاد 2 cm × 14 cm بریده شدند. سپس، به اندازه 2 cm از هر دو انتهای فیلم بین فک‌ها قرار گرفتند. سرعت حرکت فک بالایی 50 mm/min بود. ویژگی‌های مکانیکی مطابق روابط 5 و 6 محاسبه شدند:

$$\text{مقاومت به کشش} = \frac{\text{بسته نیروی وارد}}{\text{سطح مقطع فیلم}} \quad (5)$$

$$100 \times \frac{\text{مقدار کشیدگی تا لحظه پارگی}}{\text{فاصله اولیه بین فک‌ها}} = \text{درصد ازدیاد طول} \quad (6)$$

2-3- طرح آماری

اهداف اصلی این پژوهش بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورهای غلظت کربوکسی‌متیل سلولز، کتیرا و گلیسرول بر برخی ویژگی‌های فیزیکی فیلم خوراکی حاصله بود. در این پژوهش ابتدا بر اساس آزمایش‌های مقدماتی، دامنه‌ی

- 1-Yellowness index
- 2- Whiteness index
- 3- Tensile strength
- 4-Elongation at break
- 5-Elastic Modulus

تغییرات متغیرها برای CMC 0/1 تا 0/9 گرم، کتیرا صفر تا 0/4 گرم و گلیسرول 1/5 تا 6/5 گرم (به ازای ml 100 از محلول) انتخاب شدند. در این طرح مقدار CMC با نماد A، کتیرا با نماد B و گلیسرول با نماد C سه فاکتور مؤثر بودند. در جدول 1 متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آنها آورده شده است:

جدول 1- متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آنها

متغیرهای مستقل	نماد	مقادیر متغیر
مقدار کربوکسی متیل سلولز (گرم)	A	0/1, 0/5, 0/9
مقدار کتیرا (گرم)	B	0, 0/2, 0/4
مقدار گلیسرول (گرم)	C	1/5, 4, 6/5

در این رابطه، Y پاسخ پیش‌بینی شده، b_0 ضریب ثابت، b_i اثرات خطی، b_{ij} اثر مربعات و b_{ijk} اثرات متقابل، x_i و x_j متغیرهای مستقل کدبندی شده هستند. از روش آماری سطح پاسخ با طرح مرکب مرکزی به منظور طراحی آزمایش‌ها (جدول 2) و بهینه‌سازی و از نرم‌افزار Design 6.02 Expert جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات و رسم نمودارهای مربوطه استفاده گردید.

در روش سطح پاسخ (RSM) برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر، جداگانه بیان می‌نماید که در رابطه 7 قابل مشاهده است:

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i^2 + \sum b_{ijk} x_i x_j \quad (7)$$

جدول 2- آزمون‌های طراحی شده برای بهینه‌سازی فرمولاسیون فیلم خوراکی بر پایه پوره کدو مسمایی و نتایج اندازه‌گیری‌ها

آزمون	گلیسرول	کتیرا	CMC	دانسیته (g/cm ³)	کدرت (AV:mm)	مقاومت به کشش (MPa)	مدول الاستیک (MPa)	کش‌پذیری (%)	L*	a*	b*	اندیس سفیدی	اندیس زردی	سختی رنگ
1	1/5	0	0/1	0/120	22/7	0/91	0/387	16/1	72/9	-5/1	26/5	51/37	78/28	39/88
2	1/5	0	0/9	0/115	17/5	2/42	0/542	4/2	76/1	-4/3	17/6	54/42	70/85	36/00
3	1/5	0/4	0/1	0/107	15/2	2/64	0/527	3/1	75/7	-3/8	30/7	63/54	50/76	27/17
4	1/5	0/4	0/9	0/128	25/6	1/51	0/377	21/4	71/5	-2/8	35/7	57/99	61/41	30/88
5	6/5	0	0/1	0/119	23/1	1/02	0/391	17/8	72/2	-5/2	15/1	55/15	68/85	35/19
6	6/5	0	0/9	0/127	22/5	0/75	0/281	13/9	71/8	-4/1	36/6	53/61	72/82	36/82
7	6/5	0/4	0/1	0/121	23/7	0/51	0/265	11/1	73/4	-4/6	16/4	54/28	71/62	36/88
8	6/5	0/4	0/9	0/129	25/5	1/61	0/366	24/4	73/9	-5/2	36/6	59/94	58/15	30/38
9	4	0/2	0/1	0/124	23/1	0/71	0/177	19/4	77/1	-2/8	20/5	72/38	27/97	15/35
10	4	0/2	0/9	0/124	24/1	1/93	0/343	30/5	77/1	-2/7	25/1	70/96	32/62	17/80
11	4	0	0/5	0/122	20/5	1/71	0/433	15/2	73/6	-5/7	22/4	53/77	72/80	37/93
12	4	0/4	0/5	0/127	23/2	1/82	0/432	20/6	74/8	-5/8	24/1	63/00	50/57	27/13
13	1/5	0/2	0/5	0/126	19/9	2/57	0/475	21/7	76/9	-2/9	39/5	71/53	30/41	16/63
14	6/5	0/2	0/5	0/131	24/8	0/86	0/208	23/9	74/8	-3/5	25/2	65/16	45/17	23/87
15	4	0/2	0/5	0/131	24/5	1/63	0/342	24/5	74/5	-3/1	19/9	62/61	52/01	27/45
16	4	0/2	0/5	0/129	24/5	1/95	0/347	23/8	74/6	-2/5	23/6	70/68	32/60	17/66
17	4	0/2	0/5	0/132	23/2	1/45	0/336	22/5	77/1	-3/2	37/5	65/87	46/38	25/20
18	4	0/2	0/5	0/127	23/7	1/72	0/325	22/7	74/2	-3/2	23/4	65/13	44/40	23/22
19	4	0/2	0/5	0/132	24/2	1/63	0/349	21/1	74/5	-2/7	34/8	65/94	42/95	22/56
20	4	0/2	0/5	0/128	23/5	1/61	0/381	23/4	76/6	-3/1	34/8	68/67	37/40	20/12

3- نتایج و بحث

3-1- خصوصیات پوره کدومسمایی

قبل از تهیه فیلم برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پوره کدومسمایی اندازه‌گیری گردید. این پوره دارای pH معادل $5/8 \pm 0/02$ و بریکس $5/4 \pm 0/1$ بود. مقدار پارامترهای رنگی L^* برابر $72/8 \pm 0/5$ ، a^* برابر با $5/1 \pm 0/2$ و b^* برابر با $39/7 \pm 0/3$ بود.

3-2- دانسیته فیلم‌های خوراکی

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس و برازش مدل سطح پاسخ درجه دوم نشان می‌دهد که مدل برازش شده برای داده‌های دانسیته فیلم‌های خوراکی معنی‌دار ($p < 0/05$) و عدم برازش مربوط به آن بی‌معنی شده است (جدول 3). دانسیته فیلم‌های خوراکی در محدوده $0/132 \text{ g/cm}^3$ - $0/107$ متغیر و میانگین دانسیته $0/125 \text{ g/cm}^3$ بود. کتیرا و کربوکسی‌متیل سلولز تأثیر معنی‌داری بر دانسیته فیلم‌های خوراکی نداشتند. موافق با نتیجه این پژوهش، نتیجه مطالعه مصطفوی و همکاران (2016) نیز نشان داد افزایش نسبت

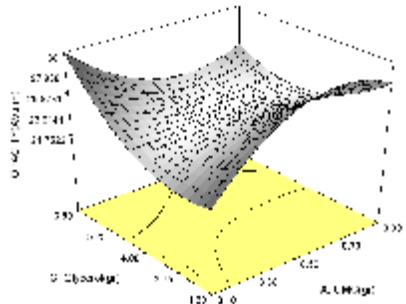
کتیرا در فیلم کتیرا- صمغ لوبیای لوکاست روی دانسیته فیلم بی‌تأثیر است (21). همان‌طور که در شکل 2 مشاهده می‌شود با افزایش مقدار گلیسرول دانسیته فیلم‌های خوراکی به صورت معنی‌داری ($p < 0/05$) افزایش یافت. در توضیح این پدیده می‌توان گفت مولکول‌های گلیسرول به دلیل کوچک بودن در حفرات موجود در ماتریکس فیلم به راحتی نفوذ می‌کنند و ماهیت قطبی آن‌ها اجازه می‌دهد با سایر مواد فیلم برهمکنش داده و سبب افزایش دانسیته فیلم‌ها شوند (19). البته یافته‌های برخی از پژوهشگران برخلاف نتیجه این تحقیق بوده و با افزایش سطح گلیسرول دانسیته فیلم‌ها با کاهش روبرو شده‌اند (19، 22، 24). مدل تجربی نهایی بر حسب فاکتورهای کدگذاری شده که تأثیر متغیرهای معنی‌دار فرآیند را بر دانسیته فیلم‌های خوراکی نشان می‌دهد در جدول 3 آمده است که به خوبی نشان می‌دهد پارامتر دانسیته به طور مستقیم از مقدار گلیسرول تبعیت می‌کند.

جدول 3- آنالیز واریانس و مدل سطح پاسخ برای پارامترهای اندازه‌گیری شده در فیلم خوراکی بر پایه کدومسمایی

آزمون	مدل برازش شده	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال F	احتمال (ضعف برازش)
دانسیته	$C0/005167 + 0/13$	0/0005	9	6/66E-05	0/01	0/05
کدورت	$A^2 C3/52 A^2 B + 2/04 BC - 0/29 AC + 2/48 AB - 2/89 C^2 + 2/98 B^2 + 2/02 A^2 - 0/32 C - 2/05 B - 1/35 + 23/87$	117/71	11	10/70	0/0007	0/08
L^*	$B^2 \quad 2/42 - 75/93$	49/95	9	5/55	0/03	0/42
a^*	$BC \quad 0/41B^2 - 2/27 A^2 - 0/72 C + 0/36 - 3/18 -$	20/89	9	2/32	0/0004	0/05
b^*	$B^2 \quad 13/47 B + 3/06 - 20/89$	1048/5	9	116/5	0/0006	0/05
سیری رنگ	$B^2 \quad 13/54B + 3/34 - 21/22$	992/89	9	110/32	0/003	0/27
اندیس سفیدی	$B^2 \quad 11/43B - 3/04 + 67/82$	760/15	9	84/46	0/003	0/2
اندیس زردی	$B^2 \quad 27/09B + 7/11 - 39/42$	4215/79	9	468/42	0/003	0/22
مقاومت به کشش	$C0/91A - 0/39 + 1/64$	5/75	9	0/63	0/001	0/05
مدول الاستیک	$B^2 \quad 0/089A^2 + 0/085C - 0/13A - 0/052 + 0/34$	0/15	9	0/01	0/0005	0/05
کشش پذیری	$BC9/01 AC - 8/53 AB - 11/00B^2 + 5/19C - 3/47B + 3/41A + 4/69 + 22/99$	845/08	9	93/89	<0/0001	0/06

A: مقدار CMC; B: مقدار کتیرا; C: مقدار گلیسرول

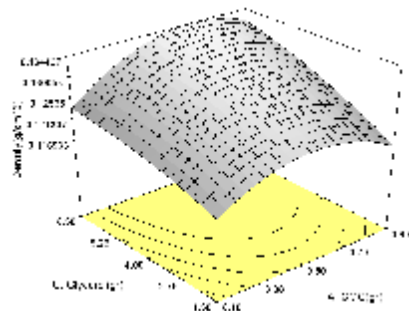
لوکاست سبب کدرتر شدن فیلم‌ها گردید (21). بر خلاف نتایج این تحقیق، افزایش سطح گلیسرول در فیلم تهیه شده از پروتئین نخود (7) و صمغ قدومه شیرازی (24) منجر به کاهش کدورت گردید. مدل تجربی نهایی بر حسب فاکتورهای کدگذاری شده که تأثیر متغیرهای معنی‌دار فرآیند را بر کدورت فیلم‌های خوراکی نشان می‌دهد در جدول 3 آمده است.



شکل 3- اثر هم‌زمان CMC-گلیسرول بر روی کدورت فیلم‌ها

3-4- رنگ فیلم‌های خوراکی

در بین خصوصیات ذکر شده، رنگ به دلیل تأثیر مستقیم بر بازارپسندی محصول و جذب مشتری از اهمیت بالایی برخوردار است به همین منظور پارامترهای $L^*a^*b^*$ اندازه‌گیری شد. سپس، با استفاده از این پارامترها توابع سیری رنگ، اندیس زردی (YI) و اندیس سفیدی (WI) محاسبه گردید. با کمک این توابع می‌توان تغییرات رنگ فیلم‌های خوراکی تحت تأثیر پارامترهای مستقل را به‌طور کامل‌تری توصیف کرد. همان‌طور که نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس و برازش مدل سطح پاسخ درجه دوم بر روی داده‌های آزمایشی در جدول 3 نشان می‌دهد کلیه پارامترهای مربوط به رنگ معنی‌دار ($p < 0/05$) و عدم برازش آن‌ها بی‌معنی ($p < 0/05$) شده است. جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهند که اثر متغیر مستقل کتیرا و مجذور کتیرا بر پارامترهای a^* ، b^* ، سیری، WI و YI معنی‌دار ($p < 0/05$) شده است. در مورد L^* نیز مجذور کتیرا (B^2) معنی‌دار بود. همچنین گلیسرول، مجذور CMC (A^2)، مجذور کتیرا (B^2) و اثر متقابل کتیرا و گلیسرول (BC) بر فاکتور a^* اثر معنی‌داری ($p < 0/05$) نشان دادند. در واقع



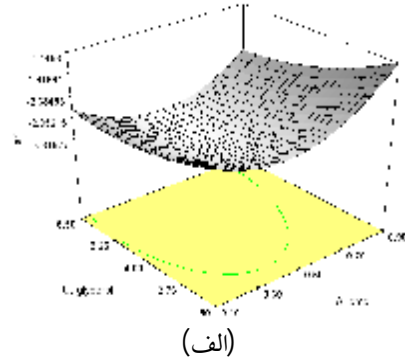
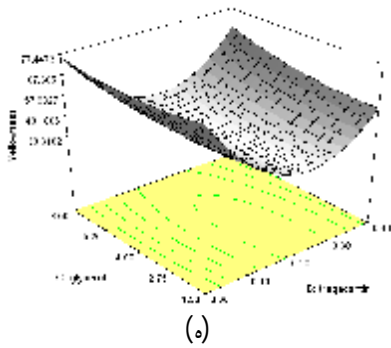
شکل 2- اثر هم‌زمان CMC و گلیسرول روی دانسیته فیلم‌ها

3-3- کدورت فیلم‌ها

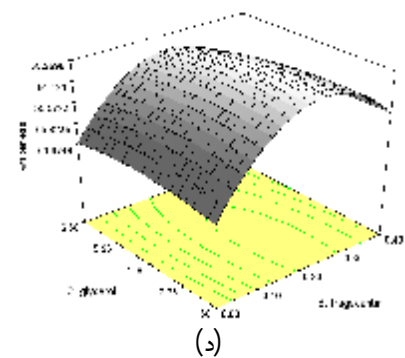
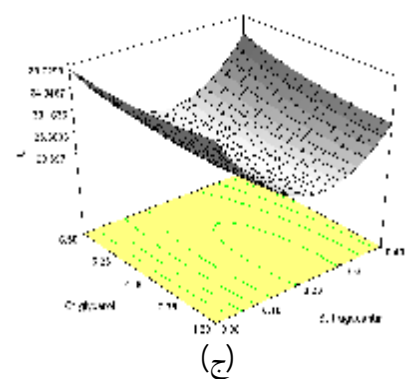
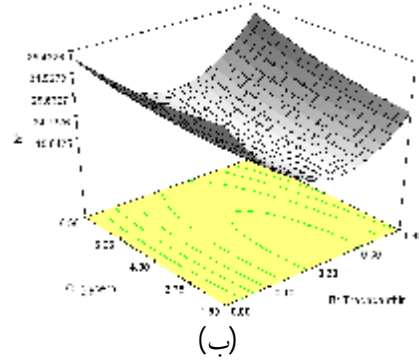
پارامتر کدورت شاخصی از شفافیت فیلم است؛ کدر بودن فیلم هر چند مشاهده محتویات داخل بسته را مشکل می‌کند، مانع از رسیدن پرتوهای مضر نور خورشید به ماده غذایی می‌گردد. نتایج نشان داد کدورت فیلم‌ها در دامنه $AV.nm$ 22/7-15/2-25/5 قرار داشت و میانگین مقدار آن $AV.nm$ 22/7 بود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس و برازش مدل سطح پاسخ مکعبی بر داده‌های آزمایشی کدورت در جدول 3 نشان می‌دهد مدل معنی‌دار ($p < 0/05$) و عدم برازش آن بی‌معنی ($p < 0/05$) شده است. همچنین، جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد افزودن گلیسرول، کتیرا و CMC بر کدورت فیلم‌ها تأثیری معنی‌دار ($p < 0/05$) ایجاد کرده است و مقدار کدورت تحت تاثیر اثرات خطی گلیسرول و کتیرا و اثرات متقابل CMC و کتیرا (AB)، CMC و گلیسرول (AC) و کتیرا و گلیسرول (BC) و مجذورهای CMC (A^2)، گلیسرول (C^2) و کتیرا (B^2) قرار گرفت. همان‌طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود در یک مقدار ثابت کتیرا، با افزایش مقدار CMC و گلیسرول کدورت فیلم‌ها افزایش یافته است بطوریکه فیلم دارای 1/5 گرم گلیسرول، 0/4 گرم کتیرا و 0/1 گرم CMC دارای کمترین کدورت ($AV.nm$ 15/2) بوده و با افزایش مقادیر گلیسرول و CMC به ترتیب به 6/5 و 0/9 گرم مقدار کدورت به بیشینه خود ($AV.nm$ 25/5) رسید. در این پژوهش افزایش غلظت هر سه متغیر میزان شفافیت فیلم‌ها را تنزل داد؛ به‌طور کلی افزایش مواد جامد محلول در فیلم‌های خوراکی سبب افزایش کدورت می‌شود (8). مشابه این مطالعه، افزایش نسبت کتیرا در فیلم کتیرا-صمغ لوبیای

رنگ سبز فیلم‌ها اندکی کاسته شد ولی با رسیدن غلظت از 0/2 به 0/4 دوباره فیلم‌ها سبزتر شدند. همچنین، با زیاد شدن غلظت CMC، در ابتدا a^* کاهش و سپس افزایش پیدا کرد (شکل 4 الف). شدت زردی فیلم توسط پارامتر b^* نشان داده می‌شود. هر چقدر مقدار این پارامتر بیشتر باشد رنگ زرد در نمونه غالب بوده و با کاهش آن رنگ آبی جای رنگ زرد را خواهد گرفت. b^* نمونه‌های تولید شده در این پژوهش در محدوده 15/1-39/5 قرار داشته و میانگین آن‌ها 27/2 بود. در طبیعت کتیرا به رنگ‌های سفید و زرد روشن وجود دارد. رنگ کتیرای بکار رفته در این تحقیق زرد روشن بود و انتظار می‌رفت که روی رنگ نهایی فیلم تأثیر گذاشته و منجر به افزایش b^* گردد. در بین متغیرهای مستقل مورد بررسی تنها کتیرا بود که b^* را بطور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. با افزایش غلظت کتیرا تا 0/2 گرم b^* فیلم‌های خوراکی کاهش و در مقادیر بیش از 0/2 گرم افزایش یافت (شکل 4 ب). اندیس زردی پارامتری است که با b^* ارتباط مستقیمی دارد در نتیجه تأثیر تغییر غلظت کتیرا روی اندیس زردی مشابه تغییرات b^* بود. تغییرات این پارامتر در محدوده 27/97-78/28 بوده و میانگین آن 52/41 بود. مقدار سیری رنگ نیز در دامنه 15/35-39/89 بوده و میانگینش 27/41 بود. مشابه اندیس زردی، با افزایش غلظت کتیرا تا 0/2 گرم سیری رنگ فیلم‌ها کاهش و در مقادیر بیش از 0/2 گرم افزایش یافت. در مورد اندیس سفیدی روند کاملاً برعکس بود و با بیشتر شدن مقدار کتیرا تا 0/2 گرم اندیس سفیدی فیلم‌ها افزایش و در مقادیر بالاتر این صمغ، اندیس سفیدی دچار کاهش شد (شکل‌های 4 ب، 4 ج، 4 د و 4 ه). مشابه این پژوهش، سیدی و همکاران (2014) مشاهده نمودند غلظت گلیسرول روی اندیس سفیدی بی‌تأثیر بوده ولی سبب افزایش اندیس زردی فیلم تهیه شده از دانه قدومه شیرازی گردید (24). مدل تجربی نهایی بر حسب فاکتورهای کدگذاری شده که تأثیر متغیرهای معنی‌دار فرآیند را بر پارامترهای رنگ فیلم‌های خوراکی نشان می‌دهد در جدول 3 آمده است.

کتیرا همه پارامترهای رنگ فیلم ($L^*a^*b^*$ ، سیری رنگ، WI و YI) را تحت تأثیر قرار داد. L^* نشان دهنده میزان روشنایی یا شفاف بودن فیلم است که در دامنه 71/5-77/1 قرار داشت و میانگین آن 74/5 بود. این پارامتر تنها تحت تأثیر غلظت صمغ کتیرا قرار گرفت و در فیلم‌های فاقد کتیرا L^* پایین بوده و با افزایش غلظت به 0/2 گرم فیلم‌ها روشن‌تر شده و با رسیدن کتیرا به 0/4 گرم از مقدار L^* کاسته شد. در مطالعات مختلف نتایج متناقضی به چشم می‌خورد؛ بعنوان نمونه، محمدامینی و همکاران (2015) گزارش کردند گلیسرول روی L^* فیلم صمغ دانه ریحان بی‌تأثیر است که با نتیجه این تحقیق همخوانی دارد (19). برخلاف این یافته، در فیلم تهیه شده از دانه صمغ بالنگو افزایش گلیسرول منتج به افزایش L^* گردید (22). همچنین، فاضل و همکاران (1391) مشاهده نمودند هر دوی کتیرا و گلیسرول بخاطر ماهیت شفافشان تأثیر معنی‌داری بر L^* فیلم‌های نشاسته سیب‌زمینی ایجاد نکردند (5). a^* نشان دهنده میزان قرمزی فیلم است. بعبارت دیگر، هر چقدر مقدار این پارامتر بیشتر باشد شدت قرمزی فیلم بیشتر شده و با کاهش آن و وارد شدن به محدوده اعداد منفی رنگ سبز در فیلم رفته‌رفته غالب خواهد شد. a^* فیلم‌ها در دامنه 2/7-5/8- واقع شد و میانگین آن 3/4- بود. با توجه به رنگ سبز کدو مسمایی و پوره تهیه شده از آن و نیز بیشتر بودن نسبت پوره در مقایسه با سایر ترکیبات فیلم، همه فیلم‌های تهیه شده سبز رنگ بودند و مقدار a^* نیز این واقعیت را تأیید می‌کند. در بین پارامترهای رنگی اندازه‌گیری شده تنها a^* متأثر از هر سه متغیر مستقل گلیسرول، CMC و کتیرا بود و سایر پارامترها فقط تحت تأثیر غلظت کتیرا قرار گرفتند. با افزایش مقدار گلیسرول فاکتور a^* به‌طور معنی‌داری ($p < 0/05$) کاهش یافت، به عبارت دیگر با افزایش مقدار گلیسرول سبزی رنگ افزایش یافت. رضوی و همکاران (2015)، محمدامینی و همکاران (2015) و سیدی و همکاران (2014) نیز چنین تأثیری برای گلیسرول گزارش کردند (19، 22، 24). با افزایش غلظت کتیرا تا 0/2 گرم از



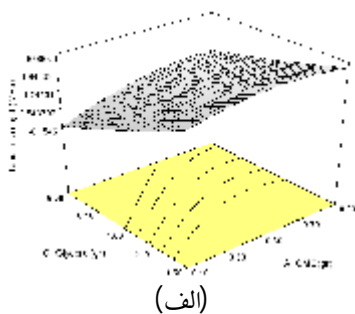
شکل 4- اثر متقابل CMC- گلیسرول بر پارامتر a^* (الف)، اثر متقابل کتیرا و گلیسرول بر پارامتر b^* (ب) سیری رنگ (ج)، اندیس سفیدی (د) و اندیس زردی (ه) فیلم‌های خوراکی.



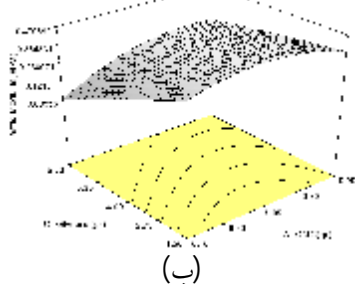
3-5- خصوصیات مکانیکی

همان‌طور که در جدول 3 مشاهده می‌شود، مدل برازش شده برای داده‌های مقاومت به کشش (TS)، مدول الاستیک و کشش‌پذیری (E) معنی‌دار و عدم برازش مربوط به هر سه بی‌معنی شده است. جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که دو متغیر گلیسرول و CMC اثر معنی‌داری بر TS فیلم‌های خوراکی داشته‌اند؛ همچنین، مقدار E فیلم‌ها تحت تأثیر اثرات خطی هر سه متغیر مستقل و اثرات متقابل CMC و کتیرا (AB)، CMC و گلیسرول (AC) و کتیرا و گلیسرول (BC) و مجذور کتیرا (B^2) واقع شد. در مورد مدول الاستیک نیز اثرات خطی CMC و گلیسرول و مجذورهای کتیرا (B^2) و CMC (A^2) معنی‌دار شد. به‌طور کلی هیدروکلوئیدها به‌دلیل ایجاد شبکه پلیمری در فیلم خوراکی میزان مقاومت به کشش و کشش‌پذیری فیلم‌ها را افزایش می‌دهند (10). ویژگی مکانیکی فیلم باید به‌گونه‌ای باشد که علاوه بر بالا بودن مقاومت مکانیکی نمونه، انعطاف‌پذیری آن نیز بالا باشد (6). در این پژوهش، TS فیلم‌ها در دامنه 0/51 الی 2/61 MPa قرار گرفت و میانگین آن 1/54 MPa بود. همان‌طور که در شکل 5 الف (اثر همزمان CMC و گلیسرول) مشاهده می‌شود در مقدار ثابت کتیرا با افزایش مقدار CMC، TS فیلم‌ها به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌یابد که دلیل این امر را می‌توان به ایجاد پیوندهای بین مولکولی بین CMC و سایر پلی‌ساکاریدهای

یافت و در مقادیر بیش از 0/2 گرم به دلیل ایجاد خشکی در فیلم سبب شکننده شدن و در نتیجه کاهش میزان E فیلم‌های خوراکی شد (شکل 6ب). وانگ و همکاران (2011) و فاضل و همکاران (1391) نیز به یافته‌های مشابهی دست پیدا کردند (5، 29). مدول الاستیک (مدول یانگ) شاخصی از سفتی فیلم است. به عبارت بهتر فیلم‌های دارای مدول الاستیک بالا از انعطاف‌پذیری کمتری برخوردارند. این پارامتر مکانیکی نیز متأثر از سه متغیر و میانگین مقدار آن $0/362 \text{ MPa}$ بود. گلیسرول به سبب ویژگی نرم‌کنندگی از مقدار مدول الاستیک کاست در حالیکه افزایش CMC تا مقدار 0/5 گرم سبب افزایش مدول الاستیک فیلم‌ها شده و با رسیدن به 0/9 گرم سبب کاهش آن شد (شکل 5 ب). پژوهش الماسی و همکاران (1388) نشان داد افزایش غلظت CMC در فیلم نشاسته بطور پیوسته سبب افزایش مدول الاستیک می‌گردد که با مشاهدات تحقیق حاضر همخوانی دارد (1). مدل تجربی نهایی بر حسب فاکتورهای کدگذاری شده که تأثیر متغیرهای معنی‌دار فرآیند را بر خصوصیات مکانیکی فیلم‌های خوراکی نشان می‌دهد در جدول 3 آمده است.



(الف)



(ب)

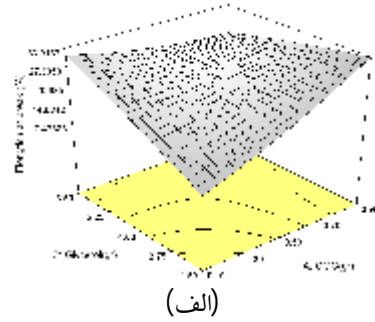
شکل 5- اثر هم‌زمان دو متغیر CMC - گلیسرول بر مقاومت در برابر کشش (الف) و مدول الاستیک (ب) فیلم‌های خوراکی.

موجود در فیلم خوراکی نسبت داد؛ موافق با این یافته، الماسی و همکاران (1388) گزارش نمودند افزایش مقدار CMC در فیلم تولید شده از نشاسته باعث تقویت فیلم و افزایش TS گردید؛ آن‌ها برقراری برهمکنش‌های قوی بین مولکولی بین نشاسته و CMC را علت پدیده دانستند (1). افزودن نرم‌کننده‌ها معمولاً سبب کاهش مقاومت مکانیکی و افزایش انعطاف‌پذیری می‌شود (3، 14، 15). البته به‌طور معمول افزودن مقدار اندکی نرم‌کننده به فرمولاسیون سبب افزایش مقاومت مکانیکی می‌شود (6). در این تحقیق با افزایش مقدار گلیسرول از TS فیلم‌ها کاسته شد (شکل 5 الف)؛ علت این تضعیف، کاهش نیروهای بین مولکولی و حرکت زنجیره‌های پلیمری و کاهش برهم‌کنش بین پلیمرها توسط گلیسرول بود. بطور مشابهی، بسیاری از محققان گلیسرول را تضعیف‌کننده TS فیلم‌ها دانسته‌اند (1، 5، 19، 22، 24). میزان E در فیلم‌ها تحت تأثیر هر سه متغیر مستقل قرار گرفت و میانگین آن 18/88% و در دامنه 3/1-30/5% واقع شد. در شکل 6 الف اثر هم‌زمان CMC و گلیسرول نشان می‌دهد که در مقدار ثابت کتیرا با افزایش مقدار CMC و گلیسرول میزان E به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌یابد. در حقیقت، گلیسرول از طریق گسستن پیوندهای پلیمر-پلیمر و تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین پلیمر و پلاستی‌سایزر سبب تضعیف نسبی ماتریکس فیلم و افزایش انعطاف‌پذیری می‌گردد (19). وانگ و همکاران (2011) در بررسی خصوصیات مکانیکی فیلم خوراکی بر پایه پوره هویج و سوتورونیت و پیتکا (2007) نیز در تحقیقی که بر روی خصوصیات مکانیکی و انتقال اکسیژن از فیلم خوراکی حاصل از آرد موز انجام دادند به نتایج مشابهی دست یافتند (26، 29). در توضیح تأثیر مثبت CMC روی کشش‌پذیری می‌توان گفت هر چند بین این بیوپلیمر و سایر پلی‌ساکاریدهای فیلم برهمکنش ایجاد می‌شود ولی پیوندهای جدید به حدی قوی نیستند که در برابر کش آمدن فیلم مقاومت زیادی از خود نشان دهند؛ در نتیجه، ضمن افزایش TS، E را نیز بهبود می‌دهند (1). با افزایش کتیرا ابتدا تا 0/2 گرم به دلیل ایجاد شبکه پلیمری E افزایش

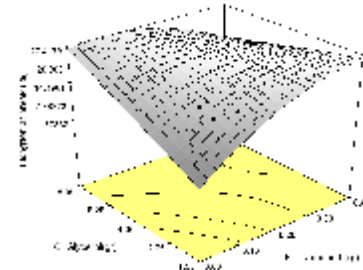
3-6- بهینه‌سازی فرمولاسیون فیلم خوراکی بر پایه

کدومسمایی

به‌منظور بهینه‌سازی فرمولاسیون فیلم خوراکی به‌طور هم‌زمان شرایط لازم برای هر پاسخ به‌صورت حداقل، حداکثر یا در محدوده آن پاسخ طراحی شد و با توجه به اهمیت هر فاکتور و اهداف تحقیق به هر پاسخ ضریب اهمیت داده شد و در نهایت ترکیبی از سطوح فاکتورها به دست آمد که فرمولاسیونی با حداکثر مطلوبیت را در اختیار قرار داد (جدول 4). در واقع بهینه‌سازی عددی، نقطه‌ای را ارزیابی می‌کند که حداکثر مطلوبیت را دارد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی فرمولاسیون نشان داد که مطلوبیت در مقادیر بالای کتیرا و پایین CMC بیشتر بوده و بهترین فرمولاسیون با مطلوبیت 0/63 حاوی 0/14 گرم CMC و 0/25 گرم کتیرا و 1/88 گرم گلیسرول می‌باشد. در شکل 7 مطلوبیت به‌صورت تابعی از مقدار CMC و کتیرا با مقدار ثابت 1/88 گرم گلیسرول رسم شده است.



(الف)



(ب)

شکل 6- اثر هم‌زمان دو متغیر CMC - گلیسرول (الف) و کتیرا - گلیسرول (ب) بر کشش‌پذیری فیلم‌های خوراکی.

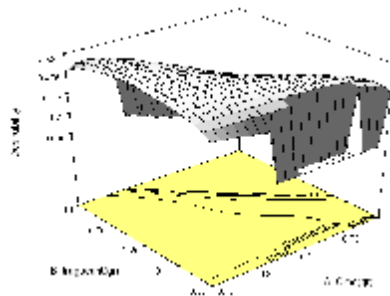
جدول 4- بهینه‌سازی کلی متغیرهای وابسته

متغیرها/پاسخ‌ها	هدف	حد پایین	حد بالا	درجه اهمیت
مقدار CMC	داخل محدوده	0/1	0/9	3
مقدار کتیرا	داخل محدوده	0	0/4	3
مقدار گلیسرول	داخل محدوده	1/5	6/5	3
مقاومت به کشش	حداکثر	0/516	2/6	5
کشش‌پذیری	حداکثر	3	30	5
مدول الاستیک	داخل محدوده	0/177	0/542	3
اندیس سفیدی	داخل محدوده	51/37	72/38	3
اندیس زردی	داخل محدوده	27/97	78/28	3
سیری رنگ	داخل محدوده	15/35	39/85	3
دانسیته	داخل محدوده	0/107	0/132	3
کدورت	حداقل	15/2	28/9	4

3-7- آزمون تعیین صحت

جهت تعیین صحت نقطه بهینه به دست آمده از آزمون اعتبارسنجی¹ مدل استفاده گردید. بدین ترتیب که فیلمی با مشخصات نقطه بهینه تهیه گردید و خصوصیات آن با خصوصیات پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار مقایسه شد. مقایسه در جدول 5 آورده شده است. برای به دست آوردن خطای پیش‌بینی از رابطه 8 استفاده گردید. در این رابطه R_t نتایج واقعی به دست آمده در طی آزمایش‌های اعتبارسنجی و R_p نتایج پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار است.

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



شکل 7- بهینه‌سازی فرمولاسیون فیلم خوراکی تهیه شده از پوره کدومسمایی، گلیسرول، کتیرا و CMC.

جدول 5- بررسی صحت نقطه بهینه در آزمون اعتبارسنجی

خطا	نتایج واقعی	نتایج پیش‌بینی شده	پاسخ	خطا	نتایج واقعی	نتایج پیش‌بینی شده	پاسخ
7/3	23/41±0/41	21/70	کدورت	0/33	2/1±0/02	2/093	مقاومت به کشش
0/01	70/18±0/4	70/17	اندیس سفیدی	0/12	10/31±0/3	10/32	کشش پذیری
0/25	35/1±0/5	34/23	اندیس زردی	0/50	0/39±0/004	0/39	مدول الاستیک
0/37	18/61±0/25	18/54	سیری رنگ	2/6	0/11±0/007	0/11	دانسیته

4- نتیجه گیری

در این پژوهش فیلم خوراکی بر پایه کدو مسمایی از طریق افزودن هیدروکلوئیدهای کربوکسی متیل سلولز و کتیرا با موفقیت تهیه و شرایط تولید آن با روش سطح پاسخ بهینه سازی شد. نتایج ارزیابی خصوصیات مکانیکی و نوری نشان داد ویژگی های مکانیکی عمدتاً تحت تأثیر CMC بود که با توجه به نقش ساختاری مشتقات سلولزی دور از انتظار نیست. کتیرا نیز با در نظر داشتن رنگ اولیه (زرد تا قهوه ای) تأثیر قابل ملاحظه ای روی ویژگی های نوری (به جز L^* و a^*) داشت. با عنایت به اینکه پایه اصلی فیلم تولیدی پوره کدو بود و فیلم تولیدی از آن فاقد صلابت و استحکام لازم بود افزودن هیدروکلوئیدها بخصوص CMC در ایجاد ساختار یکپارچه و مستحکم نقش چشمگیری ایفا نموده و سبب گردید فیلم تولیدی از کیفیت لازم برای استفاده بر روی انواع میوه های تازه و برش خورده و سایر فراورده های غذایی برخوردار باشد.

5- منابع

1. الماسی، ه.، قنبرزاده، ب. و پزشکی نجف آبادی، ا. 1388. بهبود ویژگی های فیزیکی فیلم های زیست تخریب پذیر نشاسته و فیلم های مرکب نشاسته و کربوکسی متیل سلولز متیل سلولز. علوم و صنایع غذایی ایران، شماره 3، دوره 6، 11-1.
2. پیوست، غ. 1381. سبزیکاری. نشر علوم کشاورزی تهران، تهران، صفحات 66-67.
3. زاهدی، ی.، صداقت، ن. و قنبرزاده، ب. 1390. ویژگی های فیزیکی فیلم های امولسیون تهیه شده از پروتئین گلوبولین کنجاله پسته و اسید استتاریک. علوم و صنایع غذایی ایران، شماره 4، دوره 8، 57-47.
4. فاطمی، ح. 1386. شیمی مواد غذایی. چاپ ششم، انتشارات شرکت سهامی انتشار، صفحات 243-245.
5. فاضل، م.، عزیزی، م.ح.، عباسی، س. و برزگر، م. 1391. بررسی تأثیر کتیرا، گلیسرول و روغن روی خصوصیات فیلم خوراکی بر پایه نشاسته سیب زمینی. علوم و صنایع غذایی ایران، شماره 34، دوره 9، 106-97.

6. قنبرزاده، ب.، الماسی، ه. و زاهدی، ی. 1388. بیوپلیمرهای زیست تخریب پذیر و خوراکی در بسته بندی مواد غذایی و دارویی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، صفحات 43-45.
7. مشکانی، س.م.، مرتضوی، س.ع.، میلانی، ا. و بخشی مقدم، ف. 1391. بررسی خصوصیات فیزیکی و بهینه سازی فرمولاسیون فیلم خوراکی با استفاده از ایزوله پروتئین نخود. مجله علوم و صنایع غذایی، دوره 9، شماره 36، 109-117.

8. Ahmadi, R., Kalbasi-Ashtari, A., Oromiehie, A., Yarmand, MS., Jahandideh, F. Development and characterization of a novel biodegradable edible film obtained from psyllium seed (*Plantago ovata* Forsk). *Journal of Food Engineering*. 2012;109(4):745-51.

9. ASTM. 2002. Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting, *Annual Book of American Standard Testing Methods*, D882. Philadelphia, PA.

10. Chen, CH., Lai, LS. Mechanical and water vapor barrier properties of tapioca starch/decolorized hsiantso leaf gum films in the presence of plasticizer. *Food Hydrocolloids*. 2008;22(8):1584-95.

11. Colla, E., do Amaral Sobral PJ, Menegalli FCI. Amaranthus cruentus flour edible films: influence of stearic acid addition, plasticizer concentration, and emulsion stirring speed on water vapor permeability and mechanical properties. *Journal of agricultural and Food Chemistry*. 2006;54(18):45-53.

12. Du, W., Olsen, C., Avena-Bustillos, R., McHugh, T., Levin, C., Friedman, M. Effects of allspice, cinnamon, and clove bud essential oils in edible apple films on physical properties and antimicrobial activities. *Journal of Food Science*. 2009;74(7):M372-M8.

13. Ghanbarzadeh, B., Almasi, H. Investigating of physical properties of carboxymethyl cellulose-oleic acid composite biodegradable edible films. *Journal of Food Science and Technology*. 2009;6(2):35-42.

14. Gontard, N., Guilbert, S., Cuq, J-L. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using

- biodegradable edible film based on sage seed gum: Influence of plasticiser type and concentration. *Food Hydrocolloids*. 2015;43:290-8.
27. Seyedi, S., Koocheki, A., Mohebbi, M., Zahedi, Y. *Lepidium perfoliatum* seed gum: A new source of carbohydrate to make a biodegradable film. *Carbohydrate polymers*. 2014;101:349-58.
28. Seyedi, S., Koocheki, A., Mohebbi, M., Zahedi, Y. Improving the physical and moisture barrier properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum biodegradable film with stearic and palmitic acids. *International journal of biological macromolecules*. 2015;77:151-8.
- response surface methodology. *Journal of Food Science*. 1992;57(1):190-5.
15. Lai, HM., Padua, GW. Water vapor barrier properties of zein films plasticized with oleic acid. *Cereal Chemistry*. 1998;75(2):194-9.
16. Lai HM, Padua GW, Wei LS. Properties and microstructure of zein sheets plasticized with palmitic and stearic acids. *Cereal Chemistry*. 1997;74(1):83-90.
17. McHugh, T., Senesi, E. Apple wraps: A novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples. *Journal of Food Science*. 2000;65(3):480-5.
18. Mohebbi, M., Ansarifard, E., Hasanpour, N., Amiryousefi, MR. Suitability of Aloe vera and gum tragacanth as edible coatings for extending the shelf life of button mushroom. *Food and Bioprocess Technology*. 2012;5(8):3193-202.
19. Mostafavi, FS., Kadkhodaei, R., Emadzadeh, B., Koocheki, A. Preparation and characterization of tragacanth-locust bean gum edible blend films. *Carbohydrate Polymers*. 2016;139:20-7.
20. Rojas-Grau, M., Raybaudi-Massilia, RM., Soliva-Fortuny, RC., Avena-Bustillos, RJ., McHugh, TH., Martin-Belloso, O. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest biology and Technology*. 2007;45(2):254-64.
21. Sothornvit R, Pitak N. Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. *Food Research International*. 2007;40(3):365-70.
22. Sothornvit, R., Rodsamran, P. Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. *Postharvest biology and Technology*. 2008;47(3):407-15.
23. Talaei, S., Kiani, A. Study on permeability of bionanocomposite film based on Tragacanth gum-Chitosan-Graphene oxide. *Cumhuriyet Science Journal*. 2015;1(1):12-9.
24. Wang, X., Sun, X., Liu, H., Li, M., Ma, Z. Barrier and mechanical properties of carrot puree films. *Food and Bioprocess Processing*. 2011;89(2):149-56.
25. Mohammad Amini, A., Razavi, SMA., Zahedi, Y. The influence of different plasticisers and fatty acids on functional properties of basil seed gum edible film. *International Journal of Food Science & Technology*. 2015;50(5):1137-43.
26. Razavi, SMA., Mohammad Amini, A., Zahedi, Y. Characterisation of a new