

تهیه و مطالعه ویژگی‌های وابسته به آب و نفوذپذیری ورقه‌های خوراکی بر پایه پوره کدومسمایی با استفاده از روش سطح پاسخ

اصغر ترابی^۱، محبت محبی^۱، فریده طباطبائی یزدی^۱، فخری شهیدی^۱ و یونس زاهدی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۲۴

^۱ به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد، دانشیار و استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

* مسئول مکاتبه: Email: younes.zahedi@gmail.com

چکیده

امروزه زیبایی و بازارپسندی غذا و همچنین حفاظت از مواد غذایی از جمله مهم‌ترین دغدغه‌های صنعت غذا می‌باشد که در واقع استفاده از پوشش‌ها و ورقه‌های خوراکی زیست‌تخریب‌پذیر که تا حد امکان بتواند علاوه بر زیبایی و حفاظت از غذا به محیط‌زیست آسیب نرساند از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. هدف از انجام این پژوهش بهینه‌سازی فرمولاسیون ورقه خوراکی بر پایه پوره کدومسمایی و بررسی اثر غلظت کربوکسی‌متیل سلولز (CMC)، کتیرا و گلیسرول بر برخی ویژگی‌های فیزیکی ورقه خوراکی شامل نفوذپذیری نسبت به اکسیژن و بخار آب، تورم‌پذیری، حلالیت در آب، فعالیت آب و میزان رطوبت بود که به کمک روش آماری سطح پاسخ، طرح مرکب مرکزی طراحی آزمایش‌ها و بهینه‌سازی فرمولاسیون انجام شد. بدین منظور سطوح CMC (۰/۱-۰/۹ گرم)، کتیرا (۰/۴-۰/۰ گرم) و گلیسرول (۱/۵-۶/۵ گرم) مورد بررسی قرار گرفتند. طبق نتایج به‌دست آمده افزایش در مقدار CMC سبب افزایش نفوذپذیری در برابر بخار آب و کاهش میزان رطوبت ورقه‌ها شد ($P < 0/05$). افزایش مقدار کتیرا نفوذپذیری در برابر اکسیژن ورقه‌ها را افزایش داد ($P < 0/05$). گلیسرول بیشترین اثر معنی‌دار را روی متغیرهای وابسته داشت؛ با افزایش مقدار گلیسرول نفوذپذیری به اکسیژن و بخار آب و حلالیت در آب ($P < 0/01$) افزایش یافتند و فعالیت آبی ($P < 0/05$) و تورم‌پذیری ($P < 0/01$) کاهش یافتند. نتایج حاصل از بهینه‌سازی فرمولاسیون نشان داد که مطلوبیت در مقادیر بالای کتیرا و پایین CMC بیشتر بوده و بهترین فرمولاسیون حاوی ۰/۱۴ گرم CMC، ۰/۲۵ گرم کتیرا و ۱/۸۸ گرم گلیسرول بود.

واژگان کلیدی: کتیرا، کربوکسی‌متیل سلولز، کدومسمایی، سطح پاسخ، ورقه خوراکی

مقدمه

می‌روند. مشکلات زیست‌محیطی ناشی از عدم تجزیه یا تجزیه بسیار کند، محدود بودن منابع نفت و مهاجرت ترکیبات استفاده شده در فرمولاسیون سبب شده است در دهه‌های اخیر توجه محققان به منابع تجدیدپذیر و

پلاستیک‌ها با منشأ مواد نفتی به علت در دسترس بودن در مقادیر زیاد و قیمت پایین و ویژگی‌های کاربردی مطلوب به‌طور گسترده به‌عنوان مواد بسته‌بندی به کار

تهیه شده از مشتقات سلولز دارای توانایی بالقوه‌ای در کاهش تبادل رطوبت بین ماده غذایی و محیط هستند. همچنین، این فیلم‌ها دارای مقاومت مکانیکی در حد معمول بوده و به نفوذ چربی‌ها و روغن‌ها مقاوم می‌باشند (فاطمی ۱۳۸۶؛ وارا و فیزمن ۲۰۱۱). برخلاف تراگاکانت از CMC می‌توان به‌تنهایی و یا در ترکیب با سایر مواد از قبیل چربی‌ها و بیوپلیمرها فیلم خوراکی تهیه نمود. قنبرزاده و الماسی (۱۳۸۸) برای بهبود ویژگی‌های فیلم CMC به‌ویژه ویژگی نفوذپذیری به بخار آب^۵ (WVP) از اسید اولئیک بهره جستند. در مطالعه‌ای افزودن CMC به ترکیب فیلم نشاسته سبب افزایش مقاومت به کشش و کاهش جذب رطوبت و WVP گردید (الماسی و همکاران ۱۳۸۸).

از ایده‌های جدید جهت تهیه فیلم‌ها و ورقه‌های خوراکی می‌توان به تهیه ورقه‌های خوراکی از پوره میوه و سبزی‌ها اشاره کرد. برای اولین بار تهیه فیلم و ورقه‌های خوراکی از پوره میوه و سبزی توسط مک هیوگ و همکاران در سال ۱۹۹۶ انجام گرفت، این محققان فیلم خوراکی را بر پایه پوره هلو تهیه کردند. روجاز-گراو و همکاران (۲۰۰۷) ورقه‌های خوراکی بر پایه پوره سیب را جهت افزایش عمر نگهداری و بهبود کیفیت برش‌های سیب تازه تولید کردند، این ورقه‌ها از پوره سیب تهیه شده و شامل غلظت‌های مختلفی از اسیدهای چرب، موم، روغن‌های گیاهی و پکتین بودند. از جمله میوه‌ها و سبزی‌های دیگری که جهت تولید فیلم خوراکی بر پایه پوره مورد استفاده قرار گرفته‌اند می‌توان پوره موز (پرز-گاگو و کروچتا ۲۰۰۱)، پوره گوجه‌فرنگی و پکتین (دو و همکاران ۲۰۰۹) و پوره هویج (وانگ و همکاران ۲۰۱۱) را نام برد.

کدومسمایی با نام علمی *Cucurbita pepo* گیاهی چندساله و متعلق به تیره *Cucurbitace* می‌باشد. در ۱۰۰ گرم کدومسمایی تازه، حدود ۹۶/۸ گرم آب، ۰/۶ گرم پروتئین، ۰/۲ گرم چربی، ۱/۸ گرم کربوهیدرات، ۰/۹

ایمن برای مصرف کننده و محیط‌زیست معطوف گردد (زاهدی ۱۳۸۸). فیلم‌ها و ورقه‌های خوراکی، لایه نازکی از مواد طبیعی هستند که از مواد تجدیدپذیر، زیست‌سازگار و زیست‌تخریب‌پذیر مانند پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها تهیه می‌شوند. تفاوت فیلم و ورقه در ضخامت آن‌هاست. معمولاً به ضخامت بالاتر از ۲۵۰ میکرومتر ورقه و کمتر از آن فیلم گویند (قنبرزاده و همکاران ۱۳۸۸). از جمله کربوهیدرات‌های مورد استفاده در تهیه فیلم و ورقه خوراکی کتیرا و کربوکسی متیل سلولز (CMC) می‌باشد.

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. کتیرا توسط سازمان^۲ FDA (سازمان غذا و داروی آمریکا) به‌عنوان یک ماده غذایی سالم طبقه‌بندی شده است و در صنایع غذایی، داروسازی، آرایشی و بهداشتی کاربرد دارد. این صمغ از دو پلی‌ساکارید باسورین^۳ و تراگاکانتین^۴ تشکیل می‌شود (فاطمی ۱۳۸۶). بررسی‌ها نشان می‌دهد تراگاکانت عمدتاً در ترکیب با سایر بیوپلیمرها در تهیه فیلم خوراکی مورد استفاده قرار گرفته است. طالعی و کیانی (۲۰۱۵) از ترکیب تراگاکانت، کیتوزان و اکسید گرافن موفق به تولید نانوکامپوزیت شدند. مصطفوی و همکاران (۲۰۱۶) از طریق آمیختن صمغ لوبیای لوکاست و تراگاکانت فیلم خوراکی تهیه کردند. فاضل و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر کتیرا، نرم‌کننده گلیسرول و روغن آفتابگردان را بر فیلم خوراکی بر پایه نشاسته بررسی نمودند.

CMC از مشتقات سلولز می‌باشد و دارای کاربرد وسیعی در فرمولاسیون، فرآوری و تولید مواد غذایی مختلف است. همچنین از CMC می‌توان در تهیه فیلم‌های بسته‌بندی و ورقه‌های خوراکی استفاده کرد. فیلم‌های

1-Carboxymethyl cellulose

2- Food and Drug Administration

3-Bassorin

4-Tragacanthin

5-Water vapor permeability

بافت، حدود ۱۲ دقیقه بخارپز شده سپس به‌وسیله مخلوطکن با دور ثابت به مدت ۳ دقیقه عمل مخلوط کردن انجام شد تا پوره کاملاً یکنواخت به‌دقت آید.

تهیه ورقه‌های خوراکی

جهت تولید ورقه‌های خوراکی، نخست CMC (۰/۱-۰/۹) گرم) توزین شده، ۶۰ ml آب مقطر افزوده شده، و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای 75°C توسط همزن مغناطیسی مخلوط گردید. صمغ کتیرا (۰/۴-۰ گرم) نیز توزین شده، به آن ۳ ml اتانول اضافه گردید تا سوسپانسیونی یکنواخت به‌دست آید. سپس، ۶۰ ml آب مقطر افزوده شده، در دمای حدود 90°C به مدت ۳۰ دقیقه تا زمان تشکیل ژل حرارت داده شد. مقدار ۴۵ گرم پوره کدومسمایی (۳۰٪ وزن محلول فیلم‌ساز) توزین شده، ژل حاصل از CMC و کتیرا به پوره اضافه شد، در این مرحله گلیسرول (۵/۵-۱/۶ گرم) نیز به‌عنوان پلاستی-سایزر اضافه شد. نمونه‌ها طی مدت زمان ۳ دقیقه توسط هم‌وزن‌نایزر (مدل IKA T25 digital, Ultra-Turrax، ساخت آلمان) با دور ۹۰۰۰ rpm هم‌وزن شدند. در ادامه، محلول ورقه‌های خوراکی درون قالب ریخته شد. قالب‌ها در محیط آزمایشگاه با دمای $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی $36 \pm 2\%$ قرار گرفتند و پس از ۳۶-۲۴ ساعت، ورقه‌های خشک شده با کیفیت مناسب از قالب جدا گردیدند. قبل از انجام آزمون‌ها، ورقه‌ها در دمای 25°C و رطوبت نسبی $55 \pm 1\%$ در دسیکاتور حاوی نیترات کلسیم به مدت ۴۸ ساعت مشروط شدند.

آزمایش‌ها

تعیین ضخامت ورقه‌ها

ضخامت ورقه‌ها توسط یک میکرومتر دیجیتالی (QLR digit-IP54, China) با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر و قبل از انجام آزمون‌ها تعیین شد. برای ورقه‌هایی که به منظور تعیین نفوذپذیری به بخار آب و اکسیژن تهیه شده بودند (دایره‌ای با قطر ۱۰ cm)، ضخامت در ۵ نقطه، ۴ نقطه در پیرامون دایره و یک نقطه در مرکز دایره، اندازه‌گیری و میانگین گرفته شد.

گرم مواد سلولزی و همچنین ۱۵ میلی‌گرم کلسیم، ۲۵ میلی‌گرم فسفر، ۰/۵ میلی‌گرم آهن، ۸ میلی‌گرم منیزیم، ۱۴۰ میلی‌گرم پتاسیم، ۰/۱۷ میلی‌گرم ویتامین A، ۰/۰۲ میلی‌گرم تیامین، ۰/۰۳ میلی‌گرم ریبوفلاوین، ۰/۲ میلی‌گرم نیاسین و ۸ میلی‌گرم ویتامین C وجود دارد. مقدار انرژی آن به‌طور متوسط ۸۰ تا ۱۵۰ کیلوژول به ازای هر ۱۰۰ گرم ماده تازه می‌باشد (پیوست ۱۳۸۱).

تهیه ورقه خوراکی از پوره کدو به‌ویژه در فصل تولید می‌تواند راهی برای جلوگیری از ضایع شدن آن از طریق تبدیل ماده خام اولیه به فراورده‌ای با طول عمر نگهداری بالا و بهره‌جستن از خواص تغذیه‌ای و دارویی کدو باشد. بررسی‌های کتابخانه‌ای نشان داده است که تاکنون هیچ تلاشی برای تهیه فیلم یا ورقه خوراکی از پوره کدومسمایی به‌تنهایی و یا در ترکیب با سایر مواد انجام نشده است. لذا، هدف از انجام این پژوهش بهینه‌سازی فرمولاسیون ورقه خوراکی بر پایه کدومسمایی و بررسی اثر غلظت کربوکسی‌متیل‌سلولز (CMC)، کتیرا و گلیسرول بر برخی ویژگی‌های ورقه خوراکی شامل نفوذپذیری به اکسیژن و بخار آب و ویژگی‌های وابسته به آب (میزان رطوبت، حلالیت در آب، تورم پذیری و فعالیت آبی) بود که به کمک روش آماری سطح پاسخ، طرح مرکب مرکزی، طراحی آزمایش‌ها و بهینه‌سازی فرمولاسیون انجام شد.

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. مواد شیمیایی ناتامایسین، الکل اتانول، گلیسرول، کربوکسی‌متیل سلولز (مرک، آلمان) و نیترات کلسیم (فلوکا) در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

تولید پوره

ابتدا کدومسمایی شسته شده، لایه نازکی از پوست آن گرفته شده، پس از قطعه‌قطعه کردن جهت نرم‌تر شدن

میزان رطوبت

نتایج حاصل از انجام پیش تیمارها نشان داد که پس از ۳۶ ساعت آون‌گذاری، نمونه‌ها به‌طور کامل خشک می‌شوند، در نتیجه میزان رطوبت ورقه‌ها از طریق کاهش وزن نمونه در دمای 10.3 ± 2 °C طی مدت زمان ۳۶ ساعت با استفاده از معادله [۱] محاسبه شد. در این رابطه M_i و M_f به ترتیب وزن نمونه اولیه و نمونه خشک شده می‌باشد.

$$MC = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad [1]$$

حلالیت در آب

حلالیت در آب ورقه‌های خوراکی توسط روش گونتارد و همکاران (۱۹۹۴) تعیین گردید. ورقه‌ها به ابعاد تقریبی $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ بریده و توزین شدند، سپس قطعات به مدت ۲۴ ساعت در دمای 10.0 ± 2 °C آون‌گذاری شده، بعد از خروج از آون و سرد شدن در دسیکاتور، توزین شده و هر یک از قطعات داخل ظرفی حاوی ۵۰ ml آب مقطر انداخته شد. سپس برای جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها مقدار $0.2\% \text{ w/v}$ سدیم آزید به آب مقطر اضافه گردید. ظرف حاوی نمونه به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط 23 ± 1 °C و داخل شیکر مکانیکی با دور ملایم ۷۰ rpm قرار داده شد. سپس محلول از کاغذ صافی عبور داده شد و کاغذ صافی به مدت ۲۴ ساعت در دمای 10.0 ± 2 °C آون‌گذاری گردید و بعد از سرد کردن داخل دسیکاتور توزین شد. درصد حلالیت (WS) با استفاده از معادله [۲] تعیین گردید. در این رابطه W_0 وزن اولیه و W_f وزن ورقه‌های خشک غیرمحلول است.

$$WS(\%) = \frac{W_0 - W_f}{W_0} \times 100 \quad [2]$$

تورم‌پذیری

تست تورم‌پذیری با روش فاجاردو و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد، در این روش ورقه‌های خوراکی در ابعاد 2 cm

$2 \text{ cm} \times 2$ و در ۲۵ ml آب مقطر با دمای 4 °C به مدت ۱۸۰ ثانیه تحت هم زدن غوطه‌ور شده، پس از خروج قطعه آب‌های اضافه موجود در سطح قطعه با نهایت دقت خشک شده، و افزایش وزن ورقه متورم با رابطه [۳] اندازه‌گیری گردید. در این معادله W_s وزن نمونه متورم شده بر حسب گرم و W_d وزن نمونه خشک بر حسب گرم می‌باشد. اندازه‌گیری برای هر نمونه ۴ بار تکرار شد و در نهایت میانگین به‌عنوان نتیجه در نظر گرفته شد.

[۳]

$$SC(\%) = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100$$

فعالیت آبی

برای اندازه‌گیری فعالیت آبی ورقه‌های خوراکی از دستگاه a_w سنسج (مدل HygroLab، ساخت شرکت ROTRONIC) استفاده شد.

نفوذپذیری به اکسیژن

نفوذپذیری به اکسیژن ورقه‌های خوراکی توسط دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری به گاز (ساخت شرکت Brugger آلمان) اندازه‌گیری شد. اساس کار دستگاه، اندازه‌گیری اکسیژن نفوذی از ورقه در طول زمان انجام آزمایش می‌باشد. آزمایش در دمای اتاق انجام شد. نمونه به مساحت $78/5$ سانتی‌متر مربع طوری درون دستگاه قرار می‌گرفت، محفظه دستگاه به دو قسمت تقسیم و پس از ثابت کردن نمونه و بسته شدن محفظه دستگاه، در قسمت پایینی نمونه خلأ ایجاد شده، پس از آن اکسیژن با فشار $1/5$ بار از طرف دیگر در تماس با نمونه قرار می‌گرفت، حجم گاز اکسیژن معادل 370 میلی‌متر مکعب بود (کولا و همکاران ۲۰۰۶).

نفوذپذیری به بخار آب

نفوذپذیری به بخار آب توسط دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری به بخار آب (مدل WDDG-DIN 53122، ساخت شرکت Brugger آلمان) اندازه‌گیری گردید.

را بر روی هر متغیر، جداگانه بیان می‌نماید که در فرمول [۴] قابل مشاهده است.

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i^2 + \sum b_{ij} x_i x_j \quad [4]$$

در معادله ذکر شده Y پاسخ پیش‌بینی شده، b_0 ضریب ثابت، b_i اثرات خطی، b_{ij} اثر مربعات و b_{ij} اثرات متقابل، x_i و x_j متغیرهای مستقل کدبندی شده هستند. به‌طور متداول جهت بررسی صحت مدل از ضریب تبیین^۱ و آزمون عدم برازش استفاده می‌شود، از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون عدم برازش آن معنی‌دار نبوده، دارای بالاترین مقدار R^2 adjusted و R^2 predicted باشد. ضریب تبیین (R^2) برای هر پاسخ معیاری است از این‌که تا چه اندازه از تغییرات مشاهده شده در مقادیر هر پاسخ می‌تواند توسط مدل توضیح داده شود. بنابراین هر چه مقدار R^2 به ۱ نزدیک‌تر شود، قدرت مدل برازش یافته در توصیف تغییرات پاسخ به‌عنوان تابعی از متغیرهای مستقل بیشتر می‌باشد. مقدار p به‌عنوان ابزاری برای آزمودن معنی‌داری اثر هر پارامتر مورد آزمایش استفاده می‌شود که ممکن است خود نشان‌دهنده اثرات متقابل بین متغیرها نیز باشد. در صورتی که مقادیر مطلق F بزرگ‌تر و مقادیر p کوچک‌تر باشد، متغیر مربوط معنی‌دارتر خواهد بود. از روش آماری سطح پاسخ (RSM) با طرح مرکب مرکزی به منظور طراحی آزمایش‌ها و بهینه‌سازی و از نرم‌افزار Design Expert نسخه 6.02 جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات و رسم نمودارهای مربوطه استفاده گردید.

آزمایش در دمای اتاق انجام شد و نمونه به مساحت ۷۸/۵ سانتی‌متر مربع طوری درون دستگاه قرار می‌گرفت که محفظه دستگاه به دو قسمت تقسیم می‌شد، در قسمت پایینی دستگاه آب مقطر وجود داشت که بخار آب مورد نیاز را تأمین می‌کرد و پس از ثابت شدن نمونه و بسته شدن درب محفظه گاز نیتروژن با فشار ۱ بار از طرف دیگر در تماس با نمونه قرار می‌گرفت.

طرح آماری

اهداف اصلی این پژوهش بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورهای غلظت کربوکسی متیل سلولز، کتیرا و گلیسرول بر برخی ویژگی‌های فیزیکی ورقه خوراکی حاصله بود. روش سطح پاسخ جهت یافتن حالت بهینه فاکتورها انتخاب شد که نشان دهنده چگونگی تأثیر فاکتورها بر نتایج آزمایش‌هاست، این در حالی است که آثار متقابل فاکتورها را نیز در برمی‌گیرد. در این پژوهش ابتدا بر اساس آزمایش‌های مقدماتی، دامنه تغییرات فاکتورها برای غلظت کربوکسی متیل سلولز ۰/۱ تا ۰/۹ گرم، کتیرا صفر تا ۰/۴ گرم و گلیسرول ۱/۵ تا ۶/۵ گرم (به ازای ۱۰۰ ml از محلول) انتخاب شدند. در این طرح مقدار کربوکسی متیل سلولز با نماد A ، کتیرا با نماد B و گلیسرول با نماد C سه فاکتور موثر بودند. در جدول (۱) متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آن‌ها آورده شده است.

جدول ۱- متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آن‌ها در تهیه

ورقه های خوراکی بر پایه پوره کدوی مسمایی

متغیرهای مستقل	نماد	مقادیر متغیر
مقدار کربوکسی‌متیل-سلولز (گرم)	A	۰/۱ ۰/۵ ۰/۹
مقدار کتیرا (گرم)	B	۰ ۰/۲ ۰/۴
مقدار گلیسرول (گرم)	C	۱/۵ ۴ ۶/۵

در روش سطح پاسخ (RSM) برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها

1-Coefficient of determination

2-Lack of fit

جدول ۲- سطح مورد استفاده از هر کدام از متغیرهای مستقل در هر بار اجرای آزمون

آزمون	CMC	کتیرا	گلیسرول	آزمون	CMC	کتیرا	گلیسرول
۱	۰/۹	۰/۴	۱/۵	۱۱	۰/۵	۰	۴
۲	۰/۹	۰	۶/۵	۱۲	۰/۹	۰/۲	۴
۳	۰/۵	۰/۲	۴	۱۳	۰/۹	۰/۴	۶/۵
۴	۰/۱	۰	۶/۵	۱۴	۰/۱	۰	۱/۵
۵	۰/۵	۰/۲	۴	۱۵	۰/۵	۰/۲	۴
۶	۰/۵	۰/۲	۴	۱۶	۰/۵	۰/۲	۶/۵
۷	۰/۹	۰	۱/۵	۱۷	۰/۱	۰/۲	۴
۸	۰/۵	۰/۴	۴	۱۸	۰/۱	۰/۴	۶/۵
۹	۰/۱	۰/۴	۱/۵	۱۹	۰/۵	۰/۲	۴
۱۰	۰/۵	۰/۲	۴	۲۰	۰/۵	۰/۲	۱/۵

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس خصوصیات فیزیکی اندازه گیری شده برای ورقه‌های خوراکی تهیه شده بر پایه کدومسمایی در جدول ۳ ارائه شده است. ضخامت ورقه‌های تولید شده در دامنه ۱۹۰ الی ۲۷۰ میکرومتر قرار داشت و میانگین ضخامت ۲۲۷ میکرومتر بود.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس خصوصیات فیزیکی ورقه‌های خوراکی تهیه شده بر پایه کدوی مسمایی

پاسخ	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	R ²	adj-R ²
محتوای رطوبتی (%)	۱۶/۹۰	۳/۷۳	۰/۶۳	۰/۹۶	۰/۹۴
حلالیت در آب (%)	۷۹/۶۲	۳/۳۸	۲/۶۹	۰/۹۲	۰/۸۲
فعالیت آبی	۰/۲۶	۶/۹۰	۰/۰۱۸	۰/۸۸	۰/۷۴
تورم پذیری (%)	۶۶/۷۱	۱۰/۱۰	۶/۷۴	۰/۹۷	۰/۹۴
نفوذپذیری به بخار آب	۱۳/۴۹	۰/۸۲	۰/۱۱	۰/۹۸	۰/۹۷
نفوذپذیری به اکسیژن	۹/۵۸	۲۰/۲۱	۱/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۴

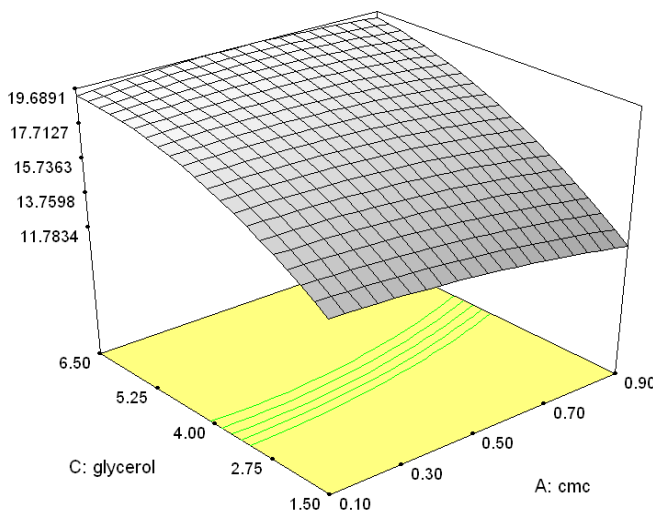
جدول ۴- آنالیز واریانس و مدل سطح پاسخ درجه دوم برای میزان رطوبت ورقه‌های خوراکی بر پایه پوره کدوی مسمایی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
مدل	۱۲۵/۰۲	۹	۱۳/۸۹	۳۴/۹۵	<۰/۰۰۰۱
A	۲/۹۱	۱	۲/۹۱	۷/۳۳	۰/۰۲
C	۱۰۴/۳۲	۱	۱۰۴/۳۲	۲۶۲/۵۰	<۰/۰۰۰۱
C ²	۴/۷۷	۱	۴/۷۷	۱۲/۰۲	۰/۰۰۶۰
AC	۲/۳۱	۱	۲/۳۱	۵/۸۱	۰/۰۳
ضعف برآزش	۲/۷۷	۵	۰/۵۵	۲/۳۲	۰/۱۸
خطا	۱/۱۹	۵	۰/۲۳	-	-

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد پارامترهای CMC، گلیسرول، عبارت درجه دوم گلیسرول و اثر متقابل CMC و گلیسرول بر میزان رطوبت ورقه‌ها تأثیر معنی‌داری داشته‌اند که در بین فاکتورها گلیسرول در سطح ۹۹٪ ($P < ۰/۰۱$) و بقیه در سطح ۹۵٪ ($P < ۰/۰۵$) موثر واقع شده‌اند.

حلالیت در آب و تورم‌پذیری ورقه‌ها

همان‌طور که نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس و برازش مدل سطح پاسخ درجه دوم بر روی داده‌های آزمایشی نشان می‌دهد، حلالیت ورقه‌های خوراکی در آب ($P < 0.05$) و تورم‌پذیری ($P < 0.01$) معنی‌دار و عدم برازش هر دو غیرمعنی‌دار ($P > 0.05$) شده است (جدول ۵ و ۶).



جدول ۵- آنالیز واریانس و مدل سطح پاسخ درجه دوم برای حلالیت در آب ورقه‌های خوراکی بر پایه پوره کدوی

مسمایی					
منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
مدل	۶۲۸/۶۷	۹	۰/۷۰	۵۷/۴۴	<0.0001
C	۴۴۲/۰۴	۱	۴۴۲/۰۴	۱۹۲/۴۱	<0.0001
AB	۴۶/۳۴	۱	۴۶/۳۴	۱۸/۴۷	0.005
AC	۵۶/۲۵	۱	۵۶/۲۵	۲۱/۲۲	0.003
BC	۵۶/۲۵	۱	۵۶/۲۵	۸/۲۹	0.02
ضعف برازش	۳۳/۸۸	۲	۱۶/۹۴	۵/۰۶	0.06
خطا	۱۶/۷۰	۵	۳/۳۴	-	-

شکل ۱- اثر هم‌زمان CMC - گلیسرول بر میزان رطوبت ورقه‌های خوراکی بر پایه پوره کدو مسمایی (%)

از آنجا که گلیسرول به‌عنوان یک عامل نگه‌دارنده آب عمل می‌کند (آروانیتویانز و بیلاردس ۱۹۹۹)، در مقدار ثابت کتیرا با افزایش مقدار گلیسرول میزان رطوبت ورقه‌های خوراکی افزایش پیدا می‌کند (شکل ۱). مو و همکاران نیز (۲۰۱۲) نتیجه مشابهی گزارش کردند. علت را می‌توان ایجاد خاصیت آبدوست (هیدروفیل) در ورقه خوراکی توسط گلیسرول دانست. در مطالعات دیگر نیز نشان داده شده که در فیلم‌های خوراکی تولید شده بر پایه کربوهیدرات با افزایش مقدار گلیسرول موجود در فرمولاسیون میزان رطوبت فیلم افزایش می‌یابد (ژانگ و هان، ۲۰۰۶؛ قاسملو و همکاران، ۲۰۱۱؛ جوکی و همکاران، ۲۰۱۳).

مدل تجربی نهایی بر حسب فاکتورهای کدگذاری شده که تأثیر متغیرهای معنی‌دار فرایند را بر میزان رطوبت ورقه‌های خوراکی نشان می‌دهد در معادله [۵] آمده است.

$$\text{مقدار رطوبت} = 17.78 - 0.54 A + 3.23 C - 1.32 C^2 + 0.54 AC \quad [5]$$

در این معادله A مقدار CMC، B مقدار کتیرا و C مقدار گلیسرول (بر حسب گرم در ۱۰۰ ml محلول) می‌باشد.

جدول ۶- آنالیز واریانس و مدل سطح پاسخ درجه دوم برای تورم‌پذیری ورقه‌های خوراکی بر پایه پوره کدوی

مسمایی					
منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
مدل	۱۳۶۲۵/۳۱	۹	۱۵۱۳/۹۲	۳۳/۳۵	<0.0001
C	۷۳۸۵/۰۴	۱	۷۳۸۵/۰۴	۱۶۲/۷۰	<0.0001
C ²	۳۱۹/۰۱	۱	۳۱۹/۰۱	۷/۰۲	0.03
AB	۲۸۶/۹۴	۱	۲۸۶/۹۴	۶/۳۲	0.04
AC	۲۵۴/۹۱	۱	۲۵۴/۹۱	۵/۶۱	0.04
ضعف برازش	۲۰۴/۳۸	۲	۱۰۲/۱۹	۴/۵۰	0.07
خطا	۱۱۳/۳۳	۵	۲۲/۶۶	-	-

است (شکل ۲، الف) که علت این امر را می‌توان به حلالیت گلیسرول در آب نسبت داد (آراجو- فارو و همکاران ۲۰۱۰). روند مشابهی توسط فاضل و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی تأثیر کتیرا، گلیسرول و روغن بر خصوصیات فیلم خوراکی بر پایه نشاسته سیب‌زمینی گزارش شده است.

در مورد تورم‌پذیری ورقه‌های خوراکی همان‌طور که در شکل ۲- ب مشاهده می‌شود، کتیرا و CMC تأثیر معنی‌داری بر تورم‌پذیری ورقه‌های خوراکی نداشتند. در مقدار ثابت کتیرا با افزایش مقدار گلیسرول تورم-پذیری ورقه‌های خوراکی به شکل معنی‌داری ($P < 0.01$) کاهش می‌یابد. مدل تجربی نهایی بر حسب فاکتورهای کدگذاری شده که تأثیر متغیرهای معنی‌دار فرآیند را بر حلالیت و تورم‌پذیری ورقه‌های خوراکی نشان می‌دهد در معادلات ۶ و ۷ آمده است.

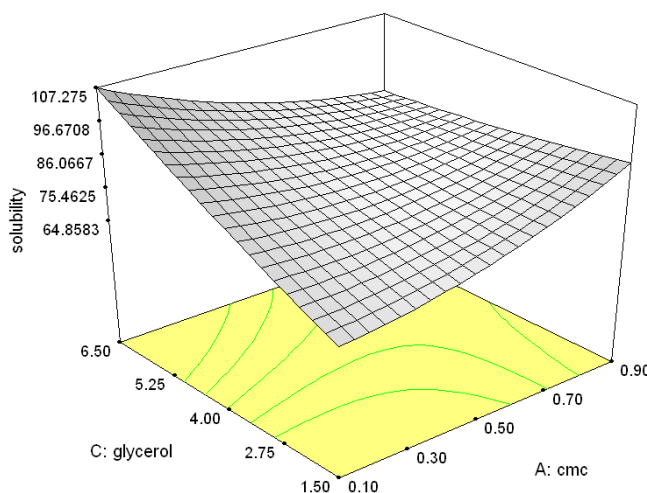
$$\text{حلالیت در آب} = 80.08 + 8.58 C + 10.58 AB - 12.63 AC - 12.63 BC \quad [6]$$

$$\text{تورم پذیری} = 56.67 - 35.08 C + 14.58 C^2 - 26.33 AB + 26.88 AC \quad [7]$$

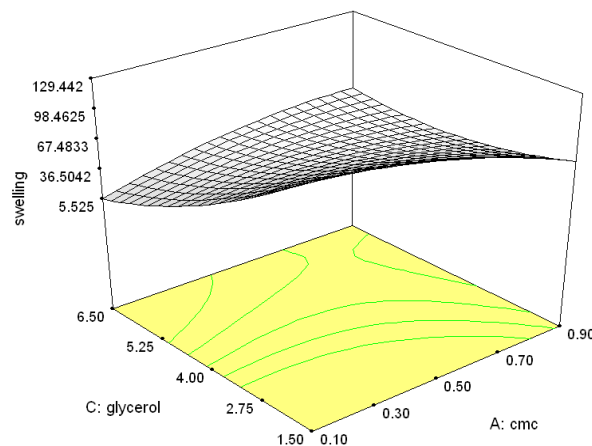
در این معادلات A مقدار CMC، B مقدار کتیرا و C مقدار گلیسرول (بر حسب گرم در ۱۰۰ ml محلول) می‌باشد.

فعالیت آبی

جهت بهتر نشان دادن آب آزاد و محدود باید فعالیت آبی ورقه‌ها در نظر گرفته شود. فعالیت آبی در واقع آب آزاد موجود در نمونه را نشان می‌دهد که هر چه میزان آن بیشتر باشد امکان رشد میکروارگانیسم در آن بیشتر خواهد بود. فعالیت آبی ورقه‌ها بین ۰/۲۰۶ تا ۰/۳۵۰ متغیر بود. همان‌طور که نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس و برازش مدل سطح پاسخ درجه دوم در جدول ۷ نشان می‌دهد، مدل برازش شده برای داده‌های فعالیت آبی در سطح ($P < 0.05$) معنی‌دار و عدم برازش آن غیرمعنی‌دار شده است. نتایج تجزیه و تحلیل



(الف)



(ب)

شکل ۲- اثر هم‌زمان CMC - گلیسرول بر حلالیت در آب (%) ورقه‌های خوراکی بر پایه پوره کدوی مسمایی (الف)، اثر هم‌زمان CMC - گلیسرول بر تورم‌پذیری (%) ورقه‌های خوراکی بر پایه پوره کدوی مسمایی (ب)

جدول ۵ آنالیز واریانس را برای حلالیت در آب نشان می‌دهد گلیسرول ($P < 0.01$) و اثرات متقابل هر سه پارامتر مستقل ($P < 0.05$) بر حلالیت ورقه‌های خوراکی معنی‌دار است. همچنین، در مورد تورم‌پذیری گلیسرول ($P < 0.01$) و اثر متقابل CMC-کتیرا و CMC-گلیسرول ($P < 0.05$) معنی‌دار می‌باشد.

در مقدار ثابت کتیرا با افزایش گلیسرول حلالیت ورقه‌های خوراکی به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) افزایش یافته

[۸] $C = 0.049 - 0.25$ فعالیت آبی

نفوذپذیری به اکسیژن

همان‌طور که نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس و برازش مدل سطح پاسخ درجه دوم بر روی داده‌های آزمایشی با دارندگی ورقه‌های خوراکی در جدول ۸ نشان می‌دهد، مدل برازش شده برای داده‌های نفوذپذیری به اکسیژن ($P < 0.05$) معنی‌دار و عدم برازش مربوط به آن غیر معنی‌دار شده است.

جدول ۸- آنالیز واریانس و مدل سطح پاسخ درجه دوم

برای نفوذپذیری به اکسیژن ورقه‌های خوراکی بر پایه

پوره کدوی مسمایی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
مدل	۱۰۷۲/۷۲	۹	۱۱۹/۱۹	۳۱/۸۰	۰/۰۰۰۵
B	۱۱۸/۴۸	۱	۱۱۸/۴۸	۳۱/۶۱	۰/۰۱
C	۲۲۱/۱۹	۱	۲۲۱/۱۹	۵۹/۰۲	<۰/۰۰۰۱
A ²	۳۹/۶۸	۱	۳۹/۶۸	۱۰/۵۸	۰/۰۱
B ²	۲۲/۶۷	۱	۲۲/۶۷	۶/۰۵	۰/۰۰۹
AC	۲۸/۷۹	۱	۲۸/۷۹	۷/۶۸۳	۰/۰۲
ضعف برازش	۱۵/۹۱	۲	۷/۹۵۶	۳/۸۵	۰/۰۹
خطا	۱۰/۳۱	۵	۲/۰۶	-	-

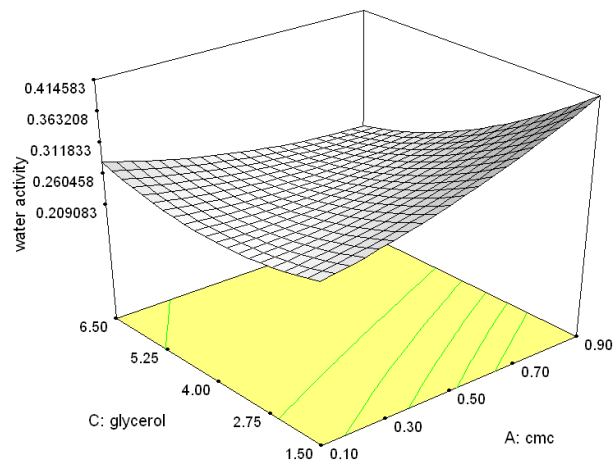
نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که اثرات دو پارامتر کتیرا و گلیسرول، عبارت درجه دوم CMC و کتیرا و اثر متقابل CMC و گلیسرول بر نفوذپذیری ورقه‌های خوراکی به اکسیژن معنی‌دار شده‌اند که در بین آن‌ها مقدار گلیسرول (C) بیشترین اثر معنی‌دار را داشته است ($P < 0.01$).

داده‌ها نشان داد که فقط محتوای گلیسرول می‌تواند بر فعالیت آبی ورقه‌ها تأثیر معنی‌داری ($P < 0.05$) داشته باشد.

جدول ۷- آنالیز واریانس و مدل سطح پاسخ درجه دوم برای فعالیت آبی ورقه‌های خوراکی بر پایه پوره کدوی

مسمایی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
مدل	۰/۰۱	۹	۰/۰۰۱	۶/۲۰	۰/۰۱
C	۰/۰۱	۱	۰/۰۱	۴۵/۰۷	۰/۰۰۰۳
ضعف برازش	۰/۰۰۱	۲	۰/۰۰۰۷	۳/۶۹	۰/۰۵
خطا	۰/۰۰۰۶	۵	۰/۰۰۰۱	-	-



شکل ۳- اثر هم‌زمان CMC و گلیسرول بر فعالیت آبی

ورقه‌های خوراکی بر پایه پوره کدوی مسمایی

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود در مقدار ثابت CMC با افزایش مقدار گلیسرول فعالیت آب نمونه‌ها کاهش می‌یابد، دلیل این امر آن است که گلیسرول به عنوان نگه‌دارنده آب عمل می‌کند (آروانیتویانز و بیلیادرس ۱۹۹۹). مدل تجربی نهایی بر حسب فاکتورهای کدگذاری شده که تأثیر متغیرهای معنی‌دار فرایند را بر فعالیت آب ورقه‌های خوراکی نشان می‌دهد در معادله [۸] آمده است:

۱۰۰ ml) می‌باشد.

$$\text{نفوذپذیری به اکسیژن} = 5.33 + 5.96 B + 6.07 C + 5.14 A^2 + 3.89 B^2 - 9.03 AC \quad [9]$$

نفوذپذیری به بخار آب

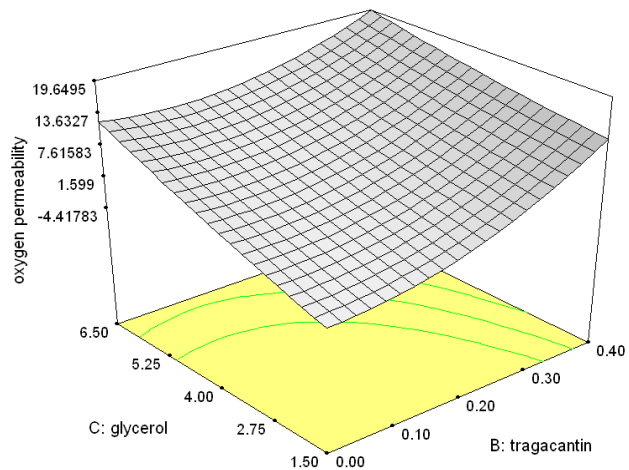
جدول ۹ آنالیز واریانس نشان می‌دهد عبارت‌هایی از مدل که برای نفوذپذیری به بخار آب معنی‌دار شده‌اند عبارت‌اند از: اثرات خطی گلیسرول و CMC، عبارت درجه دوم گلیسرول و اثرات متقابل هر سه متغیر مستقل، در بین عبارت‌های ذکر شده مقدار گلیسرول بیشترین اثر معنی‌دار را بر نفوذپذیری ورقه‌های- خوراکی نسبت به بخار آب دارد ($P < 0.01$).

جدول ۹- آنالیز واریانس و مدل سطح پاسخ درجه دوم برای نفوذپذیری به بخار آب ورقه‌های خوراکی بر پایه

پوره کدوی مسمایی

منبع	مجموع مربعات آزادی	درجه آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
مدل	۶/۳۶	۹	۰/۷۰	۵۷/۴۴	<۰/۰۰۰۱
A	۰/۶۷	۱	۰/۶۷	۵۴/۶۴	۰/۰۰۰۳
C	۲/۳۶	۱	۲/۳۶	۱۹۲/۴۱	<۰/۰۰۰۱
C ²	۰/۶۵	۱	۰/۶۵	۵۳/۳۴	۰/۰۰۰۳
AB	۰/۲۲	۱	۰/۲۲	۱۸/۴۷	۰/۰۰۵
AC	۰/۲۶	۱	۰/۲۶	۲۱/۲۲	۰/۰۰۳
BC	۰/۱۰	۱	۰/۱۰	۸/۲۹	۰/۰۲
ضعف برآزش	۰/۰۰۶	۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۵۱
خطا	۰/۰۶	۵	۰/۰۱	-	-

به‌طور کلی انتقال بخار آب از طریق بخش هیدروفیل ورقه‌های خوراکی صورت می‌گیرد و نسبت هیدروفیل به هیدروفوب به ترکیبات تشکیل دهنده بستگی دارد. انتقال بخار آب از ورقه‌های خوراکی هیدروفیل وابسته به شدت انتشار و قابلیت حل شدن مولکول‌های آب در شبکه‌ی ورقه خوراکی می‌باشد (گونتارد و همکاران ۱۹۹۴). در مقدار ثابت کتیرا با افزایش مقدار CMC



شکل ۴- اثر هم‌زمان کتیرا- گلیسرول بر نفوذپذیری به اکسیژن ($10^{-14} \text{ gm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{pa}^{-1}$) ورقه‌های خوراکی بر پایه پوره کدوی مسمایی

انتقال اکسیژن بستگی زیادی به برهم‌کنش بین پلیمرها و اکسیژن دارد (ژونگ و ژیا ۲۰۰۸). افزایش برهم‌کنش بین مولکولی سبب فشرده شدن ساختار ورقه‌های خوراکی شده، در نتیجه انتقال اکسیژن را کاهش می‌دهد (ژونگ و ژیا ۲۰۰۸). به‌طور کلی بیوفیل‌های هیدروفیل نفوذپذیری بالایی نسبت به اکسیژن دارند (سوتورنویت و کروچتا ۲۰۰۰). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در مقدار ثابت CMC با افزایش مقدار کتیرا نفوذپذیری به اکسیژن به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) افزایش می‌یابد که علت این امر را می‌توان به هیدروفیل بودن کتیرا نسبت داد و با افزایش مقدار گلیسرول به- دلیل افزایش تحرک زنجیره‌های بیوپلیمری و ایجاد حفرات خالی در ماتریس ورقه‌های خوراکی نفوذپذیری به اکسیژن ($P < 0.01$) افزایش می‌یابد (سوتورنویت و کروچتا ۲۰۰۰؛ سوتورنویت و پیتکا ۲۰۰۷).

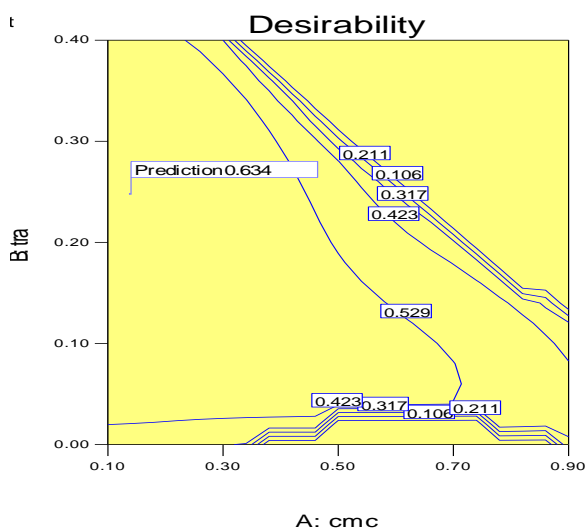
مدل تجربی نهایی بر حسب فاکتورهای کدگذاری شده که تأثیر متغیرهای معنی‌دار فرآیند را بر خصوصیت نفوذپذیری به اکسیژن ورقه‌های خوراکی نشان می‌دهد در معادله [۹] آمده است. در این معادله A مقدار CMC، B مقدار کتیرا و C مقدار گلیسرول (بر حسب گرم در

مقدار کتیرا و C مقدار گلیسرول (بر حسب گرم در ۱۰۰ ml محلول) می‌باشد.

$$-13.54 + 0.58 A + 0.63 C - 0.66 C^2 - 0.91 AB + 0.91 AC + 0.57 BC \quad [10]$$

بهینه‌سازی فرمولاسیون ورقه خوراکی بر پایه کدومسمایی

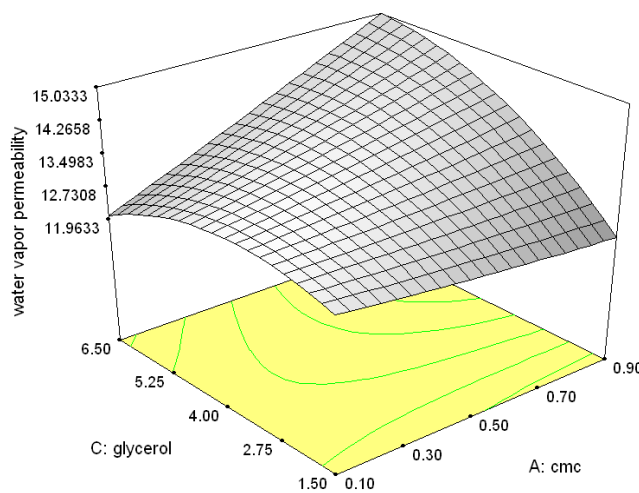
به منظور بهینه‌سازی فرمولاسیون ورقه خوراکی به-طور هم‌زمان شرایط لازم برای هر پاسخ به صورت حداقل، حداکثر یا در محدوده آن پاسخ طراحی شد و با توجه به اهمیت هر فاکتور و اهداف تحقیق به هر پاسخ ضریب اهمیت داده شد و در نهایت ترکیبی از سطوح فاکتورها به دست آمد که فرمولاسیونی با حداکثر مطلوبیت را در اختیار قرار داد، در واقع بهینه‌سازی عددی، نقطه‌ای را ارزیابی می‌کند که حداکثر مطلوبیت را دارد (جدول ۱۰). نتایج حاصل از بهینه‌سازی فرمولاسیون نشان داد که مطلوبیت در مقادیر بالای کتیرا و پایین CMC بیشتر بوده و بهترین فرمولاسیون با مطلوبیت ۰/۶۳۴ حاوی ۰/۱۴ گرم CMC و ۰/۲۵ گرم کتیرا و ۱/۸۸ گرم گلیسرول می‌باشد. در شکل ۶ مطلوبیت به صورت تابعی از مقدار CMC و کتیرا (tra) با مقدار ثابت ۱/۸۸ گرم گلیسرول رسم شده است.



شکل ۶- بهینه‌سازی فرمولاسیون ورقه‌های خوراکی تهیه شده از پوره کدومسمایی، گلیسرول، کتیرا و CMC

نفوذپذیری ورقه‌های خوراکی نسبت به بخار آب به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) افزایش می‌یابد این نتیجه را می‌توان به خاصیت آبدوستی CMC نسبت داد. ژیا و همکاران (۲۰۰۹) و وانگ و همکاران (۲۰۱۱) نتایج مشابهی را گزارش کردند.

در این پژوهش در مقدار ثابت کتیرا با افزایش گلیسرول، نفوذپذیری ورقه‌های خوراکی نسبت به بخار آب به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) افزایش یافت (شکل ۵) که این نتیجه را می‌توان به طبیعت هیدروفیل گلیسرول و همچنین حرکت زنجیره‌های بزرگ پلی‌مری و افزایش فضاها بین زنجیره‌ای توسط گلیسرول نسبت داد. براوین و همکاران (۲۰۰۶)، رودریگز و همکاران (۲۰۰۶)، برتوزی و همکاران (۲۰۰۷)، چایلو و همکاران (۲۰۰۸)، پرز-ماتئوس و همکاران (۲۰۰۹) و سیدی و همکاران (۲۰۱۴) نیز در تحقیقات خود نتیجه مشابهی را مشاهده کردند.



شکل ۵- اثر هم‌زمان CMC - گلیسرول بر نفوذپذیری به بخار آب ($10^{-14} \text{ gm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ pa}^{-1}$) ورقه‌های خوراکی بر پایه پوره کدوی مسمایی

مدل تجربی نهایی بر حسب فاکتورهای کدگذاری شده که تأثیر متغیرهای معنی‌دار فرآیند را بر خصوصیات ممانعت‌کنندگی ورقه‌های خوراکی نشان می‌دهد در معادله [۱۰] آمده است. در این معادله A مقدار CMC، B

جدول ۱۰- بهینه‌سازی کلی متغیرهای وابسته ورقه‌های خوراکی تهیه شده از پوره کدومسمایی، گلیسرول، کتیرا و

CMC				
متغیرها/پاسخ‌ها	هدف	حد	حد بالا	درجه اهمیت
مقدار CMC	داخل محدوده	۰/۱	۰/۹	۳
مقدار کتیرا	داخل محدوده	۰	۰/۴	۳
مقدار گلیسرول	داخل محدوده	۱/۵	۶/۵	۳
WVP	حداقل	۱/۹۳	۳۸	۵
OP	حداقل	۱۲/۲	۱۵	۵
فعالیت آبی	حداقل	۰/۲۰۶	۳۵۰	۵
محتوای رطوبتی	حداقل	۱۱/۳	۲۰	۴
تورم‌پذیری	داخل محدوده	۳۵	۱۴۸	۳
حلالیت در آب	حداقل	۶۵	۹۰	۳

جدول ۱۱- بررسی صحت نقطه بهینه در آزمون

اعتبارسنجی

پاسخ	نتایج پیش بینی شده	نتایج واقعی	خطا
OP	۱/۹۰	۱/۹۱±۰/۰۳	۰/۵۲۳
WVP	۱۲/۸۰۵	۱۲/۸۶±۰/۰۷	۰/۴۶۶
حلالیت	۶۸/۸۰	۶۷/۷±۰/۲	۱/۶۲
تورم‌پذیری	۱۱۷/۲۱	۱۰۵/۱۳±۳	۱۱/۴۹۶
محتوای رطوبتی	۱۴/۵۴	۱۳/۹۷±۰/۰۵	۳/۷۹
فعالیت آبی	۰/۲۷	۰/۲۶±۰/۰۰	۱/۸

آزمون تعیین صحت

جهت تعیین صحت نقطه بهینه به دست آمده از آزمون اعتبارسنجی مدل استفاده گردید. به این صورت که ورقه‌ای با مشخصات نقطه بهینه تهیه گردید و

منابع مورد استفاده

الماسی، ه، قنبرزاده، ب، پزشکی نجف‌آبادی الف. ۱۳۸۸، بهبود ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر نشاسته و فیلم‌های مرکب نشاسته و کربوکسی متیل سلولز، مجله علوم و صنایع غذایی، ۶ (۳)، ۱-۱۱.

پیوست غ، ۱۳۸۱، سبزیکاری، نشر علوم کشاورزی تهران.

زاهدی ی. ۱۳۸۸، تولید فیلم خوراکی مرکب از پروتئین گلوبولین پسته و اسید چرب و اندازه‌گیری ویژگی‌های بازدارندگی، مکانیکی و حرارتی آن. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

فاطمی ح، ۱۳۸۶، شیمی مواد غذایی، انتشارات شرکت سهامی انتشار.

خصوصیات آن با خصوصیات پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار مقایسه شد، مقایسه در جدول ۱۱ آورده شده است. برای به دست آوردن خطای پیش‌بینی از رابطه [۱۱] استفاده گردید. در این رابطه R_t نتایج واقعی به دست آمده در طی آزمایش‌های اعتبارسنجی است و R_p نتایج پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار است.

[۱۱]

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

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ورقه خوراکی بر پایه کدومسمایی از طریق افزودن هیدروکلئیدهای مقدار کربوکسی‌متیل-سلولز و کتیرا با موفقیت تهیه و شرایط تولید آن با روش سطح پاسخ بهینه‌سازی شد. نتایج ارزیابی خصوصیات نفوذپذیری و ویژگی‌های وابسته به آب نشان داد CMC ویژگی‌های نفوذپذیری به بخار آب و مقدار رطوبت و کتیرا فقط نفوذپذیری به اکسیژن ورقه‌ها را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند. با توجه به اینکه پایه اصلی ورقه تولیدی پوره کدو بود و هیدروکلئیدهای اضافه شده نقش ساختار دهنده و یکپارچه‌سازی را بر عهده داشتند تأثیر حداقلی آن‌ها روی خصوصیات نهایی ورقه تولیدی مثبت ارزیابی می‌شود. ورقه تولید شده می‌تواند بدون نگرانی بر روی انواع میوه‌های تازه و برش خورده و سایر فراورده‌های غذایی مورد استفاده واقع گردد.

- فاضل م، عزیزی م ح، عباسی س، برزگر م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر کتیرا، گلیسرول و روغن روی خصوصیات فیلم خوراکی بر پایه نشاسته سیب‌زمینی، مجله علوم و صنایع غذایی دانشگاه تربیت مدرس، ۳۴ (۹)، ۹۷-۱۰۶.
- قنبرزاده ب، الماسی ه. ۱۳۸۸. بررسی ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های مرکب زیست تخریب پذیر خوراکی کربوکسی متیل سلولز-اسید اولئیک، علوم و صنایع غذایی، ۶ (۲)، ۳۵-۴۲.
- قنبرزاده ب، الماسی ه، زاهدی ی، ۱۳۸۸، بیوپلیمرهای زیست تخریب‌پذیر و خوراکی در بسته‌بندی مواد غذایی و دارویی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران).
- Araujo-Farro PC, Podadera G, Sobral PJ and Menegalli FC, 2010. Development of films based on quinoa ("Chenopodium quinoa", Willdenow) starch. *Carbohydrate Polymers* 81(4): 839-848.
- Arvanitoyannis I and Biliaderis CG, 1999. Physical properties of polyol-plasticized edible blends made of methyl cellulose and soluble starch. *Carbohydrate Polymers* 38(1): 47-58.
- Bertuzzi M, Castro Vidaurre E, Armada M and Gottifredi J, 2007. Water vapor permeability of edible starch based films. *Journal of Food Engineering* 80(3): 972-978.
- Bravin B, Peressini D and Sensidoni A, 2006. Development and application of polysaccharide-lipid edible coating to extend shelf-life of dry bakery products. *Journal of Food Engineering* 76(3): 280-290.
- Chillo S, Flores S, Mastromatteo M, Conte A, Gerschenson L and Del-Nobile M, 2008. Influence of glycerol and chitosan on tapioca starch-based edible film properties. *Journal of Food Engineering* 88(2): 159-168.
- Colla E, do Amaral Sobral PJ and Menegalli FC, 2006. 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* 54(18): 6645-6653.
- Du W, Olsen C, Avena-Bustillos R, McHugh T, Levin C and Friedman M, 2009. Effects of allspice, cinnamon, and clove bud essential oils in edible apple films on physical properties and antimicrobial activities. *Journal of Food Science* 74(7): M372-M378.
- Fajardo P, Martins J, Fucinos C, Pastrana L, Teixeira J and Vicente A, 2010. Evaluation of a chitosan-based edible film as carrier of natamycin to improve the storability of Saloio cheese. *Journal of Food Engineering* 101(4): 349-356.
- Ghasemlou M, Khodaiyan F and Oromiehie A, 2011. Physical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from kefirin. *Carbohydrate Polymers* 84(1): 477-483.
- Gontard N, Duchez C, Cuq J and Guilbert S, 1994. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. *International Journal of Food Science and Technology* 29(1): 39-50.
- Jia D, Fang Y and Yao K, 2009. Water vapor barrier and mechanical properties of konjac glucomannan-chitosan-soy protein isolate edible films. *Food and Bioprocess Technology* 2(1): 7-10.
- Jouki M, Khazaei N, Ghasemlou M and Hadinezhad M, 2013. Effect of glycerol concentration on edible film production from cress seed carbohydrate gum. *Carbohydrate Polymers* 96(1): 39-46.
- McHugh T, Huxsoll C and Krochta J, 1996. Permeability properties of fruit puree edible films. *Journal of Food Science* 61(1): 88-91.
- Mostafavi FS, Kadkhodae R, Emadzadeh B and Koocheki A, 2016. Preparation and characterization of tragacanth–locust bean gum edible blend films. *Carbohydrate Polymers* 139: 20-27.
- Mu C, Guo J, Li X, Lin W and Li D, 2012. Preparation and properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatin edible films. *Food Hydrocolloids* 27(1): 22-29.
- Perez-gago M and Krochta J, 2001. Denaturation time and temperature effects on solubility, tensile properties, and oxygen permeability of whey protein edible films. *Journal of Food Science* 66(5): 705-710.
- Perez-Mateos M, Montero P and Gomez-Guillen M, 2009. Formulation and stability of biodegradable films made from cod gelatin and sunflower oil blends. *Food Hydrocolloids* 23(1): 53-61.

- Rodriguez M, Osés J, Ziani K and Mate JI, 2006. Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible films. *Food Research International* 39(8): 840-846.
- Rojas-Grau MA, Raybaudi-Massilia RM, Soliva-Fortuny RC, Avena-Bustillos RJ, McHugh TH and Martin-Belloso O, 2007. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology* 45(2): 254-264.
- Seyedi S, Koocheki A, Mohebbi M and Zahedi Y, 2014. *Lepidium perfoliatum* seed gum: A new source of carbohydrate to make a biodegradable film. *Carbohydrate Polymers* 101: 349-358.
- Sothornvit R and Krochta J, 2000. Plasticizer effect on oxygen permeability of β -lactoglobulin films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48(12): 6298-6302.
- Sothornvit R and Pitak N, 2007. Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. *Food Research International* 40(3): 365-370.
- Talaei S and Kiani A, 2015. Study on permeability of bionanocomposite film based on Tragacanth gum-Chitosan-Graphene oxide. *Cumhuriyet Science Journal* 1(1).
- Varela P and Fiszman S, 2011. Hydrocolloids in fried foods: A review. *Food Hydrocolloids* 25(8): 1801-1812.
- Wang X, Sun X, Liu H, Li M and Ma Z, 2011. Barrier and mechanical properties of carrot puree films. *Food and Bioproducts Processing* 89(2): 149-156.
- Zhang Y and Han J, 2006. Plasticization of pea starch films with monosaccharides and polyols. *Journal of Food Science* 71(6): E253-E261.
- Zhong QP and Xia WS, 2008. Physicochemical properties of edible and preservative films from chitosan/cassava starch/gelatin blend plasticized with glycerol. *Food Technology and Biotechnology* 46(3): 262-269.

Preparation and study of permeability and water-related properties of squash-based edible sheets using response surface methodology

A Torabi¹, M Mohebbi¹, F Tabatabaei-Yazdi¹, F Shahidi¹ and Y Zahedi^{2*}

Received: January 11, 2016

Accepted: August 14, 2016

¹MSc Graduated Student, Professor, Associate Professor and Professor, Respectively, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

²Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

*Corresponding author: E mail: Younes.zahedi@gmail.com

Abstract

Nowadays attractiveness, marketability and food protection are the most important concerns of food industries. Application of edible and biodegradable coatings and sheets is of great interest for providing protection and beauty, and non-polluting for environment. The aim of this study was to optimize the formulation of squash-based edible sheet and to investigate the effect of carboxymethyl cellulose (CMC) (0.1-0.9 g), tragacanth (0-0.4 g) and glycerol (1.5-6.5 g) amounts on some physical properties of the resulted edible sheets, including oxygen permeability (OP) and water vapor permeability (WVP), moisture content, swelling capacity, solubility and water activity. Our results revealed that the increase in CMC content improved WVP of the sheets, whilst decreased their moisture content ($P < 0.05$). The rise in the tragacanth amount increased the sheets OP ($P < 0.05$). As the glycerol amount increased, OT, WVP, and solubility of the sheets increased ($P < 0.01$), while the water activity ($P < 0.05$), and swelling capacity decreased ($P < 0.01$). In conclusion, the higher content of tragacanth and lower content of CMC represented the most desirability, and the superlative formulation consisted of 0.14 g of CMC, 0.25 g of tragacanth and 1.88 g of glycerol.

Key words: Carboxymethyl Cellulose, Edible Sheet, Response Surface, Squash, Tragacanth