

شاپا: ۴۱۶۱-۱۷۳۵

شماره پیاپی ۶۷

عنوان مقالات

مقالات علمی-پژوهشی

- ۲۱۷..... بهینه‌سازی تولید کف در خشک کردن کف پوشی آب کرفس و ارزیابی خواص پودر تولیدی
مهسا کمالی سروسنایی - محبت محبی - مسعود تقی‌زاده
- ۲۳۳..... ارزیابی ویژگی‌های پروبیوتیکی و ضدباکتریایی *Lactobacillus fermentum* SL163-4
سارا مومن‌زاده - حسین جوینده - بهروز علیزاده بهبهانی - حسن برزگر
- ۲۴۳..... تاثیر کاربرد ایزوله پروتئین جوانه گندم بر ویژگی‌های فیزیکی، رئولوژیکی، بافت وحسی بستنی
هما ماهپور - تکتم مستقیم - شهلا شهریار
- ۲۶۱..... تعیین ساختار، ترکیبات و ویژگی‌های شیمیایی، فعالیت ضداکسایشی و اثر سیتوتوکسیک اسانس زردچوبه
بهاره مجدی - محمدامین مهرنیا - حسن برزگر - بهروز علیزاده بهبهانی
- ۲۷۳..... بهینه‌سازی فرمول بستنی وانیلی با کمک جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی به روش سطح پاسخ
دلارام حامی - محمد گلی
- تهیه فیلم کامپوزیت زیست تخریب‌پذیر کربوکسی متیل سلولز - صمغ عربی و ارزیابی خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و حرارتی آن
امیر رضائی - مسعود رضائی - مهدی آل بوقتیله
- ۲۹۹..... بهینه‌سازی خواص مکانیکی و نوری نانوکامپوزیت‌های بر پایه پلی‌وینیل الکل به‌منظور بسته‌بندی مواد غذایی
مریم زمانیان - حسن صدرنیا - مهدی خجسته‌پور - فرشته حسینی - جولز تیالت
- ۳۱۵..... افزایش ماندگاری قارچ تکمه‌ای با اسانس خوشایزه و بسته‌بندی نانوکامپوزیت پلی اتیلن-رس
سیف‌اله حمزه کلکناری - حجت اله بدایقی - زیبا قسیمی حق
- بررسی اثر پیش‌فرآوری فراصوت و آنزیم آلفا-آمیلاز بر تولید نشاسته متخلخل از نشاسته‌های گندم و ذرت و بررسی میزان توانایی جذب یون آهن
سمیه قندهاری علویجه - مهران اعلی - یحیی مقصودلو - علیرضا صادقی ماهونک
- کاربرد منطق فازی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی - فازی جهت پیش‌بینی تغییرات فیزیکی و شیمیایی و طبقه‌بندی کیفی لیموشیرین پوشش‌دار طی مدت نگهداری
محسن زندی - علی گنجلو - ماندانا بی‌مکر - نرگس نیکومنش - نگار مرادی
- ۳۳۹..... بررسی عملکرد التوژل اتیل سلولز به‌عنوان جایگزین شورتینگ تجاری با هدف تولید کیک با محتوای اسیدچرب اشباع پایین
احمد احتیاطی - معصومه مهربان سنگ آتش - رضا کاراژیان - زهرا نظری - فرزاد صادقی
- ۳۵۱.....

ادامه فهرست داخل جلد

نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران

با شماره پروانه 124/847 و درجه علمی - پژوهشی شماره 3/11/810 از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
88/5/10

خرداد - تیر 1400

شماره 2

جلد 17

درجه علمی - پژوهشی این نشریه طی نامه 3/11/47673 از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تا سال 1393 تمدید شده است.
90/4/14

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر ناصر شاهنوشی

سردبیر: دکتر فریده طباطبایی

اعضای هیئت تحریریه:

دکتر سید علی مرتضوی

دکتر فخری شهیدی

دکتر محمداقر حبیبی نجفی

دکتر مرتضی خمیری

دکتر سید محمد علی رضوی

دکتر رضا فرهوش

دکتر بی بی صدیقه فضلای بزاز

دکتر مهدی کاشانی نژاد

دکتر آرش کوچکی

دکتر محبت محبی

دکتر بابک قنبرزاده

دکتر ایران عالمزاده

دکتر قدیر رجبزاده اوغاز

دکتر مهیار حیدرپور

دکتر حمید بهادر قدوسی

دکتر کیانوش خسروی

دکتر مرتضی عباسزادگان

دکتر محمدمامین محمدیفر

دکتر منوچهر وثوقی

استاد، میکروبیولوژی و بیوتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

استاد، میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

استاد، میکروبیولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

دانشیار، میکروبیولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

استاد، مهندسی و خواص بیوفیزیک مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

استاد، شیمی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

استاد، میکروبیولوژی، دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مشهد

استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

استاد، تکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه تبریز

استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف

دانشیار، نانو فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی

دانشیار، زیست مولکولی، دانشکده پزشکی هاروارد

دانشیار، میکروبیولوژی غذایی، دانشگاه متروپولیتن لندن

استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

استاد، ویروس شناسی، دانشگاه آریزونا

استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه دانمارک

استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد - کد پستی 91775 صندوق پستی 1163

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی - گروه علوم و صنایع غذایی - دفتر نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران.

تلفن: 8795618-20 داخلی 321 نمابر: 8787430

این نشریه در پایگاههای زیر نمایه شده است:

پایگاه استنادی علوم ایران (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

پست الکترونیکی: ifstrj@um.ac.ir

این نشریه در سایت http://jm.um.ac.ir/index.php/food_tech/index به صورت مقاله کامل نمایه شده است

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- مقالات علمی - پژوهشی
- 217 بهینه سازی تولید کف در خشک کردن کف پوشی آب کرفس و ارزیابی خواص پودر تولیدی
مهسا کمالی سروسنایی - محبت محبی - مسعود تقی زاده
- 233 ارزیابی ویژگی های پروبیوتیکی و ضدباکتریایی *Lactobacillus fermentum* SL163-4
سارا مومن زاده - حسین جوینده - بهروز علیزاده بهبهانی - حسن برزگر
- 243 تاثیر کاربرد ایزوله پروتئین جوانه گندم بر ویژگی های فیزیکی، رئولوژیکی، بافت وحسی بستنی
هما ماهپور - تکتم مستقیم - شهاب شهریاری
- 261 تعیین ساختار، ترکیبات و ویژگی های شیمیایی، فعالیت ضد اکسایشی و اثر سیتوتوکسیک اسانس زردچوبه
بهاره مجدی - محمد امین مهرنیا - حسن برزگر - بهروز علیزاده بهبهانی
- 273 بهینه سازی فرمول بستنی وانیلی با کمک جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی به روش سطح پاسخ
دلارام حامی - محمد گلی
- 287 تهیه فیلم کامپوزیت زیست تخریب پذیر کربوکی متیل سلولز - صمغ عربی و ارزیابی خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و حرارتی آن
امیر رضائی - مسعود رضائی - مهدی آل بوفتله
- 299 بهینه سازی خواص مکانیکی و نوری نانوکامپوزیت های بر پایه پلی وینیل الکل به منظور بسته بندی مواد غذایی
مریم زمانیان - حسن صدرنیا - مهدی خجسته پور - فرشته حسینی - جولز تیالت
- 315 افزایش ماندگاری قارچ تکمه ای با اسانس خوشاویزه و بسته بندی نانوکامپوزیت پلی اتیلن - رس
سیف اله حمزه کلکناری - حجت اله بدایقی - زیبا قسیمی حق
- 329 بررسی اثر پیش فرآوری فراصوت و آنزیم آلفا-آمیلاز بر تولید نشاسته متخلخل از نشاسته های گندم و ذرت و بررسی میزان توانایی
جذب یون آهن
سمیه قندهاری علویجه - مهران اعلمی - یحیی مقصودلو - علیرضا صادقی ماهونک
- 339 کاربرد منطق فازی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی - فازی جهت پیش بینی تغییرات فیزیکی و شیمیایی و طبقه بندی کیفی لیموشیرین
پوشش دار طی مدت نگهداری
محسن زندی - علی گنجلو - ماندانا بی مکر - نرگس نیکومنش - نگار مرادی
- 351 بررسی عملکرد الئوژل اتیل سلولز به عنوان جایگزین شورتینگ تجاری با هدف تولید کیک با محتوای اسیدچرب اشباع پایین
احمد احتیاطی - معصومه مهربان سنگ آتش - رضا کاراآزبان - زهرا نظری - فرزاد صادقی
- 365 تهیه سامانه امولسیون ژل سرد با استفاده از پیکرینگ های کمپلکس ایزوله پروتئین سویا - صمغ دانه ریحان به عنوان جایگزین چربی
در خامه
سیما ناجی طبسی - الهام مهدیان - اکرم آریان فر - سارا ناجی طبسی
- 379 بررسی خواص فیزیکوشیمیایی موسیلاژ بامیه و مقایسه کارآیی استخراج دو روش حلال و فوق بحرانی
فاطمه کرانی - جواد سرگلزایی

- 393 بهینه‌سازی شرایط تولید ژله با استفاده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی و بررسی خواص بافتی، فیزیکوشیمیایی و حسی آن در مقایسه با پکتین‌های تجاری
علی کاشانی - مریم حسنی - لیلا ناطقی - محمد جواد اسدالله‌زاده - پروین کاشانی
- 409 ریزپوشانی پروتئین هیدرولیز شده‌ی گرده گل با کنستانتره پروتئین آب پنیر و فایبرزول و بررسی پایداری و ساختاری ریزکپسول‌ها
حسین محب‌الدینی - عاطفه مقصودلو

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی تولید کف در خشک کردن کف پوشی آب کرفس و ارزیابی خواص پودر تولیدی

مهسا کمالی سروستانی^۱ - محبت محبی^{۲*} - مسعود تقی‌زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۳

چکیده

در این پژوهش، تولید پودر آب کرفس با استفاده از روش خشک کردن کف پوشی مورد مطالعه قرار گرفت. شرایط تولید کف بهینه آب کرفس از نظر غلظت صمغ زانتان (۰/۴۵ - ۰/۲۵ درصد) به عنوان پایدارکننده کف، مقدار کنسانتره پروتئین آب پیپر (۶ - ۲ درصد) به عنوان عامل کفزا و زمان هم‌زدن (۱۰ - ۲ دقیقه) جهت ایجاد کف با کمترین مقدار دانسیته و بیشترین پایداری با استفاده از روش سطح پاسخ تعیین شد. سپس کف بهینه تولیدی در سه دمای ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد و ضخامت ۳ میلی‌متر خشک شد و پودرهای تولیدی از نظر رطوبت، فعالیت آبی، دانسیته توده، دانسیته ضربه، دانسیته ذره، تخلخل و میزان پیوستگی و جریان‌پذیری مورد مطالعه قرار گرفتند. در نهایت مشخص شد که افزایش دمای خشک کردن از ۴۰ به ۷۰ درجه سانتی‌گراد، تأثیر معناداری ($P < 0.05$) بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پودرها داشت و سبب کاهش میزان رطوبت، فعالیت آب، دانسیته توده، دانسیته ضربه، دانسیته ذره و نسبت هاسنر و شاخص کار شد ولی میزان تخلخل افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: آب کرفس، خشک کردن کف پوشی، روش سطح پاسخ، خواص فیزیکی و شیمیایی.

مقدمه

گیاهان تولید می‌شوند و بیشتر آن‌ها هیدروکربن می‌باشند) بسیار معطرند؛ و به عنوان طعم‌دهنده و چاشنی در بسیاری از غذاها می‌توان استفاده کرد. ساقه کرفس دارای مواد معدنی مانند منیزیم و پتاسیم و برای آرامش اعصاب مفید است. همچنین کرفس حاوی مقادیر زیادی ویتامین‌های گروه B و K و C و کلسیم و آهن است. کرفس به علت دارا بودن فسفر زیاد، در ارتقاء هوش و افزایش شیر مادر مؤثر است. از دیگر خواص کرفس می‌توان به خاصیت ضد شنج، نیروبخش بودن آن و به عنوان دارویی در برابر تنگی نفس، برونشیت، مشکلات کلیه و مثانه مانند عفونت مجاری ادرار، سنگ کلیه و همچنین فشار خون بالا و دیابت اشاره کرد (Madamba et al, 2001).

کرفس به جز ایران در غذاهای مناطق گرمسیری کشورهای نظیر هندوستان و ایالت لوئیزیانای آمریکا هم مصرف زیادی دارد. در مجموع می‌توان کرفس را از گیاهان معجزه آسا نامید که در یونان و چین باستان به عنوان یک گیاه معطر و دارویی مورد استفاده قرار می‌گرفته است، اما از قرن شانزدهم کرفس به عنوان یک نوع سبزی مصرف غذایی دارد (آملی، ۱۳۸۴؛ پیوست، ۱۳۸۴).

یکی از روش‌های خشک کردن مواد غذایی، خشک کردن به روش کف پوشی^۵ است. خشک کردن کف پوشی فرآیندی است که در آن مواد

اکثر میوه‌ها و سبزی‌ها حاوی مقادیر زیادی آب و شکر هستند که آن‌ها را فسادپذیر می‌کند. برای جلوگیری از فساد و کنترل ذخیره طولانی مدت آن‌ها، روش‌های مختلفی برای نگهداری میوه و سبزی‌ها وجود دارد که خشک کردن میوه و سبزی‌ها در سطح قابل اطمینانی از رطوبت، روش مناسبی برای نگهداری آن‌ها است. امروزه استفاده از مواد غذایی به شکل پودر به دلیل ماندگاری بالا، بسته‌بندی و حمل و نقل آسان و ایجاد رنگ و طعم خاص و حلالیت در آب، افزایش یافته است و منجر به استفاده از پودر مواد غذایی به عنوان یک غذای اصلی، همچون پودر شیر قهوه و کاکائو و یا به صورت جزئی از فرمولاسیون مواد غذایی از جمله نوشیدنی‌ها، بستنی، نان کیک و سس‌ها- شده است (Jaya et al, 2004).

کرفس با نام علمی *Apium graveolens* گیاهی است علفی، دو ساله، از خانواده چتریان *Umbellifera* که کرفس معمولی (*Aog. Var. dulce*) در ایران در سطح نسبتاً وسیعی کشت می‌شود (پیوست، ۱۳۸۴). بخش خوراکی این گیاه شامل قسمت‌های مختلف به‌ویژه برگ و ساقه آن است. برگ‌ها حاوی مقادیر زیادی ویتامین A بوده و به علت وجود ترپین^۴ (دسته‌ای از مواد آلی که عمدتاً توسط

همراه با مخلوط کردن توسط همزن مغناطیسی به آب مقطر اضافه شد، پس از آن محلول صمغ به مدت ۲۴-۱۸ ساعت در یخچال قرار گرفت تا هیدراسیون کامل مولکولهای صمغ انجام شود.

آماده سازی آب کرفس

کرفس پس از خریداری از بازار محلی مشهد تا زمان شروع آزمون در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شد. جهت انجام آزمایش کرفسها شسته و سپس خشک شدند. عمل آبیگری سپس توسط آبمیوه گیر (N ۳۷۶ - National Electric) انجام شد.

برای تهیه کف، مقادیر مناسبی از محلول هیدروکلورید (۴۵-۰/۲۵ درصد)، مقادیر لازم آب کرفس و کنسانتره پروتئین آب پنیر (۶-۲ گرم) به درون بشر ۲۵۰ میلی لیتری منتقل شده به مدت ۵ دقیقه درون حمام آب بخار با دمای ۵۵ درجه سانتیگراد قرار داده شد. در ادامه مخلوط حاصل به وسیله همزن خانگی (گاسونیک، ۲۵۰ W، GHM-۸۱۸، چین) در مدت زمانهای مشخص (۱۰-۲ دقیقه) بر اساس طرح مرکب مرکزی^۲ با ماکزیمم دور (۵۴۰۰ دور در دقیقه) در دمای محیط هم زده شد (Mott et al., 1997).

ارزیابی ویژگی های کف اندازه گیری دانسیته کف

دانسیته کف با استفاده از استوانه مدرج و توزین ۵۰ میلی لیتر از نمونه کف در دمای محیط (۲۵-۲۲ درجه سانتیگراد) مطابق با روش Bag و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد. جهت جلوگیری از تخریب ساختار کف و نیز ممانعت از ایجاد حفره هوا درون استوانه مدرج، انتقال کف به درون استوانه با دقت انجام شد. به منظور جلوگیری از خطا، اندازه گیری با ۳ تکرار انجام شد و میانگین مقادیر گزارش داده شد. دانسیته کف آب کرفس به صورت جرم بر واحد حجم با واحد gr/cm^3 بیان شد.

اندازه گیری پایداری کف

به منظور تعیین پایداری کف، آزمون میزان مایع جدا شده (حجم زهکشی) از کف مبتنی بر روش بیان شده توسط Bag و همکاران (۲۰۱۱) همراه با اندکی تغییر مورد استفاده قرار گرفت. در روش اصلاح شده، ۵۰ گرم از نمونه کف به درون قیف بوخنر با قطر ۸۰ میلی متر که با صافی توری با مش ۴۰ پوشانده شده بود و بر روی استوانه مدرج با حجم ۲۵ میلی متر قرار داشت، ریخته شد. پس از گذشت یک ساعت، مقدار مایع جدا شده از نمونه کف در اثر نیروی جاذبه در دمای محیط (۲۵-۲۲ درجه سانتیگراد) که درون استوانه مدرج جمع شده بود، به عنوان حجم زهکشی بر حسب میلی لیتر بیان شد.

مایع به وسیله ترکیب گاز به داخل آن به کف پایدار تبدیل شده، سپس توسط جریان هوای داغ در فشار اتمسفر خشک می شوند و به شکل ورق نازک متخلخل درمی آیند (Hertendorf et al., 1970). ساختار متخلخل کف منجر به ایجاد خواص مطلوبی در ماده، همچون جذب سریع تر آب، سرعت بالای خشک شدن و در نتیجه استفاده از دمای کمتر، سبب حفظ ترکیبات مغذی و فرار ماده غذایی می گردد. گزارش شده است که فرآیند خشک کردن کف پوشی، ارزان تر از روش های خشک کردن پاششی، انجمادی و تحت خلأ است (Kadam et al., 2010). نکته حائز اهمیت در خشک کردن کف پوشی، بهینه سازی شرایط تولید کف از نظر میزان دانسیته و پایداری است که ضمن افزایش سرعت خشک کردن، امکان حفظ ساختار کف را در حین فرآیند فراهم می نماید.

خشک کردن کف پوشی برای محصولات گوناگونی مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می توان به موارد ذیل اشاره کرد: شیر سویا (Akintoye et al., 1991)، استارفروت (Karim et al., 1999)، انبه (Rajkumar et al., 2007)، موز (Thuwapanichayanan, 2007)، قارچ دکمه ای (پاسبان، ۱۳۹۱)، میگو (عزیزپور، ۱۳۹۱)، پوره سیب زمینی (پور مهدی، ۱۳۹۱)، ریز جلبک اسپیرولینا (عطاردی، ۱۳۹۳)، پنیر (ایزدی، ۱۳۹۳)، طالبی (صلاحی، ۱۳۹۴)، آبنوره (خرازپور، ۱۳۹۴).

پودر کرفس قابلیت کاربرد در فرمولاسیون مواد غذایی را به عنوان بهبوددهنده خواص تغذیه ای، طعم، حجم، عطر و کیفیت ماندگاری و نیز به عنوان یک جزء اصلی در ماکارونی، سوپ ها و خورشت های آماده، سس ها و فراورده های مشابه و نیز تولید قرص های خوراکی را نیز دارد. هدف از این پژوهش بهینه سازی شرایط تولید کف آب کرفس با استفاده از تکنیک سطح پاسخ و بررسی تأثیر دمای خشک کردن بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی پودرها مانند رطوبت و فعالیت آب، دانسیته توده و ضربه^۱، دانسیته ذره و تخلخل و جریان پذیری و پیوستگی می باشد.

مواد و روش ها

مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش شامل کرفس، صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب پنیر بودند. صمغ زانتان و کنسانتره پروتئین آب پنیر نیز به ترتیب از شرکت سیگما و میلی آلمان تهیه شدند.

آماده سازی نمونه های کف

آماده سازی محلول صمغ زانتان

جهت آب پوشی صمغ زانتان، محلول حاوی صمغ زانتان با غلظت های ۰/۲۵ تا ۰/۴۵ درصد تهیه شد. مقادیر لازم هیدروکلورید

۳ محاسبه می‌گردد (Hausner et al., 1976). طبقه‌بندی پیوستگی پودرها بر اساس نسبت هاسنر در جدول ۱ آورده شده است.

$$(۳) \quad \text{نسبت هاسنر} = \frac{\text{دانسیتة متراکم}}{\text{دانسیتة توده}}$$

جدول ۱- طبقه‌بندی پیوستگی پودرها بر اساس نسبت هاسنر

HR	پیوستگی
< ۱/۲	کم
۱/۲-۱/۴	متوسط
> ۱/۴	زیاد

قابلیت جریان

قابلیت جریان‌پذیری پودرها از طریق اندیس Car (CI) قابل محاسبه است. اندیس Car از طریق رابطه (۴) محاسبه شد (Carr, 1965). طبقه‌بندی قابلیت جریان پودرها بر اساس اندیس Car در جدول ۲ آورده شده است.

$$(۴) \quad 100 \times \frac{\text{دانسیتة توده} - \text{دانسیتة متراکم}}{\text{دانسیتة متراکم}} = \text{شاخص کار}$$

جدول ۲- طبقه‌بندی قابلیت جریان پودرها بر اساس شاخص Car

CI%	قابلیت جریان
< ۱۵	خیلی خوب
۱۵-۲۰	خوب
۲۰-۳۵	نسبتاً خوب
۳۵-۴۵	بد
> ۴۵	خیلی بد

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

طراحی آزمایش، تحلیل نتایج و تعیین شرایط بهینه تولید کف با استفاده از روش سطح پاسخ و نرم‌افزار Design Expert نسخه ۱۰,۰,۰۷ انجام گرفت. در این پژوهش، از طرح مرکب مرکزی متمرکز شده با سه متغیر مستقل در سه سطح و شش تکرار در نقطه مرکزی طرح استفاده شد؛ به‌طوری که مجموع کل تیمارها ۲۰ عدد بود. متغیرهای مستقل صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب پنیر و زمان هم زدن بود. همچنین متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها) شامل دانسیته کف و پایداری کف بودند. این طرح آزمایشی شامل سه سطح فاکتور کدبندی بود؛ به‌طوری که سطح پایین هر فاکتور (۱-) به‌عنوان کمینه، سطح میانی هر فاکتور با (۰) و سطح بالای هر فاکتور به‌عنوان بیشینه و به صورت (+۱) مشخص شد. محدوده آزمایش‌ها بر پایه نتایج به‌دست آمده از پیش تیمارها انتخاب شد که بر این اساس مقادیر ۰/۲۵ تا ۰/۴۵

بررسی ویژگی‌های پودر آب کرفس

اندازه‌گیری محتوای رطوبتی و فعالیت آب

میزان رطوبت پودرهای کرفس با استفاده از روش خشک کردن با آون تعیین شد. نمونه‌های پودر در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت خشک شدند. محتوای رطوبتی از روی اختلاف وزن بین پودرها قبل و بعد از فرآیند خشک‌کردن بر حسب ماده خشک محاسبه شد (AOAC, 1984).

برای اندازه‌گیری فعالیت آب از دستگاه a_w متر (Rotronic Hygrolab2, سوئیس) استفاده شد. برای این منظور مقداری از پودر در ظرف مخصوص دستگاه ریخته شد و پس از برقراری تعادل، میزان فعالیت آب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ثبت شد.

دانسیته توده‌ای و دانسیته ضربه‌ای

به‌منظور تعیین دانسیته توده مقداری از پودر درون استوانه شیشه‌ای ریخته شد، سپس از طریق وارد کردن ضربه از ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری با استفاده از یک صفحه پلاستیکی، حجم نهایی پودر خوانده شد، دانسیته ضربه‌ای از طریق نسبت جرم پودر به حجم نهایی بر حسب gr/cm^3 محاسبه شد (Jinapong et al., 2008).

دانسیته ذره‌ای

به‌منظور اندازه‌گیری دانسیته ذره ۱ گرم پودر با ۵ میلی‌لیتر پترولیوم اتر درون استوانه ۱۰ میلی‌لیتری مخلوط شد. پس از تکان دادن کامل ذرات پودر معلق شده و ۱ میلی‌لیتر پترولیوم اتر برای جدا کردن پودر از بدنه استوانه شیشه‌ای استفاده شد. حجم پترولیوم اتر استفاده شده برابر با ۶ میلی‌لیتر بوده (V_{pe}) و با محاسبه حجم نهایی پودر معلق شده در پترولیوم اتر (V_t) دانسیته ذره از رابطه (۱) بر حسب واحد gr/cm^3 محاسبه شد (Jinapong et al., 2008).

$$(۱) \quad P_p = \frac{m}{V_t - V_{pe}}$$

تخلخل

تخلخل به‌صورت حجم خلل و فرج درون ذرات به حجم کل آن تعریف می‌شود. تخلخل نمونه‌های پودر از رابطه ۲ زیر محاسبه شد (Jinapong et al., 2008).

$$(۲) \quad \text{تخلخل} = \frac{\text{دانسیتة متراکم} - \text{دانسیتة ذره}}{\text{دانسیتة ذره}} \times 100$$

پیوستگی

پیوستگی پودرها با نسبت هاسنر^۱ (HR) قابل محاسبه است. پیوستگی پودرها از طریق تقسیم دانسیته متراکم به دانسیته توده رابطه

توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس، مدل چندجمله‌ای درجه دوم به عنوان بهترین مدل برای بررسی اثر متغیرهای مستقل بر خصوصیات دانسیته و پایداری کف پیشنهاد گردید. خلاصه نتایج تجزیه مدل‌ها جهت انتخاب مناسب‌ترین مدل برای پاسخ‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴ عدم معنی‌داری آزمون ضعف برازش، در مدل چندجمله‌ای پیشنهاد شده توسط نرم‌افزار برای پاسخ‌ها را نشان می‌دهد، همچنین بالا بودن مقدار ضریب تعیین (R^2)، $R^2_{adjusted}$ و $R^2_{predicted}$ که در جدول ۵ نشان داده شده است می‌توان بیان کرد که این مدل قدرت بالایی در برازش داده‌های آزمون دارد.

درصد صمغ زانتان، مقادیر ۲ تا ۶ گرم کنسانتره پروتئین آب پنیر و ۲ تا ۱۰ دقیقه زمان هم‌زدن تعیین شد. کیفیت و صحت مدل رگرسیونی و مناسب بودن برازش صورت گرفته به وسیله آنالیز مدل، ضعف برازش و ضریب مشخص شد (Kaur et al., 2009). ویژگی‌های پودر تولید شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تیمار و ۳ تکرار مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد و از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد ($p < 0.05$).

نتایج و بحث

خواص فیزیکی مربوط به کف

نتایج به دست آمده از طرح آزمایشی مورد استفاده به منظور بهینه‌سازی شرایط تولید کف آب کرفس در جدول ۳ ارائه شده است. با

جدول ۳- نتایج طرح آزمایشی مورد استفاده به منظور بهینه‌سازی شرایط تولید کف آب کرفس

ردیف	متغیرهای مستقل		متغیرهای وابسته	
	صمغ زانتان (g/100g)	کنسانتره پروتئین آب پنیر (g/100g)	زمان هم‌زدن (min)	دانسیته (gr/cm ³)
۱	۰/۳۵ (۰)	۶ (+۱)	۶ (۰)	۰/۴۰ ± ۰/۰۲۶
۲	۰/۳۵ (۰)	۴ (۰)	۶ (۰)	۰/۴۲ ± ۰/۰۴۳
۳	۰/۲۵ (-۱)	۲ (-۱)	۱۰ (+۱)	۰/۳۹ ± ۰/۰۱۷
۴	۰/۲۵ (-۱)	۶ (+۱)	۲ (-۱)	۰/۴۴ ± ۰/۰۳۵
۵	۰/۳۵ (۰)	۴ (۰)	۶ (۰)	۰/۴۳ ± ۰/۰۰۲
۶	۰/۲۵ (-۱)	۶ (+۱)	۱۰ (+۱)	۰/۳۸ ± ۰/۰۴۳
۷	۰/۳۵ (۰)	۴ (۰)	۱۰ (+۱)	۰/۴۰ ± ۰/۰۶۲
۸	۰/۳۵ (۰)	۲ (-۱)	۶ (۰)	۰/۴۵ ± ۰/۰۴۴
۹	۰/۳۵ (۰)	۴ (۰)	۲ (-۱)	۰/۴۷ ± ۰/۰۲۶
۱۰	۰/۳۵ (۰)	۴ (۰)	۶ (۰)	۰/۴۳ ± ۰/۰۲۶
۱۱	۰/۲۵ (-۱)	۴ (۰)	۶ (۰)	۰/۴۱ ± ۰/۰۰۲
۱۲	۰/۴۵ (+۱)	۴ (۰)	۶ (۰)	۰/۴۴ ± ۰/۰۲۶
۱۳	۰/۳۵ (۰)	۴ (۰)	۶ (۰)	۰/۴۳ ± ۰/۰۶۵
۱۴	۰/۴۵ (+۱)	۶ (+۱)	۲ (-۱)	۰/۴۸ ± ۰/۰۴۳
۱۵	۰/۴۵ (+۱)	۲ (-۱)	۱۰ (+۱)	۰/۴۲ ± ۰/۰۵۵
۱۶	۰/۳۵ (۰)	۴ (۰)	۶ (۰)	۰/۴۳ ± ۰/۰۳۶
۱۷	۰/۳۵ (۰)	۴ (۰)	۶ (۰)	۰/۴۳ ± ۰/۰۳۶
۱۸	۰/۲۵ (-۱)	۲ (-۱)	۲ (-۱)	۰/۴۹ ± ۰/۰۳۶
۱۹	۰/۴۵ (+۱)	۶ (+۱)	۱۰ (+۱)	۰/۴۰ ± ۰/۰۵۶
۲۰	۰/۴۵ (+۱)	۲ (-۱)	۲ (-۱)	۰/۵۴ ± ۰/۰۷۲

جدول ۴- خلاصه نتایج تجزیه مدل‌ها به منظور انتخاب مدل مناسب برای پاسخ‌های اندازه‌گیری شده

منبع	درجه آزادی	دانسیته کف (gr/cm ³)		حجم زهکشی (ml)		اندیس F	احتمال F	اندیس F	احتمال F
		مجموع مربعات	میانگین مربعات	مجموع مربعات	میانگین مربعات				
میانگین	۱	۳/۷۷	۳/۷۷	۱۰۵۱/۹۸	۱۰۵۱/۹۸	---	---	---	---
خطی	۳	۰/۰۲۵	۸/۳۳×۱۰ ^{-۳}	۷۶۱/۴۷	۲۵۳/۸۲	۰/۰۰۰۱	۵۳/۵۳	۳۰/۹۰	۰/۰۰۰۱
2FI	۳	۱/۰۵×۱۰ ^{-۳}	۳/۵×۱۰ ^{-۴}	۳۹/۷۱	۱۳/۲۴	۰/۰۶۰۹	۳/۱۶	۱/۸۸	۰/۱۸۳۴
چندجمله‌ای	۳	۱/۰۰۹×۱۰ ^{-۳}	۳/۳۶×۱۰ ^{-۴}	۸۳/۱۷	۲۷/۷۲	۰/۰۰۰۱	۷/۸۱	۳۲/۴۶	۰/۰۰۰۱
مکعبی	۴	۲/۶×۱۰ ^{-۴}	۶/۵×۱۰ ^{-۵}	۵/۵۶	۱/۳۹	۰/۱۷۵۳	۲/۲۸	۲/۸	۰/۱۲۵۲
باقیمانده	۶	۱/۷۱×۱۰ ^{-۴}	۲/۸۵×۱۰ ^{-۵}	۲/۹۸	۰/۵۰	---	---	---	---
کل	۲۰	۳/۷۹	۰/۱۹	۱۹۴۴/۸۶	۹۷/۲۴	---	---	---	---
آزمون ضعف برازش									
خطی	۱۱	۲/۴۰۷×۱۰ ^{-۳}	۲/۱۸×۱۰ ^{-۴}	۱۳/۱۳	۰/۰۰۵۳	۱۲۸/۸۸	۱۱/۷۲	۲۳/۱۱	۰/۰۰۱۴
2FI	۸	۱/۳۵۷×۱۰ ^{-۳}	۱/۶۹×۱۰ ^{-۴}	۱۰/۱۸	۰/۰۱۰۳	۸۹/۱۷	۱۱/۱۵	۲۱/۹۹	۰/۰۰۱۷
چندجمله‌ای	۵	۳/۴۷۶×۱۰ ^{-۴}	۶/۹۵×۱۰ ^{-۵}	۴/۱۷	۰/۰۷۱۶	۶/۰۰	۱/۲۰	۲/۳۷	۰/۱۸۳۹
مکعبی	۱	۸/۷۶×۱۰ ^{-۵}	۸/۷۶×۱۰ ^{-۵}	۲/۲۵	۰/۰۷۰۴	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۸۷	۰/۳۹۳۴
خطا	۵	۸/۳۳×۱۰ ^{-۵}	۱/۶۷×۱۰ ^{-۵}	---	---	۲/۵۴	۰/۵۱	---	---

جدول ۵- نتایج آماری مدل چندجمله‌ای درجه دوم بر داده‌های پاسخ

پاسخ	میانگین	انحراف معیار (SD)	ضریب تغییرات (CV)	R ²	R ² _{adjusted}	R ² _{predicted}
دانسیته	۰/۴۳	۰/۰۰۶	۱/۵۱	۰/۹۸۴۳	۰/۹۷۰۲	۰/۹۰۹۴
حجم زهکشی	۷/۲۵	۰/۹۲	۱۲/۴۷	۰/۹۹۰۴	۰/۹۸۱۸	۰/۹۲۹۴

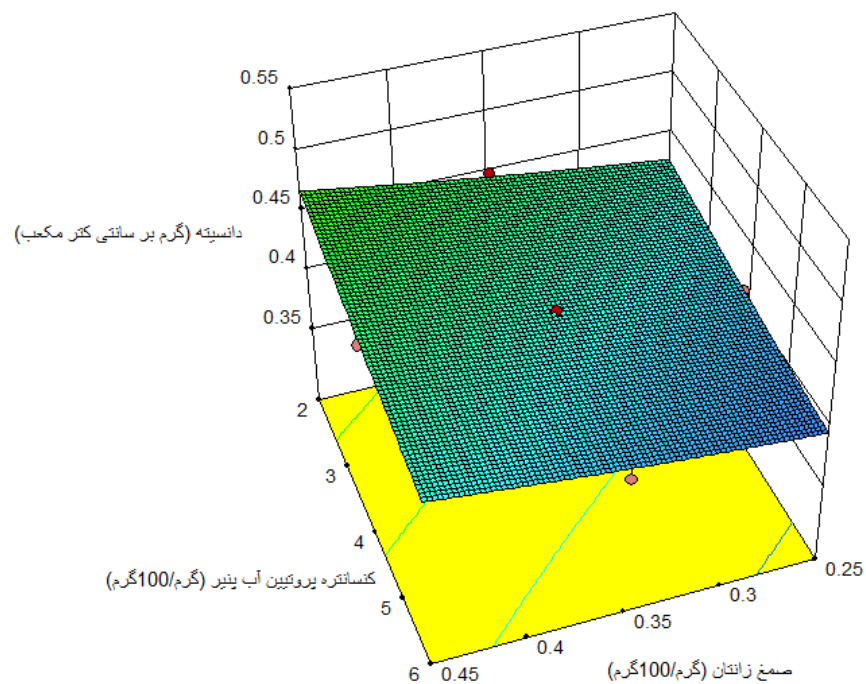
تأثیر متغیرهای مستقل بر پاسخ‌ها

دانسیته کف

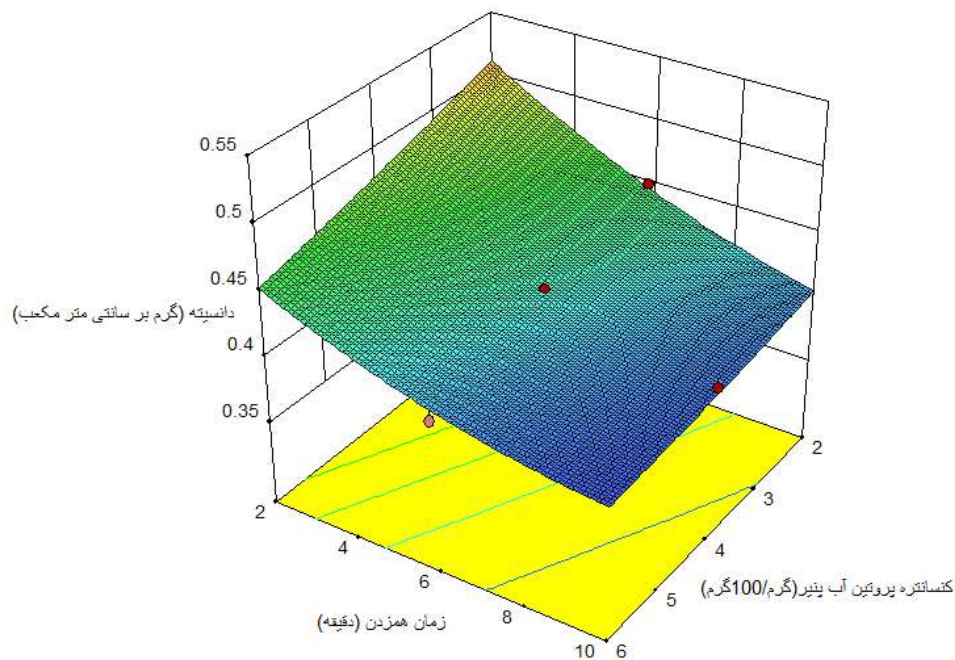
یکی از پارامترهای مهم در سیستم‌های کفی مقدار دانسیته است. مقدار بالای هوای محبوس شده طی هم‌زدن منجر به انبساط کف می‌شود که نشان‌دهنده قابلیت کف‌زایی است. دانسیته کف معمولاً برای ارزیابی خصوصیات کف استفاده می‌شود؛ هرچه هوای بیشتری به داخل مایع وارد شود، دانسیته کف کاهش پیدا می‌کند. هوای زیاد در کف نشانه قابلیت بالای هم‌زدن آن است (Falade et al., 2011; Bag et al., 2010). مقدار دانسیته نمونه‌های کف آب کرفس بین ۰/۳۸ تا ۰/۴۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود (جدول ۳). صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن به صورت خطی اثر معنی‌داری روی دانسیته کف داشتند ($p < 0.01$). همچنین اثر متقابل کنسانتره پروتئین

آب‌پنیر و زمان هم‌زدن ($p < 0.01$) و اثر درجه دوم زمان هم‌زدن ($p < 0.05$) معنی‌دار بود.

تغییر دانسیته کف با میزان صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن به صورت سه‌بعدی در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش میزان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر از ۲ به ۶ درصد مقدار دانسیته کف به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرده است. توانایی ایجاد کف تحت تأثیر اندازه مولکولی و ساختار پروتئین است. پروتئین‌های کوچک و انعطاف‌پذیر مانند پروتئین‌های آب‌پنیر قابلیت کف‌زایی بیشتری دارند و سریع‌تر و آسان‌تر کشش بین سطحی را کاهش می‌دهند و سبب کاهش دانسیته می‌شوند (Dickinson et al., 1982).



شکل ۱- نمودار سطح پاسخ دانشیه کف- تأثیر صمغ زانتان و کنسانتره پروتئین آب پنیر



شکل ۲- نمودار سطح پاسخ دانشیه کف- تأثیر کنسانتره پروتئین آب پنیر و زمان همزدن

افزایش می‌شود، سبب افزایش ویسکوزیته آن می‌گردد. این افزایش ویسکوزیته مانع از ورود هوا شده و میزان هوای محبوس شده در مخلوط

افزایش میزان صمغ زانتان اثر نامطلوبی روی انبساط کف داشت و سبب افزایش دانشیه کف شد. هنگامی که صمغ زانتان به یک مایع

بود. همان طور که از در شکل ۳ و ۴ مشاهده می‌شود صمغ زانتان نقش اساسی و مهم در پایداری کف دارد ($p < 0.01$). افزایش میزان صمغ سبب افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته و خاصیت ویسکوالاستیکی و ارتجاعی لاملا می‌شود که در این حالت مقاومت دیواره حباب بیشتر شده، منجر به افزایش استحکام ساختار کف و ممانعت از فروپاشی حباب‌ها می‌شود (Papalampour et al., 2005). Prins (۱۹۸۸) بیان کرد که افزایش ویسکوزیته فاز مایع سبب ایجاد ساختار شبکه‌ای در فاز پیوسته می‌شود؛ به‌طوری که دیواره فصل مشترک را از شکسته شدن حفظ می‌کند و باعث بهبود پایداری کف می‌شود. نتایج مشابهی توسط Bag و همکاران (۲۰۱۱)، عزیزپور (۱۳۹۱)، پاسبان (۱۳۹۱) و عطاردی (۱۳۹۳) به ترتیب در بررسی پایداری کف‌های پالپ میوه Bael، میگو، قارچ دکمه‌ای و ریز جلبک اسپیرولینا گزارش شده است.

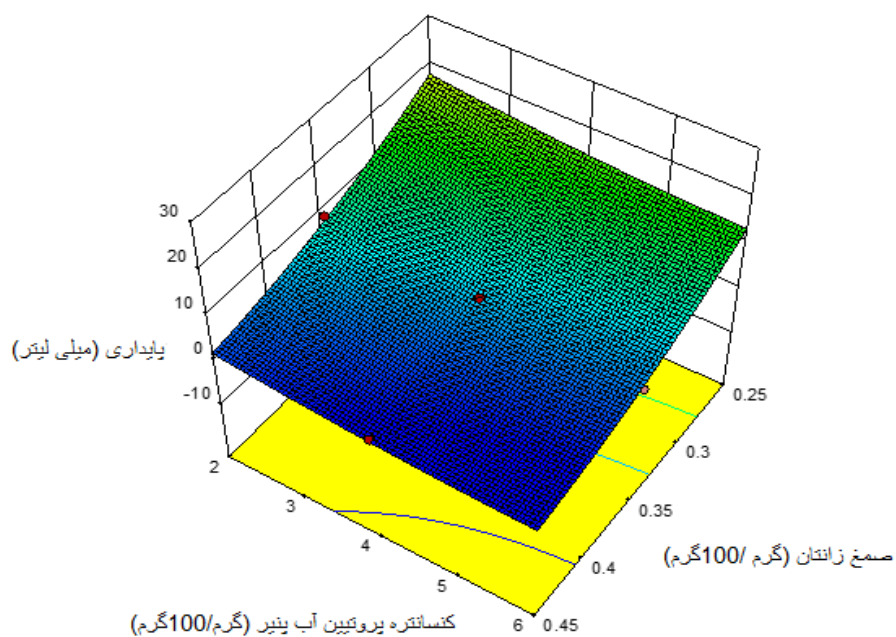
افزایش میزان کنسانتره پروتئین آب پنیر از ۲ به ۶ درصد سبب کاهش میزان حجم زهکشی شد ($p < 0.01$). افزایش عامل کف‌زا سبب افزایش ویسکوزیته و تنش تسلیم فاز پیوسته و به عبارت دیگر ضخیم‌تر شدن و افزایش مقاومت فیلم‌های جذب در فصل مشترک هوا-آب و استحکام لایه مرزی (با ایجاد برهمکنش با لاملا با نیروهای الکترواستاتیک، هیدروژنی، کووالانسی و هیدروفوبی) می‌شود (Dickinson و همکاران، ۱۹۸۷؛ Carp و همکاران، ۱۹۹۷؛ Karim و همکاران، ۱۹۹۹؛ Vernon و همکاران، ۲۰۰۱). کنسانتره پروتئین آب پنیر به علت داشتن پروتئین از عوامل پایدارکننده کف به‌شمار می‌رود، به‌طوری که وایلد و کلارک (۱۹۹۶)، آلتونی و همکاران (۲۰۰۴) عوامل موثر در پایداری کف در مواد پروتئین‌دار را غلظت پروتئین، دما، برهمکنش بین مولکولی، نمک و ویسکوالاستیسیته سطح دانسته‌اند و اظهار داشتند که وجود پروتئین در سطح مشترک هوا-مایع تنش سطح را کاهش داده، منجر به پایداری کف می‌گردد. همچنین نتایج نشان داد که افزایش زمان همزدن نیز سبب افزایش پایداری کف شد ($p < 0.05$). افزایش زمان همزدن سبب دانه‌تور شدن بیشتر پروتئین‌های سفیده تخم‌مرغ و افزایش گروه‌های آبدوست در سطح و در نتیجه افزایش پایداری کف می‌گردد. نتایج مشابه‌ای توسط راهاریتسیفا و همکاران (۲۰۰۶) و عطاردی (۱۳۹۳) و صلاحی (۱۳۹۴) گزارش شده است. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌کنیم افزایش میزان صمغ زانتان در زمان‌های طولانی همزدن سبب افزایش میزان پایداری شد. پاسبان و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند، بهبود خواص رئولوژیکی فاز آبی متاثر از افزایش غلظت صمغ موجب افزایش پایداری کف در زمان‌های بالای همزدن می‌گردد (فالاده و همکاران، ۲۰۰۳؛ بگ و همکاران، ۲۰۱۱). در این پژوهش، هدف از بهینه‌سازی، تولید کف آب کرفس با حداقل میزان دانسیته و حجم زهکشی بود. بر این اساس شرایط بهینه جهت تولید کف آب کرفس با کمترین میزان دانسیته و کمترین میزان حجم زهکشی در غلظت صمغ زانتان ۰/۴۲ درصد، مقدار کنسانتره پروتئین آب پنیر ۶ درصد و زمان هم زد ۹/۳۰ دقیقه تعیین گردید. در

را کاهش می‌دهد، از این رو موجب کاهش انبساط و در نتیجه افزایش دانسیته کف می‌شود (Bikerman, 1999). مشابه این نتایج توسط Bag و همکاران (۲۰۱۱)، عزیزپور (۱۳۹۱) و صلاحی (۱۳۹۴) به‌ترتیب برای تولید کف پالپ میوه Bael و میگو و طالبی گزارش شده است. همان‌طور که از شکل ۲ مشاهده می‌کنیم افزایش زمان همزدن سبب کاهش دانسیته کف شد. با افزایش زمان همزدن، دانسیته نمونه‌ها به علت ورود هوای بیشتر به درون سیستم‌های کف و به دام افتادن درون سیستم به صورت حباب کاهش پیدا می‌کند. همچنین افزایش زمان همزدن می‌تواند به دلیل افزایش میزان دانه‌توراسیون پروتئین‌ها و کاهش کشش سطحی و افزایش احتمالی گروه‌های آبدوست در سطح به دنبال سبب کاهش دانسیته کف شود (Raharitsifa et al., 2006). همچنین افزایش درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر در زمان‌های طولانی همزدن، به دلیل افزایش دانه‌توراسیون پروتئین‌های بیشتر، دانسیته کف را بیشتر کاهش داده است. نتایج مشابهی نیز توسط لعل سجادی و همکاران (۱۳۹۶)، Faladeh و همکاران (۲۰۰۳)، Sankat و همکاران (۲۰۰۴) به‌ترتیب درباره اثر آلومین تخم‌مرغ بر کاهش دانسیته کف خامه، کف نخودفرنگی و موز گزارش شده است. طبق پژوهش‌های انجام شده، دانسیته کف در بازه ۰/۳ تا ۰/۶ به‌عنوان دانسیته مناسب برای خشک کردن کف‌پوشي گزارش شده است (Kurda et al., 2006).

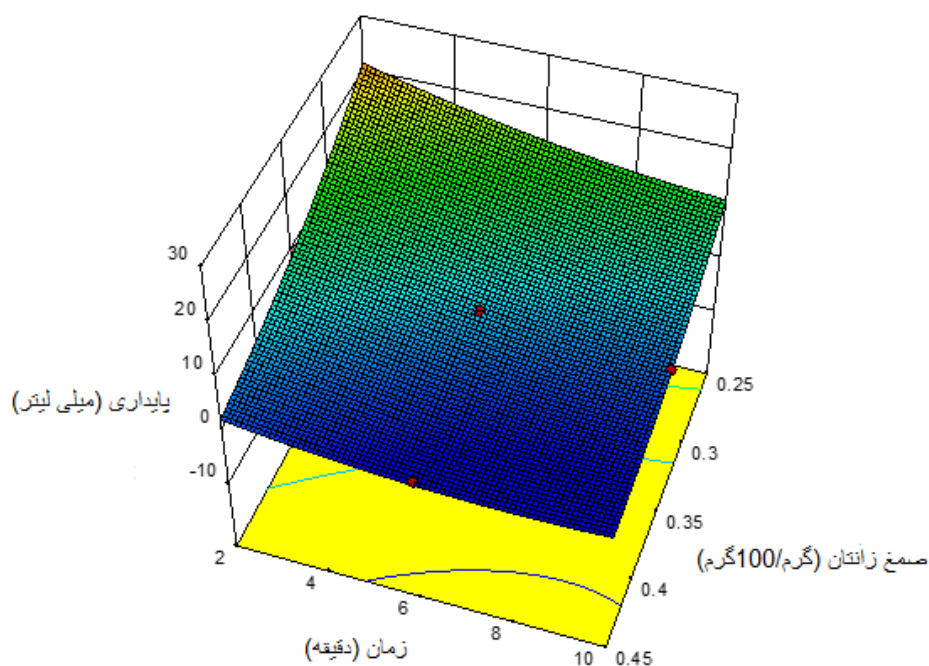
پایداری کف

تعیین پایداری کف یک مرحله کلیدی و مهم در مطالعه خواص کف است که معمولاً با اندازه‌گیری میزان مایع جدا شده (زهکشی) از کف طی مدت زمان مشخص تعیین می‌شود. اگر ساختار کف شکسته شود، زمان خشک‌کردن افزایش می‌یابد و کیفیت فرآورده کم می‌شود (Hart, 1963). پایداری کف به‌وسیله خواص فیزیکی و رئولوژیکی در فصل مشترک هوا-مایع و فاز پیوسته تحت تأثیر قرار می‌گیرد. خصوصیات فصل مشترک، توزیع اندازه حباب‌های کف، نفوذپذیری سطح مشترک و کشش سطحی بر میزان حجم زهکشی مؤثر هستند. جریان مایع از میان ساختار کف ناشی از نیروی‌های موئینگی یا نیروهای خارجی نظیر نیروی ثقل است که در نتیجه نازک شدن و از هم گسیختگی دیواره حباب رخ می‌دهد (Muthukumaran, 2007). مقدار حجم زهکشی نمونه‌های کف آب کرفس بین ۰ تا ۲۶ میلی‌لیتر متغیر بود (جدول ۳). تغییر پایداری کف با میزان صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب پنیر و زمان همزدن به‌صورت سه‌بعدی در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد غلظت صمغ زانتان و مقدار کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان همزدن اثر معنی‌دار ($p < 0.01$) و خطی بر مقدار مایع جدا شده از کف داشتند. همچنین اثر متقابل میزان صمغ زانتان و زمان همزدن و اثر متقابل مقدار کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان همزدن و اثر درجه دومی صمغ زانتان نیز معنی‌دار ($p < 0.01$)

این شرایط مقادیر دانسیته و پایداری کف اندازه‌گیری شد که به ترتیب 0.008 ± 0.004 گرم بر سانتی‌متر مکعب و 0 ± 0 میلی‌لیتر بودند.



شکل ۳- نمودار سطح پاسخ پایداری کف- تأثیر صمغ زانتان و کنسانتره پروتئین آب پنیر



شکل ۴- نمودار سطح پاسخ بر پایداری کف- تأثیرات صمغ زانتان و زمان هم زدن

بررسی ویژگی‌های پودر حاصل از آب کرفس میزان رطوبت و فعالیت آب

محتوای رطوبت نمونه‌های پودرهای کرفس تولید شده به روش خشک کردن کف‌پوشی در دماهای ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد بین ۳/۲ درصد تا ۵/۸۶ درصد بود (جدول ۶). با افزایش دمای خشک کردن اختلاف دمایی میان کف و هوای خشک‌کننده بیشتر شده و سرعت انتقال حرارت در ذرات بیشتر خواهد شد که در نتیجه نیروی محرکی برای حذف رطوبت ایجاد می‌شود، بنابراین نیروی بیشتری جهت تبخیر آب اعمال می‌گردد و در نتیجه پودر با حداقل میزان رطوبت تولید شد (فضایی و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین با افزایش دما، رطوبت نسبی هوا کم شده، در نتیجه درصد رطوبت نهایی محصول کاهش می‌یابد. به‌علاوه در دماهای بالاتر به دلیل دنا توره شدن پروتئین نمونه‌ها، ساختار

پروتئین تغییر کرده، توانایی نگهداری آب توسط پروتئین‌ها کم می‌شود (Fennema, 1996). نتایج مشابهی توسط Kolawole و همکاران (۲۰۱۰)، Kadam و همکاران (۲۰۱۱)، عزیزپور (۱۳۹۱)، صلاحی (۱۳۹۴) به ترتیب برای خشک کردن کف‌پوشی موز، آب گوجه‌فرنگی، میگو و پالپ طالبی گزارش شده است. اثر دمای خشک کردن بر فعالیت آبی با اثر دما روی محتوای رطوبتی سازگاری داشت. محدوده فعالیت آب پودرها بین ۰/۱۲۳ تا ۰/۱۷۵ بود. به‌طور کلی در دماهای بالاتر خشک کردن، پودرهایی با فعالیت آب کمتر ایجاد می‌شود. مواد غذایی که میزان فعالیت آبی آن‌ها کمتر از ۰/۶ است، از نظر میکروبی پایدار هستند (صلاحی، ۱۳۹۴). نتایج مشابهی توسط عزیزپور (۱۳۹۱) و صلاحی (۱۳۹۴) در خشک کردن کف‌پوشی میگو و پالپ طالبی گزارش شده است.

جدول ۶- مقادیر برخی از ویژگی‌های پودر آب کرفس در دماهای مختلف خشک کردن

دمای خشک شدن (°C)	رطوبت (g/۱۰۰g)	فعالیت آبی (a _w)	دانسیته توده (gr/cm ^۳)	دانسیته ضربه (gr/cm ^۳)
۴۰	۵/۸۶±۰/۰۶ ^a	۰/۱۷۵±۰/۰۱ ^a	۰/۵۵±۰/۰۱ ^a	۰/۶۶±۰/۰۱ ^a
۵۵	۴/۲۳±۰/۱۳ ^b	۰/۱۶۲±۰/۰۱ ^b	۰/۴۶±۰/۰۱ ^b	۰/۵۸±۰/۰۱ ^b
۷۰	۳/۲±۰/۲۶ ^c	۰/۱۲۳±۰/۰۱ ^c	۰/۳۹±۰/۰۱ ^c	۰/۴۶±۰/۰۱ ^c

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است (p>۰/۰۵).

دانسیته توده

مقدار دانسیته توده در این مطالعه در محدوده ۰/۳۹ تا ۰/۵۵ گرم بر میلی‌لیتر مکعب گزارش شد. افزایش دانسیته موجب کاهش حجم محصول می‌شود. دانسیته پارامتر مهمی است که بر خواص عملکردی پودر تأثیر می‌گذارد. دانسیته توده به‌صورت وزن پودر (گرم) در واحد حجم (میلی‌لیتر) بیان می‌شود که می‌تواند تحت تأثیر محتوای رطوبت، اندازه ذرات و شکل ذرات باشد (Horuz et al., 2012) و (خلیلیان و همکاران، ۱۳۹۲). دانسیته توده به‌صورت مستقیم با سهولت بازسازی، بسته‌بندی، حمل و نقل و بازاریابی مواد غذایی پودری در ارتباط است. محصول خشک‌شده با دانسیته توده بالا در مقایسه با محصولات با دانسیته توده کمتر می‌تواند در ظروف کوچک‌تر ذخیره گردد (جعفریان و همکاران، ۱۳۹۶، Feranco et al., 2016). همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود با افزایش دمای خشک کردن، دانسیته توده پودر، کاهش می‌یابد. در واقع با افزایش دمای خشک کردن، سرعت تبخیر رطوبت افزایش یافته و رطوبت کاهش یافته، اندازه ذرات بزرگ‌تر شده و ذرات کروی‌تر با فشردگی و چروکیدگی سطحی کمتر تولید می‌شوند (پیغمبر دوست و همکاران، ۱۳۹۴). تأثیر دما بر دانسیته توده به تأثیر آن بر میزان رطوبت نیز بستگی دارد. هرچه میزان رطوبت محصول بالاتر باشد، دانسیته توده آن به دلیل حضور آب بیشتر است. چگینی و

قبادیان (۲۰۰۵) در بررسی تأثیر دما بر خواص فیزیکی پودر آب پرتغال تولید شده به‌روش پاششی و Asokapandian و همکاران (۲۰۱۵) در خشک کردن خربزه به روش کف‌پوشی و همچنین پیغمبر دوست و همکاران (۱۳۹۴) در ارزیابی دمای هوا بر خواص فیزیکی پودر عصاره مالت نتایج مشابه گزارش کردند.

دانسیته ضربه

دانسیته توده ضربه‌ای در محدوده بین ۰/۴۶ تا ۰/۶۶ گرم بر میلی‌متر مکعب بود (جدول ۶). تأثیر دما بر دانسیته ضربه معنی‌دار مشاهده شد. روند و علت تغییرات دانسیته ضربه‌ای نسبت به تغییرات دما مشابه دانسیته توده‌ای است. دانسیته ضربه عموماً بیشتر از دانسیته توده است؛ زیرا با وارد شدن ضربه یا تکان دادن، فضای خالی بین ذرات پر شده و حجم اشغال شده توسط پودر کاهش می‌یابد (Goula et al., 2005). نتایج مشابهی توسط خرازپور و همکاران (۱۳۹۴) در خشک کردن کف‌پوشی آبغوره نیز گزارش شده است.

دانسیته ذره و تخلخل

طبق جدول ۷ در اثر افزایش دمای خشک کردن، دانسیته ذره کاهش یافته است که فقط در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد معنادار است.

در تولید پودر پاششی گوجه‌فرنگی و Jinapong و همکاران (۲۰۰۸) در تولید پودر شیر سویا و خرازپور (۱۳۹۴) در تولید پودر آبغوره به‌روش کف‌پوشی است.

تخلخل درواقع فضاهای خالی موجود در ماده را نشان می‌دهد و بیانگر حجم اشغال نشده توسط ماده جامد است. تخلخل به عواملی چون دانسیته توده، ترکیب شیمیایی ماده، رطوبت، دما و سایر شرایط فرایند خشک‌کردن بستگی دارد (Barbosa-Canovas et al., 2005). علت بالاتر بودن تخلخل پودر حاصل از خشک‌کردن کف‌پوشی را به ساختار متخلخل کف می‌توان نسبت داد. محصولات خشک‌شده به روش پاششی به شکل کره میان‌تهی است که دیواره ضخیمی از ماده خشک پیرامون آن را فراگرفته است اما محصولات به‌دست آمده از فرایند تولید کف دارای فضای درونی گسترده و دیواره‌های نسبتاً نازکی است (Holdsworth, 1985).

دانسیته ذره در پودر حاصل از خشک‌کردن کف‌پوشی آب کرفس در محدوده ۱/۵ تا ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود و تفاوت معناداری نیز در مقادیر دانسیته ذره مشاهده نشد. دانسیته ذره بیانگر حضور حفره‌های داخلی در ذرات مواد غذایی است. این چگالی، نسبت جرم واقعی ذرات به حجم واقعی آن‌ها است (مرتضوی و همکاران، ۱۳۸۴). دانسیته ذره باید تا حد امکان بالا باشد تا قابلیت ته‌نشینی پودر بهبود یابد (فرشادفر، ۱۳۸۵). خرازپور و همکاران (۱۳۹۴) در خشک‌کردن کف‌پوشی آبغوره به نتایج مشابهی نیز دست یافتند.

تخلخل پودرهای تولید شده در محدوده بین ۶۲ تا ۶۹ درصد گزارش شد. به‌صورت کلی با افزایش دمای خشک‌کردن و کاهش یافتن رطوبت پودرها، امکان نزدیک شدن و به هم چسبیدن ذرات پودر و در نتیجه پر شدن فضاهای خالی بین آن‌ها کمتر می‌شود و در نتیجه تخلخل افزایش یافت (Koc et al., 2008). این نتایج مطابق یافته‌های (Guola, ۲۰۰۵)

جدول ۷- مقادیر برخی از ویژگی‌های پودر آب کرفس در دماهای مختلف خشک‌کردن

دمای خشک شدن (°C)	دانسیته ذره (gr/ml ^۳)	تخلخل (%)	نسبت هاسنر	شاخص کار
۴۰	۱/۷۸±۰/۰۷ ^a	۶۲±۰/۱ ^a	۱/۳۲±۰/۰۱ ^a	۲۴/۶۷±۰/۸ ^a
۵۵	۱/۵۶±۰/۰۵ ^b	۶۳±۰/۵۷ ^a	۱/۲۷±۰/۰۳ ^a	۲۰/۶۳±۲/۸۷ ^b
۷۰	۱/۵±۰/۰۳ ^b	۶۹±۰/۵۷ ^b	۱/۱۵±۰/۰۵ ^b	۱۵/۲±۰/۳۳ ^c

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است (p>۰/۰۵).

حرارت انتقال شیشه‌ای پایین دارند و درجه حرارت اعمال شده، بستگی دارد (Mani et al., 2002). بر اساس جدول ۷ غیر از پودرهای تولیدی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد پودرها در دسته پودرهایی با پیوستگی متوسط قرار گرفتند. شاگری (۱۳۹۲) در خشک‌کردن پاششی آبغوره و Jakubczyka (۲۰۱۱) در خشک‌کردن کف‌پوشی سیب نیز به نتایج مشابه رسیدند.

قابلیت جریان

مقدار عددی پارامتر اندیس کار در این مطالعه در محدوده ۱۵/۲ تا ۲۴/۶۷ بود (جدول ۷). قابلیت جریان به خصوصیات فیزیکی پودر مانند شکل و اندازه ذره، ساختار سطحی، دانسیته ذره، دانسیته توده و میزان رطوبت بستگی دارد (Kim et al., 2002). قابلیت جریان پودر با اندیس کار (CI) سنجیده می‌شود. هرچه درصد اندیس کار پودر افزایش یابد، قابلیت جریان پودر ضعیف‌تر می‌شود. طبق جدول ۷ با افزایش دمای خشک‌کردن، به‌طور معنی‌داری درصد اندیس کار از ۲۴/۶۷ درصد به ۱۵/۲ درصد کاهش یافته و قابلیت جریان پودر بهتر می‌شود؛ چرا که با افزایش دمای خشک‌کردن، رطوبت کاهش می‌یابد. رطوبت تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر قابلیت جریان پودر دارد. افزایش میزان رطوبت به دلیل افزایش پل‌های مایع میان ذرات پودر، منجر به کاهش قابلیت جریان

پیوستگی

در این مطالعه، پیوستگی پودرها با محاسبه نسبت هاسنر صورت گرفت. مقدار عددی نسبت هاسنر در این تحقیق در محدوده ۱/۱۵ تا ۱/۳۲ بود (جدول ۷). پیوستگی خاصیت درونی پودر و مربوط به نیروهای بین مولکولی است که ذرات را در کنار هم نگه می‌دارد. وقتی ذرات به هم برخورد می‌کنند به یکدیگر چسبیده و توده‌ای می‌شوند، مگر این که با نیرویی بیش از نیروی پیوستگی‌شان شکسته شوند (Bhandari et al., 1999). جدول ۷ نشان می‌دهد که افزایش دمای هوای خشک‌کردن، به‌طور معنی‌داری پیوستگی پودرها را از ۱/۳۲ به ۱/۱۵ کاهش داده است. رطوبت و سطح تماس از عوامل مؤثر در میزان پیوستگی هستند (Jinapong et al., 2008). در واقع با افزایش درجه حرارت خشک‌کردن، رطوبت کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه تشکیل پل‌های مایع بین ذرات کمتر می‌شود و این امر باعث کاهش پیوستگی پودرها شد. کلانتری در خشک‌کردن کف‌پوشی عصاره انجیر (۱۳۹۰)، و صالحی (۱۳۹۰) در تولید پودر نارنج، خرازپور و همکاران (۱۳۹۴) در خشک‌کردن کف‌پوشی آبغوره و ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) در خشک‌کردن پاششی ژل آلورا نتایج مشابهی گزارش کردند. رفتار چسبناکی و جاذب‌الرطوبه بودن پودر آب میوه‌ها به میزان قند به خصوص قندهای ساده با وزن مولکولی پایین، اسیدهایی که درجه

شرایط بهینه جهت تولید کف، با کمترین دانسیته و کمترین حجم زهکشی با صمغ زانتان ۰/۴۲ درصد، کنسانتره پروتئین آب پنیر ۶ درصد و زمان هم‌زدن ۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه تعیین شد. نتایج بیانگر کاهش مقادیر فعالیت آبی و رطوبت، دانسیته توده، دانسیته ضربه و دانسیته ذره با افزایش دمای خشک‌کردن بود. همچنین با افزایش دمای خشک‌کردن، میزان عددی نسبت هاسنر و شاخص کار، کاهش پیدا کرد. پودرهای تولیدی دارای پیوستگی متوسط و قابلیت جریان خوب بودند. با افزایش دمای خشک‌کردن از ۴۰ به ۷۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل افزایش دما و کاهش رطوبت، امکان نزدیک شدن و به هم چسبیدن ذرات و در نتیجه پر شدن فضاهای خالی بین آن‌ها کمتر شده، تخلخل افزایش یافت. بررسی‌ها نشان داد که خشک‌کردن کف‌پوشي روشی مناسب برای تولید پودر آب کرفس بود.

پودر شد. همچنین افزایش میزان رطوبت، باعث نرم شدن یا پلاستیکی شدن پودر به‌خصوص اجزای محلول در آب می‌شود و در نهایت باعث تغییر شکل شده، سطح تماس بیشتری را ایجاد می‌کند و قابلیت جریان پودر کاهش یافت (Kim et al., 2005). خرازپور و همکاران (۱۳۹۴) در خشک‌کردن کف‌پوشي آبنوره و ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) در خشک‌کردن پاششی ژل آلورا و اعظمی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی خواص فیزیکی‌شیمیایی شیر حاوی شیرین بیان و پودر آن به خشک شده روش پاششی نتایج مشابهی گزارش کردند. پودرهای به‌دست آمده در دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد دارای قابلیت جریان خوب و پودرهای به دست آمده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد دارای قابلیت جریان نسبتاً خوب بودند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور بهینه‌سازی شرایط تولید کف آب کرفس جهت خشک‌کردن به روش کف‌پوشي، از روش سطح پاسخ استفاده شد.

منابع

- Akintoye, O. A. & Oguntunde, A. O. 1991. Preliminary investigation on the effect of foam stabilizers on the physical characteristics and reconstitution properties of foam-mat dried soy milk. *Drying Technology*, 9 (1), 245–262.
- Alleoni, A. C. C., & Antunes, A. 2004. Albumen foam stability and s-ovalbumin contents in eggs coated with whey protein concentrate. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 6(2): 105-110.
- Amoli, N., . 1384. The investigation of celery cultivation on different sowing dates in spring and autumn cultivation in Mazandaran climate, Mazandaran agricultural and Natural Resources Research Center-Research Department of Seedling and seed preparation and plant improvement.
- AOAC, Official Methods of Analysis. 1984. Association of official analytical chemist (14th Ed.). Washington, DC.
- Asokapandian, S., Venkatachalam, S., Swamy, G.J. & Kuppusamy, K. 2014. Foam Mat Drying of Food Materials: A Review, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6):3165–3174.
- Atarodi, M. R. 1393. Optimization of process parameters for spirulina platensis foam-mat drying. MSc thesis. Ferdowsi University of Mashhad.
- Azami, t. 1393. Formulation, preparation and evaluation of physicochemical, rheological and sensory characteristics of licorice blended milk and its powder (cocoa powder substitution). MSc thesis. in food science and technology Shiraz University of Iran.
- Azizpour, M. 1391. Optimization of process parameters in foaming and evaluation of mass transfer kinetics in foam mat drying of shrimp (*Penaeus indicus*). MSc thesis. Ferdowsi University of Mashhad.
- Bag, S. K., Srivastav, P. P., & Mishra, H. N. 2011. Optimization of process parameters for foaming of bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. *Food and Bioprocess Technology*, 4(8), 1450-1458.
- Barbosa-Canovas, G. V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., and Yan, H. 2005. Food powders: Physical properties, processing, and functionality. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Bhandari, B. R., & Howes, T. 1999. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 40(1), 71-79.
- Bikerman, J.J. 1973. *Foams*. New York, USA: Springer-Verlag.
- Carp, D. J., Bartholomai, G. B., & Pilosof, A. M. R. 1997. A kinetic model to describe liquid drainage from soy protein foams over an extensive protein concentration range. *LWT-Food Science and Technology*, 30(3), 253-258.
- Carr, R. L. 1965. Evaluating flow properties of solids.
- Chegini, G.R. & Ghobadian B. 2005. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder, *Drying Technology*, 23:657–668.
- Dickinson and G. Stainsby (Eds). 1987. Elsevier Applied Science. Barking, UK, 91-122.
- Dickinson, E., Stainsby, G. 1982. *Colloids in Foods*. Applied Science Publishers Ltd., New York.
- Ebrahimi, m. 1394. Effect of spray drying conditions on the physicochemical properties and functional components of aloe vera gel powder. MSc thesis Tabriz University Faculty of Agriculture.

- Falade, K. O., & Omojola, B. S. 2010. Effect of processing methods on physical, chemical, rheological, and sensory properties of okra (*Abelmoschus esculentus*). *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 387-394.
- Falade, K.O., Adeyanju, K.I., & Uzo-Peters, P. I. 2003. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. *European Food Research and Technology*, 217(6), 486-491.
- Farshadfar, Sh. 1385. Milk processing and production technology of dairy products. Print first. Fars Engineering Research Center, Shiraz.
- Fazaeli, M., Djomeh, E.Z., Ashtari, K.A. and Omid, M. 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing* 90: 667-675.
- Fennema, O. R., & Tannenbaum, S. R. 1996. Introduction to food chemistry. *Food Science and Technology-New York-Marcel Dekker-*, 1-16.
- Franco, T.S., Perussello, C.A., Ellendersen, L.N. Masson, M.L. 2016. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder, *LWT-Food Science and Technology* 66:503-513.
- Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*, 66(1), 35-42.
- Hart, M. R., Ginnette, L. F., Morgan, A. I., & Graham, R. P. 1963. Foams for foam-mat drying. *Food Technology*, 17(10), 1302.
- Hausner, H. H. 1967. *Friction conditions in a mass of metal powder*. Polytechnic Inst. of Brooklyn. Univ. of California, Los Angeles.
- Hertendorf, M. S., Moshy, R. J., & Seltzer, E. 1970. Foam drying in the food industry. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 1(1), 25-70.
- Holdsworth, S. D. 1985. Optimisation of thermal processing—a review. *Journal of Food Engineering*, 4(2), 89-116.
- Horuz, E., Altan, A. & Maskan, M. 2012. Spray Drying and Process Optimization of Unclarified Pomegranate (*Punica granatum*) Juice, *Drying Technology: An International Journal*, 30(7):787-798.
- Izadi, T. 1393. Survey on WPC (Whey Protein Concentrate) function in formation and stability of cheese foam and optimization of cheese powder production using foam mat drying. MSc thesis. Ferdowsi University of Mashhad.
- Jakubczyka, E., Gondeka, E., & Tamborb, K. 2011. Characteristics of selected functional properties of apple powders obtained by the foam-mat drying method. In *Food Process Engineering in a Changing World. Proceedings of the 11th International Congress on Engineering and Food* (pp. 1385-1386).
- Jaya, S., & Das, H. 2004. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, 63(2), 125-134.
- Jinapong, N., Supphantharika, M., & Jamnong, P. 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84(2), 194-205.
- Kadam, D. M., & Balasubramanian, S. 2011. Foam mat drying of tomato juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(4), 488-495.
- Kalantari, m. 1390. Investigation of physical and chemical characteristics of grape syrup, date and dried figs powders in a rolling dryer. MSc thesis. Shiraz University of Iran.
- Karim, A. A., and Wai, C. C. 1999. Characteristics of foam prepared from starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree by using methyl cellulose. *Food Hydrocolloids*, 13:
- Kaur, S., Sarkar, B. C., Sharam, H. K. & Singh, C. 2009. Optimization of enzymatic hydrolysis pretreatment conditions for enhanced juice recovery from guava fruit using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 2, 96–100.
- Khalilian, S, Shahidi, F, Mohebbi, M, Khalilian, M. 1392. Evaluation of drying conditions on some characteristics of pomegranate concentrate powder using the 23rd National Congress of Food Science and technology, Shiraz, Shiraz University, p 1-6.
- Kharazpour, B. 1394. Preparation and Evaluation of Physicochemical Characteristics of Foam-mat Dried Unripe Grape Juice. . MSc thesis. Shiraz University.
- Kim, E. H. J., Chen, X. D., & Pearce, D. 2005. Effect of surface composition on the flowability of industrial spray-dried dairy powders. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 46(3), 182-187.
- Kim, E. H.-J., Chen, X. D., and Pearce, D. 2002. "Surface characterization of four industrial spray dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property,." *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 26: 197- 212.
- Koc, B., Eren, I., & Ertekin, F. K. 2008. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 340-349.
- Kolawole, O. F., and Okocha, O. J. 2010. Foam-mat drying of plantain and cooking banana (*Musa* spp.). *Food Bioprocess Technology*, 5 (4), 1173- 1180.
- Kudra, T and C. Ratti . 2006. Foam-Mat drying: Energy and cost analysis. *Canadian Lopez, A., Iguaz, A., Esnoz, A., and Virseda, P. 2000. Thin-layer drying behaviour of vegetable waste from wholesale market. Drying Technology*, 18: 995–1006.
- Lal sajjadi, A. 1396. Foam mat drying of milk cream: optimization of foaming condition and investigation of powder properties. MSc thesis. Ferdowsi University of Mashhad.

- Madamba, P. S., & Liboon, F. A. 2001. Optimization of the vacuum dehydration of celery (*Apium graveolens*) using the response surface methodology. *Drying Technology*, 19(3-4), 611-626.
- Mani, S., Jaya, S., & Das, H. 2002. Sticky issues on spray drying of fruit juices. In *ASAE/CSAE North-Central Intersectional Meeting*.
- Mortazavi, A. Rouhani, K & Joyandeh, H. 1384. Milk and dairy products technology. Fourth edition. Mashhad: Ferdowsi University of Mashhad.
- Mott, C.L., Hettiarachchy, N.S., and Qi, M. 1999. Effect of xanthan gum on enhancing the foaming properties of whey protein isolate. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(11): 1383-1386.
- Muthukumaran, A. 2007. Foam-mat freeze drying of egg white and mathematical modeling. MSc Thesis. McGill University.
- Papalamprou, E. M., Makri, E. A., Kiosseoglou, V. D., and Doxastakis, G. I. 2005. Effect of medium molecular weight xanthan gum in rheology and stability of oil in-water emulsion stabilized with legume proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(12): 1967-1973.
- Paseban, A. 1391. Optimization of process parameters for foam mat drying of mushroom (*Agaricus bisporus*) puree. MSc thesis. Ferdowsi University of Mashhad.
- Peighambaroust, H & Sarabandi, KH . 1394. The effect of spray drying conditions on physico-chemical properties of malt extract Powder production, *Journal of Food Technology Research*, 314-299: (2) 25.
- Peivast, GH. 1384. Vegetable working, Third printing, Rasht: Daneshpazir Publishing.
- Pourmahdi, A. 1391. Optimization of potato-powder production using foam mat method. MSc thesis. Islamic Azad University, Mazandaran Science and Research Branch.
- Prins, A. 1988. *Principles of Foam Stability*. Advances in food emulsions and foams.
- Raharitsifa, N., Genovese, D.B., and Ratti, C. 2006. Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose. *Journal of Food Science*, 71(3): 142-151.
- Rajkumar, P., Kailappan, R., Viswanathan, R., Raghavan, G.S.V., and Ratti, C. 2007. Foam mat drying of alphonso mango pulp. *Drying Technology*, 25 (2): 357 - 365.
- Salahi, M. R., Mohebbi, M., & Taghizadeh, M. 1394. Foam-Mat Drying of Cantaloupe (*Cucumis melo*): Optimization of Foaming Parameters and Investigating Drying Characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1798-1808.
- Salehi, a. 1390. Determination of physical properties of citrus juice powder produced using by spray drying. MSc thesis. Shiraz University of Iran.
- Sankat, C. K., & Castaigne, F. 2004. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. *LWT-Food Science and Technology*, 37(5), 517-525.
- Sankat, C. K., & Castaigne, F. 2004. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. *LWT-Food Science and Technology*, 37(5), 517-525.
- Society, 76(11): 1383-1386. the foaming properties of whey protein isolate. *Journal of the American Oil Chemists'*.
- Shakeri, Sh. 1392. Investigation of physicochemical properties of Verjuice and powder produced by spray dryer and assessment of drying conditions. Master thesis in Food science and technology. Shiraz: Faculty of Agriculture, Shiraz University.
- Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., and Soponronnarit, S. 2007. Drying characteristics and quality of banana foam-mat. *Journal of Food Engineering*, 86 (4): 573-583.
- Vernon-Carter, E. J., Espinosa-Paredes, G., Beristain, C. I., & Romero-Tehuitzil, H. 2001. Effect of foaming agents on the stability, rheological properties, drying kinetics and flavour retention of tamarind foam-mats. *Food Research International*, 34(7), 587-598.
- Wilde, P. J., and Clark, D. C. 1996. *Foam formation and stability*. In G. M. Hall (Ed.), *Methods of testing protein functionality*. Blackie Academic and Professional. London. PP, 110- 152.



Optimization of foam production in foam mat drying of celery juice and evaluation of its powder properties

M. Kamali Sarvestani¹, M. Moebbi^{2*}, M. Taghizadeh³

Received: 2019.12.04

Accepted: 2020.02.22

Introduction: Celery is one of the most consumed and highly nutritious vegetables with high dietary fiber, phytochemicals, vitamins, and minerals, which offers great benefits for utilization as a functional food ingredient. Fruit and vegetable juice powders have many benefits and economic advantages over their liquid precursors such as reduced volume/weight, reduced packaging, easier handling/ transportation, and much longer shelf-life. Also powders can be reconstituted to produce a juice and used for preparation of products such as snacks, chutney, soups, baby foods, etc. In foam-mat drying, food liquids and pastes are first whipped into stable foam by the addition of different foaming agents or stabilizing agents and then dried in the form of thin layer. This foam structure dries rapidly due to the increase of the surface area of the material by incorporating air/gas and forms a porous structure which gives high quality and instant properties of the dried product. The dried product is scraped off from the drying surface in the form of flakes, which is then converted to a fine powder. Response surface methodology (RSM) is a combination of mathematical and statistical techniques used to investigate the interaction effects of independent variables on responses. There is considerable information on foam-mat dried food powders, but there is no any scientific literature related to foam-mat drying of celery juice. The present research was thus focused on optimizing the foaming conditions (WPC as a foaming agent, Xanthan gum (XG) concentration as the stabilizer and whipping time (WT)) to minimize foam density (FD) and drainage volume (DV) using RSM. The effects of drying temperatures on some physicochemical properties of powder was also investigated.

Materials and methods: Celery was purchased from the local market .XG and WPC powders were purchased from Sigma Chemical Company (St. Louis, MO) and Milei Company Germany, respectively. Celery juice was extracted by using a juicer machine (Robert Bosch Stand mixer MMB 2000 /05 FD 8611 Type CNSM03EV, 600W, Slovenia). Based on preliminary tests, XG solutions were prepared by dissolving the appropriate amount of the defined gum powder in distilled water and stirring with a magnetic stirrer to achieve a uniform solution. This solution was refrigerated at 4°C overnight to complete hydration. RSM was used to estimate the main effects of the process variables on FD and DV in celery juice foam. The experiment was established based on a face-centered central composite design (FCCD). According to the experimental design, to prepare 100 g of samples, the appropriate amount of celery juice, WPC, and XG solution were poured to a 250 mL beaker. Then the mixture was placed into a water bath for 5 minutes at 55 °C temperature. The mixture was then taken out of water bath and was whipped by a mixer (Gosonic, model No. GHM- 818, 250W, China) with the maximum speed of 5400 rpm at ambient temperature during the given time. The density of foamed celery juice was determined in terms of mass over volume and expressed in g/cm³. To assess foam stability, the drainage test was performed for 1h. Furthermore, the effects of drying temperatures on some physicochemical properties of powders were investigated.

Results and discussions: The quadratic model was selected as a suitable statistical model for both FD and DV. ANOVA showed that this model is significant for both responses. Moreover, lack-of-fit was not significant for response surface models at a 95% confidence level, indicating that this model is adequately accurate for predicting responses. Based on the constrain criteria, the optimized foaming parameters were: XG concentration of 0.42% (w/w), WPC concentration of 6% (w/w), and WT of 9.30 min. The amount of FD and FDV for foam at these optimum conditions were 0.4 g/cm³ and 0 ml, respectively. The results showed the moisture content and water activity of the celery powders decreased with the increase in drying temperature. By increasing drying temperature from 40 to 70 °C, bulk density also decreased. Increase in drying temperature results in decrease in moisture content and bulk density. Tapped density generally behaves similar to bulk density because by shaking powder, the space between the particles is filled and occupied volume by the powder is reduced. By increasing in temperature, particle density decreased. Overall, with increasing drying temperature, the porosity of powder increased. Increasing temperature and reducing moisture content, the possibility of approaching and join together of particles is increased and the space between the particles becomes less. The numerical value of the car index parameter in this study was 15.3% to 24.67%. The highest value of flowability

1, 2 and 3. MSc Student, Professor and Assistant professor Department of food science & technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.
Corresponding Author Email: mohebbatm@gmail.com

related to the sample was dried at 70°C. With decreasing in drying temperature, the moisture content of powders increased and due to forming liquid bridges between particles making them less flowable. The numerical value of the Hausner parameter in this study was 1.15 to 1.32. Except for powder produced at 70 °C, the powder was placed in the intermediate cohesiveness powder class. By increasing drying temperature, the cohesiveness of powder decreased significantly.

Keywords: Celery juice, Foam mat drying; Response surface methodology, Physicochemical properties

مقاله پژوهشی

ارزیابی ویژگی‌های پروبیوتیکی و ضدباکتریایی *Lactobacillus fermentum* SL163-4

سارا مومن‌زاده^۱ - حسین جوینده^{۲*} - بهروز علیزاده بهبهانی^۳ - حسن برزگر^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۳

چکیده

پروبیوتیک‌ها میکروارگانیسم‌هایی غیربیماری‌زایی هستند که از طریق تعادل میکروبی (نسبت باکتری‌های مفید و بیماری‌زا) در روده انسان می‌توانند باعث سلامتی و ایمنی گردند. این مطالعه با هدف بررسی پتانسیل پروبیوتیکی سویه *Lactobacillus fermentum* جدا شده از غذای تخمیری انجام شد. در این پژوهش، ویژگی‌های پروبیوتیکی *Lactobacillus fermentum* شامل: مقاومت به اسید (pH ۲/۵، ۳/۵ و ۵)، مقاومت به صفرا (pH ۰/۵، ۰/۸، ۱/۲ و ۳ درصد)، فعالیت ضد میکروبی (به روش نقطه‌گذاری بر باکتری‌های *Listeria innocua*، *Staphylococcus aureus* و *Pseudomonas aeruginosa*) و مقاومت نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های رایج درمانی (کلرامفنیکل، تتراسایکلین، پنی‌سیلین و جنتامایسین) بررسی شد. نتایج نشان داد که سویه *Lactobacillus fermentum* در pH=۲/۵ توانایی رشد را ندارد اما در pH=۳/۵ و pH=۵/۵ به ترتیب ۹۲ و ۹۹ درصد زنده‌مانی مشاهده شد. *Lactobacillus fermentum* توانست در تمامی غلظت‌های نمک‌های صفراوی رشد کند؛ هرچند با افزایش درصد غلظت نمک صفراوی، رشد باکتری کاهش یافت. میانگین قطر هاله عدم رشد برای *Listeria innocua*، *Staphylococcus aureus* و *Pseudomonas aeruginosa* به ترتیب ۱۲/۶۰، ۲۰ و ۱۱/۱۰ میلی‌متر تعیین شد. *Lactobacillus fermentum* نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های کلرامفنیکل، تتراسایکلین، پنی‌سیلین حساس و نسبت به جنتامایسین نیمه‌حساس بود (مقایسه با جداول CLSI). با توجه به نتایج پژوهش حاضر، *Lactobacillus fermentum* دارای قابلیت پروبیوتیکی قابل قبولی بود و می‌توان از آن به عنوان یک باکتری پروبیوتیک در محصولات غذایی بهره برد.

واژه‌های کلیدی: *Lactobacillus fermentum*، مقاومت به اسید، مقاومت به نمک‌های صفراوی، آنتی‌بیوتیک‌های رایج درمانی، روش نقطه‌گذاری.

مقدمه

میزبان تعلق ندارند و از منابع دیگری مانند میوه (ساکارومایسس) یا غذاهای تخمیر شده (لاکتوباسیلوس، لاکتوکوکوس، ویسلا و پدیوکوکوس) استخراج شده‌اند. مزیت این پروبیوتیک‌های جدید در روش استفاده از آن‌هاست که می‌توان به صورت مواد غذایی تخمیر شده یا مکمل مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر این، آن‌ها می‌توانند یک عمل محافظت کننده مضاعف را از طریق مقابله با عوامل بیماری‌زا در منابع غذایی و پاتوژن‌های دستگاه گوارش میزبان پس از مصرف انجام دهند (Oliveira et al., 2018). هنگام انتخاب یک سویه به عنوان پروبیوتیک معیارهای مختلفی باید مورد توجه قرار گیرد. میکروارگانیسم‌های پروبیوتیکی مورد استفاده در مواد غذایی باید بتوانند در شرایط دستگاه گوارش زنده بمانند. پروبیوتیک‌ها باید ایمن و مفید باشند. آن‌ها باید در طول تولید و نگهداری محصول غذایی کارایی خود را حفظ کنند (Saad et al., 2013). باکتری‌های اسید لاکتیک رایج‌ترین میکروارگانیسم‌هایی هستند که به عنوان پروبیوتیک به کار

پروبیوتیک‌ها میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که اگر به مقدار کافی مصرف شوند با بهبود تعادل میکروبیوتای روده، اثرات مفیدی بر سلامت جسمی و روحی انسان دارند. این مسئله تأکید روزافزون رژیم غذایی مبتنی بر پروبیوتیک‌ها را برای درمان و پیشگیری از بیماری‌های مزمن مختلف، به ویژه مرتبط با استرس و التهاب را نشان می‌دهد (Kumar et al., 2019; Sharma et al., 2019). باکتری‌های پروبیوتیک علاوه بر تأثیر بر فلور میکروبی روده و در نتیجه جلوگیری از بروز بیماری‌های عفونی دستگاه گوارش، قادرند نقش‌های مهمی نظیر کنترل کلسترول سرم خون، کنترل سرطان و کمک به هضم لاکتوز در فراورده‌های لبنی ایفا کنند (خمیریان و همکاران، ۱۳۹۶). این میکروارگانیسم‌ها به طور کلی از میکروبیوتای بومی میزبان (معد، روده یا پوست) جدا شده و برای به دست آوردن برخی از مزایا استفاده می‌شوند. با این حال، برخی از پروبیوتیک‌ها به میکروبیوتای بومی

(Email: hosjooy@asnrukh.ac.ir

*)-نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.84842

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار، استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.

اگرچه گونه‌های تجاری بسیاری از پروبیوتیک‌ها در بازار وجود دارد، اما مشخص نمودن گونه‌های جدید، که بتواند خواص منحصر به فردی را ارائه دهد مطلوب است. با توجه به اهمیت توصیف سویه‌های جدید پروبیوتیکی، هدف از این پژوهش بررسی پتانسیل پروبیوتیکی و ضد میکروبی *Lactobacillus fermentum* جدا شده از غذای تخمیری حره بود.

مواد و روش‌ها

شناسایی باکتری *Lactobacillus fermentum* SL163-4 با

استفاده از تکثیر ژن 16S rRNA

در این پژوهش از سویه *Lactobacillus fermentum* ایزوله شده از غذای تخمیری حره استفاده شد (Vasiee et al., 2018). روش جداسازی و شناسایی *Lactobacillus fermentum* مطابق با مطالعه طباطبایی یزدی و همکاران (۱۳۹۵) انجام شد. استخراج DNA با استفاده از کیت های استخراج Genomic DNA isolation VI (دنا زیست آسیا، ایران) انجام پذیرفت. پس از ایجاد رسوب در میکروتیوب‌های حاوی سوسپانسیون میکروبی و حل نمودن در ۲۰۰ میکرولیتر بافر فسفات و افزودن محلول آنزیمی مناسب جهت رسیدن به حجم نهایی ۵۰ میکرولیتر، طبق پروتکل شرکت سازنده، عمل گردید. از پرایمرهای Universal که بر اساس نواحی حفظ شده ژن ۱۶S rRNA طراحی شده‌اند استفاده شد. واکنش PCR در کیت تر PCR در حجم نهایی ۲۵ میکرولیتر انجام گرفت. میکروتیوب حاوی مخلوط واکنش دهنده‌های PCR داخل دستگاه ترموسایکلر قرار گرفت و برنامه دمایی مطابق با مطالعه (طباطبایی یزدی و همکاران، ۱۳۹۵)، تنظیم شد. این برنامه دمایی شامل:

۱. فعال سازی: ۵ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد، یک سیکل
 ۲. گسترش که خود شامل سه مرحله واسرشته سازی (۳۰ ثانیه در دمای ۹۴ درجه سانتی گراد)، اتصال پرایمر^۲ (۳۰ ثانیه در دمای ۹۴ درجه سانتی گراد) و توسعه^۳ (۲ دقیقه در دمای ۷۲ درجه سانتی گراد)، ۳۵ سیکل
 ۳. گسترش نهایی: ۱۰ دقیقه در دمای ۷۲ درجه سانتی گراد، یک سیکل
- الکتروفورز در ولتاژ ۹۵ ولت و زمان ۴۵ دقیقه انجام پذیرفت. سپس ژل در دستگاه ژل داک رویت شد.

آزمون مقاومت به اسید

آزمون مقاومت به اسید مطابق با روش صادقی و ابراهیمی (۱۳۹۵)، با اندکی تغییر انجام شد. جهت بررسی مقاومت به اسید، ابتدا

می‌روند. آن‌ها عضو مطلوبی از میکروبیوتای دستگاه گوارش هستند و در دسته میکروارگانسیم‌های قرار دارند که ایمن (GRAS)^۱ شناخته می‌شوند. مزایای بی‌شمار باکتری‌های اسید لاکتیک باعث شده است که پتانسیل پروبیوتیکی گونه‌های مختلف این گروه از باکتری‌ها به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گیرد (Ruiz-Moyano et al., 2019; de Almeida Junior et al., 2015). معیارهای متعددی برای در نظر گرفتن جدایه‌های جدید به‌عنوان پروبیوتیک از جمله تحمل به شرایط اسید و صفرا، پتانسیل کاهش کلسترول، توانایی هیدرولیز نمک صفراوی، غیرهمولیتیک، توانایی داشتن خواص ضد میکروبی و قادر به زنده ماندن در طول فرایند تخمیر، مورد بررسی قرار می‌گیرند (Abushelaibi et al., 2017). جنس لاکتوباسیلوس گروهی مهم و متنوع از باکتری‌های اسید لاکتیک است. لاکتوباسیل‌ها از نقاط مختلف زیست محیطی جدا شده و پژوهش‌های مختلف، تفاوت‌های آن‌ها را در سطح ژنتیکی و فیزیولوژیکی نشان می‌دهند (Seddik et al., 2017). لاکتوباسیلوس‌ها باکتری‌هایی گرم مثبت، بی‌هوازی و میله‌ای شکل هستند. برخی از گونه‌های لاکتوباسیلوس‌ها دارای خواص درمانی می‌باشند. گزارش شده *Lactobacillus fermentum* ME-3 دارای فعالیت ضد میکروبی در برابر پاتوژن‌های روده و فعالیت آنتی اکسیدانی است (Aoudia et al., 2016). لاکتوباسیلوس‌ها در سراسر دستگاه گوارش پراکنده هستند و حدود ۱ تا ۶ درصد از فلور میکروبی روده را تشکیل می‌دهند. حضور آن‌ها برای حفظ سلامت انسان، عملکردهای متابولیکی، تغذیه‌ای و محافظتی ضروری است. *Lactobacillus acidophilus* و *Lactobacillus fermentum* لاکتوباسیلوس‌های غالب در روده انسان هستند (Chen et al., 2009). *Lactobacillus fermentum* مهم‌ترین گونه هتروفرمانتیبو لاکتوباسیلوس‌ها است که به‌طور گسترده در تخمیرهای صنعتی و کشت‌های آغازگر در صنایع لبنی استفاده می‌شود (El-Ghaish et al., 2010). حره یا آش‌کارده به‌عنوان یک غذای تخمیری در منطقه جنوب غرب زاگرس شناخته شده است که با استفاده از گیاه محلی کاردین، آرد گندم، دوغ و برنج تهیه می‌شود (Vasiee et al., 2018). *Lactobacillus fermentum* در محصولات لبنی، فاضلاب، کود، سبزی‌های تخمیر شده، دهان و مدفوع انسان یافت می‌شود. در سال ۲۰۱۳ به‌عنوان یک ارگانسیم ایمن و GRAS توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده (FDA) معرفی شد. این میکروارگانسیم معمولاً از تمام قسمت‌های دستگاه گوارش انسان‌های سالم جدا می‌شود. مطالعات اخیر گزارش داده‌اند که *Lactobacillus fermentum* یکی از پروبیوتیک‌هایی است که کمتر مورد مطالعه قرار گرفته، در حالی که اثرات سودمند بسیاری بر سلامتی انسان دارد (Zhao et al., 2019).

1 Generally Recognized as Safe

2 Annealing

۱۰۰ میکرو لیتر از آن روی محیط MRS Agar کشت سطحی داده شد. بعد از این مرحله دیسک‌های آنتی‌بیوتیک جنتامایسین ($10\mu\text{g}$)، تتراسایکلین ($30\mu\text{g}$)، پنی‌سیلین ($10\mu\text{g}$) و کلرامفنیکل ($10\mu\text{g}$)، توسط پنس استریل روی محیط کشت قرار داده شد و با کمی فشار ثابت گردیدند. پلیت‌ها در جار بی‌هوازی در دمای 37°C درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شدند و بعد از گذشت ۲۴ ساعت قطر هاله عدم رشد در اطراف دیسک‌های آنتی‌بیوتیک با خط‌کش اندازه‌گیری شده و نتایج بر حسب میلی‌متر گزارش شد (Anisimova and Yarullina, 2019).

آزمون ضد میکروبی

برای ارزیابی فعالیت ضد میکروبی سویه *Lactobacillus fermentum* از روش نقطه‌گذاری (Lawn on the spot) استفاده شد. ابتدا سویه مورد آزمایش بر محیط MRS Agar کشت داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در جار بی‌هوازی گرمخانه‌گذاری گردید. سپس از کلنی‌های که در محیط MRS Agar رشد یافته به محیط MRS Broth تلقیح گردید و در جار بی‌هوازی در دمای 37°C درجه سانتی‌گراد برای ۲۴ ساعت انکوبه‌گذاری شد. ۵ میکرو لیتر از سوسپانسیون میکروبی روی سطح محیط کشت نقطه گذاری گردید و در دمای 37°C درجه سانتی‌گراد در جار بی‌هوازی به مدت ۲۴ ساعت انکوبه شد. پس از رشد سویه، سطح محیط کشت توسط یک لایه آگار نرم (حدود ۱۰ سی‌سی که به میزان ۲۵ درصد با میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا شاخص تلقیح شده بود) پوشانده شد. در ادامه پلیت‌ها در دمای رشد میکروارگانیزم‌های شاخص به مدت ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. وجود هاله‌های شفاف در اطراف نقاط تلقیح شده با *Lactobacillus fermentum* نشان‌دهنده عدم رشد میکروارگانیزم‌های شاخص و در نتیجه فعالیت ضد میکروبی ایزوله بود (Yin and Zheng, 2005).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش تجزیه واریانس یک طرفه و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گردید. برای مقایسه میانگین‌ها از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی pHهای مختلف بر درصد زنده‌مانی *Lactobacillus fermentum* در جدول ۱، آورده شده است. نتایج نشان داد که این باکتری در $\text{pH}=2/5$ توانایی بقا را ندارد ولی توانست در $\text{pH}=3/5$ و $\text{pH}=5/5$ به ترتیب به میزان ۹۲٪ و ۹۹٪ زنده‌مانی داشته

Lactobacillus fermentum در محیط MRS Broth تلقیح شد و در 37°C درجه سانتی‌گراد در شرایط بی‌هوازی گرمخانه‌گذاری شد. بعد از ۲۴ ساعت ۲۰ میلی لیتر از سوسپانسیون میکروبی به لوله فالكون استریل انتقال داده شد. سلول‌های باکتری به وسیله سانتریفیوژ یخچال‌دار مدل (Hermle) ساخت کشور آلمان به مدت ۵ دقیقه در دمای 4°C درجه سانتی‌گراد با سرعت 9000g از محیط کشت جدا شدند. به منظور حذف کامل محیط کشت، رسوب باکتری توسط محلول بافر فسفات استریل (شرکت Bioidea) شست و شو گردید. مجدداً محتویات فالكون سانتریفیوژ شده و مایع رویی دور ریخته شد. رسوب تشکیل شده توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (Biowave II, Wp)، انگلستان) به‌میزانی که در طول موج ۶۰۰ نانومتر، دارای جذب $0/6$ باشد در بافر فسفات استریل حل گردید. سپس ۵۰ میکرو لیتر از سوسپانسیون میکروبی تهیه شده در ۴ میکرو تیوپ حاوی 450 میکرو لیتر بافر فسفات اسیدی استریل دارای pHهای مختلف ($2/5$ ، $3/5$ و 5) تلقیح شد و بعد از $2/5$ ساعت گرمخانه‌گذاری در شرایط بی‌هوازی و دمای 37°C درجه سانتی‌گراد، برای هر کدام از نمونه‌ها رقت‌های سریالی با استفاده از بافر فسفات استریل تا 10^{-1} تهیه شد. از رقت‌های به‌دست آمده، روی محیط کشت MRS Agar کشت سطحی داده شد و پلیت‌ها در دمای 37°C درجه سانتی‌گراد و در شرایط بی‌هوازی گرمخانه‌گذاری شدند و بعد از ۲۴ ساعت کلنی‌های تشکیل شده بر سطح محیط کشت توسط کلنی‌کانت شمارش گردیده و با مقایسه با نمونه کنترل درصد زنده‌مانی سویه *Lactobacillus fermentum* محاسبه شد.

آزمون مقاومت به صفرا

در این روش پس از فعال‌سازی سویه مورد آزمایش در محیط MRS Broth (گرمخانه‌گذاری به مدت ۲۴ ساعت در دمای 37°C درجه سانتی‌گراد) سوسپانسیون میکروبی مورد نظر به مدت ۵ دقیقه با دور 9000g در دمای 4°C درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. با حذف محیط کشت، رسوب باقی مانده با محلول بافر فسفات استریل شست و شو و دوباره سانتریفیوژ شد. ۱۰۰ میکرو لیتر از سوسپانسیون میکروبی تهیه شده بر محیط‌های MRS Agar حاوی $0/2$ ، $0/5$ ، $0/8$ ، $1/2$ و 3 درصد از نمک صفراوی کشت داده شد. پلیت‌ها به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور با دمای 37°C درجه سانتی‌گراد تحت شرایط بی‌هوازی گرمخانه‌گذاری شدند. پس از اتمام مدت زمان گرمخانه‌گذاری، نتایج به‌صورت چشمی مشاهده شد (Leite et al., 2015).

آزمون حساسیت به آنتی‌بیوتیک‌ها

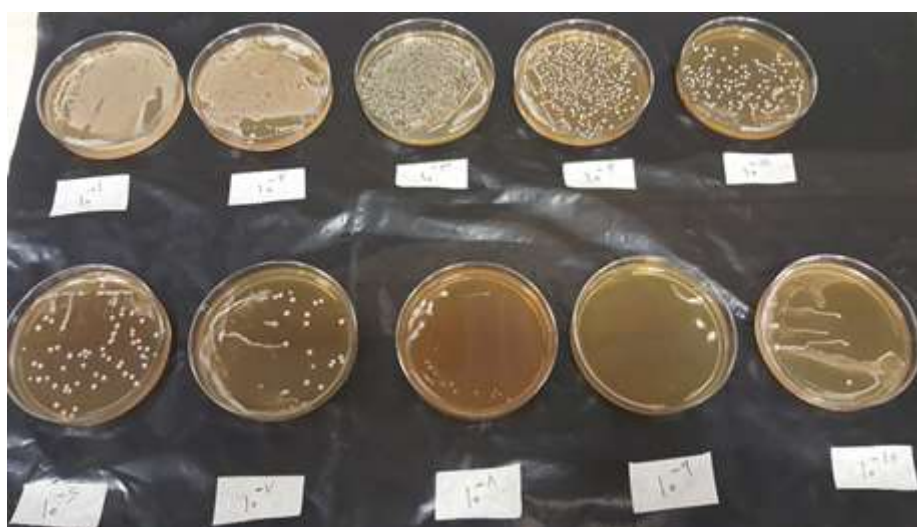
به‌منظور بررسی حساسیت *Lactobacillus fermentum* نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های رایج درمانی، ابتدا از کشت جامد ۲۴ ساعت میکروارگانیزم، سوسپانسیونی معادل استاندارد نیم مک فارلند تهیه و

باشد. در شکل ۱، نمایی از رشد *Lactobacillus fermentum* در رقت‌های مختلف (10^{-1} تا 10^{-10}) نشان داده شده است. نتایج بررسی مقاومت به نمک صفراوی در جدول ۲، آورده شده است. نتایج نشان داد که *Lactobacillus fermentum* نسبت به غلظت‌های مختلف نمک‌های صفراوی مقاومت خوبی دارد. در این پژوهش رشد سویه مورد آزمایش با افزایش درصد نمک صفراوی، به صورت تدریجی کاهش یافت. به صورتی که در غلظت ۲۰ درصد بیشترین رشد و در غلظت ۳ درصد کمترین رشد باکتری مشاهده شد.

نتایج مربوط به اثر آنتی‌بیوتیک‌های کلرامفنیکل، جنتامایسین، تتراسایکلین و پنی‌سیلین بر میزان رشد باکتری *Lactobacillus fermentum* در جدول ۳، آورده شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که *Lactobacillus fermentum* نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های کلرامفنیکل، تتراسایکلین و پنی‌سیلین حساس و نسبت به جنتامایسین نیمه‌حساس بود (مقایسه با جدول CLSI^۱). نمایی از اثر آنتی‌بیوتیک تتراسایکلین بر باکتری *Lactobacillus fermentum* در شکل ۲، نشان داده شده است.

جدول ۱- اثر pHهای مختلف (۲/۵، ۳/۵ و ۵) بر درصد زنده مانی سویه *Lactobacillus fermentum*

باکتری / pH	۲/۵	۳/۵	۵
<i>Lactobacillus fermentum</i>	-	۹۲ درصد	۹۹ درصد



شکل ۱- نمایی از رشد *Lactobacillus fermentum* در رقت‌های مختلف (10^{-1} تا 10^{-10}).

جدول ۲- اثر غلظت‌های مختلف نمک صفراوی بر زنده مانی سویه *Lactobacillus fermentum*

باکتری / درصد نمک صفراوی	۰/۲	۰/۵	۰/۸	۱/۲	۳
<i>Lactobacillus fermentum</i>	+++++	++++	+++	++	+

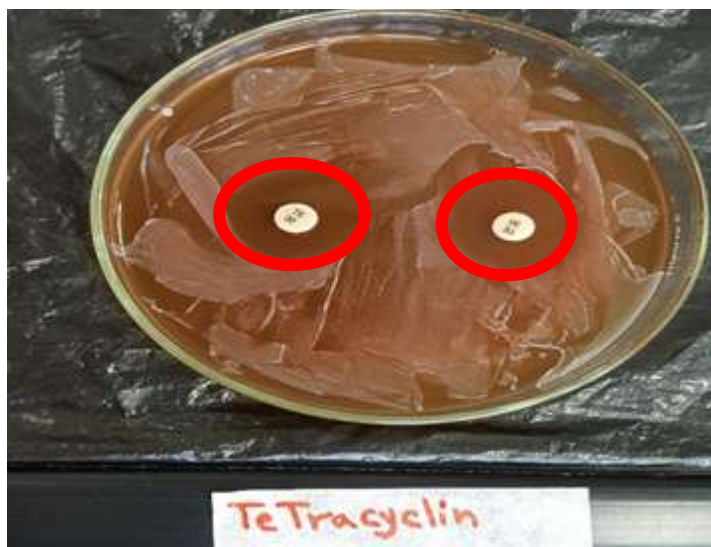
• +++++: بسیار زیاد، +++++: زیاد، ++++: نسبتاً زیاد، ++: متوسط، +: کم

جدول ۳- اثر آنتی‌بیوتیک‌های رایج درمانی بر رشد *Lactobacillus fermentum* (بر حسب میلی‌متر)

پنی‌سیلین	تتراسایکلین	جنتامایسین	کلرامفنیکل	باکتری / آنتی‌بیوتیک
$25/50 \pm 0/68^a$	$21/00 \pm 0/50^c$	$13/50 \pm 0/55^b$	$25/50 \pm 0/41^a$	<i>Lactobacillus fermentum</i>

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می باشد.

¹ Clinical and laboratory standards institute



شکل ۲- نمایی از اثر آنتی‌بیوتیک تتراسایکلین بر باکتری *Lactobacillus fermentum*.

بازدارندگی قابل قبولی داشت. قطر هاله بازدارندگی برای *Listeria innocua*، *Staphylococcus aureus* و *Pseudomonas aeruginosa* به ترتیب ۱۲/۶۰، ۲۰ و ۱۱/۱۰ میلی‌متر بود. بیشترین قطر هاله عدم رشد بر باکتری گرم مثبت *Staphylococcus aureus* مشاهده شد.

نتایج حاصل از بررسی اثر ضد میکروبی سویه *Lactobacillus fermentum* بر باکتری‌های *Listeria innocua*، *Staphylococcus aureus* و *Pseudomonas aeruginosa* به روش نقطه‌گذاری یا lawn on the spot در جدول ۴، آورده شده است. نتایج نشان داد که سویه مورد نظر بر باکتری‌های بیماری‌زا اثر

جدول ۴- قطر هاله بازدارندگی *Lactobacillus fermentum* بر باکتری‌های بیماری‌زای *Listeria innocua*، *Staphylococcus aureus* و

Pseudomonas aeruginosa بر حسب میلی‌متر			
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Listeria innocua</i>	باکتری
۱۱/۱۰±۰/۳۵ ^b	۲۰/۰۰±۰/۵۰ ^a	۱۲/۶۰±۰/۶۱ ^b	<i>Lactobacillus fermentum</i>

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

آبکافت‌کننده خود اثرات نامطلوب آن‌ها را کاهش می‌دهند (توکلی و همکاران، ۱۳۹۵؛ طباطبایی یزدی و همکاران، ۱۳۹۴). Paniker و همکاران (۲۰۱۸) اثر pHهای مختلف (۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵ و ۶/۵) و نمک‌های صفراوی را بر سویه‌های مختلف *Lactobacillus fermentum* مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران گزارش کردند که سویه‌های مختلف می‌توانند pH کم و همچنین غلظت صفرا را با حداقل از دست دادن تعداد سلول تحمل کنند. García و همکاران (۲۰۱۷)، مشاهده کردند سویه *Lactobacillus fermentum* UCO-979C در pH=۳ رشد کرده و بعد از ۲۴ ساعت به میزان $10^6 \times 4/5$ زنده ماند اما در pH=۲ هیچ رشدی مشاهده نشد. نتایج این پژوهشگران با یافته‌های مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت. این پژوهشگران همچنین گزارش دادند که سویه‌ها نسبت به ۲ درصد نمک‌های صفراوی مقاوم بودند. Han و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی ویژگی‌های پروبیوتیکی باکتری‌های اسید لاکتیک جدا شده از سوسیس‌های خشک پرداختند. یکی از سویه‌های

تعیین میزان زنده بودن میکروارگانیسم‌های پروبیوتیکی در مواد غذایی و دستگاه گوارش یک ویژگی اساسی در انتخاب گونه‌هایی است که در تولید غذاهای پروبیوتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Soares et al., 2019; Alizadeh Behbahani et al., 2019). به همین دلیل این میکروارگانیسم‌ها باید اسیدیته، نمک‌های صفراوی و فشار اسمزی بالا را تحمل کنند تا در معده و روده کوچک دوام بیاورند (Reale et al., 2015). چندین مکانیسم در تنظیم مقاومت به اسید در باکتری‌های اسید لاکتیک وجود دارد که شامل: مسیرهای متابولیک مرکزی، پمپ پروتون، تغییرات ترکیب غشای سلولی و تراکم سلولی، ترمیم آسیب DNA و پروتئین و همچنین فرآیندهای خنثی‌سازی دخیل است (Wang et al., 2018). نمک‌های صفراوی با اختلال در دیواره سلولی باعث نابودی میکروارگانیسم‌ها می‌شوند. از این رو مقاومت به نمک‌های صفراوی یکی از ویژگی‌های مهم پروبیوتیک‌ها می‌باشد. این میکروارگانیسم‌ها با هیدرولیز نمک‌های صفراوی از طریق آنزیم‌های

ایزوله شده *Lactobacillus fermentum* بود. این باکتری در غلظت ۰/۳ درصد نمک صفرا و pHهای ۳ و ۸ قادر به زنده ماندن بود. نتایج این پژوهشگران با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت داشت. Tulumoglu و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای، سویه‌های *Lactobacillus fermentum* جدا شده از پنیر را در pHهای مختلف (۲، ۲/۵ و ۳) مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد سویه‌ها در pH=۲ قادر به زنده ماندن نبودند ولی تمام سویه‌ها توانایی رشد در pH=۳ را داشتند. همچنین دو گونه از ۷ گونه مورد بررسی شده در pH=۲/۵ مقاوم بودند. آن‌ها مشاهده کردند همه سویه‌های مورد آزمایش در غلظت ۰/۲۵ درصد نمک صفراوی رشد کرده ولی با افزایش غلظت نمک صفراوی، رشد باکتری‌های مورد نظر به صورت تدریجی کاهش یافت. مقایسه نتایج این پژوهشگران تا حدودی مشابه به مطالعه حاضر بود. Bao و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که سویه‌های مختلف *Lactobacillus fermentum* جدا شده از فرآورده‌های لبنی سنتی قادر به زنده ماندن در غلظت‌های مختلف صفرا هستند و با افزایش غلظت نمک صفرا رشد سویه‌ها به صورت تدریجی کاهش یافت. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که بیشتر گونه‌ها در شرایط اسیدی pH=۳ رشد خوبی داشتند. در حالی که در pH=۲ تنها یک گونه توانست به میزان ۵۳/۷ درصد زنده بماند. نتایج این پژوهشگران مشابه با یافته‌های مطالعه حاضر بود.

توانایی ضد میکروبی برای پروبیوتیک‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا سویه پروبیوتیک باید توانایی سرکوب رشد باکتری‌های بیماری‌زای احتمالی را داشته باشد (Mallappa et al., 2019). اثر ضدباکتریایی باکتری‌های اسید لاکتیک بیشتر مربوط به متابولیت‌هایی نظیر اسیدهای آلی (عمدتاً اسیدهای لاکتیک، استیک، پروپیونیک، سوربیک و بنزواتیک)، پراکسید هیدروژن، دی‌استیل، اتانول، فنول‌ها و ترکیبات پروتئینی است که در هنگام رشد تولید می‌کنند. علاوه بر این، برخی از سویه‌های باکتری‌های اسید لاکتیک قادر به تولید باکتریوسین‌ها هستند که فعالیت ضدباکتریایی قابل توجهی دارند (Yang et al., 2018). در شرایط بدن سویه‌های پروبیوتیک با یک مکانیسم حذف رقابتی با میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا برای محل‌های اتصال و مواد مغذی رقابت می‌کنند و از تکثیر باکتری‌های بیماری‌زا جلوگیری می‌کنند (Cui et al., 2018). ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۷)، گزارش دادند ترکیبات شبه باکتریوسینی تولید شده توسط *Lactobacillus fermentum* جدا شده از چال (فرآورده تخمیری سنتی شیر شتر) دارای فعالیت ضد میکروبی قابل قبولی بود. جلالوند و همکاران (۱۳۹۵)، در مطالعه‌ای که به تعیین برخی ویژگی‌های پروبیوتیکی جدایه‌های لاکتیکی سالاد زمستانی پرداخته بودند گزارش دادند قطر هاله‌های بازدارندگی از رشد *Lactobacillus fermentum* در برابر *Listeria innocua* و *Staphylococcus aureus* به ترتیب ۱۳ و ۱۲ میلی‌متر بود. نتایج این پژوهشگران با یافته‌های مطالعه حاضر

تا حدودی هم‌خوانی داشت. طباطبایی یزدی و همکاران (۱۳۹۴)، بیان کردند که باکتری‌های اسید لاکتیک استخراج شده از کیمچی از جمله *Lactobacillus fermentum* فعالیت ضدباکتری خوبی در برابر باکتری‌های بیماری‌زا نشان داد. قطر هاله عدم رشد برای *Listeria innocua* و *Staphylococcus aureus* به ترتیب ۱۱/۱۰ و ۱۸/۲۰ بود که با نتایج این مطالعه مطابقت داشت. نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با یافته‌های پژوهش (Falah et al., 2019) مطابقت داشت. این پژوهشگران نشان دادند که سویه *Lactobacillus fermentum* دارای فعالیت بازدارندگی از رشد باکتری‌های بیماری‌زا گرم منفی و گرم مثبت از جمله *Pseudomonas aeruginosa* و *Staphylococcus aureus* بود. اثر ضد میکروبی این سویه در مقابل *Staphylococcus aureus* نسبت به *Pseudomonas aeruginosa* بیشتر بود. این نتیجه را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که مکانیسم‌های فعالیت ضد میکروبی بر باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت متفاوت هستند. در باکتری‌های گرم منفی، مکانیسم نابودی باکتریایی بر اساس تولید اسیدهای آلی، پر اکسید هیدروژن، دی اکسید کربن و اسیدهای چرب هیدروکسی است. در باکتری‌های گرم مثبت مربوط به باکتریوسین‌های حساس به پروتئاز است. Shokri و همکاران (۲۰۱۸) لاکتوباسیلوس‌های مختلف از لبنیات محلی را جمع‌آوری کرده و اثر ضد میکروبی و آنتی‌بیوتیکی آن‌ها را بر سویه‌های مختلف *Pseudomonas aeruginosa* بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند دو سویه *Lactobacillus fermentum* بیشترین اثر ضد میکروبی را در برابر تمامی سویه‌های *Pseudomonas aeruginosa* داشت.

مقاومت آنتی‌بیوتیکی با سرعت نگران‌کننده‌ای در حال توسعه است و به یک نگرانی رو به رشد در زمینه بهداشت عمومی تبدیل شده است. برخی از باکتری‌های اسید لاکتیک در برابر یک یا چند آنتی‌بیوتیک مقاوم هستند. مقاومت آنتی‌بیوتیکی ممکن است به‌طور طبیعی اتفاق بیفتد یا توسط مکانیسم‌های ژنتیکی مانند انتقال ژن از طریق پلاسمیدها یا ترانسپوزون‌ها حاصل شود (Alizadeh Behbahani et al., 2019). انتقال ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک بین گونه‌های مختلف باکتری‌های اسید لاکتیک گزارش شده است. از این جهت نگرانی‌هایی برای استفاده از این باکتری‌ها در مواد غذایی وجود دارد (Guo et al., 2017). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که *Lactobacillus fermentum* نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های کلرامفنیکل، تتراسایکلین، پنی سیلین حساس و نسبت به جنتامایسین نیمه حساس بود. de Souza و همکاران (۲۰۱۹)، پتانسیل پروبیوتیکی سویه‌های *Lactobacillus casei* و *Lactobacillus fermentum* از پنیر موزارلا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد همه سویه‌ها حساس به آمپی‌سیلین، اریترومایسین، کلیندامایسین، تتراسایکلین و کلرامفنیکل بودند. با این حال، همه سویه‌ها در برابر ونکوماایسین مقاوم بودند. درصد مقاومت *Lactobacillus casei*

نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان بیان کرد که *Lactobacillus fermentum* توانایی تحمل pHهای کم و غلظت‌های مختلف نمک صفراوی را داشت. این باکتری قابلیت خوبی در مهار باکتری‌های بیماری‌زا از خود نشان داد. همچنین نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های رایج درمانی دارای حساسیت بود و از این رو نگرانی از جهت انتقال ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک به باکتری‌های بیماری‌زا وجود ندارد. در ادامه لازم است آزمون‌های بیشتری در شرایط برون‌تنی و درون‌تنی شامل چسبیدن به سلول‌های اپیتلیال روده، تولید باکتریوسین، بررسی اثر سویه بر سطوح کلسترول و قند خون در مدل حیوانی و غیره نیز انجام گردد تا بتوان از این باکتری به‌عنوان یک پروبیوتیک و یک نگهدارنده طبیعی در تولید فرآورده‌های غذایی فراسودمند استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد می‌باشد، لذا نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل حمایت‌های مادی و معنوی صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

نسبت به کانامایسین قابل ملاحظه (۸۵ درصد) بود و فقط دو گونه حساسیت نسبی نشان دادند. ۲۹٪ از سویه‌های *Lactobacillus fermentum* به کانامایسین مقاوم بوده و بقیه نیز نسبتاً حساس بوده اند. نتایج این پژوهشگران تا حدود زیادی با یافته‌های مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت. در مطالعه‌ای که توسط Palaniyandi و همکاران (۲۰۱۹)، بر ویژگی‌های پروبیوتیکی *Lactobacillus MJM60397 fermentum* انجام گرفت مشخص شد این گونه نسبت به همه آنتی‌بیوتیک‌های مورد استفاده به جز جنتامایسین و کانامایسین حساس بود. Asan-Ozusaglam و Gunyakti (۲۰۱۹) گزارش دادند که گونه‌های *Lactobacillus fermentum* جدا شده از شیر مادر به آموکسی‌سیلین، اریترومایسین، آمپی‌سیلین و پنی‌سیلین حساس بودند و نسبت به کلرامفنیکول حساسیت نسبی داشتند. همچنین این پژوهشگران گزارش کردند که سویه‌های ایزوله شده در برابر آمیکاسین، جنتامایسین، کانامایسین، نالیدیکسیک اسید، افلوکاسین و کلوکساسیلین مقاومت نشان دادند. Boricha و همکاران (۲۰۱۹) مقاومت آنتی‌بیوتیکی سویه‌های *Lactobacillus fermentum* با منشاء غذایی و انسانی را با روش انتشار دیسک مورد بررسی قرار دادند و به نتایج مشابهی رسیدند. نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با یافته‌های مطالعه Vasiee و همکاران (۲۰۱۸)، مطابقت داشت.

منابع

- ابراهیمی، م.، خمیری، م.، مسعودی‌نژاد، ع.، صادقی، ع.، صادقی، ب.، کاشانی‌نژاد، م.، ۱۳۹۷. ارزیابی خواص ضد میکروبی ترکیبات شبه باکتریوسینی لاکتوباسیلوس فرمنتوم جدا شده از چال. فصلنامه میکروبیولوژی کاربردی در صنایع غذایی، ۱(۱)، ۱-۱۳.
- توکلی، م.، حمیدی اصفهانی، ز.، حجازی، ا.، عزیزی، م.، عباسی، س.، ۱۳۹۵. توانایی پروبیوتیکی سویه‌های لاکتوباسیلوس جدا شده از پنیر محلی مازندران. فصلنامه علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۱۱(۴)، ۸۷-۹۶.
- جلالوند، ر.، شهیدی، ف.، مرتضوی، س.ع.، سعیدی، م.، طباطبایی یزدی، ف.، میلانی، ا.، ۱۳۹۵. بررسی اثر سطوح مختلف شلغم فرنگی در فرمولاسیون سالاد زمستانی (شوری) بر تنوع باکتری‌های اسید لاکتیک فرآورده و تعیین برخی ویژگی‌های پروبیوتیکی جدایه‌های لاکتیکی. مجله میکروبیولوژی کاربردی در صنایع غذایی، ۲(۳)، ۱-۱۸.
- خمیریان، ر.ا.، جوینده، ح.، حصاری، ج.، برزگر، ح.، ۱۳۹۶. بهینه‌سازی و بررسی خواص فیزیوشیمیایی، حسی و میکروبی نوشیدنی پروبیوتیک لیمویی تولید شده بر پایه تراوه. مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۳(۵)، ۸۳۰-۸۴۳.
- صادقی، ع.، ابراهیمی، م.، ۱۳۹۵. جداسازی، شناسایی مولکولی و ارزیابی ویژگی‌های پروبیوتیکی لاکتوباسیلوس‌های غالب در خمیر ترش آرد کامل گندم. مجله دنیای میکروب‌ها، ۹(۲)، ۱۳۳-۱۴۴.
- طباطبایی یزدی، ف.، وسیعی، ع.، علیزاده بهبهانی، ب.، مرتضوی، س.ع.، ۱۳۹۴. بررسی پتانسیل پروبیوتیکی باکتری‌های اسید لاکتیک جدا شده از کیمچی تولید شده در ایران. مجله دانشگاه علوم پزشکی قم، ۹(۵)، ۱۱-۲۲.
- طباطبایی یزدی، ف.، وسیعی، ع.، علیزاده بهبهانی، ب.، ۱۳۹۵. جداسازی و شناسایی فلور لاکتیکی کیمچی تولید شده در ایران بر پایه روش‌های بیوشیمیایی و مولکولی، مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۳(۵)، ۱-۱۴.
- Abushelaibi, A., Al-Mahadin, S., El-Tarabily, K., Shah, N. P., & Ayyash, M., 2017, Characterization of potential probiotic lactic acid bacteria isolated from camel milk. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 316-325.
- Alizadeh Behbahani, B., Noshad, M., Falah, F., 2019, Inhibition of *Escherichia coli* adhesion to human intestinal Caco-2 cells by probiotic candidate *Lactobacillus plantarum* strain L15. *Microbial Pathogenesis*, 136: 1-7.
- Anisimova, E. A., & Yarullina, D. R., 2019, Antibiotic Resistance of *Lactobacillus* Strains. *Current Microbiology*, 76(12), 1407-1416.

- Aoudia, N., Rieu, A., Briandet, R., Deschamps, J., Chluba, J., Jegu, G., & Guzzo, J., 2016, Biofilms of *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus fermentum*: Effect on stress responses, antagonistic effects on pathogen growth and immunomodulatory properties. *Food Microbiology*, 53, 51-59.
- Asan-Ozusaglam, M., & Gunyakti, A., 2019, *Lactobacillus fermentum* strains from human breast milk with probiotic properties and cholesterol-lowering effects. *Food Science and Biotechnology*, 28(2), 501-509.
- Bao, Y., Zhang, Y., Zhang, Y., Liu, Y., Wang, S., Dong, X., & Zhang, H., 2010, Screening of potential probiotic properties of *Lactobacillus fermentum* isolated from traditional dairy products. *Food Control*, 21(5), 695-701.
- Boricha, A. A., Shekh, S. L., Pithva, S. P., Ambalam, P. S., & Vyas, B. R. M., 2019, In vitro evaluation of probiotic properties of *Lactobacillus* species of food and human origin. *LWT-Food Science and Technology*, 106, 201-208.
- Chen, H., Xu, H., Heinze, T. M., & Cerniglia, C. E., 2009, Decolorization of water and oil-soluble azo dyes by *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus fermentum*. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 36(12), 1459.
- Cui, X., Shi, Y., Gu, S., Yan, X., Chen, H., & Ge, J., 2018, Antibacterial and antibiofilm activity of lactic acid bacteria isolated from traditional artisanal milk cheese from Northeast China against enteropathogenic bacteria. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 10(4), 601-610.
- de Almeida Júnior, W. L. G., da Silva Ferrari, Í., de Souza, J. V., da Silva, C. D. A., da Costa, M. M., & Dias, F. S., 2015, Characterization and evaluation of lactic acid bacteria isolated from goat milk. *Food Control*, 53, 96-103.
- de Souza, B. M. S., Borgonovi, T. F., Casarotti, S. N., Todorov, S. D., & Penna, A. L. B., 2019, *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus fermentum* strains isolated from mozzarella cheese: probiotic potential, safety, acidifying kinetic parameters and viability under gastrointestinal tract conditions. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 11(2), 382-396.
- El-Ghaish, S., Dalgalarondo, M., Choiset, Y., Sitohy, M., Ivanova, I., Haertlé, T., & Chobert, J. M., 2010, Characterization of a new isolate of *Lactobacillus fermentum* IFO 3956 from Egyptian Ras cheese with proteolytic activity. *European Food Research and Technology*, 230(4), 635-643.
- Falah, F., Vasiee, A., Behbahani, B. A., Yazdi, F. T., Moradi, S., Mortazavi, S. A., & Roshanak, S., 2019, Evaluation of adherence and anti-infective properties of probiotic *Lactobacillus fermentum* strain 4-17 against *Escherichia coli* causing urinary tract infection in humans. *Microbial Pathogenesis*, 131, 246-253.
- García, A., Navarro, K., Sanhueza, E., Pineda, S., Pastene, E., Quezada, M., & González, C., 2017, Characterization of *Lactobacillus fermentum* UCO-979C, a probiotic strain with a potent anti-*Helicobacter pylori* activity. *Electronic Journal of Biotechnology*, 25, 75-83.
- Guo, H., Pan, L., Li, L., Lu, J., Kwok, L., Menghe, B., ... & Zhang, W., 2017, Characterization of antibiotic resistance genes from *Lactobacillus* isolated from traditional dairy products. *Journal of Food Science*, 82(3), 724-730.
- Han, Q., Kong, B., Chen, Q., Sun, F., & Zhang, H., 2017, In vitro comparison of probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from Harbin dry sausages and selected probiotics. *Journal of Functional Foods*, 32, 391-400.
- Kumar, R., Sharma, A., Gupta, M., Padwad, Y., & Sharma, R., 2019, Cell-Free Culture Supernatant of Probiotic *Lactobacillus fermentum* Protects Against H₂O₂-Induced Premature Senescence by Suppressing ROS-Akt-mTOR Axis in Murine Preadipocytes. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 1-14.
- Leite, A. M., Miguel, M., Peixoto, R., Ruas-Madiedo, P., Paschoalin, V., Mayo, B., & Delgado, S., 2015, Probiotic potential of selected lactic acid bacteria strains isolated from Brazilian kefir grains. *Journal of Dairy Science*, 98(6), 3622-3632.
- Mallappa, R. H., Singh, D. K., Rokana, N., Pradhan, D., Batish, V. K., & Grover, S., 2019, Screening and selection of probiotic *Lactobacillus* strains of Indian gut origin based on assessment of desired probiotic attributes combined with principal component and heatmap analysis. *LWT-Food Science and Technology*, 105, 272-281.
- Oliveira, J. S., Costa, K., Acurcio, L. B., Sandes, S. H. C., Cassali, G. D., Uetanabaro, A. P. T., & Porto, A. L. F., 2018, In vitro and in vivo evaluation of two potential probiotic lactobacilli isolated from cocoa fermentation (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Functional Foods*, 47, 184-191.
- Palaniyandi, S. A., Damodharan, K., Suh, J. W., & Yang, S. H., 2019, Probiotic Characterization of Cholesterol-Lowering *Lactobacillus fermentum* MJM60397. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 1-12.
- Panicker, A. S., Ali, S. A., Anand, S., Panjagari, N. R., Kumar, S., Mohanty, A. K., & Behare, P. V., 2018, Evaluation of some in vitro probiotic properties of *Lactobacillus fermentum* Strains. *Journal of Food Science and Technology*, 55(7), 2801-2807.
- Reale, A., Di Renzo, T., Rossi, F., Zotta, T., Iacumin, L., Preziuso, M., & Coppola, R., 2015, Tolerance of *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus paracasei* and *Lactobacillus rhamnosus* strains to stress factors encountered in food processing and in the gastro-intestinal tract. *LWT-Food Science and Technology*, 60(2), 721-728.
- Ruiz-Moyano, S., dos Santos, M. T. P. G., Galván, A. I., Merchán, A. V., González, E., de Guía Córdoba, M., & Benito, M. J., 2019, Screening of autochthonous lactic acid bacteria strains from artisanal soft cheese: probiotic characteristics and prebiotic metabolism. *LWT-Food Science and Technology*, 114, 108388.
- Saad, N., Delattre, C., Urdaci, M., Schmitter, J. M., & Bressollier, P., 2013, An overview of the last advances in probiotic and prebiotic field. *LWT-Food Science and Technology*, 50(1), 1-16.

- Seddik, H. A., Bendali, F., Gancel, F., Fliss, I., Spano, G., & Drider, D., 2017, Lactobacillus plantarum and its probiotic and food potentialities. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 9(2), 111-122.
- Sharma, R., Kumari, M., Kumari, A., Sharma, A., Gulati, A., Gupta, M., & Padwad, Y., 2019, Diet supplemented with phytochemical epigallocatechin gallate and probiotic Lactobacillus fermentum confers second generation synbiotic effects by modulating cellular immune responses and antioxidant capacity in aging mice. *European Journal of Nutrition*, 1-15.
- Shokri, D., Khorasgani, M. R., Mohkam, M., Fatemi, S. M., Ghasemi, Y., & Taheri-Kafrani, A., (2018), The inhibition effect of lactobacilli against growth and biofilm formation of Pseudomonas aeruginosa. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 10(1), 34-42.
- Soares, M. B., Martinez, R. C., Pereira, E. P., Balthazar, C. F., Cruz, A. G., Ranadheera, C. S., & Sant'Ana, A. S., 2019, The resistance of Bacillus, Bifidobacterium, and Lactobacillus strains with claimed probiotic properties in different food matrices exposed to simulated gastrointestinal tract conditions. *Food Research International*, 125, 108542.
- Tulumoglu, Ş., Kaya, H. İ., & Şimşek, Ö., 2014, Probiotic characteristics of Lactobacillus fermentum strains isolated from tulum cheese. *Anaerobe*, 30, 120-125.
- Vasiee, A., Alizadeh Behbahani, B., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., & Noorbakhsh, H., 2018, Diversity and probiotic potential of lactic acid bacteria isolated from horreh, a traditional Iranian fermented food. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 10(2), 258-268.
- Wang, C., Cui, Y., & Qu, X., 2018, Mechanisms and improvement of acid resistance in lactic acid bacteria. *Archives of microbiology*, 200(2), 195-201.
- Yang, J., Wang, J., Yang, K., Liu, M., Qi, Y., Zhang, T., & Wei, X., 2018, Antibacterial activity of selenium-enriched lactic acid bacteria against common food-borne pathogens in vitro. *Journal of Dairy Science*, 101(3), 1930-1942.
- Yin, Q. and Zheng, Q., 2005, Isolation and identification of the dominant Lactobacillus in gut and faeces of pigs using carbohydrate fermentation and 16S rDNA analysis. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 99(1), pp.68-71.
- Zhao, Y., Hong, K., Zhao, J., Zhang, H., Zhai, Q., & Chen, W., 2019, Lactobacillus fermentum and its potential immunomodulatory properties. *Journal of Functional Foods*, 56, 21-32.



Evaluation of probiotic and antibacterial properties of *Lactobacillus fermentum* SL163-4

S. Momenzadeh¹, H. Jooyandeh^{*2}, B. Alizadeh Behbahani³, H. Barzegar²

Received: 2019.12.29

Accepted: 2020.02.22

Introduction: Probiotics are live microorganisms, if consumed in enough quantity, they exert beneficial effects on human health owing to improvement of intestinal microbiota balance. In addition to the impact on gut microbiota, probiotics have important role on human physical and mental health. This matter demonstrates the increasing emphasis on the consumption of diet based on probiotics in order to treat and prevent of different chronic diseases, particularly those related to stress and inflammation cases. Lactic acid bacteria (LAB) are the most common strains used as probiotics. They are useful member of gut microbiota and belong to generally regarded as safe (GRAS) microorganisms. Because of the numerous benefits of LAB, the probiotic potential of different strains of this group of bacteria has been assessed broadly. Although various commercial species of probiotics are available in the market, determination of new strains with individual properties is noteworthy. Therefore, this research was aimed to investigate the probiotic and antimicrobial potential of *Lactobacillus fermentum* isolated from fermented food.

Materials and methods: In the study, the probiotic potential of *Lactobacillus fermentum* including its resistance to acid (pH 2.5, 3.5 and 5.5) and bile salts (0.2, 0.5, 0.8, 1.2 and 3%) was studied. To evaluate the bile salts resistance, 100 µl of prepared microbial suspension was cultured on MRS Agar media containing bile salts. Plates were incubated at 37 °C for 24 hrs under anaerobic condition. After incubation period, the plates were inspected for bacterial colonies observed by naked eyes. The antimicrobial activity was measured using "Lawn on the spot" method against *Listeria innocua*, *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. The resistance of *Lactobacillus fermentum* was also assessed against commonly used antibiotic drugs (*chloramphenicol*, tetracycline, penicillin and gentamycin).

Results and discussions: Results shown that although *Lactobacillus fermentum* was not able to grow at pH 2.5, its viability in the pH 3.5 and 5.5 was 92 and 99%, respectively. This strain had also adequate resistance against different bile salt concentrations. In the present research, the growth rate of the examined strains was gradually reduced as the bile salt concentration was increased; so that the higher and the lower growth rate was observed at 0.2 and 3% bile salt concentrations, respectively. Results shown that the tested *Lactobacillus fermentum* had acceptable bacteriostatic effect on the selected pathogenic bacteria. The inhibition zone diameter for *Listeria innocua*, *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* was 12.6, 20 and 11.1 mm, respectively. The maximum diameter of inhibition zone was found on gram positive *Staphylococcus aureus*. *Lactobacillus fermentum* was susceptible to *chloramphenicol*, tetracycline and penicillin and was semi-resistant to gentamycin (comparison with table CLSI).

Based on the obtained results in this study, it may be illustrated that *Lactobacillus fermentum* had capability to tolerate the lower pH and different bile salt concentrations. This strain showed the proper proficiency to inhibit pathogenic bacteria. Furthermore, it was susceptible to commonly used antibiotic drugs and therefore there is no concern about the transfer of antibiotic resistant gens into pathogenic bacteria. Consequently, this strain may be used as a probiotic and a natural preservative in production of functional food products.

Keywords: *Lactobacillus fermentum*, Acid resistance, Bile salt resistance, Commonly antibiotic drugs, Lawn on the spot method.

1. M.Sc. student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

(* Corresponding author: hosjooy@asnrukh.ac.ir)

مقاله پژوهشی

تاثیر کاربرد ایزوله پروتئین جوانه گندم بر ویژگی های فیزیکی، رئولوژیکی، بافت وحسی بستنی

هما ماهپور^۱ - تکت مستقیم^{۲*} - شهلا شهریاری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۳۰

چکیده

غنی سازی محصولات لبنی، خصوصا بستنی جهت تولید فرآورده های غذایی سلامتی بخش یکی از مهمترین اهداف و اولویت های بشر امروزی می باشد. ایزوله پروتئینی یکی از ترکیبات مورد استفاده به منظور تولید محصولات سلامتی بخش است. در این مطالعه، هدف تولید بستنی با ویژگی های جدید بر پایه یک ماده فراسودمند با جایگزینی جزئی ماده خشک با ایزوله پروتئین جوانه گندم می باشد. بنابراین ایزوله پروتئینی جوانه گندم با ترکیب درصد ۱، ۳ و ۵ استخراج و به بستنی اضافه شد. در قدم اول ایزوله پروتئینی توسط آزمون های درصد رطوبت، درصد چربی، خاکستر غیر محلول در اسید، اندازه ذرات و دانه بندی آرد مورد ارزیابی قرار گرفت. در گام دوم ایزوله پروتئینی جوانه گندم با ترکیب درصد ۱، ۳ و ۵ به بستنی اضافه شد و اثر آن بر روی ویژگی های رئولوژیکی، خصوصیات بافتی، رنگ، پارامترهای فیزیکوشیمیایی و حسی بستنی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که درصد رطوبت ایزوله پروتئینی و میزان درصد چربی به ترتیب عبارت بودند از 84.4 ± 0.4 و 11.34 ± 0.44 و همچنین میزان درصد خاکستر غیر محلول در اسید عبارت بود از 3.57 ± 0.23 . نتایج ارزیابی اندازه ذرات و دانه بندی آرد نیز عبارت بودند از 282 ± 0.01 . داده های آزمایشگاهی نمایشگر آن بود که با افزایش ایزوله پروتئین جوانه، ویسکوزیته، مقاومت در برابر ذوب شدن و شاخص حجم افزایی به طور معنی داری کاهش یافت. پارامترهای سختی و چسبندگی بافت، دانسیته، اندازه و قطر ذرات و همچنین توزیع آن ها و سطح مخصوص آن ها، شاخص های زردی و قرمزی به طور معنی داری افزایش یافت. با جمع بندی کلیه نتایج آزمایشگاهی و ارزیابی حسی نمونه ها مشخص شد که نمونه بستنی با یک درصد ایزوله پروتئینی جوانه گندم نمونه منتخب و بهینه می باشد.

واژه های کلیدی: ایزوله پروتئین جوانه گندم، بستنی، خصوصیات رئولوژیکی، بافت.

مقدمه

این محصول به دلیل کمبود اسیدهای چرب غیر اشباع، ترکیبات فنولیک و آنتی اکسیدانی در آن و تولید بستنی پروبیوتیک، پری بیوتیک و سین بیوتیک صورت گرفته است (Criscio et al., 2010). جوانه گندم فراورده جانبی حاصل از آسیاب گندم بوده و منبع عمده ویتامین ها و ترکیبات عملکردی مانند اسید فولیک، اسید فیتیک، گلوکاتئون، فیتواسترول، همچنین، مواد معدنی، فیبر رژیمی و فلاونوئیدها می باشد. با توجه به ارزش تغذیه ای بالا و ویژگی های عملکردی مناسب، متخصصان تغذیه، از جوانه گندم به عنوان "خزانه مغذی طبیعی و منبع زندگی بشر" یاد می کنند (Zhu et al., 2006). جوانه گندم حاوی حدود ۱۰ درصد روغن بوده که به طور عمده در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی، بهداشتی استفاده می شود. فرآورده جانبی مهم فرایند استخراج روغن، جوانه چربی گرفته نام دارد که مقدار نسبتا بالایی (حدود ۳۵ درصد) پروتئین دارد. پروتئین جوانه گندم، که غنی از پروتئین های

بستنی یکی از پرمصرف ترین دسرهای لبنی به شمار می رود و مصرف آن هر ساله در حال افزایش است. در ساخت این دسر لبنی از چربی، ماده خشک بدون چربی، شیر، شیرین کننده، پایدار کننده، امولسیفایر و طعم دهنده استفاده می شود (Bahramparvar et al., 2011). بستنی به دلیل دارا بودن شیر به عنوان یکی از ترکیبات اصلی، وجود ویتامین ها، املاح و مواد معدنی به عنوان یک ماده غذایی با ارزش تغذیه ای بالا شناخته می شود و ارزش تغذیه ای آن بستگی به مقدار پروتئین، چربی و مواد کربوهیدراتی به کار رفته در آن دارد. گرایش به مصرف غذاهای سالم و فراسودمند منجر به تولید محصولاتی با ارزش تغذیه ای بالا شده است. مواد غذایی با اثرات مثبت بر سلامت انسان و یا ارزش تغذیه ای بالای به عنوان غذاهای فراسودمند شناخته می شوند. در سال های اخیر تلاش های بسیاری در جهت بهبود ارزش تغذیه ای

(*)-نویسنده مسئول: (Email: toktammostaghim@yahoo.com
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.83950

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر قدس، تهران، ایران.
۳- دانشیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر قدس، تهران، ایران

به کارگیری ایزوله پروتئین جوانه گندم بر خصوصیات مورد ارزیابی انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

آرد جوانه گندم و چربی گیری

نمونه‌های جوانه گندم خالص فاقد سبوس در اثر تماس با حلال آلی متانول به مدت ۸ ساعت و طی هم زدن مداوم، چربی گیری و در دمای اتاق خشک شد و سپس جوانه گندم چربی گیری شده توسط آسیاب آزمایشگاهی آسیاب شد (Hassan et al., 2010).

ایزوله پروتئینی

از روش استخراج قلبایی و ترسیب اسیدی برای تهیه ایزوله پروتئینی استفاده شد. برای این منظور ابتدا سوسپانسیونی از آرد چربی گرفته جوانه گندم و محلول ۰/۵ مولار نمک طعام تهیه و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق مخلوط شد، پس از تنظیم pH به ۱۰ با استفاده از NaOH، ۰/۵ مولار و گذشت زمان ۳۰ دقیقه، سوسپانسیون حاصل در ۸۰۰۰ rpm به مدت ۲۰ دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی گراد، با استفاده از سانتریفوژ یخچال دار، سانتریفوژ گردید. محلول رویی جدا شد و به منظور ترسیب پروتئین‌ها، با استفاده از HCL، ۰/۵ مولار pH به ۴ تنظیم شد. پس از ۳۰ دقیقه، مجدداً سانتریفوژ انجام شده و رسوب‌های حاصل جدا شد و پس از خنثی کردن pH با استفاده از خشک‌کن انجمادی، خشک و سپس آسیاب شد (Hassan et al., 2010) و سپس آزمایشات لازم بر روی ایزوله پروتئینی جوانه گندم به هدف تعیین ویژگی‌های کیفی آن صورت گرفت.

ایزوله پروتئینی جوانه گندم

آزمون‌های جدول ۱ برای ارزیابی کیفیت ایزوله پروتئینی جوانه گندم صورت پذیرفت.

تهیه و فرمولاسیون بستنی

جهت تهیه بستنی، از شیر ۱۰ درصد چربی (شیوه استاندارد کردن با روش مربع پیرسون از شیر دو ونیم درصد چربی و خامه ۳۰ درصد چربی) که در کارخانه پاک تهیه گردید استفاده شد. بعد از آن توزین شیر و سایر اجزا و پیش حرارت در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد صورت گرفت و سپس فرمولاسیون مخلوط بستنی مطابق جدول ۲ تهیه گردید. در مرحله بعد پاستوریزاسیون در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد به مدت ۵ ثانیه صورت گرفت و در این مرحله ایزوله پروتئینی آرد جوانه گندم اضافه شد. سپس مخلوط حاصل مجدداً در دمای ۵۳ درجه سانتی گراد به مدت ۶۹ ثانیه پاستوریزه و سریعاً به کمک مخلوط سرمازا (یخ و نمک) تا دمای کمتر از ۹ درجه سانتی گراد سرد گردید. سپس عمل

محلول در آب و محلول در آب نمک می‌باشد، از ویژگی‌های عملکردی مطلوبی برخوردار است که آن را تبدیل به ترکیبی سودمند برای استفاده در فرآورده‌های غذایی مختلف کرده است. فعالیت امولسیفایری، توانایی بالای حفظ آب، کف‌کنندگی و حلالیت مناسب، از جمله این ویژگی‌های پروتئین جوانه گندم می‌باشند (Arshad et al., 2007; Gómez et al., 2012). جوانه گندم همچنین غنی از اسیدهای آمینه به‌ویژه اسیدهای آمینه ضروری که در بسیاری از دانه‌های غله‌ای کمیاب هستند، مانند لایزین، متیونین و ترئونین می‌باشد، به همین دلیل، یکی از منابع مهم و با ارزش پروتئین‌های گیاهی به‌شمار می‌رود (Arshad et al., 2007). ایزوله پروتئین جوانه گندم غنی از اسیدهای آمینه ضروری، به‌ویژه لیزین، متیونین و ترئونین است که در آن بسیاری از دانه‌های غلات بسیار کم است (Zhu et al., 2010).

ایزوله پروتئین گندم عمدتاً از آلبومین و گلوبولین تشکیل شده است. حلالیت بالا پروتئین، خواص امولسیون‌کنندگی مطلوب، ظرفیت تشکیل کف و آب‌گریزی پروتئین جوانه گندم این ماده را به یک ماده مفید برای استفاده در محصولات غذایی تبدیل کرده است. پروتئین جوانه گندم همچنین ممکن است در فرمولاسیون غذا برای افراد دارای آلرژی به گلوتن مفید باشد. از جمله خواص عملکردی عمده پروتئین جوانه گندم می‌توان به هیدراتاسیون، تشکیل فوم، بهبود خواص لایه‌ای خمیر لمینیت، بافت نرم و بدون طعم بودن آن اشاره نمود (Hassan et al., 2010).

اضافه نمودن ایزوله پروتئین جوانه گندم به عنوان یک ماده فراسودمند به بستنی، سبب افزایش ماده جامد بدون چربی در این محصول می‌شود و می‌تواند بر خصوصیات رئولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و حسی بستنی تاثیر داشته باشد. اگرچه به نظر می‌رسد استفاده از این ماده فراسودمند در مقادیر بالا می‌تواند علی‌رغم افزایش خصوصیات تغذیه‌ای بر خصوصیات حسی تاثیر نامطلوب بگذارد. همان‌طور که تحقیقات نشان داده است استفاده از منابع معمول ماده خشک بدون چربی شیر مانند شیر خشک بدون چربی در مقادیر بالا سبب ایجاد طعم نامطلوب می‌شود (Alvarez et al., 2005).

استفاده از ایزوله پروتئین جوانه گندم به عنوان منبع تامین‌کننده ماده خشک بدون چربی در بستنی، علاوه بر افزایش خواص تغذیه‌ای محصول می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های اقتصادی به دلیل قیمت پایین‌تر آن نسبت به شیر خشک بدون چربی و تولید محصولی جدید با مشخصات ویژه برای مصرف‌کنندگان شود. از این رو در این مطالعه، هدف تولید یک محصول با ویژگی‌های جدید برپایه یک ماده فراسودمند با جایگزینی جزئی ماده خشک با ایزوله پروتئین جوانه گندم می‌باشد. بنابراین ایزوله پروتئینی جوانه گندم استخراج و به بستنی اضافه شد و اثر آن بر روی دانسیته، ویسکوزیته، رئولوژی، ویژگی‌های بافتی و فیزیکوشیمیایی و حسی بستنی مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین یک آنالیز آماری برای تعیین معنی داری یا عدم معنی داری

و همکاران، ۱۳۸۰). کلیه تیمارها مطابق جدول ۲ به صورت زیر در کل این تحقیق نامگذاری و تعریف گردید:

T= تیمار بستنی شاهد

T1= تیمار بستنی دارای ۱ درصد آرد ایزوله پروتئین جوانه گندم

T2= تیمار بستنی دارای ۳ درصد آرد ایزوله پروتئین جوانه گندم

T3= تیمار بستنی دارای ۵ درصد آرد ایزوله پروتئین جوانه گندم

رسانیدن در ۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت در یخچال صورت پذیرفت. عملیات انجماد بستنی توسط یک بستنی‌ساز خانگی (فلر IC80، چین) به مدت تقریبی ۳۸ دقیقه صورت گرفت و در قالب‌های لیوانی شکل ۷۰ گرمی پر شدند و دربندی و کدگذاری گردیدند. پس از سخت شدن در دمای ۳۵- درجه سانتی‌گراد، در پایان در سردخانه با دمای ۲۵- درجه سانتی‌گراد جهت انجام آزمایشات قرار گرفتند (رضوی

جدول ۱- آزمون‌های ایزوله پروتئین جوانه گندم

روش	آزمون‌های ایزوله پروتئین
استاندارد ملی ایران به شماره ۲۷۰۵	ارزیابی میزان رطوبت آرد
استاندارد ملی ایران به شماره ۳۷	اندازه گیری درصد خاکستر غیرمحلول در اسید آرد
استاندارد بین‌المللی AACC-30-10	ارزیابی میزان چربی آرد
استفاده از الک‌هایی با اندازه مش ۱۸۰، ۱۲۵ و ۱۰۵ میکرومتر	اندازه‌گیری اندازه ذرات و دانه‌بندی آرد

جدول ۲- فرمولاسیون نمونه‌های بستنی وانیلی (درصد وزنی)

کد تیمار	شیر (۱۰٪ چربی)	پایدارکننده IC90	شیر خشک	پروتئین جوانه گندم	وانیل	شکر
T	۷۸/۵۲۸	۰/۴۰۰	۵/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۷۵	۱۶/۰۰۰
T1	۷۸/۵۲۸	۰/۴۰۰	۴/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۷۵	۱۶/۰۰۰
T2	۷۸/۵۲۸	۰/۴۰۰	۲/۰۰۰	۳/۰۰۰	۰/۰۷۵	۱۶/۰۰۰
T3	۷۸/۵۲۸	۰/۴۰۰	۰/۰۰۰	۵/۰۰۰	۰/۰۷۵	۱۶/۰۰۰

فولاد ضدزنگ با قطر ۲/۵ سانتی‌متر استفاده شد. پروب دستگاه با سرعت معادل ۳/۳ میلی‌متر بر ثانیه تا عمق ۱۵ میلی‌متری نمونه بستنی نفوذ نمود و ماکزیم نیروی تراکمی به عنوان تخمین سختی مورد نظر قرار گرفت.

سرعت ذوب

برای این منظور حدود ۵۰ گرم از نمونه بستنی به دقت توزین شد و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بر روی الک با مش ۱ میلی‌متری قرار گرفت. میزان نمونه ذوب شده هر ۳۰ دقیقه توزین شد. سرعت ذوب بر اساس میزان نمونه ذوب شده بر حسب زمان اندازه‌گیری شد و در سه تکرار صورت پذیرفت (Akalin et al., 2008).

متوسط قطر، توزیع اندازه و سطح مخصوص ذرات

اندازه‌گیری متوسط قطر، توزیع اندازه و سطح مخصوص ذرات با کمک دستگاه زتا سایزر (مالورن، آلمان) صورت پذیرفت. نمونه قبل از تزریق به دستگاه کاملاً همگن و اندازه‌گیری در دمای محیط انجام گرفت. میانگین قطر تحت عناوین عدد ساتر یا میانگین قطر سطح- وزن (d_{۳۲})، عدد دبروکر یا میانگین قطر حجم- وزن (d_{۴۳}) به دست آمد (Méndez-Velasco et al., 2011).

آزمون‌های بستنی

خصوصیات رئولوژیکی

به منظور اندازه‌گیری اثر سرعت برشی بر رفتار رئولوژیکی (نمودار تنش برشی-سرعت برشی) از ویسکومتر (بروکفیلد، DV3T، آمریکا) استفاده شد. اسپیندل مناسب بر اساس ویسکوزیته مخلوط انتخاب شده و مخلوط بستنی در کاپ دستگاه ریخته و توسط سیرکولاتور به دمای ۴°C رسانده شد. سپس دامنه مشخصی از سرعت برشی (S^{-1} ۲ تا S^{-1} ۵۰۰) اعمال شده و تنش برشی در هر یک از سرعت‌های برشی اندازه‌گیری شد (Akalin et al., 2008).

درصد حجم افزایی

درصد حجم‌افزایی با استفاده از روش وزن‌سنجی (با کمک ترازو) مطابق روش ارائه شده توسط Marshall و همکاران (۲۰۱۲) صورت پذیرفت. در این روش اختلاف وزن نمونه بستنی قبل و بعد از انجماد تعیین و بر وزن نمونه بعد از انجماد تقسیم میشود عدد حاصله در صد ضرب می‌شود و به این ترتیب درصد افزایش حجم گزارش می‌شود.

بافت

آنالیز بافت در دمای اتاق با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (M350-10CT، انگلستان) مطابق روش ارائه شده توسط Akalin و همکاران (۲۰۰۸) انجام پذیرفت. برای این منظور از پروب استوانه‌ای از جنس

pH

ارزیابی pH نمونه های بستنی با استفاده از pH متر دیجیتال (طب و فن ایلیا، ایران) در سه تکرار صورت پذیرفت.

درصد ماده خشک

درصد ماده خشک نمونه های بستنی با استفاده از روش ارائه شده در استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۹۰ (سال ۱۳۸۷) تعیین شد.

پارامترهای رنگ سنجی

ارزیابی رنگ نمونه های با استفاده از بررسی پارامترهای رنگی در نمونه ها با استفاده از دستگاه رنگ سنج هانتربل ساخت کشور آلمان صورت پذیرفت. برای این منظور از سطح نمونه با قطر ۸ میلی متر استفاده شد. اندازه گیری پارامترهای رنگی در سه تکرار صورت پذیرفت (Akalin et al., 2008).

ارزیابی حسی

جهت اندازه گیری پارامترهای حسی محصول از تست پانل تعلیم دیده کارخانه پاک که شامل ۳۰ نفر بودند استفاده شد و خصوصياتی

چون شکل ظاهری، بافت، طعم و مزه، عطر و بو و احساس دهانی محصول تولید شده مورد بررسی و امتیازدهی قرار گرفت. برای ارزیابی ویژگی های حسی بستنی از آزمون هدونیک ۵ نقطه ای استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

در این تحقیق تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS19 انجام شد. مقایسه میانگین ها با بهره گیری از آزمون دانکن با سطح احتمال ۵٪ انجام شد. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ انجام شد. کلیه نتایج تجربی در سه تکرار صورت گرفت.

نتایج و بحث**ایزوله پروتئینی جوانه گندم**

نتایج آزمون های ایزوله پروتئینی جوانه گندم در جدول ۳ آمده است. نتایج گزارش شده در این جدول با تحقیقات سایر محققین مطابقت دارد و در محدوده گزارش شده سایر مقالات منتشر شده می باشد (Shakeri et al., 2012).

جدول ۳ نتایج ارزیابی آزمون های آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم

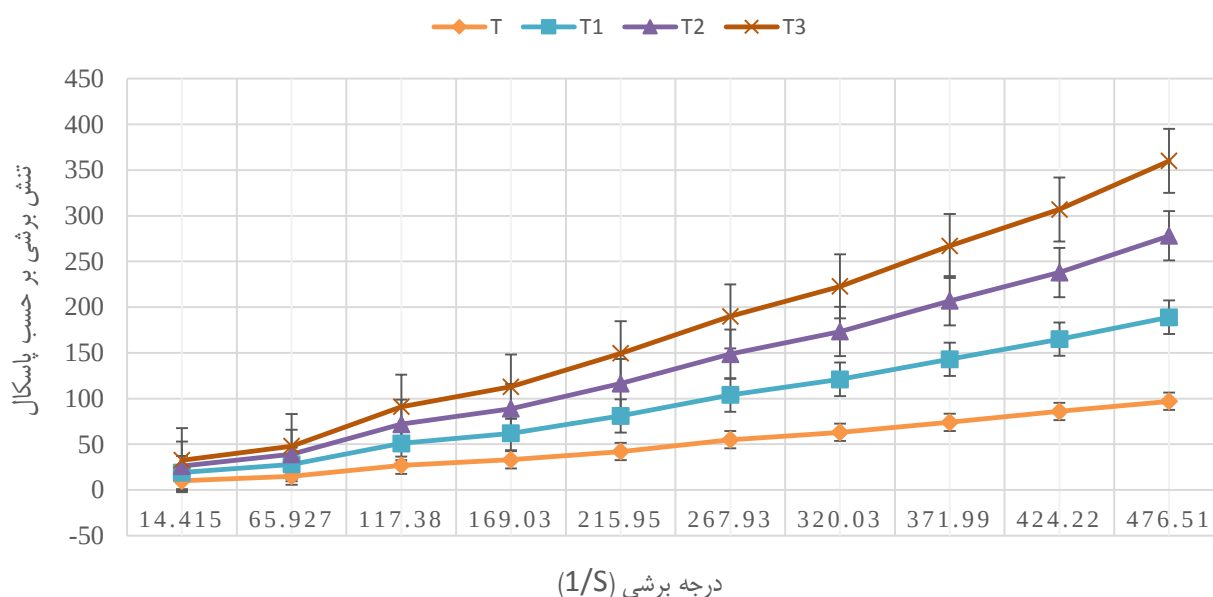
ردیف	نام آزمون	نتایج
۱	درصد رطوبت	۸/۴۱±۰/۴۲
۲	درصد چربی	۱۱/۳۴±۰/۴۴
۳	درصد خاکستر غیر محلول در اسید	۳/۵۷±۰/۲۳
۴	اندازه ذرات و دانه بندی آرد (میکرومتر)	۲۸۲±۰/۰۱

داده ها بر حسب میانگین ± انحراف معیار می باشند.

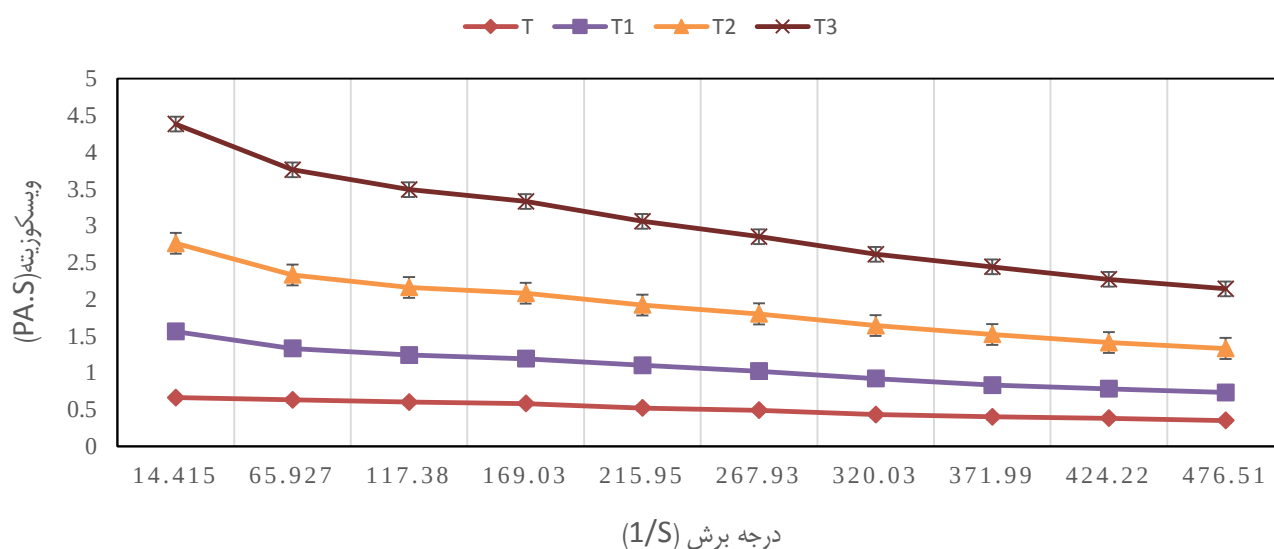
ارزیابی بستنی**خصوصیات رئولوژیکی**

نمودار ۱ میزان تغییرات تنش برشی را به نرخ برشی برای تیمارهای بستنی با مقادیر ۱ و ۳ و ۵ درصد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم و همچنین تیمار شاهد نشان می دهد. داده های آزمایشگاهی مطابق قانون لزجت نیوتن نشان می دهد که با افزایش نرخ برش میزان تنش برشی افزایش می یابد. تیمار بستنی دارای ۵ درصد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم دارای بالاترین میزان تنش برشی و کمترین مقدار تنش برشی نیز به تیمار بستنی شاهد (فاقد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم) تعلق دارد. شکل ۲ تغییرات ویسکوزیته نسبت به درجه برش در مخلوط بستنی با درصدهای مختلف ایزوله پروتئین آرد گندم را نشان می دهد. در این شکل می توان دید که ویسکوزیته تیمارهای بستنی شامل آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم بالاتر از تیمار شاهد می باشد اگرچه با افزایش میزان نرخ برشی مقدار عددی ویسکوزیته در کلیه تیمارهای بستنی به

تدریج کاهش پیدا می کند. کمترین مقدار ویسکوزیته در تیمار بستنی شاهد و بیشترین مقدار آن در نمونه بستنی با ۵ درصد آرد پروتئینی ایزوله جوانه گندم می باشد ($p \leq 0.05$). با توجه به اینکه ویسکوزیته مقاومت یک سیال در برابر تنش برشی می باشد بنابراین کاهش میزان ویسکوزیته با افزایش میزان تنش برشی می تواند مربوط به کم شدن اصطکاک بین لایه ها می باشد یا به عبارت دیگر، افزایش برش موجب تبدیل مولکول های بلند زنجیر و غیرخطی به مولکول های مستقیم و خطی می شود که همین امر موجب کاهش ویسکوزیته می شود (Habibi et al., 2015). همچنین افزایش ویسکوزیته در نمونه های حاوی ایزوله پروتئینی جوانه گندم در مقایسه با نمونه شاهد، می تواند مربوط به وجود آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم در فرمولاسیون بستنی باشد که دارای ویژگی امولسیون کنندگی و خاصیت جذب خوب آب توسط این آرد می باشد (Hassan et al., 2010).



شکل ۱- تغییرات تنش برشی نسبت به درجه برش در بستنی



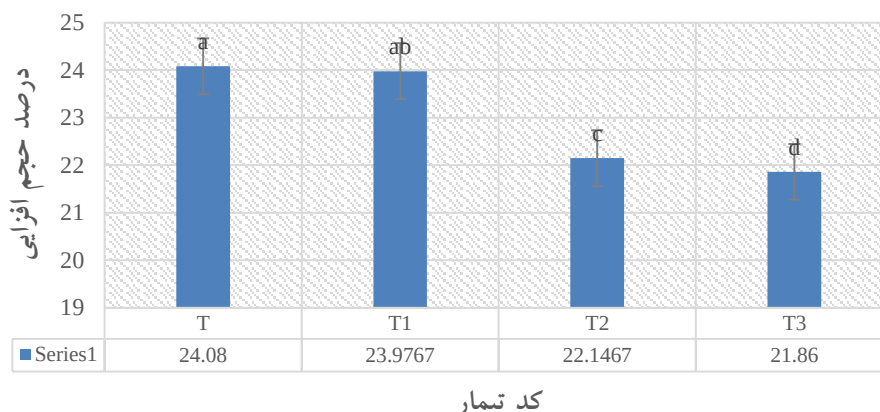
شکل ۲- تغییرات ویسکوزیته نسبت به درجه برش در مخلوط بستنی با درصدهای مختلف ایزوله پروتئین آرد گندم

درصد حجم افزایی

در شکل ۳ نتایج تغییرات افزایش حجم بستنی برای تیمارهای مختلف گزارش شده است. افزایش حجم بستنی نسبت به حجم مخلوط اولیه به علت وارد شدن هوادر هنگام انجماد است. مقدار هوایی که وارد مخلوط می شود تابع پارامترهای مختلفی همچون ترکیب مخلوط، غلظت اجزا، مقدار کل مواد جامد و ویسکوزیته مخلوط می باشد. در این تحقیق، با افزایش میزان استفاده از آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم میزان میانگین درصد حجم افزایی تیمارهای بستنی به طور معنی داری

کاهش یافت ($p \leq 0.05$). بالاترین میزان درصد حجم افزایی به تیمار شاهد (فاقد آرد ایزوله پروتئین جوانه گندم) و کمترین آن به تیمار بستنی دارای ۵ درصد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم تعلق داشت ($p \leq 0.05$). در تیمار ۵ درصد به دلیل افزایش نسبی ویسکوزیته مخلوط، حجم افزایی در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی داری کاهش می یابد. به نظر می رسد به علت افزایش ویسکوزیته در اثر وجود ایزوله پروتئین جوانه گندم امکان ورود هوا به داخل مخلوط بستنی کاهش می یابد. بنابراین عدم توزیع مناسب و ورود کافی هوا به مخلوط بستنی افزایش حجم

توافق بود. سقای شهری و همکاران (۱۳۹۳) نیز در بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی بستنی حاوی صمغ دانه شاهی به نتایج مشابهی دست یافتند. آن‌ها دریافتند که استفاده از صمغ دانه شاهی در فرمولاسیون تیمارهای بستنی میزان شاخص حجم‌افزایی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد که با یافته‌های تحقیق حاضر در توافق بود.



شکل ۳- نتایج تغییرات حجم‌افزایی تیمارهای بستنی

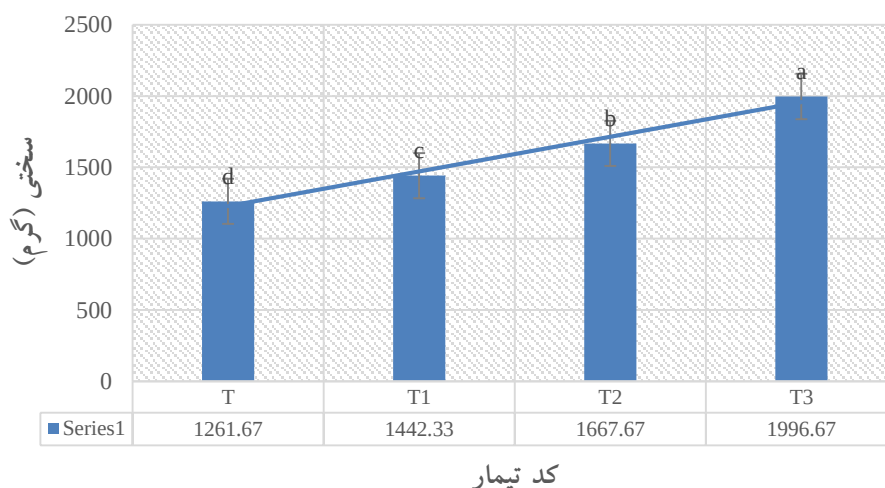
بود ($p \leq 0.05$). یافته‌های سایر محققین نیز نشان می‌دهد که افزودن مواد غذایی با ماتریس پروتئینی بازتر و ضعیف‌تر می‌توانند چسبندگی بیشتری را در بستنی ایجاد کنند (Dimitreli & Thomareis 2007). اسدی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۳) تاثیر کنسانتره‌های پروتئینی آب بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی بستنی مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که استفاده از کنسانتره‌های پروتئینی باعث افزایش شاخص سختی می‌شود که با یافته‌های تحقیق حاضر نیز در توافق می‌باشد.

نتایج تغییرات انسجام نمونه‌های بستنی در شکل ۶ گزارش داده شده است. انسجام استحکام پیوندهای درونی است با توجه به اینکه انسجام نسبت کار انجام شده برای فشردن ماده غذایی در دو سیکل متفاوت است لذا واحد ندارد. با توجه به شکل ۶ ملاحظه گردید که اختلافات معنی‌داری بین میزان انسجام تیمارهای بستنی وجود داشت ($p \leq 0.05$). نتایج نشان داد که استفاده از ایزوله پروتئینی جوانه گندم به‌طور معنی‌داری انسجام تیمارهای بستنی را کاهش داد ($p \leq 0.05$). کمترین میزان انسجام به تیمار بستنی با ۵ درصد ایزوله پروتئینی جوانه گندم و بالاترین انسجام به تیمار شاهد فاقد ایزوله پروتئینی جوانه گندم تعلق داشت ($p \leq 0.05$). تحقیقات اسدی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۳) نیز در تاثیر کنسانتره‌های پروتئینی آب بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی بستنی نیز مشاهده شد که با یافته‌های تحقیق حاضر در توافق بود.

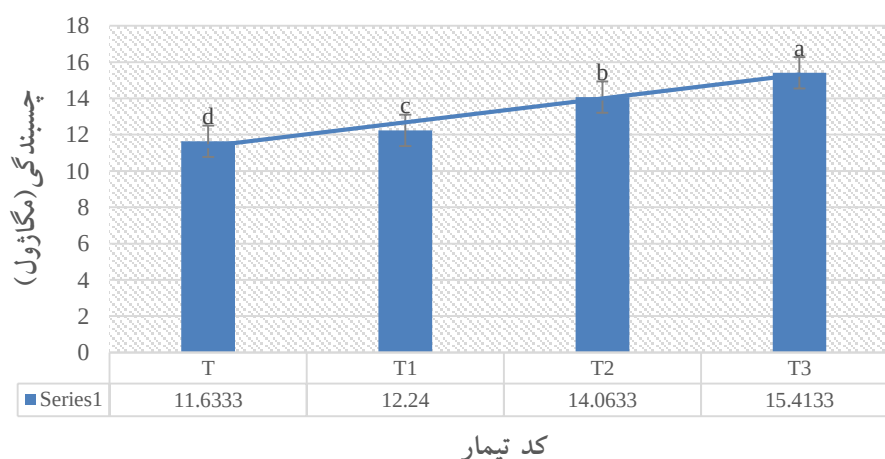
کمتر است. مهدیان و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی اثر کاربرد آرد کامل سویا بر خصوصیات رئولوژیکی بستنی نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. آن‌ها دریافتند که استفاده از آرد کامل سویا و افزایش میزان درصد استفاده از آن در فرمولاسیون تیمارهای بستنی به‌طور معنی‌داری میزان شاخص حجم‌افزایی را کاهش داد که با یافته‌های تحقیق حاضر در

بافت‌سنجی

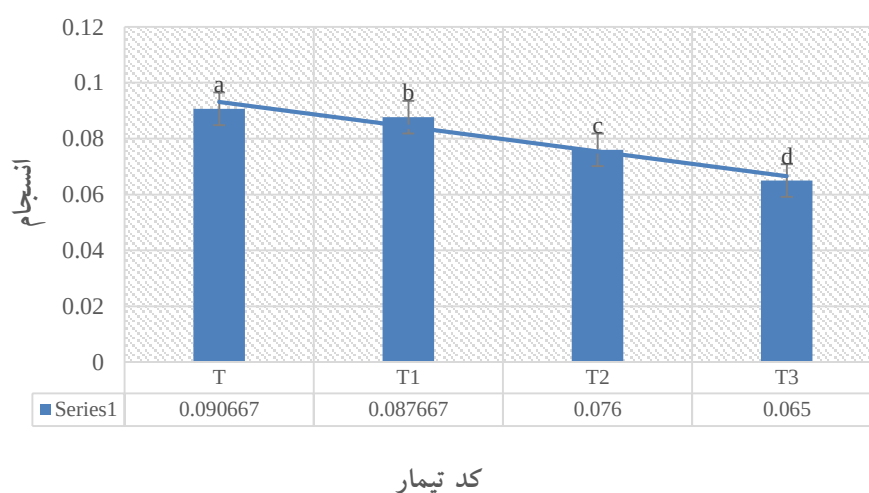
نتایج تغییرات سختی تیمارهای بستنی در شکل ۴ نمایش داده شده است. استفاده از آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم به‌طور معنی‌داری میزان سختی بستنی را افزایش می‌دهد ($p \leq 0.05$). بالاترین میزان سختی به تیمار بستنی با ۵ درصد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم و کمترین میزان سختی به تیمار شاهد فاقد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم تعلق داشت ($p \leq 0.05$). سختی بستنی مقاومت آن در برابر تغییر شکل توسط نیروی خارجی تعریف می‌شود و توسط فاکتورهایی مانند حجم‌افزایی، اندازه کریستال یخ و حجم فاز یخی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. استفاده از آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم مراکز و هسته‌هایی برای رشد کریستال‌های یخ عمل کرده و باعث توسعه حجم فاز یخی موجود در بافت بستنی می‌شود (Soukoulis et al., 2008). با توجه به شکل ۵ مشاهده گردید که اختلافات معنی‌داری بین میزان میانگین چسبندگی تیمارهای بستنی وجود دارد ($p \leq 0.05$). در واقع چسبندگی به مقدار کار مورد نیاز برای غلبه بین سطح ماده غذایی و سطح ماده‌ای که با آن در تماس است (همچون زبان، دندان و کام) مربوط می‌شود (BahramParvar et al., 2010). نتایج نشان داد که استفاده از آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم میزان چسبندگی تیمارهای بستنی را افزایش می‌دهد ($p \leq 0.05$). بالاترین میزان شاخص چسبندگی به تیمار بستنی با ۵ درصد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم و کمترین میزان چسبندگی متعلق به تیمار شاهد



شکل ۴- نتایج تغییرات سختی تیمارهای بستنی



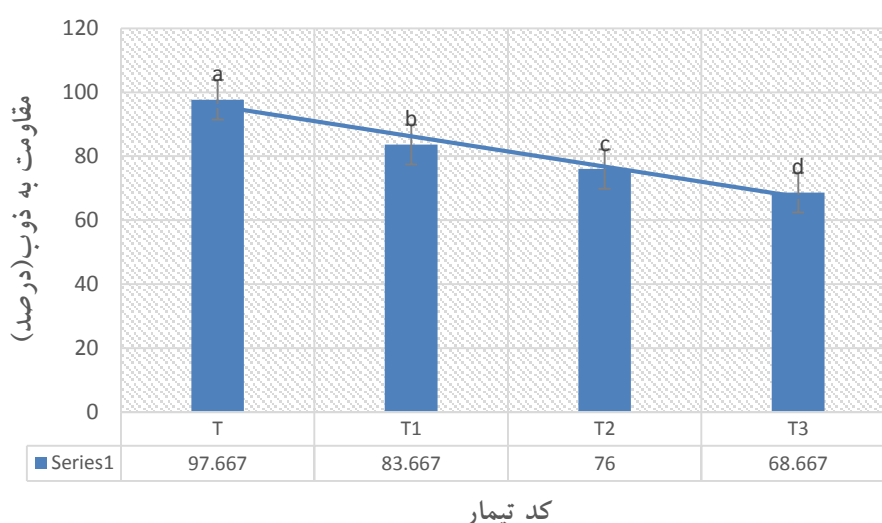
شکل ۵- نتایج تغییرات چسبندگی تیمارهای بستنی



شکل ۶- نتایج تغییرات انسجام تیمارهای بستنی

سرعت ذوب

با توجه به شکل ۷ ملاحظه گردید که استفاده از آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم به طور معنی داری میزان شاخص مقاومت به ذوب شدن تیمارهای بستنی را کاهش می دهد ($p \leq 0.05$). کمترین میزان مقاومت به ذوب شدن به تیمار بستنی با ۵ درصد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم و بالاترین میزان مقاومت به ذوب شدن برای تیمار شاهد فاقد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم در نظر گرفته شد ($p \leq 0.05$). سرعت ذوب بستنی تحت تاثیر فاکتورهای متعددی مانند مقدار هوای وارد شده، طبیعت کریستال های یخ و نیز شبکه گلول چربی که در حین انجماد شکل گرفته، می باشد. به نظر می رسد افزایش درصد ایزوله پروتئین باعث ایجاد ژل پروتئینی در بستنی و به دام افتادن قطرات ریز آب در لایه لای ژل پروتئینی می شود، این آب منجمد نشده و به صورت آب آزاد



شکل ۷- نتایج تغییرات مقاومت به ذوب تیمارهای بستنی

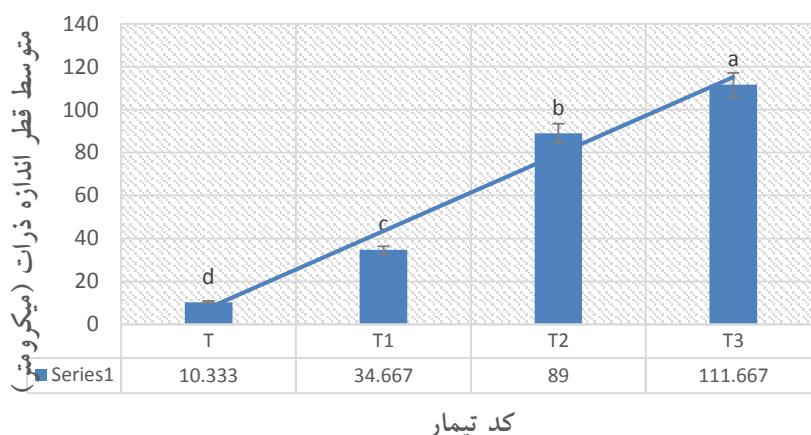
توزیع اندازه ذرات

با توجه به شکل ۹ مشاهده شد که اختلافات معنی داری بین میزان توزیع اندازه ذرات تیمارهای بستنی وجود داشت ($p \leq 0.05$). نتایج نشان داد که اندازه ذرات تیمارهای بستنی در محدوده ۰/۱ تا ۱۰۰۰۰ میکرومتر قرار دارد و با افزایش میزان استفاده از آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم میزان توزیع اندازه ذرات در محدوده بالاتر از ۵۰ میکرومتر به طور معنی داری افزایش یافت به طوری که تیمار دارای ۵ درصد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم دارای بالاترین میزان توزیع ذرات در محدوده بالاتر از ۵۰ میکرومتر می باشد. با افزایش درصد ایزوله پروتئین جوانه گندم میزان توزیع ذرات در محدوده بالاتر از ۵۰ میکرومتر افزایش داشته است. به طور کلی نتایج نشان داد که استفاده از ایزوله پروتئین جوانه گندم باعث افزایش توزیع اندازه ذرات بزرگتر ۵۰ میکرومتر می شود با افزایش درصد ایزوله پروتئین جوانه گندم به دلیل افزایش

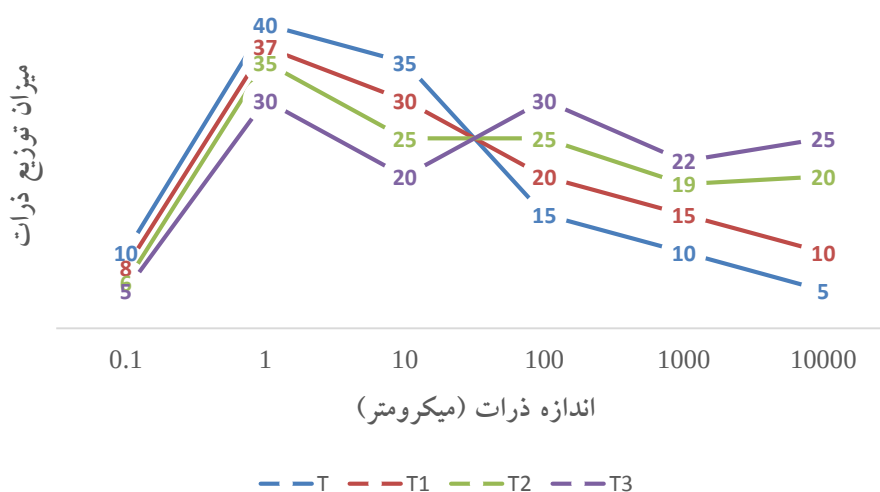
متوسط قطر ذرات

با توجه به شکل ۸ ملاحظه شد که اختلافات معنی داری بین میزان میانگین قطر اندازه ذرات تیمارهای بستنی وجود داشت ($p \leq 0.05$). با افزایش ایزوله پروتئین جوانه گندم میزان قطر ذرات به طور معنی داری افزایش یافت ($p \leq 0.05$). بالاترین میزان اندازه قطر ذرات به تیمار بستنی دارای ۵ درصد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم و کمترین میزان اندازه قطر ذرات به تیمار ۱ درصد و همچنین تیمار شاهد نسبت داده شد ($p \leq 0.05$). با افزایش میزان درصد استفاده از ایزوله پروتئین جوانه گندم میزان ترکیبات پروتئینی که وارد واکنش با گلوله های چربی و مولکول های آب می شوند افزایش می یابد و نهایتاً قطر ذرات افزایش می یابد و با افزایش میزان استفاده از ایزوله پروتئین جوانه گندم میزان اندازه ذرات و قطر آن ها افزایش یافت (Alvarez et al., 2005).

تعداد ترکیبات پروتئینی که وارد واکنش با گلبول‌های چربی و مولکول‌های آب می‌شوند باعث افزایش قطر ذرات می‌شود (Alvarez et al., 2005).



شکل ۸- نتایج تغییرات شاخص متوسط قطر اندازه ذرات تیمارهای بستنی



شکل ۹- منحنی توزیع اندازه ذرات بستنی

پلی‌ساکارید) و ۲- رقابت با پروتئین‌ها و قرار گرفتن در ناحیه بین سطحی.

pH

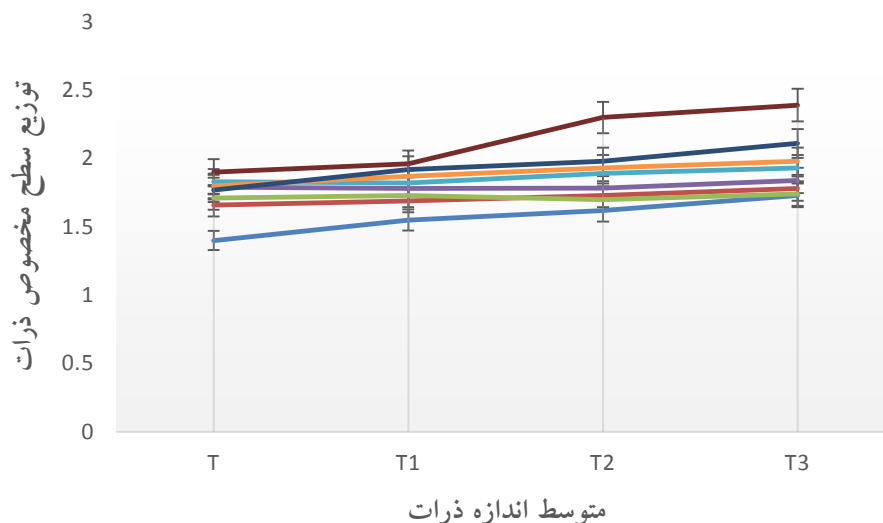
با توجه به شکل ۱۱ مشاهده شد که اختلافات معنی‌داری بین میزان میانگین pH تیمارهای بستنی وجود داشت ($p \leq 0.05$). با افزایش ایزوله پروتئین جوانه گندم، میزان pH تیمارهای بستنی به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p \leq 0.05$). بالاترین میزان pH به تیمار شاهد و کمترین آن نیز به تیمار بستنی دارای ۵ درصد ایزوله پروتئینی جوانه گندم تعلق داشت ($p \leq 0.05$). نتایج مشابهی در این زمینه با افزودن

توزیع سطح مخصوص ذرات

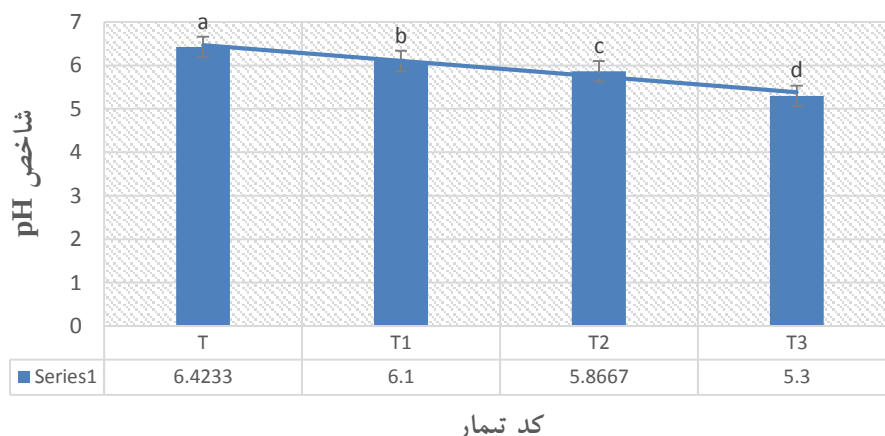
با توجه به شکل ۱۰ مشاهده شد که اختلافات معنی‌داری بین میزان توزیع سطح مخصوص ذرات تیمارهای بستنی وجود داشت ($p \leq 0.05$). میزان توزیع سطح مخصوص ذرات با افزایش ایزوله پروتئین در نمونه‌های بستنی افزایش دارد که میزان این افزایش در مقادیر بالاتر (۵ درصد) ایزوله پروتئین جوانه گندم به مراتب بالاتر از تیمارهای دارای مقادیر ۳ و ۱ درصد می‌باشد. استفاده از ایزوله پروتئینی جوانه گندم به دو روش می‌تواند در ناحیه بین سطحی حضور داشته و سطح مخصوص ذرات را افزایش دهد: ۱- از طریق ایجاد کمپلکس ضعیف با قطعات پپتیدی پروتئین‌های اطراف گلبول‌های چربی (در صورت باردار بودن

گندم pH کاهش یافته و از آنجا که تغییر اسیدیته و pH در برهم خوردن ثبات امولسیون و فاز کلوئیدی بسیار حائز اهمیت است، بنابراین کاهش مقاومت به ذوب نیز دور از انتظار نمی باشد.

کنسانتره انار به بستنی به منظور غنی سازی و بهبود خواص کاری آن مشاهده شد که منجر به افت شدید میزان pH محصول تولیدی گردید (Cam et al., 2013). با افزایش میزان استفاده از ایزوله پروتئین جوانه



شکل ۱۰- منحنی توزیع اندازه توزیع سطح مخصوص ذرات بستنی



شکل ۱۱- تغییرات pH تیمارهای بستنی

رنگ سنجی

با توجه به شکل ۱۳ مشاهده گردید که اختلافات معنی داری بین میزان میانگین شاخص روشنای (L^*) تیمارهای بستنی وجود داشت ($p \leq 0.05$). با افزایش میزان استفاده از آرد ایزوله جوانه پروتئینی جوانه گندم میزان میانگین شاخص روشنایی (L^*) تیمارهای بستنی به طور معنی داری کاهش یافت ($p \leq 0.05$). بالاترین میزان میانگین شاخص روشنایی (L^*) به تیمار بستنی شاهد فاقد آرد ایزوله جوانه پروتئینی

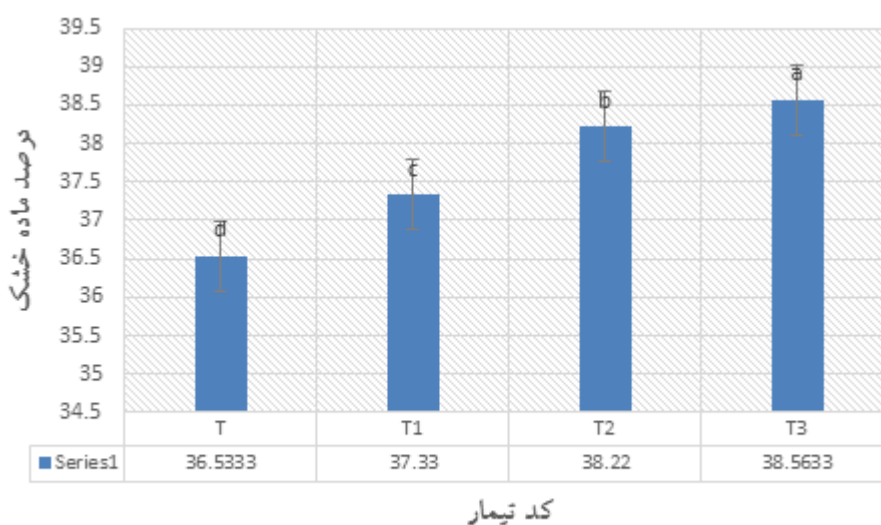
درصد ماده خشک

با توجه به شکل ۱۲ مشاهده شد که اختلافات معنی داری بین میزان میانگین ماده خشک تیمارهای بستنی وجود داشت ($p \leq 0.05$). با افزایش ایزوله پروتئین جوانه گندم ماده خشک تیمارهای بستنی به طور معنی داری افزایش یافت ($p \leq 0.05$). بالاترین ماده خشک به تیمار بستنی دارای ۵ درصد ایزوله پروتئین جوانه گندم و کمترین میزان ماده خشک نیز به تیمار بستنی شاهد تعلق داشت ($p \leq 0.05$).

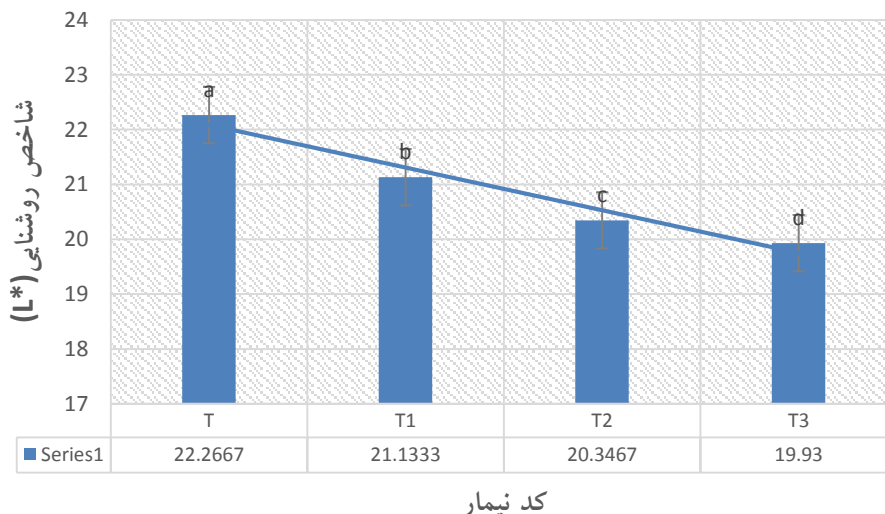
جوانه گندم و کمترین میزان شاخص روشنایی (L^*) به بستنی با ۵ درصد آرد ایزوله جوانه پروتئینی جوانه گندم تعلق داشت ($p \leq 0.05$).

با توجه به شکل ۱۵ مشاهده شد که با افزایش میزان استفاده از آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم میزان شاخص زردی (b^*) تیمارهای بستنی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p \leq 0.05$). بالاترین میزان شاخص زردی (b^*) تیمارهای بستنی به تیمار بستنی با ۵ درصد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم و کمترین آن نیز به تیمار بستنی شاهد فاقد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم تعلق داشت ($p \leq 0.05$).

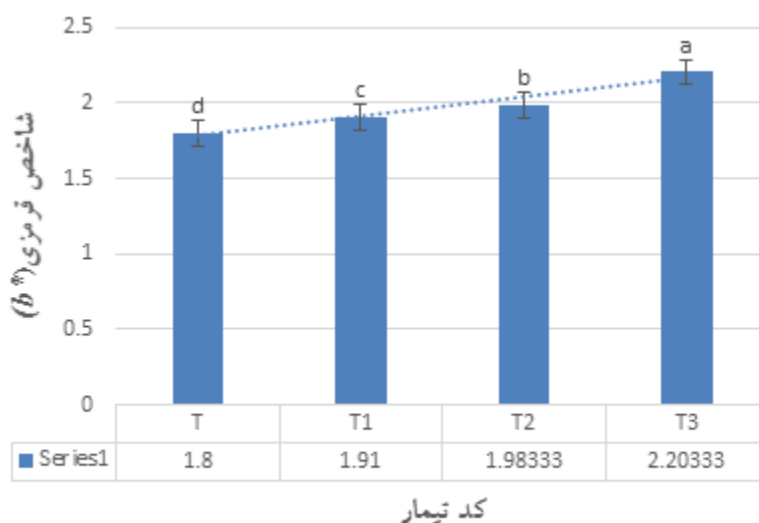
جوانه گندم و کمترین میزان شاخص روشنایی (L^*) به بستنی با ۵ درصد آرد ایزوله جوانه پروتئینی جوانه گندم تعلق داشت ($p \leq 0.05$). با توجه به شکل ۱۴ اختلاف معنی‌داری بین میانگین شاخص قرمزی (a^*) تیمارهای بستنی وجود داشت ($p \leq 0.05$). همانگونه که در شکل نیز مشاهده می‌شود با افزایش میزان استفاده از ایزوله پروتئینی جوانه گندم میزان شاخص قرمزی (a^*) تیمارهای بستنی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p \leq 0.05$). بالاترین میزان شاخص قرمزی (a^*) تیمارهای بستنی به تیمار بستنی با ۵ درصد ایزوله پروتئینی جوانه



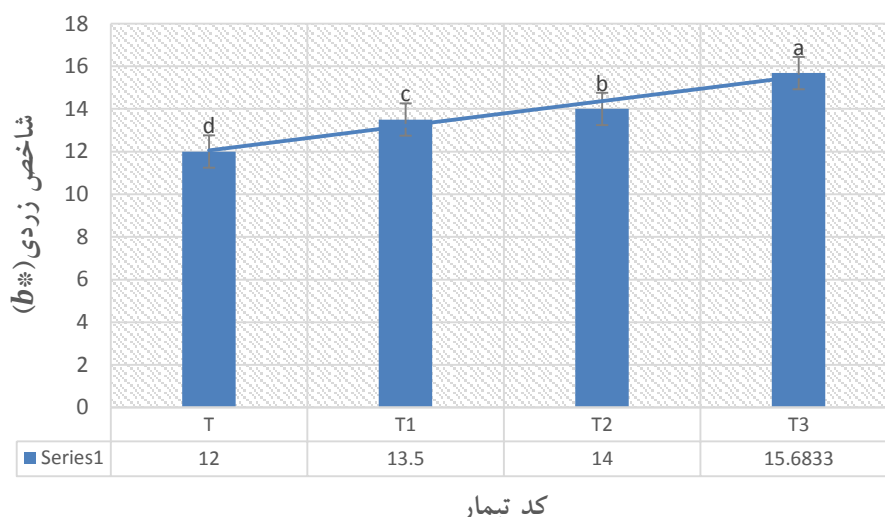
شکل ۱۲- تغییرات ماده خشک تیمارهای بستنی



شکل ۱۳- مقایسه میانگین شاخص روشنایی (L^*) تیمارهای بستنی



شکل ۱۴- مقایسه میانگین شاخص زردی (b^*) تیمارهای بستنی



شکل ۱۵- مقایسه میانگین شاخص زردی (b^*) تیمارهای بستنی

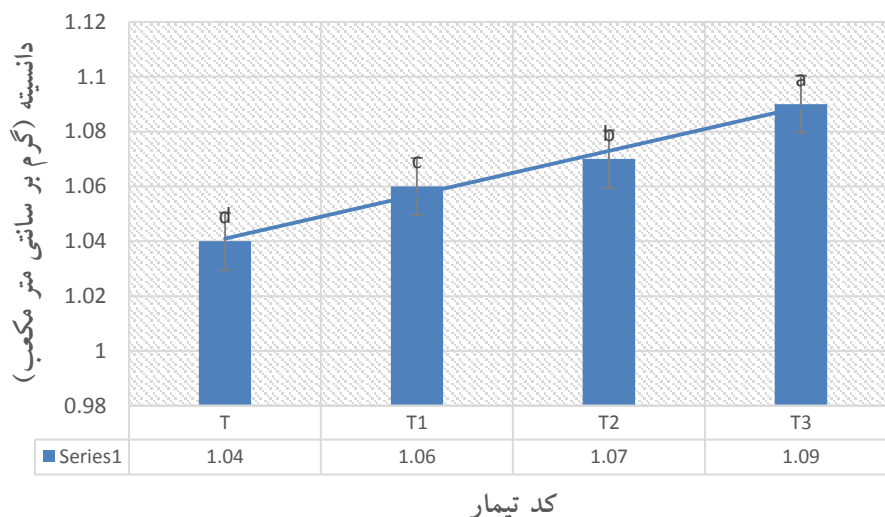
روشنایی (L^*) کل منجر می‌گردد که با نتایج تحقیقات مهدیان و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی استفاده از آرد کامل سویا در فرمولاسیون بستنی نیز مطابقت داشت. آنها دریافتند که افزایش درصد استفاده از آرد کامل سویا به مقادیر ۸ و ۱۰ درصد نیز به‌طور معنی‌داری شاخص روشنایی (L^*) را نیز کاهش می‌دهد. بررسی نتایج نشان داد که استفاده از آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم در فرمولاسیون بستنی به‌طور معنی‌داری به جهت غالب بودن رنگ زرد (b^*) گرانوفیل‌های موجود در آن منجر به افزایش شاخص زردی (b^*) در تیمارهای بستنی گردید. نظیر چنین مشاهداتی در مطالعات رهبری و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی تاثیر کاربرد ایزوله پروتئین جوانه گندم و زانتان به‌عنوان جایگزین‌های زرده تخم‌مرغ بر ویژگی‌های رئولوژیکی سس مایونز و اثر مدت زمان و

بررسی نتایج ارزیابی شاخص روشنایی (L^*) نشان داد که استفاده از آرد ایزوله پروتئین جوانه گندم در فرمولاسیون به‌طور معنی‌داری شاخص روشنایی (L^*) بستنی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد که به دلیل رنگ آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم در فرمولاسیون بوده و با افزایش درصد استفاده از آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم در فرمولاسیون میزان شاخص روشنایی (L^*) نیز به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد که استفاده از آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم با توجه به رنگ تیره خود باعث کاهش میزان انعکاس نور در محصول می‌شود و بر کاهش روشنایی (L^*) محصول اثر می‌گذارد. در مورد بستنی با افزایش درصد استفاده از ایزوله پروتئین جوانه گندم در فرمولاسیون و کاهش بافت چربی میزان تیرگی افزایش می‌یابد که به کاهش شاخص

برودت دمای نگهداری بر رنگ بستنی پرچرب مشاهده شده است (Buych et al., 2011).

دانسیته بستنی

با توجه به شکل ۱۶ ملاحظه گردید که استفاده از آرد ایزوله پروتئین جوانه گندم به‌طور معنی‌داری میزان دانسیته تیمارهای بستنی را کاهش

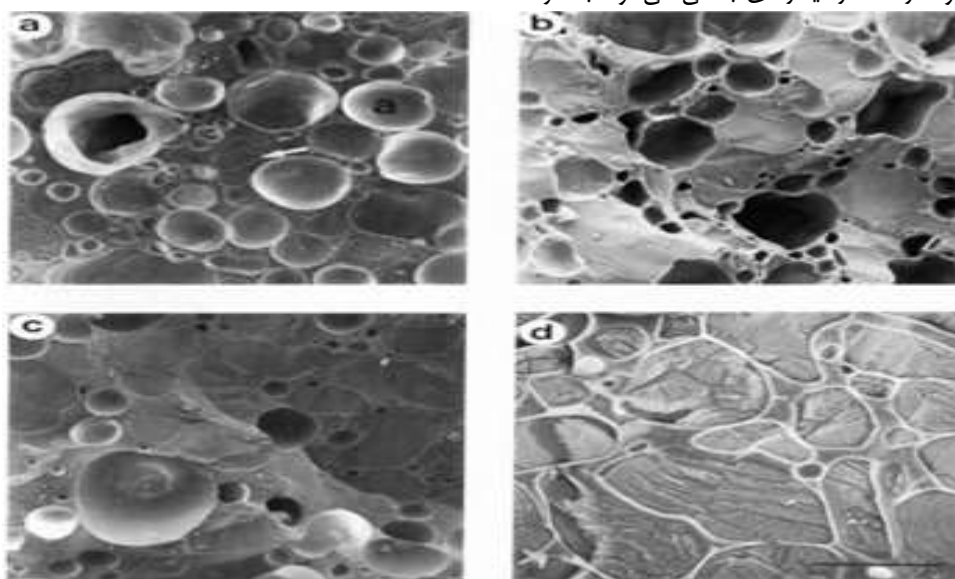


شکل ۱۶- منحنی توزیع شاخص دانسیته ذرات بستنی

می‌رسد کمترین میزان چربی به تیمار بستنی دارای ۵ درصد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم و بالاترین آن نیز به تیمار بستنی شاهد تعلق داشت ($p \leq 0.05$).

میکروسکوپ الکترونی روبشی

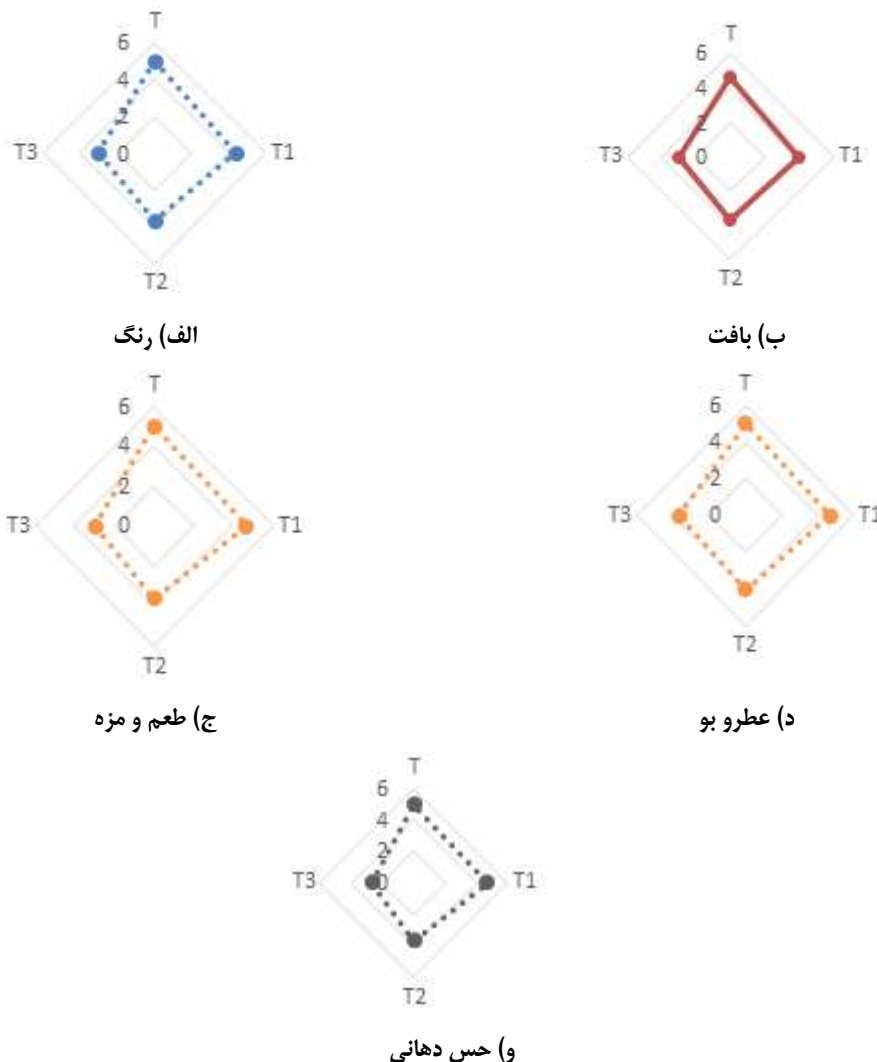
شکل ۱۷ تصاویر میکروسکوپ الکترونیکی تیمارهای بستنی را نشان می‌دهد. استفاده از ایزوله پروتئینی جوانه گندم باعث کاهش گلبول‌های چربی موجود در ساختار تیمارهای بستنی می‌شود. به‌نظر



شکل ۱۷- تصاویر میکروسکوپ الکترونیکی تیمارهای بستنی (a=T, b=T1, c=T2, d=T3)

ارزیابی حسی

بی شک ویژگی‌های بافتی و طعم بستنی از مهم‌ترین فاکتورهای پذیرش از دیدگاه مصرف‌کننده می‌باشند. نتایج حاصل از کلیه ارزیابی‌های حسی نمونه‌های مختلف بستنی در شکل (الف، ب، ج، د، و)



شکل ۱۷- مقایسه میانگین امتیازات حسی

با افزایش ایزوله پروتئین جوانه گندم میزان قطر ذرات به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد لذا این امر می‌تواند موجب کاهش میزان سطح تماس ذرات با پرزهای چشایی موجود در گیرنده‌های مزه در سطح زبان شده و میزان احساس طعم و مزه را کاهش دهد. نتایج تحقیقات مهدیان و همکاران (۱۳۹۰) موید پژوهش حاضر در این زمینه می‌باشد. امتیازات احساس دهانی نیز متأثر از ویسکوزیته و همچنین میزان هوادهی و شاخص مقاومت به ذوب شدن می‌باشد که با افزایش میزان استفاده از آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم شاخص مقاومت به ذوب و ویسکوزیته و همچنین هوادهی کاهش یافته و میزان امتیازات احساس دهانی را

در کلیه ویژگی‌های حسی اعم از رنگ ظاهری، بافت، طعم و مزه، عطر و بو و حس دهانی بالاترین میزان امتیازات حسی به تیمار شاهد و سپس تیمار دارای ۱ درصد آرد ایزوله پروتئین جوانه گندم و کمترین آن نیز به تیمار دارای ۵ درصد آرد ایزوله پروتئین جوانه گندم تعلق داشت. نتایج نشان داد که با افزایش میزان استفاده از آرد جوانه گندم میزان مطلوبیت طعم و مزه به دلیل افزایش میزان ماده خشک موجود در بستنی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد ($p \leq 0.05$). در بالاترین میزان استفاده از جوانه گندم میزان این کاهش امتیازات طعم به طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها می‌باشد. علت این پدیده این است که

کمتر ترکیبات معطر فرار در آن سیستم میشود و برعکس هرچه ماده خشک کمتر بوده و فاز مایع سیستم غذایی قوی‌تر باشد یا به عبارتی سهم بیشتری را به خود اختصاص دهد امکان و احتمال آزاد شدن ترکیبات موثر در عطر و بو بیشتر می‌گردد، پس علت کاهش امتیاز در این پارامتر، افزودن آرد ایزوله پروتئین جوانه گندم و به دنبال آن افزایش میزان ماده خشک بستنی، و در نتیجه کاهش عطر و بو می‌باشد. Bahramparvar و همکاران (۲۰۱۱) نیز در دو پژوهش مختلف در سالهای ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ چنین نتیجه‌ای را در مورد افزودن زرده تخم‌مرغ و کنسانتره پروتئین محلول شیر و همچنین انواع پایدارکننده به بستنی گزارش کردند

نتیجه‌گیری

در این تحقیق که با هدف تولید بستنی فراسودمند با به‌کارگیری ایزوله پروتئین جوانه گندم انجام شد، تاثیر درصدهای مختلف ایزوله پروتئین جوانه گندم (۱، ۳ و ۵) بر روی محصول مورد توجه فرار گرفت و مواردی همچون ویژگی‌های رئولوژیکی، بافت، درصد افزایش حجم بستنی، نقطه ذوب، دانسیته، اندازه ذرات، توزیع اندازه ذرات، درصد ماده خشک و ویژگی‌های حسی مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌طور کلی نتایج نشان داد که با استفاده از ایزوله پروتئینی جوانه گندم می‌توان یک بستنی فراسودمند با خصوصیات مناسب را تهیه و فرموله نمود. جمع‌بندی کلیه نتایج حاصله و ارزیابی حسی نشان داد نمونه بستنی دارای ۱ درصد ایزوله پروتئین جوانه گندم به‌عنوان نمونه بهینه انتخاب و معرفی گردید.

به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. سقای شهری و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی که بر روی ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی بستنی حاوی صمغ دانه شاهی انجام دادند به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافتند. همچنین رنگ ظاهری تیمارهای بستنی به دلیل کاهش شاخص روشنایی و همچنین افزایش شاخص قرمزی و همچنین زردی با افزایش میزان استفاده از آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم به‌طور معنی‌داری کاهش یافته و به عبارت دیگر این تغییرات امتیازات رنگ ظاهری از نظر ارزیاب‌ها مطلوب نمی‌باشد. امتیازات بافت نیز متأثر از ویسکوزیته، هوادهی و ویژگی‌های رئولوژیکی تیمارهای بستنی می‌باشد. با توجه به این که با افزایش میزان استفاده از آرد ایزوله پروتئینی میزان هوادهی و ویسکوزیته کاهش و سرعت ذوب شدن افزایش یافت، میزان مطلوبیت بافت و شکل تیمارهای بستنی کاهش یافت. تیمار دارای بالاترین میزان درصد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم، از کمترین میزان شاخص مقاومت به نقطه ذوب برخوردار می‌باشد که این مساله باعث افزایش میزان ذوب، افزایش سختی و کاهش هوادهی و کاهش امتیازات بافت و شکل نیز می‌شود. در میان فاکتورهای حسی عطر و بو از کمترین میزان تغییرات در مقایسه با تیمار شاهد برخوردار بود. بالاترین میزان تغییرات عطر و بو به تیمار دارای ۵ درصد آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم تعلق داشت اما تیمارهای دارای مقادیر ۱ و ۳ درصد اختلافات چندانی با تیمار شاهد نشان نمی‌دهد اما در مقادیر بالای استفاده میزان امتیازات عطر و بو به دلیل عطر و بوی آرد ایزوله پروتئینی جوانه گندم به‌طور معنی‌داری بر عطر و بوی بستنی غالب شده و امتیازات عطر و بو به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($p \leq 0.05$). از آنجا که افزایش ماده خشک موجود در یک سیستم غذایی موجب آزادسازی

منابع

- اسدی‌نژاد، ش.، حبیبی نجفی، م.ب.، رضوی، س.م.ع.، نصیری محلاتی، م.، ۱۳۸۳، تاثیر کنسانتره‌های پروتئین آب پنیر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی بستنی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۱، شماره ۴، ص ۱۰۵-۹۵.
- رضوی، س.م.ع.، حبیبی نجفی، م.ب.، نایب زاده، ک.، ۱۳۸۰، تاثیر جایگزین‌های لبنی و نوع پایدارکننده بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی بستنی سویا (پاروین)، علوم کشاورزی ایران، دوره ۳۲، شماره ۳، ص ۶۲۴-۶۱۵.
- سازمان ملی استاندارد ایران، غلات و فراورده‌های آن، روش اندازه‌گیری رطوبت، شماره ۲۷۰۵، سال ۱۳۷۴.
- سازمان ملی استاندارد ایران، بیسکویت-ویژگیها و روشهای آزمون، اندازه‌گیری خاکستر نامحلول در اسید غلات و فراورده‌های آن، شماره ۳۷، اصلاحیه ۱، تجدید نظر ۶، سال ۱۳۷۸.
- سازمان ملی استاندارد ایران، فراورده‌های لبنی - بستنی و فراورده‌های یخی شیر، تعیین ماده خشک، شماره ۱۱۹۰، سال ۱۳۸۷.
- سقای شهری، ا.، کاراژیان، ح.، محمدی نافچی، ع. ر.، ۱۳۹۳، ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی بستنی حاوی صمغ دانه شاهی، پژوهش‌های صنایع غذایی (دانش کشاورزی)، دوره ۲۴، شماره ۲، ص ۱۷۹-۱۸۸.
- مهدیان، ا.، مظاهری تهرانی، م.، شهیدی، ف.، ۱۳۹۰، بررسی اثر آرد کامل سویا بر روی خصوصیات رئولوژیک بستنی، دوره ۸، شماره ۳۱، ص ۱۱۴-۱۰۷.

Akalın, A. S., Karagözlü, C., Ünal, G., 2008, Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. *European Food Research and Technology*, 227(3): 889-895.

Alvarez, V., Wolters, C., Vodovotz, Y., Ji, T., 2005, Physical properties of ice cream containing milk protein concentrates. *Journal of Dairy Science*, 88(3): 862-871.

- Arshad, M. U., Anjum, F. M., Zahoor, T., 2007, Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. *Food chemistry*, 102(1): 123-128.
- Bahramparvar, M., Stathopoulos, C., 2010, Effect of egg yolk substitution by sweet whey protein concentrate (WPC), on physical properties of Gelato ice cream. *International Food Research Journal*, 17: 787-793.
- Bahramparvar, M., Mazaheri Tehrani, M., 2011, Application and functions of stabilizers in ice cream. *Food reviews international*, 27(4): 389-407.
- Buyck, J., Baer, R., & Choi, J. 2011. Effect of storage temperature on quality of light in full-fat ice cream. *Journal of Dairy Science*, 94(5), 2213-2219.
- Çam, M., Erdoğan, F., Aslan, D., & Dinç, M. 2013. Enrichment of Functional Properties of Ice Cream with Pomegranate By-products. *Journal of food science*, 78(10).
- Di Criscio, T., Fratianni, A., Mignogna, R., Cinquanta, L., Coppola, R., Sorrentino, E., & Panfili, G. 2010. Production of functional probiotic, prebiotic, and synbiotic ice creams. *Journal of Dairy Science*, 93(10), 4555-4564.
- Dimitri, G., Thomareis A.S., 2007, Texture evaluation of block-type processed cheese as a function of chemical composition and in relation to its apparent viscosity, *Journal of Food Engineering*, 79: 1364-1373.
- Goff, H.D., Jordan W. K., 1989, Action of emulsifiers in promoting fat destabilization during the manufacture of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 72(1):18-29.
- Gómez, M., J. González, Oliete, B., 2012, Effect of extruded wheat germ on dough rheology and bread quality. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6): 2409-2418.
- Habibi, P., Khodaeyan, F., 2015, Effect of Substituting Grapeseed Oil instead of Milk fat on Physicochemical and Sensory Characteristic of Ice Cream, *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 10(3): 91-100.
- Hassan, H., Afify, A., Basyiony, A., Ahmed, G. T., Ghada, T., 2010. Nutritional and functional properties of defatted wheat protein isolates. *Australlian Journal of Basic Applied Science*, 4(2): 348-358.
- Marshall, R. T., Goff, H. D., Hartel, R. W., 2012, *Ice cream*: Springer.
- Méndez-Velasco, C., Goff, H. D., 2011, Enhancement of fat colloidal interactions for the preparation of ice cream high in unsaturated fat. *International dairy journal*, 21(8): 540-547.
- Sakurai K., Kokubo S., Hakamata K., Tomita M., Yoshida S., 1996, Effect of production conditions on ice cream melting resistance and hardness. *Milchwissenschaft*, 51(8): 451-454.
- Shakeri V., Ghiassi Tarzi B., Ghavami M., 2012, The effects of wheat germ on chemical, sensorial, cooking and microbial properties of Pasta, *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 7(3): 89-100.
- Soukoulis, C., Chandrinou, I., Tzia, C., 2008, Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with κ-carrageenan on storage quality of vanilla ice cream. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10): 1816-1827.
- Zhu, K., Zhou, H., Qian, H., 2006, Antioxidant and free radical-scavenging activities of wheat germ protein hydrolysates (WGPH) prepared with alcalase. *Process Biochemistry*, 41(6), 1296-1302.



The Effect of Wheat Germ Protein Isolate on Physical, Rheological, textural and sensorial properties of Ice Cream

H. Mahpour¹, T. Mostaghim^{2*}, Sh. Shahriari³

Received: 2019.10.28

Accepted: 2020.04.18

Introduction: Dairy products fortification especially ice cream is one of the most important goals and priorities of today's humanbeing to produce health food products. Protein isolate is one of the compounds used to produce health products. The aim of this study was to produce ice cream with new features based on a functional material by partially replacing dry matter with wheat germ protein isolate.

Materials and Methods: In present research wheat germ protein isolate with 1%, 3% and 5% was extracted and added to ice cream. In the first step, protein isolate was evaluated by tests of moisture content, fat percentage, acid insoluble ash, particle size and flour grain size. In the next step, protein isolate of wheat germ by 1, 3 and 5 percent was added to ice cream mix and its effects on rheological and texture properties, color, physico-chemical and sensory parameters of ice cream were evaluated.

Results and discussion: The results showed that the moisture, fat and acid insoluble ash of protein isolate were 8.41 ± 0.42 , 11.34 ± 0.44 and 3.57 ± 0.23 respectively. The particle size and flour grain size was 282 ± 0.01 . Laboratory data showed that by increasing protein isolate replacement, the viscosity, melting resistance and volumizing index were reduced significantly. Whereas, texture, hardness and adhesion parameters, density, particle size and diameter, specific distribution and surface area, and yellowness and redness indices were significantly increased. All the laboratory results and sensory evaluation of the samples revealed that the ice cream sample with 1 percent of wheat germ protein isolate was a preferred and optimized sample.

Keywords: Wheat germ protein isolate, Ice cream, Rheological properties, Texture.

1. M.Sc. Graduated of the Department of Food Science and Technology, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Assistant Professor of the Department of Food Science and Technology, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3. Associate Professor of the Department of Chemical Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

(Corresponding Author Email: toktammostaghim@yahoo.com)

مقاله پژوهشی

تعیین ساختار، ترکیبات و ویژگی‌های شیمیایی، فعالیت ضد اکسایشی و اثر سیتوتوکسیک اسانس زردچوبه

بهاره مجدی^۱ - محمدامین مهرنیا^{۲*} - حسن برزگر^۳ - بهروز علیزاده بهبهانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۱

چکیده

هدف از این پژوهش شناسایی ترکیبات، ساختار و تشخیص کیفی نوع پیوندها، فعالیت ضد اکسایشی، تعیین فنول و فلاونوئید کل و اثر سیتوتوکسیک اسانس زردچوبه بود. اسانس زردچوبه با دستگاه کلونجر و با روش تقطیر آبی استخراج شد. ترکیبات شیمیایی اسانس زردچوبه با دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی شناسایی شد. برای تعیین گروه‌های عاملی ترکیبات شیمیایی و شناسایی کیفی اسانس زردچوبه از آنالیز طیف‌سنجی تغییر شکل فروسرخ فوری در محدوده طول موج $4000-500\text{ cm}^{-1}$ استفاده شد. پتانسیل آنتی‌اکسیدانی اسانس زردچوبه با مهار رادیکال‌های آزاد (DPPH و ABTS) و رنگبری بتاکاروتن لینولئیک اسید تعیین گردید. مقدار فنول کل و فلاونوئید با روش‌های رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد. از روش MTT جهت تعیین اثر سیتوتوکسیک غلظت‌های مختلف اسانس زردچوبه بر رده سلولی سرطان روده بزرگ (HT29) استفاده شد. ۱۸ ترکیب شناسایی شده در اسانس زردچوبه ۹۷/۹۱ درصد ترکیبات را تشکیل دادند. Turmerone با ۴۰٪ بیشترین ترکیب شناسایی شده در اسانس زردچوبه بود. محدوده عدد موجی $3600-3400\text{ cm}^{-1}$ (به‌ویژه عدد موجی 3516 cm^{-1}) و پیک‌های 2930 cm^{-1} ، 1621 cm^{-1} ، 1515 cm^{-1} و 1447 cm^{-1} به‌ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی پیوندهای C-H، O-H، C=O و C=C حلقه آروماتیک و گروه‌های آروماتیک کورکومینوئیدها است. پتانسیل آنتی‌اکسیدانی اسانس زردچوبه به روش‌های DPPH، ABTS و رنگبری بتاکاروتن لینولئیک اسید به‌ترتیب ۲۵/۱۵، ۹۳/۹۰ و ۷۲/۷۶ درصد بود. فنول کل و فلاونوئید کل اسانس زردچوبه به‌ترتیب ۳۸/۹۱ mg GAE/g و ۸۷/۹ mg QE/g بود. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اسانس زردچوبه از ۳/۱۲۵ mg/mL به ۲۰۰ میزان زنده‌مانی سلول HT29 به‌ترتیب از ۶۶/۷۶ به ۹/۸۸ درصد تغییر پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی: اسانس زردچوبه، کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی، طیف‌سنجی تغییر شکل فروسرخ فوری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی.

مقدمه

آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی موجود در گیاهان را مرتبط با ترکیبات فنولی دانسته‌اند (مزارعی و همکاران، ۱۳۹۶). زردچوبه یا زردچوبه یا زرده چال با نام علمی *Curcuma longa* به انگلیسی Turmeric، به عربی عروق الصفر یا حشیشه الصفر و به هندی هلدی^۴ نامیده می‌شود. زردچوبه از رده زنجبیل‌وارها^۵، راسته زنجبیل‌ها^۶، تیره زنجبیلیان^۷، گونه زردچوبه‌ای‌ها^۸ است. از فواید زردچوبه می‌توان به اثر آنتی‌اکسیدانی آن اشاره کرد که به دلیل وجود کورکومین^۹ است. کورکومین از مهمترین کورکومینوئیدها^{۱۰} است و از مواد تشکیل‌دهنده زردچوبه است. علاوه بر کورکومین ترکیبات فنولی

عصاره و اسانس‌های گیاهان با داشتن ترکیباتی فنولی زیست فعال نقش آنتی‌اکسیدانی خود را ایفا کنند (سلطانی‌پور و همکاران، ۱۳۸۳؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۴). آنتی‌اکسیدان‌ها از طریق خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و جلوگیری از اکسیداسیون لیپیدها باعث به تأخیر انداختن فساد، تغییر رنگ یا تند شدن مواد غذایی می‌شوند. به دلیل اثرات نامطلوب آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی مانند سرطان‌زایی و آسیب کبدی، امروز استقبال و تمایل مصرف‌کنندگان از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی رو به افزایش است. در برخی از پژوهش‌ها فعالیت

4 Haldi
5 Liliopsida
6 Zingiberales
7 Zingiberaceae
8 Curcuma
9 Curcumin
10 Curcuminoids

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
(Email: Mehrnia@asnrukh.ac.ir *نویسنده مسئول)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.85943

گروه‌های عاملی ترکیبات شیمیایی و تشخیص کیفی نوع پیوندها با طیف‌سنجی تغییر شکل فروسرخ فوریه، تعیین پتانسیل آنتی‌اکسیدانی با مهار رادیکال‌های آزاد (DPPH و ABTS) و رنگبری بتاکاروتن لینولئیک اسید، تعیین میزان فنول و فلاونوئید کل با روش‌های رنگ‌سنجی و اثر سیتوتوکسیک آن بر رده سلولی سرطان روده بزرگ (HT29) بود.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری زردچوبه و استخراج اسانس آن

ریشه خشک شده زردچوبه از شهرستان اهواز (استان خوزستان) از عطاری محلی خریداری شد و جنس و گونه آن تعیین گردید. اسانس زردچوبه با دستگاه کلونجر و با روش تقطیر آبی استخراج گردید (Alizadeh Behbahani and Imani Fooladi., 2018).

شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس با دستگاه کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی

جهت شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس زردچوبه از دستگاه کروماتوگرافی گازی (Agilent Technologies 7890A، آمریکا) و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (Agilent Technologies 5975C، آمریکا) استفاده شد. ۱ µl اسانس زردچوبه به دستگاه کروماتوگرافی گازی تزریق شد. دمای ستون با سرعت ۳°C/min از ۴۵°C به ۲۱۰°C افزایش یافت. ستون دستگاه (Agilent Technologies Inc., HP-5 MS، آمریکا) از نوع موبینه با طول ۳۰m، قطر داخلی ۰/۲۵ mm و ضخامت ۰/۲۵ µm بود. پس از انجام تزریق اسانس به دستگاه و به‌دست آوردن کروماتوگرام، شناسایی و تعیین مقدار هر یک از ترکیبات با استفاده از طیف جرمی استاندارد مشخص گردید (Barzegar et al., 2019).

طیف‌سنجی تغییر شکل فروسرخ فوریه (FTIR)^۵

این آزمون مطابق با مطالعه Alizadeh Behbahani و همکاران (۲۰۱۹)، انجام شد. در این آزمون که هدف آن تعیین گروه‌های عاملی ترکیبات شیمیایی و شناسایی کیفی اسانس زردچوبه بود از آنالیز طیف‌سنجی تغییر شکل فروسرخ فوریه (Avatar, Thermo Nicolet، 370، آمریکا) استفاده شد. طیف FTIR از اسانس زردچوبه در محدوده طول موج $4000-500\text{ cm}^{-1}$ ثبت گردید.

زردچوبه که حاوی اسید فرولیک^۱ و اسید پروتو کاتکوتیک^۲ هستند، بر پتانسیل آنتی‌اکسیدانی و فعالیت ضد میکروبی آن می‌افزایند (Kumar et al., 2006). زردچوبه با کاهش تشکیل کلامپ‌های خونی به پیشگیری از تصلب شرائین^۳ کمک کرده و می‌تواند رشد هلیکوباکتریلوری (عامل زخم معده و مرتبط با سرطان معده) را کاهش دهد. فعالیت شلاته‌کنندگی ترکیبات فنولی آن باعث کاهش اثرات سمی این فلزات در بدن شده و می‌تواند اثر محافظتی برای مغز داشته باشد (فلاح حسینی، ۱۳۸۸).

یکی از سرطان‌های شایع در کشورهای صنعتی توسعه یافته که باعث مرگ و میر می‌شود سرطان دستگاه گوارشی به‌ویژه سرطان قسمت‌های تحتانی دستگاه گوارشی، سرطان روده بزرگ یا سرطان کولون^۴ می‌باشد که با نام سرطان کولورکتوم^۵ نیز شناخته شده و به اختصار با CRC نشان داده می‌شود. سرطان کولون که یک سرطان تهاجمی است که در آن پاتولوژیک اپیتلیوم نرمال^۶ به پولیپ آدنوماتوز^۷ تبدیل می‌شود (قاضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). ویژگی‌های اپیدمیولوژیک سرطان کولورکتال و همچنین میزان بروز سالیانه آن در نقاط مختلف دنیا متفاوت است. این بیماری بین ۳ تا ۷ مورد در ۱۰۰۰۰۰ نفر در کشورهای خاورمیانه و در حدود ۳۰ تا ۵۰ مورد در ۱۰۰۰۰۰ نفر در شمال آمریکا و اروپا گزارش گردیده است. بروز این بیماری در ایران نسبت به کشورهای غربی کمتر است. میزان بروز این بیماری در بین مردان مقام پنجم و در بین زنان مقام سوم در میان کل سرطان‌ها است (آخوند و همکاران، ۱۳۸۹). سرطان کولون به دو نوع طبقه‌بندی می‌شود. دسته اول طبقه‌بندی Dukes که شامل چهار طبقه فرعی A، B، C1، C2 و D است که در کشورهای آمریکا و انگلستان رایج است. دسته دوم طبقه‌بندی TNM است که از نظر مولکولی شامل ۹ طبقه فرعی است (قاضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶).

Kim و همکاران (۲۰۱۰) اثر زردچوبه را بر سلول‌های HCT-116 بررسی کردند و گزارش کردند که اثر زردچوبه روی این سلول‌ها وابسته به زمان است. Cao و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر کورکومین، یکی از مؤلفه‌های فعال جدا شده از ریزوم‌های زردچوبه، بر سمیت سه رده سلولی سرطان انسانی (HT29، AGS، MGC803) در دستگاه گوارش و یک سلول طبیعی اپیتلیال معده GES-1، گزارش کردند. Rouhollahi و همکاران (۲۰۱۵) اثر سیتوتوکسیک عصاره‌های هگزان و دی کلرومتان ریزوم زردچوبه را بر ۴ رده سلولی سرطانی انسان مورد تایید قرار دادند.

هدف از این پژوهش، شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس زردچوبه با استفاده از کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی، تعیین

5 Colorectal cancer
6 Normal epithelium
7 Adenomatous polyp
8 Fourier-transform infrared spectroscopy

1 Ferulic
2 Protocatechuic
3 Atherosclerosis
4 Colon cancer

تعیین مقدار فلاونوئید کل اسانس زردچوبه

تعیین میزان فلاونوئید کل اسانس زردچوبه مطابق با مطالعه Chang و همکاران (۲۰۰۲)، با اندکی اصلاحات انجام پذیرفت. ۱/۲۵ ml آب مقطر با ۱ ml اسانس زردچوبه مخلوط شد. در ادامه ۷۵ µl محلول نیتريت سدیم نیز اضافه شد. پس از ۶ min محلول آلومینوم تری کلرید اضافه شد و در دمای اتاق به مدت ۶ min نگهداری شد. در نهایت ۱ ml سود به محلول اضافه شد و جذب آن در طول موج ۵۱۰ nm خوانده شد. مقادیر فلاونوئید کل اسانس زردچوبه بر حسب mg quercetin equivalent (QE)/g گزارش شد.

اثر سیتوتوکسیک اسانس زردچوبه بر رده سلولی سرطان روده بزرگ (HT29)

از روش MTT مطابق با مطالعه تناور و همکاران (۱۳۹۹)، جهت تعیین اثر سیتوتوکسیک غلظت‌های مختلف اسانس زردچوبه بر رده سلولی سرطان روده بزرگ (HT29) استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های به‌دست آمده از آزمون‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه تجزیه و تحلیل شد. جهت مقایسه میانگین داده‌های به‌دست آمده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۸) استفاده شد. حداقل تکرار برای آزمون‌ها ۳ مرتبه بود.

نتایج و بحث

شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس زردچوبه

نتایج شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس زردچوبه با استفاده از کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی در جدول ۱، آورده شده است. ۱۸ ترکیب شناسایی شده در اسانس زردچوبه ۹۷/۹۱٪ ترکیبات را تشکیل دادند. Turmerone با ۴۰٪ بیشترین ترکیب شناسایی شده در اسانس زردچوبه بود. ترکیبات اصلی دیگر شامل Curlone، Zingiberene و Benzene که هر کدام به ترتیب ۳۴٪، ۸/۳۰٪ و ۴/۱۸٪ بود. مقایسه نتایج پژوهش حاضر با مطالعات قبلی تا حدودی مشابه بود. به‌طور مثال Stanojević و همکاران (۲۰۱۵)، گزارش کردند که بازده اسانس زردچوبه ۰/۳٪ بود. این پژوهشگران همچنین بیان کردند که عمده‌ترین ترکیبات اسانس زردچوبه به ترتیب شامل α-Turmerone (۲۲٪/۷)، Turmerone (۲۶٪) و Curlone (۱۶٪/۸) بود. در پژوهش ما میزان بازده استحصالی اسانس ۱٪ بود. شاید بتوان دلیل این امر را به روش‌های متفاوت استخراج اسانس، سن گیاه، شرایط اقلیمی و ... مرتبط دانست (طباطبایی یزدی و همکاران، ۱۳۹۸). ترکیبات شناسایی شده تا حدود زیادی مشابه با یافته‌های ما بود. Negi و همکاران (۱۹۹۹)، گزارش کردند که

اندازه‌گیری فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس زردچوبه مطابق با مطالعه نوشاد و همکاران (۱۳۹۷)، انجام پذیرفت. به‌طور خلاصه در این آزمون ۱ ml از اسانس زردچوبه با ۳ mL از محلول DPPH در متانول، مخلوط گردید. سپس به مدت ۳۰ min محلول در دمای اتاق (۲۵°C) و تاریکی قرار داده شد (اطراف ظروف شیشه‌ای با فویل آلومینیمی به‌طور کامل پوشانده شده بود). در نهایت میزان جذب نمونه‌های اسانس زردچوبه و نمونه شاهد (متانول) با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ nm خوانده شد. با جای‌گذاری اعداد به‌دست آمده از جذب نمونه‌ها در معادله ۱، فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل بر حسب درصد بازدارندگی به دست آمد.

$$A_{\text{شاهد}} - A_{\text{نمونه}} = (A_{\text{شاهد}} - A_{\text{نمونه}}) \times 100 \quad (1)$$

درصد بازدارندگی

اندازه‌گیری فعالیت مهار رادیکال آزاد ABTS

برای اندازه‌گیری فعالیت مهار رادیکال آزاد ABTS ابتدا رادیکال ABTS تهیه شد. بدین صورت که ابتدا یک محلول آبی از ABTS به غلظت ۷ mM تهیه شده و به این محلول، پتاسیم پرسولفات اضافه گردید تا غلظت نهایی آن به ۲/۴۵ mM در محلول رسید. محلول حاصل در دمای اتاق و تاریکی به مدت ۱۶ h قرار داده شد. قبل از استفاده از کاتیون رادیکال ABTS⁺ لازم است رقیق‌سازی تا حدی انجام گیرد که جذب معرف در طول موج ۷۳۴ nm در محدوده جذبی ۰/۲ ± ۰/۷ باشد. در انتها ۳۰ µl از نمونه به ۳ mL از محلول رادیکال ABTS اضافه شد و پس از گذشت ۶ min جذب آن ثبت گردید (امیدی‌میرزائی و همکاران، ۱۳۹۹).

بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش رنگ‌بری بتاکاروتن-لینولئیک اسید

این روش مطابق با مطالعه Gursoy و همکاران (۲۰۰۹)، انجام شد. در این روش پتانسیل آنتی‌اکسیدانی اسانس زردچوبه با استفاده از میزان مقاومت در برابر اکسیداسیون لینولئیک اسید و تغییر رنگ بتاکاروتن توسط رادیکال‌های آزاد ارزیابی می‌شود.

تعیین مقدار فنول کل اسانس زردچوبه

این آزمون مطابق با روش سینگلتن و رسی (۱۹۹۵)، انجام شد. به‌طور خلاصه ابتدا ۱ ml نمونه اسانس زردچوبه با ۲/۵ ml محلول فنول مخلوط کرده و به مدت ۶ min در تاریکی نگه داشته شد. سپس ۲/۵ ml کربنات سدیم ۷٪ اضافه شده و بعد از گذشت ۶۰ min میزان جذب این محلول در طول موج ۷۲۵ nm توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. نتایج به‌دست آمده با منحنی استاندارد اسید گالیک مقایسه و مقادیر فنول کل موجود در اسانس بر حسب mg gallic acid equivalent (GAE)/g گزارش شد.

کردند. ترکیبات اصلی زردچوبه شامل Turmerone و Curlone بود. نتایج این محققین با یافته‌های ما مطابقت داشت. Lee و همکاران (۲۰۱۱) اجزای اسانس زردچوبه را مورد شناسایی قرار دادند. این پژوهشگران گزارش کردند که اجزای اصلی اسانس شامل α-Turmerone (۳۵/۵۹٪)، Germacrone (۱۹/۰۲٪)، α-Zingiberene (۸/۷۴٪) بود. در پژوهش ما نیز Zingiberene با ۸/۳۰٪ یکی از ترکیبات اصلی تشکیل‌دهنده اسانس زردچوبه بود. نتیجه آنالیز اسانس زردچوبه توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی در مطالعه سمیعی و همکاران (۱۳۹۷)، نشان داد که ۲۷ ترکیب شناسایی شده در مجموع ۹۹/۶۹٪ ترکیبات اسانس را تشکیل می‌دهد. عمده‌ترین ترکیب اسانس زردچوبه β-Turmerone (۳۴/۴۲٪) بود. سایر ترکیبات شامل α-Turmerone (۱۱/۴٪)، Sesquiphellandrene (۱۰/۶۱٪)، Zingiberene (۹/۲۱٪)، Turmerone (۸/۵۱٪) و trans-Caryophyllene (۷/۸۶٪) بود. نتایج این پژوهشگران تا حدودی با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی داشت.

α-Turmerone (۶۲٪)، Tans-â-farnesene (۶/۶٪)، Turmerone (۵/۱٪) و Curlone (۳/۹٪) ترکیبات اصلی روغن زردچوبه هستند. در مطالعه ما نیز ترکیبات Turmerone و Curlone دو ترکیب اصلی تشکیل‌دهنده اسانس زردچوبه بودند. پس می‌توان بیان کرد که نتایج این پژوهشگران در مورد نوع ترکیبات شناسایی شده شبیه بود اما در مورد درصد میزان ترکیبات تفاوت‌هایی مشاهده شد. برزگر و همکاران (۱۳۹۸)، دلیل این امر را به شرایط فیزیولوژیکی گیاه، نوع خاک، زمان برداشت گیاه، روش خشک کردن گیاه و ... نسبت دادند. Singh و همکاران (۲۰۱۰) ترکیبات شیمیایی اسانس زردچوبه را با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی مورد شناسایی قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که ترکیبات Turmerone (۲۴/۴٪)، α-Turmerone (۲۰/۵٪) و β-Turmerone (۱۱/۱٪) جز اصلی تشکیل‌دهنده زردچوبه بود. یافته‌های این پژوهشگران با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت. Naz و همکاران (۲۰۱۰) ترکیبات شیمیایی زردچوبه را مورد شناسایی قرار دادند. این پژوهشگران ۱۶ ترکیب را در اسانس زردچوبه شناسایی

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی اسانس زردچوبه با استفاده از کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی

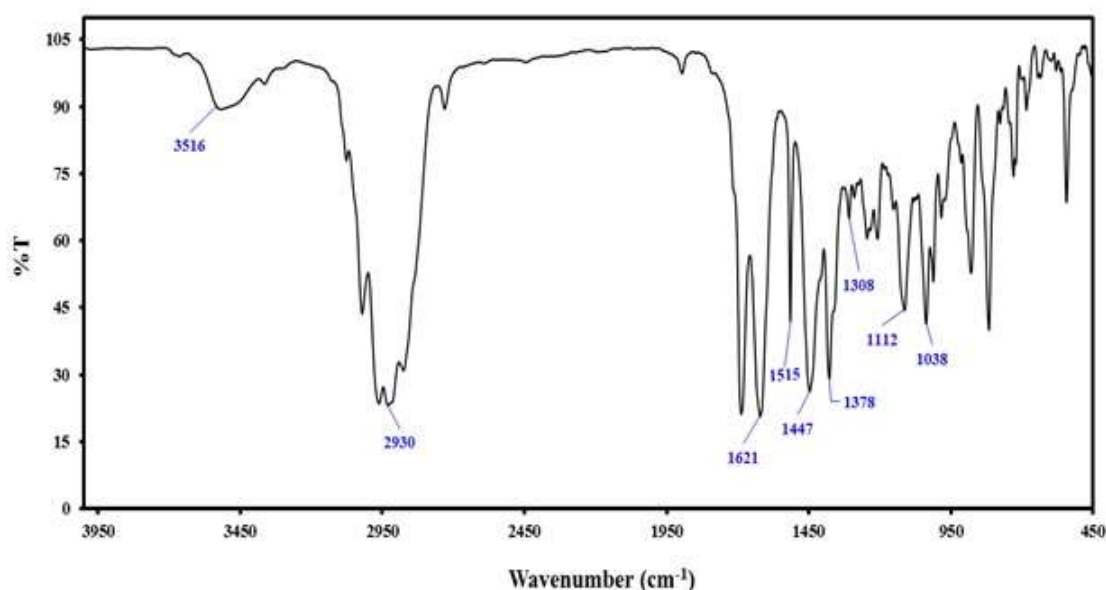
شماره	نام ترکیبات تشکیل‌دهنده	زمان بازداری (دقیقه)	درصد
۱	α-Pinene	۳/۳۴	۱/۵
۲	α-Phellandrene	۴/۳۲	۱/۴۳
۳	Limonene	۴/۷۲	۰/۲
۴	Eucalyptol	۴/۷۹	۱
۵	Terpinolene	۵/۸۳	۰/۲۶
۶	Terpinen-4-ol	۷/۸۰	۰/۰۸
۷	Benzenemethanol	۸	۰/۱۲
۸	Terpineol	۸/۱۱	۰/۱۴
۹	Anethole	۱۰/۳۸	۰/۳۱
۱۰	Phenol	۱۰/۵۹	۰/۱۸
۱۱	Caryophyllene	۱۳/۶۸	۱/۷
۱۲	Humulene	۱۴/۴۸	۰/۷
۱۳	Benzene	۱۵/۱۸	۴/۱۸
۱۴	Zingiberene	۱۵/۲۹	۸/۳۰
۱۵	Cyclohexadiene	۱۵/۴۶	۲/۹
۱۶	β-Bisabolene	۱۶/۲۵	۰/۹۱
۱۷	Tumerone	۱۷/۳۷	۴۰
۱۸	Curlone	۱۸/۷۷	۳۴
کل			۹۷/۹۱

تعیین گروه‌های عاملی ترکیبات شیمیایی و تشخیص کیفی

نوع پیوندها

طیف FTIR اسانس زردچوبه در شکل ۱، نشان داده شده است. محدوده عدد موجی $3600-3400\text{ cm}^{-1}$ (به‌ویژه عدد موجی 3516 cm^{-1}) و پیک‌های 2930 cm^{-1} ، 1621 cm^{-1} ، 1515 cm^{-1} و 1447 cm^{-1} به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی پیوندهای O-H، C-H، C=O و C=C حلقه آروماتیک و گروه‌های آروماتیک کورکومینوئیدها^۱ می‌باشند (Karimi et al., 2018; Pawar et al., 2015; Yadav et al., 2017). پیک در 1515 cm^{-1} ممکن است ناشی از ارتعاش کششی پیوند C=O سسکوئی‌ترین‌ها^۲ (ترمرون^۳) باشد. علاوه بر این، پیک‌های 1378 cm^{-1} و 1308 cm^{-1} نیز حضور آلکان‌ها یا ارتعاش خمشی گروه CH_3 کورکومینوئیدها (کورکومین) را تأیید کرد (Khanam., 2018). پیک‌های مشاهده شده در 1038 cm^{-1} و 1112 cm^{-1} احتمالاً ناشی از ارتعاش کششی پیوند C-O-C بود (Khanam., 2018). به‌طور کلی، محدوده عدد موجی $1621-1447\text{ cm}^{-1}$ و $1515-1378\text{ cm}^{-1}$ به ترتیب به ارتعاش کششی پیوندهای C=O و C-O حلقه آروماتیک نسبت داده

شده است (Chowdhury et al., 2000) و این پیک‌های شاخص مؤید حضور گروه‌های عملکردی و ترکیبات زیست فعال در اسانس زردچوبه بود. Karimi و همکاران (۲۰۱۸) طیف FTIR زردچوبه را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که باند در طول موج 3430 cm^{-1} به یک ارتعاش پیوند باند آزاد OH و در طول موج 2930 cm^{-1} ، 1513 cm^{-1} و 1450 cm^{-1} مربوط به گروه‌های معطر بود. Araujo و همکاران (۲۰۱۶) به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و فوتوفیزیکی اسانس زردچوبه پرداختند. این پژوهشگران از طیف سنجی FTIR، به‌عنوان یک ابزار تحلیلی مؤثر برای تشخیص گروه‌های عملکردی و مشخص کردن پیوند کووالانسی استفاده کردند. نتایج طیف FTIR حاکی از آن بود که استخراج اسانس از ریزوم باعث کاهش قابل توجهی در باندهای گسترده قوی بین 3100 cm^{-1} و 2900 cm^{-1} می‌گردد. این باندها به گروه‌های هیدروکسیل پیوندی (OH-) یا آمین (NH-) و آلفاتیک C-H زردچوبه نسبت داده شد.



شکل ۱- طیف FTIR اسانس زردچوبه.

زردچوبه از پتانسیل آنتی‌اکسیدانی خوبی برخوردار است. مقدار فنول تام موجود در اسانس زردچوبه که یک ترکیب فنولی خالص می‌باشد، بر حسب گالیک اسید از روی منحنی استاندارد آن به روش فولین سیوکالتو محاسبه شد (۳۸/۹۱ mg GAE/g). Nampoothiri و همکاران (۲۰۱۲) محتوای پلی‌فنولی زردچوبه را بر حسب گالیک اسید ۲۰٪

ویژگی‌های شیمیایی و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی اسانس

زردچوبه

در جدول ۲، نتایج فنول کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس زردچوبه به ۳ روش مهار رادیکال DPPH، ABTS و رنگبری بتاکاروتن-لینولئیک اسید آورده شده است. نتایج نشان داد که اسانس

گزارش کردند (۲۲). سمیعی و همکاران (۱۳۹۷b) توانایی مهار رادیکال آزاد اسانس زردچوبه را با روش DPPH، ۱۸٪ گزارش کردند. Stanojević و همکاران (۲۰۱۵)، فعالیت آنتی اکسیدانی روغن زردچوبه را با استفاده از رادیکال DPPH تعیین کردند. این پژوهشگران درصد مهارکنندگی روغن زردچوبه را ۹۲٪ گزارش کردند. Maizura و همکاران (۲۰۱۱) فعالیت آنتی اکسیدانی و فنول کل زردچوبه را به ترتیب ۶۴/۶٪ و ۶۷/۸۹ mg GAE/g گزارش کردند. یافته‌های این پژوهشگران با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشت. Akinola Alafiatayo و همکاران (۲۰۱۴) ظرفیت آنتی اکسیدانی دو گونه زردچوبه (*Curcuma xanthorrhiza* و *Curcuma longa*) رشد یافته در جنوب شرق آسیا را با روش‌های DPPH و FRAP، مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران همچنین میزان فنول کل و فلاونوئید زردچوبه را نیز تعیین کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که میزان فعالیت آنتی اکسیدانی زردچوبه (*Curcuma longa*) به روش‌های DPPH و FRAP به ترتیب ۲۷۰/۱ mg TE/g و ۲۳۱/۷ mg TE/g بود. میزان فنول کل و فلاونوئید نیز به ترتیب ۴۲/۷ mg GAE/g و ۹۰٪ گزارش شد. Singh و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که روغن اسانس ریزوم تازه زردچوبه دارای فعالیت

آنتی اکسیدانی بالاتری نسبت به ریزوم خشک شده است. این پژوهشگران همچنین گزارش کردند که فعالیت آنتی اکسیدانی زردچوبه نسبت به آنتی اکسیدان BHA^۳ قوی تر بود. فعالیت آنتی اکسیدانی زردچوبه در برابر رادیکال DPPH در محدوده ۸۶-۹۲٪ گزارش شد. Karimi و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که زردچوبه دارای فعالیت آنتی اکسیدانی بالایی است. Li و همکاران (۲۰۰۹) فعالیت آنتی اکسیدانی دو گونه زردچوبه را مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران بیان کردند که زردچوبه دارای فعالیت آنتی اکسیدانی خوبی است. Sahu و Saxena (۲۰۱۳) فلاونوئید کل عصاره‌های مختلف زردچوبه را تعیین کردند. این محققین گزارش کردند که میزان فلاونوئید کل عصاره بین ۲۲/۲۵ تا ۷۹/۳۶ mg/g متغیر بود. حداکثر مقدار فلاونوئید کل در عصاره متانولی زردچوبه مشاهده شد. طبق مقایسه نتایج مطالعات مختلف، تفاوت‌هایی در مقدار ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی گیاهان وجود دارد. این تفاوت‌ها به عواملی مانند شرایط اقلیمی از جمله آب، هوا، خاک و ارتفاع که در رشد گیاهان دارویی مؤثر است، بستگی دارد. همچنین می‌توان به عوامل دیگری همانند روش‌های متنوع اندازه‌گیری ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس‌ها نیز اشاره کرد (برزگر و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۲- محتوای فنول کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس زردچوبه

فعالیت آنتی اکسیدانی (%)			فلاونوئید (mg QE/g)		فنول (mg GAE/g)
مهار رادیکال DPPH	مهار رادیکال ABTS	بتاکاروتن لینولنیک اسید			اسانس زردچوبه
۲۵/۱۵±۰/۸۳	۹۳/۹۰±۰/۵۵	۰/۸۸±۷۲/ ۷۶	۸۷/۹۰±۰/۶۳		۳۸/۹۱±۰/۴۴

اثر سیتوتوکسیک اسانس زردچوبه بر رده سلولی سرطان روده بزرگ (HT29)

شکل ۲، اثر سیتوتوکسیک اسانس زردچوبه را بر رده سلولی سرطان روده بزرگ (HT29) نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل ۲، مشخص است با افزایش غلظت اسانس زردچوبه از ۳/۱۲۵ mg/mL به ۲۰۰ mg/mL، تأثیر اسانس زردچوبه بر رده سلولی HT29 به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. درصد زنده‌مانی سلول HT29 در غلظت‌های ۳/۱۲۵ و ۲۰۰ mg/mL به ترتیب ۶۶/۷۶ و ۹/۸۸ بود.

Kim و همکاران (۲۰۱۰) اثر زردچوبه را بر زنده بودن سلول‌های HCT-116 مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اثر زردچوبه روی زنده بودن این سلول‌ها وابسته به زمان است. این پژوهشگران سلول‌های HCT-116 را با زردچوبه به مدت ۱۲ h و به دنبال آن با

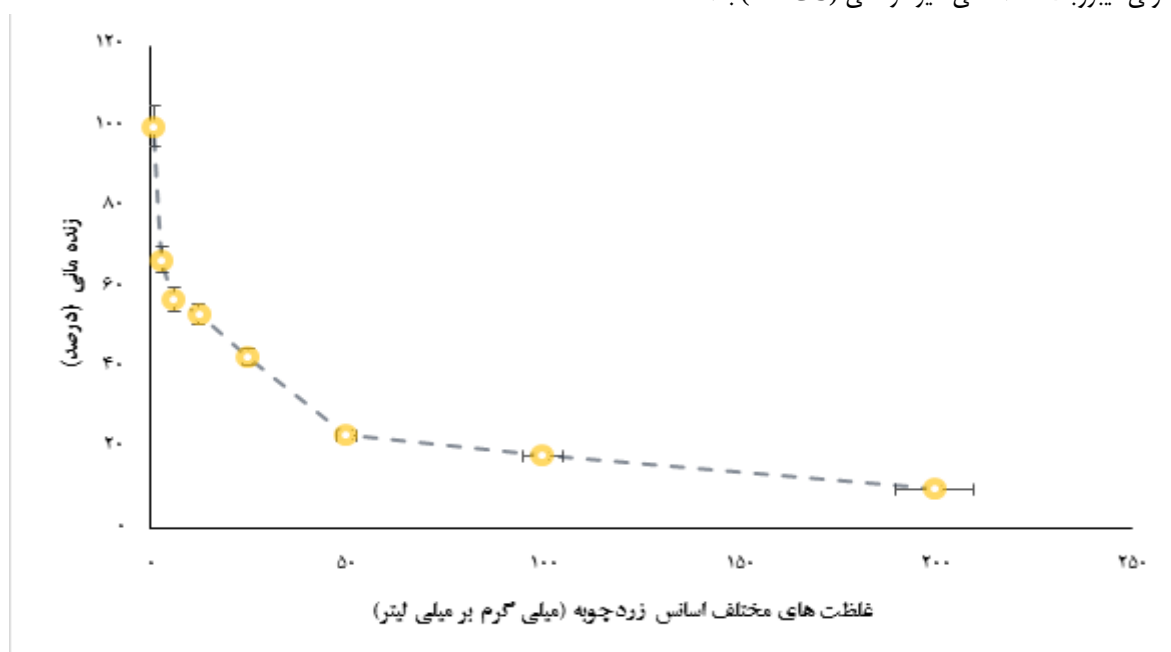
کپسیتابین^۴ و تاکسول (پاکلیتاکسل)^۵ به مدت ۲۴ ساعت درمان کرده و سپس با استفاده از روش زنده و مرده، یکپارچگی غشای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که زردچوبه، کپسیتابین و تاکسول به تنهایی در دوز مورد بررسی، باعث مرگ حداقل در سلول‌های سرطانی شدند. با این حال، هنگامی که سلول‌ها با زردچوبه تحت درمان قرار گرفتند، آپوپتوز^۶ ناشی از کپسیتابین از ۵٪ به ۵۲٪ افزایش یافت. آپوپتوز ناشی از تاکسول از ۴٪ به ۴۵٪ افزایش یافت. این نتایج نشان‌دهنده تعامل هم‌افزایی بین زردچوبه و شیمی درمانی بود. Rouhollahi و همکاران (۲۰۱۵) اثر سیتوتوکسیک عصاره‌های هگزان و دی کلرومتان ریزوم گونه‌ای از زردچوبه را بر ۴ رده سلولی سرطانی انسان پس از ۲۴ h با استفاده از روش MTT بررسی کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که عصاره‌های هگزان و دی کلرومتان دامنه گسترده‌ای از اثر سمیت سلولی را نسبت به سلول‌های سرطانی نشان دادند. نتایج نشان داد

5 Paclitaxel
6 Apoptosis

1 Ferric reducing ability of plasma
2 Trolox equivalents
3 Butylated hydroxyanisole
4 Capecitabine

از روش سمیت سلولی قرمز خنثی^۱ بررسی کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که متانول خام و عصاره‌های استخراج شده (هگزان و اتیل استات) اثر سمیت سلولی خوبی را در برابر سلول‌های MCF 7، KB، A549، Ca Ski و HT29 نشان داده اما هیچ سمیتی بر MRC 5 مشاهده نشد. Singh و همکاران (۲۰۰۹)، نحوه عملکرد کورکومین به‌عنوان یک ماده ضدسرطان و بررسی اثر آن بر تکثیر و القای آپوپتوز در سلول‌های سرطانی روده بزرگ انسانی HT29 را مورد ارزیابی قرار دادند. این پژوهشگران اثر کورکومین را مثبت گزارش کردند. Goel و همکاران (۲۰۰۱) دریافتند که کورکومین، رنگدانه اصلی و مؤلفه فعال زردچوبه، دارای فعالیت‌های ضدالتهابی و ضدسرطان است. سیکلواکسیژناز ۲-(COX) نقش مهمی در سرطان روده بزرگ دارد. این پژوهشگران برای بررسی اثر کورکومین در بیان ۲-(COX)، سلول‌های سرطانی روده بزرگ HT29 را با غلظت‌های مختلف کورکومین درمان کردند. نتایج نشان داد که اثر کورکومین بر رشد سلول‌های HT29 وابسته به غلظت و زمان است.

که IC_{50} بر رده سلولی سرطانی روده بزرگ (HT29) $7.79 \pm 0.54 \mu\text{g/mL}$ بود. این پژوهشگران همچنین ایمن بودن این گیاه را بر سلول‌های طبیعی انسان تایید کردند. در مطالعه Cao و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر کورکومین، یکی از مؤلفه‌های فعال جدا شده از ریزوم‌های زردچوبه، بر سمیت سه رده سلولی سرطان انسانی (AGS، HT29 و MGC803) در دستگاه گوارش و یک سلول طبیعی اپیتلیال معده GES-1، و مکانیسم آپوپتوز ناشی از کورکومین بررسی کردند. نتایج نشان داد که مهار رشد سلول‌های سرطان معده وابسته به دوز بوده و اثر سمیت بیشتر کورکومین بر سلول‌های AGS و HT29 در مقایسه با سلول‌های GES-1 بیشتر بود. Malek و همکاران (۲۰۱۱) اثر سمیت سلولی متانول خام و عصاره‌های استخراج شده (هگزان و اتیل استات) گونه‌ای از زردچوبه را در برابر شش رده سلولی سرطانی انسان (سلول پستان وابسته به هورمون MCF 7)، رده سلولی اپیدرموئید نازوفارنکس (KB)، رده سلولی ریه (A549)، رده سلولی دهانه رحم (Ca Ski)، رده سلولی کولون (HT29 و HCT 116) و یک رده سلولی فیبروبلاست انسانی غیرسرطانی (MRC 5) با استفاده



شکل ۲- اثر سیتوتوکسیک اسانس زردچوبه بر رده سلولی سرطان روده بزرگ (HT29).

مرتبط دانست. پیک‌های 1378 cm^{-1} و 1308 cm^{-1} حضور آلکان‌ها یا ارتعاش خمشی گروه CH_3 کورکومینوئیدها (کورکومین) را تأیید کرد. می‌توان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و سیتوتوکسیک اسانس زردچوبه را در ارتباط با این ترکیب دانست. در انتها پیشنهاد می‌گردد با توجه به پتانسیل بالای گیاه زردچوبه از اسانس این گیاه به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی به

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس زردچوبه به روش‌های مختلفی DPPH، ABTS و رنگ‌بری بتاکاروتن لینولئیک اسید نشان داد که اسانس زردچوبه از پتانسیل بالای آنتی‌اکسیدانی برخوردار است. میزان ترکیبات فنولی موجود در زردچوبه 38.91 mg GAE/g بود. بخشی از پتانسیل آنتی‌اکسیدانی زردچوبه را می‌توان به ترکیبات فنولی

جای آنتی اکسیدان های سنتزی در صنعت روغن های خوراکی استفاده
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل حمایت های
مادی و معنوی صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد می باشد، لذا
نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند از معاونت پژوهشی و فناوری

منابع

- آخوند، م.ر.، کاظم نژاد، ا.، حاجی زاده، ا.،، قنبری مطلق، ع.،، زالی، م. ۱۳۸۹. مقایسه عوامل موثر بر بقای بیماران مبتلا به سرطان کولون و رکتوم با استفاده از مدل ریسک های رقابتی. کومش. ۱۲ (۲): ۱۱۹-۱۲۸.
- امیدی میرزائی، م.،، حاجتی، م.،، علیزاده بهبهانی، ب.،، نوشاد، م. ۱۳۹۹. تعیین ترکیبات شیمیایی، ویژگی های ضد اکسایشی و فعالیت ضد میکروبی اسانس دانه گشنیز بر تعدادی از میکروارگانیسم های بیماری زا. پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۶ (۲): ۲۳۳-۲۲۱.
- برزگر، ح.،، علیزاده بهبهانی، ب. و مهرنیا، م.ا. ۱۳۹۸. شناسایی ترکیبات شیمیایی و فعالیت ضدباکتریایی اسانس ریحان سبز و برهمکنش آن با آنتی بیوتیک های تتراسایکلین و کلرامفنیکل بر تعدادی از ریزاندامگان عامل عفونت و مسمومیت غذایی. مجله علوم و صنایع غذایی، ۹۰ (۱۶): ۱۱۳-۱۲۵.
- برزگر، ح.،، مهرنیا، م.ا. و علیزاده بهبهانی، ب. ۱۳۹۷. تعیین ترکیبات شیمیایی، فعالیت آنتی اکسیدانی و اثر ضد میکروبی اسانس گلپر برفی بر میکروارگانیسم های عامل عفونت و مسمومیت غذایی. فصلنامه میکروبیولوژی کاربردی در صنایع غذایی، ۴ (۴): ۱۵-۲۸.
- تناور، ه.،، برزگر، ح.،، علیزاده بهبهانی، ب.،، مهرنیا، م.ا. ۱۳۹۹. اسانس پونه: ترکیبات شیمیایی، فعالیت آنتی اکسیدانی، فنل کل و اثر سایتوتوکسیک آن بر رده سلولی HT29. پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۶ (۵).
- سلطانی پور، م.، رضایی، م.، مرادشاهی، ع. ۱۳۸۳. بررسی اثرات ضد میکروبی اسانس گیاه مورخوش (*Zhumeria majdae Rech. f. & Wendelbo*). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۰ (۳): ۲۷۷-۲۸۹.
- سمعی، ا.، طباطبایی یزدی، ف.،، مظاهری طهرانی، م. ۱۳۹۷a. شناسایی ترکیبات شیمیایی و ارزیابی فعالیت ضدباکتریایی اسانس زرد چوبه (*Curcuma longa*) بر برخی از باکتری های شاخص مسمومیت غذایی در شرایط آزمایشگاهی. علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۵ (۷۴): ۳۲۹-۳۲۱.
- سمعی، ا.، طباطبایی یزدی، ف.،، مظاهری طهرانی، م. ۱۳۹۷b. بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی، ترکیبات فنولی، اثر ضد میکروبی و برهمکنش اسانس زردچوبه و ریحان علیه برخی از باکتری های بیماری زا. علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۵ (۷۴): ۹۹-۱۰۷.
- صادقی، ا.، درگاهی، ع.، محمدی، ا.، اسدی، ف.، صحرایی، س. ۱۳۹۴. مروری بر تأثیر ضد میکروبی اسانس ها. بهداشت مواد غذایی، ۵ (۲): ۲۶-۱.
- طباطبایی یزدی، ف.،، فلاح، ف.،، علیزاده بهبهانی، ب.،، وسیعی، ع.،، مرتضوی، س.ع. ۱۳۹۸. شناسایی ترکیبات شیمیایی، فعالیت آنتی اکسیدانی، میزان فنل و ارزیابی اثر مهارکنندگی و کشندگی اسانس زنجبیل بر تعدادی از سویه های میکروبی بیماریزا در شرایط برون تنی. مجله دانشگاه علوم پزشکی قم، ۱۳ (۳): ۶۲-۵۰.
- فلاح حسینی، ح.، زحمتکش، م. و حقیقی، م. ۱۳۸۸. مروری بر کاربرد گیاه زردچوبه (*Curcuma longa*) در طب سنتی و مدرن، فصلنامه گیاهان دارویی، ۱۱ (۳۳): ۱-۱۵.
- قاضی زاده، ص.، ترتیبیان، ب.، قادری پاکدل، ف. ۱۳۹۶. نقش ممانعتی هشت هفته تمرین شدت متوسط بر مقدار عوامل مستعد کننده به سرطان کولون (فاکتور رشد شبه انسولینی-۱ و پپتید ۳ متصل شونده به آن) در موش های صحرایی. مجله مطالعات علوم پزشکی، ۲۸ (۱۲): ۷۵۹-۷۶۹.
- مزارعی، ا.، موسوی نیک، م.، فهمیده، ل. ۱۳۹۶. بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی، فلاونوئیدی و فنلی عصاره های اتانولی، آبی، استونی و متانولی سیزده گیاه دارویی. یافته های نوین در علوم زیستی، ۴ (۴): ۳۰۹-۲۹۹.
- نوشاد، م.،، علیزاده بهبهانی، ب. ۱۳۹۷. شناسایی ترکیبات فیتوشیمیایی، پتانسیل آنتی اکسیدانی و فعالیت ضد میکروبی اسانس ترنج (*Bergamot*) بر تعدادی از میکروارگانیسم های عامل عفونت در شرایط برون تنی. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ۲۶ (۶): ۱۳۲-۱۲۲.
- Alizadeh Behbahani, B., & Imani Fooladi, A. A. (2018). Evaluation of phytochemical analysis and antimicrobial activities allium essential oil against the growth of some microbial pathogens. *Microbial Pathogenesis*, 114, 299-303.

- Alizadeh Behbahani, B., Noshad, M., & Falah, F. (2019). Study of chemical structure, antimicrobial, cytotoxic and mechanism of action of *syzygium aromaticum* essential oil on foodborne pathogens. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 13(1), 875-883.
- Alafiatayo Akinola, A., Ahmad, S., & Maziah, M. (2014). Total antioxidant capacity, total phenolic compounds and the effects of solvent concentration on flavonoid content in *Curcuma longa* and *Curcuma xanthorrhiza* rhizomes. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 3(156), 2167-0412.1000156.
- Araujo, L. A., Araujo, R. G., Gomes, F. O., Lemes, S. R., Almeida, L. M., Maia, L. J., Melo-reis, P. R. (2016). Physicochemical/photophysical characterization and angiogenic properties of curcuma longa essential oil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(3), 1889-1897.
- Barzegar, H., Alizadeh Behbahani, B., & Mehrnia, M. A. (2019). Quality retention and shelf life extension of fresh beef using lepidium sativum seed mucilage-based edible coating containing *heracleum lasiopetalum* essential oil: An experimental and modeling study. *Food Science and Biotechnology*, in press. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00715-4>.
- Cao, A., Li, Q., Yin, P., Dong, Y., Shi, H., Wang, L., Wu, D. (2013). Curcumin induces apoptosis in human gastric carcinoma ags cells and colon carcinoma ht-29 cells through mitochondrial dysfunction and endoplasmic reticulum stress. *Apoptosis*, 18(11), 1391-1402.
- Chang C., Yang M., Wen H., Chern J. (2002). Estimation of total flavonoid content in Propolis by two complementary calorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*; 10: 178-18.
- Chowdhury, H., Walia, S., & Saxena, V. S. (2000). Isolation, characterization and insect growth inhibitory activity of major turmeric constituents and their derivatives against *Schistocerca gregaria* (Forsk) and *Dysdercus koenigii* (Walk). *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 56(12), 1086-1092.
- Goel, A., Boland, C. R., & Chauhan, D. P. (2001). Specific inhibition of cyclooxygenase-2 (cox-2) expression by dietary curcumin in ht-29 human colon cancer cells. *Cancer Letters*, 172(2), 111-118.
- Gursoy, N., Sarikurkcu, C., cengiz, M., & Solak, M. H. (2009). Antioxidant activities, metal contents, total phenolics and flavonoids of seven morchell species. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 2381-2388.
- Karimi, N., Ghanbarzadeh, B., Hamishehkar, H., Mehramuz, B., & Kafil, H. S. (2018). Antioxidant, antimicrobial and physicochemical properties of turmeric extract-loaded nanostructured lipid carrier (NLC). *Colloid and Interface Science Communications*, 22, 18-24.
- Khanam, S. (2018). Influence of operating parameters on supercritical fluid extraction of essential oil from turmeric root. *Journal of Cleaner Production*, 188, 816-824.
- Kim, K.-C., & Lee, C. (2010). Curcumin induces downregulation of e2f4 expression and apoptotic cell death in hct116 human colon cancer cells; involvement of reactive oxygen species. *The Korean Journal of Physiology & Pharmacology*, 14(6), 391-397.
- Kumar, G. S., Nayaka, H., Dharmesh, S. M., & Salimath, P. (2006). Free and bound phenolic antioxidants in amla (*emblica officinalis*) and turmeric (*curcuma longa*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(5), 446-452.
- Lee, K. H., Kim, B. S., Keum, K. S., Yu, H. H., Kim, Y. H., Chang, B. S., Choi, N. Y. (2011). Essential oil of curcuma longa inhibits streptococcus mutans biofilm formation. *Journal of Food Science*, 76(9), H226-H230.
- Li, S., & Li, S. (2009). Antioxidant activities of essential oil of curcuma longa and curcuma wenyujin. *International Journal of Essential Oil Therapeutics*, 3, 31-34.
- Maizura, M., Aminah, A., & Wan Aida, W. (2011). Total phenolic content and antioxidant activity of kesum (*polygonum minus*), ginger (*zingiber officinale*) and turmeric (*curcuma longa*) extract. *International Food Research Journal*, 18(2): 526-531.
- Malek, S. N. A., Lee, G. S., Hong, S. L., Yaacob, H., Wahab, N. A., Faizal Weber, J.-F., & Shah, S. A. A. (2011). Phytochemical and cytotoxic investigations of curcuma mangga rhizomes. *Molecules*, 16(6), 4539-4548.
- Nampoothiri, S. V., Lekshmi, P., Venugopalan, V., & Menon, A. N. (2012). Antidiabetic and antioxidant potentials of spent turmeric oleoresin, a by-product from curcumin production industry. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 2, S169-S172.
- Naz, S., Ilyas, S., Parveen, Z., & Javed, S. (2010). Chemical analysis of essential oils from turmeric (*curcuma longa*) rhizome through gc-ms. *Asian Journal of Chemistry*, 22(4), 3153.
- Negi, P., Jayaprakasha, G., Jagan Mohan Rao, L., & Sakariah, K. (1999). Antibacterial activity of turmeric oil: A byproduct from curcumin manufacture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10), 4297-4300.
- Pawar, H., Karde, M., Mundle, N., Jadhav, P., & Mehra, K. (2014). Phytochemical evaluation and curcumin content determination of turmeric rhizomes collected from Bhandara District of Maharashtra (India). *Medicinal Chemistry*, 4(8), 588-591.
- Rouhollahi, E., Moghadamtousi, S. Z., Paydar, M., Fadaeinasab, M., Zahedifard, M., Hajrezaie, M., Awang, K. (2015). Inhibitory effect of curcuma purpurascens bi. Rhizome on ht-29 colon cancer cells through mitochondrial-dependent apoptosis pathway. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 15(1), 1-12.
- Sahu, R., & Saxena, J. (2013). Screening of total phenolic and flavonoid content in conventional and non-conventional species of curcuma. *Journal of Pharmacognosy and phytochemistry*, 2(1):176-179.

- Singh, G., Kapoor, I., Singh, P., De Heluani, C. S., De Lampasona, M. P., & Catalan, C. A. (2010). Comparative study of chemical composition and antioxidant activity of fresh and dry rhizomes of turmeric (*curcuma longa* linn.). *Food and Chemical Toxicology*, 48(4), 1026-1031.
- Singh, N., Shrivastav, A., & Sharma, R. K. (2009). Curcumin induces caspase and calpain-dependent apoptosis in ht29 human colon cancer cells. *Molecular Medicine Reports*, 2(4), 627-631.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Stanojević, J. S., Stanojević, L. P., Cvetković, D. J., & Danilović, B. R. (2015). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of the turmeric essential oil (*curcuma longa* l.). *Advanced Technologies*, 4(2), 19-25.
- Yadav, D. K., Sharma, K., Dutta, A., Kundu, A., Awasthi, A., Goon, A., & Saha, S. (2017). Purity evaluation of curcuminoids in the turmeric extract obtained by accelerated solvent extraction. *Journal of AOAC International*, 100(3), 586-591.



Determination of the structure, chemical composition, antioxidant activity and the cytotoxic effect of Turmeric essential oil

B. Majdi¹, M. A. Mehrnia^{*2}, H. Barzegar³, B. Alizadeh Behbahani²

Received: 2020.03.08

Accepted: 2020.05.10

Introduction: Antioxidants by Quenching free radicals and preventing lipid oxidation, retard spoilage, discoloration and rancidity of foods. Due to adverse effects of synthetic antioxidants such as carcinogenicity and liver injury, consumers' attention toward natural antioxidants are increasing. Turmeric (*Curcuma longa*) is a medicinal plant frequently used in food industry and pharmacology. In this research, chemical composition, structure and type of bond, antioxidant capacity, total phenol, flavonoid and cytotoxic effect of Turmeric essential oil (TEO) on colorectal cancer cells (HT29) were investigated.

Materials and methods: TEO was extracted using Clevenger apparatus by aqueous distillation method. To identify chemical composition, 1 μ l essential oil was injected in gas chromatography-mass spectrometry and essential oil composition and quantity were determined by comparing with standards. Functional groups and qualitative identification of turmeric essential oil were done using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) in range of 500 – 4000 cm^{-1} . Antioxidant capacity of TEO was determined using ABTS, DPPH and β -carotene/linoleic acid bleaching assay. Total phenol and flavonoid were measured by colorimetric methods. MTT test was used to find cytotoxic concentrations of TEO on colorectal cancer cell line (HT29).

Results and discussion: The 18 compounds identified in TEO accounted for 97.91% and the highest compound was turmerone by 40%. The other compounds were curlone, zingiberene and benzene with 34, 8.30 and 4.18% respectively. Infrared spectrum in range of 3600-3400 cm^{-1} (specially 3516 cm^{-1}) and peaks at 2930, 1621, 1515 and 1447 cm^{-1} were due to stretching vibration of O-H, C-H, C=O, C=C bonds of aromatic ring and aromatic groups of curcuminoids. 1515 cm^{-1} peak was due to stretching vibration of C=O bond of sesquiterpenes (turmerone). Observed peaks at 1378 and 1308 cm^{-1} confirmed the presence of alkanes or bending vibrations of CH_3 groups in curcuminoids (curcumin). Antioxidant potential of TEO according to DPPH and ABTS methods and β -carotene bleaching assay was 25.15, 93.90 and 72.76 %, respectively. Total phenol and flavonoid content of TEO were 38.91 mg GAE/g and 87.9 mg QE/g. The results showed that by increasing essential oil concentration from 3.125 to 200 mg/mL survival rate of HT29 changed from 66.76 to 9.88%.

Keywords: *Curcuma longa* essential oil, Gas chromatography-mass spectrometry, Fourier-transform infrared spectroscopy, Antioxidant activity.

1. M.Sc. student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
(* Corresponding author: Mehrnia@asnruk.ac.ir)

مقاله پژوهشی

بهینه سازی فرمول بستنی وانیلی با کمک جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی به روش سطح پاسخ

دلارام حامی^۱ - محمد گلی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۳

چکیده

کینوا به عنوان یک ترکیب عملکردی از نظر محتوی پروتئین، اسیدهای آمینه ضروری مانند لیزین و متیونین، اسیدهای چرب ضروری و اسیدهای چرب غیراشباع، مواد معدنی مانند آهن، کلسیم، روی، مس، فیبر رژیمی و ویتامین ها و مواد آنتی اکسیدانی از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. در پژوهش حاضر از آرد کینوا با سطح جایگزینی با شیر خشک بدون چربی (صفر تا صد درصد)، روغن هیدروژنه گیاهی ($4/5$ تا $8/5$ درصد) و صمغ پانیسول ($0/25$ تا $0/65$ درصد) جهت دستیابی به فرمول بهینه تولید بستنی وانیلی استفاده گردید. بهینه سازی فرمولاسیون بر اساس پارامترهای تغییرات حجم، سرعت ذوب و خواص بافتی (سفتی و چسبندگی) توسط روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با ۶ نقطه مرکزی و دو تکرار ($\alpha=2$) در سایر نقاط صورت گرفت. نتایج نشان داد که برای روند تغییرات تغییرات حجم، مدل خطی پیشنهاد شد و اثر مستقل جایگزینی آرد کینوا، اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا و سطوح مختلف صمغ پانیسول، اثر مجذور جایگزینی آرد کینوا، اثر مجذور سطوح مختلف روغن هیدروژنه گیاهی و اثر مجذور سطوح مختلف صمغ بر فاکتور تغییرات حجم معنی دار بود ($P<0/05$). جایگزینی آرد کینوا در فرمولاسیون بستنی، تأثیر قابل توجهی بر میزان تغییرات حجم، سرعت ذوب و سفتی بافت داشت. فرمول بهینه پیشنهادی برای سطوح جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی بترتیب ۲۵ و ۵۳ درصد، روغن هیدروژنه گیاهی $8/5$ و $8/2$ درصد و صمغ پانیسول $0/39$ و $0/48$ درصد بود.

واژه های کلیدی: صمغ پانیسول، روغن هیدروژنه گیاهی، افزایش حجم، خواص بافتی، سرعت ذوب شدن، خواص حسی

مقدمه

در مخلوط بستنی، چربی شیر، پروتئین و کربوهیدرات ها نسبت داده می شود (آدپا و همکاران، ۲۰۰۰). مصرف غذاهای فراسودمند راهکاری نوین جهت رساندن ترکیبات مفید به بدن در قالب رژیم غذایی است. با گسترش تجارت این گونه مواد غذایی، تمایل مصرف کنندگان نسبت به استفاده از آنها در رژیم غذایی افزایش یافته است (رسولی و همکاران، ۱۳۹۴). استفاده از فرآورده های طبیعی و گیاهی هم، به عنوان جایگزین بخشی از ماده جامد بدون چربی مانند تأثیر جایگزینی مواد جامد کل بستنی با بادام بر ویژگی های فیزیکی و حس بستنی (میرچولی برازق و مظاهری تهرانی، ۱۳۸۹) و هم، به عنوان یک ترکیب فراسودمند در بستنی مانند تولید بستنی فراسودمند حاوی پودر جلبک *دونالیلا سالینا* (سلیم پور اردی و همکاران، ۱۳۹۸) مورد تحقیق قرار گرفته است. کینوا به عنوان یک پروتئین با ارزش بیولوژیکی بالا می تواند در محصولات مختلف غذایی به جهت غنی سازی و تأثیر مثبت آن بر خواص فیزیکی و حسی محصول به کار گرفته شود. گیاه کینوا^۱ از گیاهان دو لپه ای و

بستنی یکی از محبوب ترین فرآورده های لبنی در ایران و بسیاری از کشورهای جهان به شمار می آید و از طرفداران بسیاری در گروه های مختلف سنی برخوردار می باشد. بستنی یک دیسپرسیون غذایی پیچیده می باشد که در آن سلول های هوا درون فاز نیمه منجمد مایع پراکنده شده اند (رسولی و همکاران، ۱۳۹۴). بستنی شامل مخلوطی از اجزای شیر، شیرین کننده، پایدارکننده، امولسیفایر و مواد عطر و طعم دهنده می باشد. کیفیت محصول نهایی نه تنها به شرایط فرآوری و یا بازده انجماد وابسته است بلکه اجزاء تشکیل دهنده، مقدار هوای محبوس شده و میزان کریستال های یخ نیز نقش مهمی در آن دارند. ساختار فیزیکی بستنی بر ویژگی های ذوب شدن (سرعت ذوب شدن) و بافت (سفتی) بستنی اثر قابل توجهی می گذارد (موس و هارتل، ۲۰۰۴). بهبود و گسترش ساختار بستنی به ماکرومولکول های موجود

۱ و ۲- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.
(Email: mgolifood@yahoo.com) *نویسنده مسئول:

خانواده تاج خروسیان و زیرخانواده اسفنجیان^۱ به عنوان یک گیاه پهن برگ (با ارتفاع ۳-۱ متر) توسط هندی‌ها به عنوان یک گیاه مقدس با نام "دانه مادر" شناخته می‌شود. مصرف این گیاه به عنوان یک شبه غله توسط بومیان منطقه آند در آمریکای جنوبی قدمت طولانی دارد (James, 2009). کینوا از نقطه نظر ویژگی‌های تغذیه‌ای بسیار مورد توجه است. دانه کینوا فاقد گلوتن و غنی از نشاسته است و از این رو مصرف آن توسط بیماران سلیاک مناسب است. دانه کینوا شامل ۲۰-۱۴ درصد پروتئین با ترکیب کامل آمینواسیدها است، که عمدتاً غنی از اسیدهای آمینه ضروری مانند متیونین و لیزین می‌باشد. کینوا منبع غنی از مواد معدنی (پتاسیم، کلسیم، فسفر، آهن، روی، منیزیم و سلنیوم) است. از نظر محتوی لیپیدها، کینوا دارای اسیدهای چرب اشباع نشده به ویژه لینولئیک (۵۲٪) و اولئیک (۲۵٪) است. علاوه بر این، شامل توکوفرول‌ها و کاروتنوئیدها است که دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضدسرطانی می‌باشد (Ruales and Nair, 1993; Zhang et al., 2014).

تاکنون عملکرد جایگزین‌کننده‌های بسیاری در فرمولاسیون بستنی‌های مختلف توسط محققان مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. در همین راستا، مهدیان و همکاران (۲۰۱۱) اثر کاربرد آرد کامل سویا بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی بستنی را مورد بررسی قرار دادند. آنها اعلام کردند که به دلیل توانایی جذب آب بالاتر پروتئین‌های سویا در مقایسه با پروتئین‌های شیر، با افزایش درصد آرد سویا در ترکیب بستنی وزن مخصوص نمونه‌ها کاهش و ویسکوزیته نمونه‌ها افزایش یافت. درویس‌گلو و همکاران (۲۰۰۵) تأثیر جایگزینی ماده جامد بدون چربی شیر با کنسانتره پروتئین سویا بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی بستنی را مورد مطالعه قرار دادند. با افزایش میزان کنسانتره پروتئین سویا، ویسکوزیته نمونه‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت که می‌تواند به دلیل محتوی پروتئین بالاتر سویا در مقایسه با پروتئین شیر باشد. رسولی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که حضور اسپیرولینا در فرمول بستنی به طور معنی‌داری موجب افزایش ویسکوزیته و مقاومت به ذوب و کاهش تغییرات حجم بستنی سنتی می‌شود. آنها دلیل این مشاهده را به محتوی بالای پروتئین، خاصیت امولسیفایری و جذب آب ریز جلبک اسپیرولینا نسبت دادند. اکسون (۲۰۰۹) گزارش کرد که افزودن اسپیرولینا به بستنی موجب می‌شود تا در طول فرایند هموژنیزاسیون، حجم کف افزایش یابد. در واقع افزودن جایگزین‌کننده‌های غنی از پروتئین به بستنی می‌تواند باعث افزایش حجم کف، افزایش حجم هوای به دام افتاده در داخل مخلوط بستنی و بهبود هوادهی گردد. کودینا و همکاران (۲۰۱۶)، ویژگی‌های رئولوژیکی و ریز ساختاری ماست غنی شده با کینوا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که افزودن آرد کینوا به شیر

منجر به افزایش اسیدیته، کاهش pH و تسریع تشکیل ژل می‌شود. بررسی‌های رئولوژیکی نیز نشان داد که نمونه‌های ماست دارای رفتار رقیق شونده با برش هستند. در غلظت بالاتر از ۱٪ آرد کینوا، اندیس رفتار جریان کاهش، در حالیکه ضریب پایداری و ویسکوزیته ظاهری به طور معنی‌داری افزایش یافت. علاوه بر این، تصاویر میکروسکوپی نشان داد که در غلظت‌های بالای کینوا، مقاومت ماست به آب‌اندازی کاهش یافت. صمغ پانیسول به عنوان یک ترکیب امولسیفایر و پایدارکننده با بار الکتریکی منفی، دارای مخلوطی از مونو و دی‌گلیسرید، سلولز، صمغ گوار و کاراجینان تولیدی از شرکت دنیسکو دانمارک موجب بهبود ساختار بستنی می‌گردد (Gheisari et al., 2016). هدف از پژوهش حاضر جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی (صفر تا صد درصد)، روغن هیدروژنه گیاهی (۴/۵ تا ۸/۵ درصد) و صمغ پانیسول (۰/۲۵ تا ۰/۶۵ درصد) جهت دستیابی به فرمول بهینه تولید بستنی وانیلی با کمک روش سطح پاسخ بود.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه مصرفی جهت تولید بستنی از جمله شیر پاستوریزه (۳/۴ درصد چربی) از شرکت دامداران تهران، شیر خشک بدون چربی از شرکت آراین لبن نقش جهان اصفهان، آرد سفید کینوا (رطوبت ۸ درصد، پروتئین ۱۵/۸ درصد، چربی ۵/۵ درصد، کربوهیدرات ۶۲ درصد، خاکستر ۴/۷ درصد و فیبر ۴ درصد) از شرکت کیان فود تهران، شکر از شرکت قند اصفهان، روغن هیدروژنه گیاهی از شرکت آفتاب بهشهر، وانیل از شرکت شانگال فوکسین چین و صمغ پانیسول از شرکت دنیسکو دانمارک تهیه شدند.

آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از تنظیم نسبت ترکیبات در فرمولاسیون نمونه‌های مختلف بستنی، میزان مواد اولیه هر فرمول توزین شد. سپس شیر تا حدود ۴۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و سایر اجزاء که از قبل کاملاً با هم مخلوط شده بودند، به آرامی به آن اضافه و مخلوط شد. سپس مخلوط در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه پاستوریزه گردید. پس از اتمام عملیات پاستوریزاسیون، مخلوط سریعاً در حمام آب و یخ خنک و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. بعد از مرحله رسیدن، مخلوط در یک دستگاه بستنی‌ساز ۱/۵ لیتری خانگی (Delmonti, Maker DI-370, Italy) مرحله پیش انجامد یک ساعته و سپس در فریزر ۱۸- درجه سانتی‌گراد مرحله انجامد ۱۲ ساعته را سپری کرد. نمونه‌های بستنی درون ظروف پلاستیکی درپوش‌دار بسته بندی و جهت طی دوره سخت شدن، در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. به منظور بهینه‌یابی شرایط فرایند، متغیرهای مستقل A (درصد جایگزینی آرد کینوا)، B

که در این جدول فاکتورها و سطوح اندازه گیری آنها نیز بیان شده است.

(درصد روغن هیدروژنه گیاهی) و C (درصد صمغ پانیسول) در پنج سطح (جدول ۱) انتخاب شدند. برای بدست آوردن نقاط بهینه، ۳۴ آزمایش توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت پیشنهاد گردید (جدول ۲)،

جدول ۱- نمایش متغیرهای مستقل فرآیند و سطوح اندازه‌گیری آنها

متغیرهای مستقل					کد و سطوح	
					+	-
					a	a
جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی (A، %)					۱۰۰	۷۵
روغن هیدروژنه گیاهی (B، %)					۸/۵	۷/۵
صمغ پانیسول (C، %)					۰/۶۵	۰/۵۵

حسی) نمونه‌های بستنی نیز با استفاده از ۲۰ ارزیاب حسی آموزش دیده و بر پایه آزمون هدونیک هفت نقطه‌ای (نمره بالاتر به معنای کیفیت بالاتر) یک روز پس از تهیه بستنی برای نمونه کنترل و دو فرمول بهینه تعیین شد (افخمی و همکاران، ۲۰۱۹).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

با توجه به درصدهای به‌دست آمده از آزمون‌های تولید اولیه، حد بالا و پایین متغیرها به‌دست آمدند. سپس با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۹ روش سطح پاسخ^۱ در قالب طرح مرکب مرکزی^۲ با میزان α برابر ۲ و با ۶ نقطه مرکزی برای آن انتخاب شد. تعیین شرایط عملیاتی بهینه برای دستیابی به بهترین پاسخ‌ها با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی^۳ انجام شد. در این تکنیک فضای پاسخ با استفاده از مدل‌های ایجاد شده و به‌منظور یافتن بهترین شرایطی که اهداف بهینه‌سازی مورد نظر را برآورده کند، صورت گرفت. پس از آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار، مدلی پیشنهاد شد که دارای انحراف استاندارد، ضریب تغییرات و مجموع مربعات باقی مانده برآورد شده کم، ضریب تبیین بالا، ضریب تبیین اصلاح شده بالا، دارای مدل معنی‌دار ($p < 0.05$) و فقدان برازش غیرمعنی‌دار ($p > 0.05$) باشد.

نتایج و بحث

به‌منظور به‌دست آوردن مدل تجربی برای پیش‌بینی متغیرهای پاسخ (تغییرات حجم، سرعت ذوب، سفتی و چسبندگی بافت) ابتدا رابطه‌های چندجمله‌ای شامل خطی، دو فاکتوری (تعاملی)، درجه دو و درجه سه بر داده‌های به‌دست آمده از این پاسخ برازش داده شدند و سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفتند. لازم به ذکر است از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون عدم برازش آن معنی‌دار

اندازه‌گیری تغییرات حجم (آور ران)

در ارزیابی میزان تغییرات حجم نمونه‌ها از ظروفی با حجم مشخص استفاده شد. پس از انجماد محصول در بستنی‌ساز، از مخلوط نمونه گیری صورت گرفت. سپس نمونه مورد نظر توزین گردید و افزایش حجم بر حسب درصد با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۴).

$$(1) \quad \text{حجم وزن مشخصی از مخلوط اولیه - حجم وزن مشخصی از بستنی} \times 100 = (\%) \text{ آور ران}$$

اندازه‌گیری سرعت ذوب شدن

سرعت ذوب با توزین ۵۰ گرم بستنی منجمد و قرار دادن آن بر روی یک توری با ابعاد 0.2×0.2 سانتی‌متر که بر روی یک ظرف با وزن مشخص در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داشت و هر ۱۰ دقیقه یک بار وزن ظرف و بستنی ذوب شده داخل آن یادداشت و سرعت ذوب بر حسب گرم بر دقیقه اندازه‌گیری شد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۴).

اندازه‌گیری پارامترهای بافت

بافت بستنی پس از ۳ روز نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه بافت‌سنج Texture analyzer، Brookfield مورد آزمایش قرار گرفت. این دستگاه مجهز به یک پروب استوانه‌ای با قطر ۶ میلی‌متر و ارتفاع ۱۵ میلی‌متر بود. پروب دستگاه دوبار با سرعت ۱ میلی‌متر در ثانیه و تا ۵۰٪ ارتفاع پروب به نمونه مورد آزمایش وارد و نتایج توسط نرم‌افزار دستگاه ثبت شد. داده‌های مورد استفاده از بررسی بافت بستنی در این تحقیق شامل موارد سفتی و چسبندگی بود (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۴).

ارزیابی حسی فرمول‌های بهینه بستنی

ویژگی‌های حسی از جمله عطر و طعم، بافت (سفتی)، پس‌طعم (قابض و گس بودن)، رنگ (کدورت) و پذیرش کلی (معدل امتیازات

^۱ Response Surface Methodology

^۲ Central composite Design

^۳ Optimization Numerical

نبوده و دارای بالاترین ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده باشد.

جدول ۲- آزمایشات ارائه شده توسط نرم افزار با استفاده از طرح RSM

ردیف	جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی (%)	روغن هیدروژنه گیاهی (%)	صمغ پانیسول (%)
۱	۰	۶/۵	۰/۴۵
۲	۰	۶/۵	۰/۴۵
۳	۲۵	۷/۵	۰/۳۵
۴	۲۵	۵/۵	۰/۳۵
۵	۲۵	۵/۵	۰/۵۵
۶	۲۵	۷/۵	۰/۳۵
۷	۲۵	۵/۵	۰/۵۵
۸	۲۵	۷/۵	۰/۵۵
۹	۲۵	۵/۵	۰/۳۵
۱۰	۲۵	۵/۵	۰/۵۵
۱۱	۵۰	۶/۵	۰/۶۵
۱۲	۵۰	۶/۵	۰/۲۵
۱۳	۵۰	۶/۵	۰/۶۵
۱۴	۵۰	۴/۵	۰/۴۵
۱۵	۵۰	۶/۵	۰/۴۵
۱۶	۵۰	۶/۵	۰/۴۵
۱۷	۵۰	۶/۵	۰/۲۵
۱۸	۵۰	۶/۵	۰/۴۵
۱۹	۵۰	۴/۵	۰/۴۵
۲۰	۵۰	۸/۵	۰/۴۵
۲۱	۵۰	۶/۵	۰/۴۵
۲۲	۵۰	۶/۵	۰/۴۵
۲۳	۵۰	۶/۵	۰/۴۵
۲۴	۵۰	۸/۵	۰/۴۵
۲۵	۷۵	۷/۵	۰/۵۵
۲۶	۷۵	۷/۵	۰/۵۵
۲۷	۷۵	۵/۵	۰/۵۵
۲۸	۷۵	۵/۵	۰/۵۵
۲۹	۷۵	۵/۵	۰/۳۵
۳۰	۷۵	۷/۵	۰/۳۵
۳۱	۷۵	۷/۵	۰/۳۵
۳۲	۷۵	۵/۵	۰/۵۵
۳۳	۱۰۰	۶/۵	۰/۴۵
۳۴	۱۰۰	۶/۵	۰/۴۵

ضریب تبیین ۰/۸۲، ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۷۵ و ضریب تغییرات ۱۳/۴۵ برای چسبندگی گزارش گردید. در حالی که مدل مناسب و منتخب برای پیشگویی سرعت ذوب در اثر متغیرهای مستقل مورد بررسی، مدل خطی درجه سه با ضریب تبیین ۰/۹۹، ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۹۹ و ضریب تغییرات ۱/۰۸ پیشنهاد گردید. نتایج مربوط به تجزیه واریانس برای متغیرهای پاسخ در جدول ۳ نشان داده شده است.

نتایج نشان داد مدل مناسب و منتخب برای پیشگویی تغییرات حجم، سفتی و چسبندگی در اثر متغیرهای مستقل مورد بررسی (شامل: جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، سطوح مختلف روغن هیدروژنه گیاهی و سطوح مختلف صمغ پانیسول)، مدل خطی درجه دو با ضریب تبیین ۰/۹۳، ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۸۹ و ضریب تغییرات ۹/۱۹ برای تغییرات حجم، ضریب تبیین ۰/۷۸، ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۷ و ضریب تغییرات ۱۳/۳۷ برای سفتی و

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر جایگزینی آرد کینوا و سطوح مختلف روغن هیدروژنه گیاهی و صمغ پانیسول بر متغیرهای پاسخ (تغییرات حجم، سرعت ذوب، سفتی و چسبندگی بافت)

منبع تغییرات	تغییرات حجم (درصد)		سرعت ذوب (گرم بر دقیقه)		سفتی (گرم)		چسبندگی (گرم ثانیه)		
	درجه آزادی	مجموع مربعات	Prob>F	درجه آزادی	مجموع مربعات	Prob>F	درجه آزادی	مجموع مربعات	
مدل	۶	۷۵۲/۳۲	<۰/۰۰۰۱***	۱۰	۰/۲۱	<۰/۰۰۰۱***	۳	۰/۱۶	<۰/۰۰۰۱***
A	۱	۱۸۶/۳۲	<۰/۰۰۰۱***	۱	۰/۰۳۴	<۰/۰۰۰۱***	۱	۰/۰۱۵	<۰/۰۰۰۱***
B	۱	۱/۵۶	۰/۴۶۱۷ ^{ns}	۱	۰/۰۱۱	<۰/۰۰۰۱***	-	-	-
C	۱	۵/۸۳	۰/۱۶۱۵ ^{ns}	۱	۱۰-۶	۰/۸۹۸ ^{ns}	-	-	-
AB	۱	۱۰/۷۹	۰/۰۵۹۴ ^{ns}	۱	۰/۰۰۷۴۴	<۰/۰۰۰۱***	-	-	-
AC	۱	۰/۶۵	۰/۶۳۴۳ ^{ns}	۱	۰/۰۰۰۶۹	۰/۰۰۲۲***	۱	۳/۹۲	۰/۰۶۶ ^{ns}
BC	۱	۱۲۲/۳۹	<۰/۰۰۰۱***	۱	۰/۰۱۴	<۰/۰۰۰۱***	۱	۳/۴۲	۰/۰۸۴۸ ^{ns}
A ²	۱	۴۴۵/۹۳	<۰/۰۰۰۱***	۱	۰/۰۵۶	<۰/۰۰۰۱***	۱	۲۰/۴۱	۰/۰۰۰۲***
B ²	۱	۱۶۰/۵۹	<۰/۰۰۰۱***	۱	۰/۰۱۳۹	<۰/۰۰۰۱***	-	-	-
C ²	۱	۲۲۸/۹۲	<۰/۰۰۰۱***	-	-	-	۱	۰/۰۰۰۷۷۳	۰/۰۹۲۴ ^{ns}
ABC	-	-	-	۱	۰/۰۰۰۴۱	۰/۰۱۳۶*	-	-	-
A ² C	-	-	-	۱	۰/۰۰۰۴۴	<۰/۰۰۰۱***	-	-	-
AB ²	-	-	-	۱	۰/۰۰۴۷۲	<۰/۰۰۰۱***	-	-	-
باقی مانده	۲۵	۶۹/۱۸	-	۲۱	۰/۰۰۱۱۹	-	۲۸	۰/۰۰۷۱۲	-
عدم برازش	۷	۲۸/۵۳	۰/۱۴۸ ^{ns}	۳	۰/۰۰۱۵	۰/۴۷۴۲ ^{ns}	۱۰	۰/۰۰۲۶۴	۰/۴۳۷ ^{ns}
خطای کل	۱۸	۴۰/۶۵	-	۱۸	۰/۰۰۱۰۴	-	۱۸	۰/۳۰۰۴۴۸	-
کل	۳۱	۸۱۳/۵۴	-	۳۱	۰/۲۱	-	۳۱	۰/۰۲۳	-

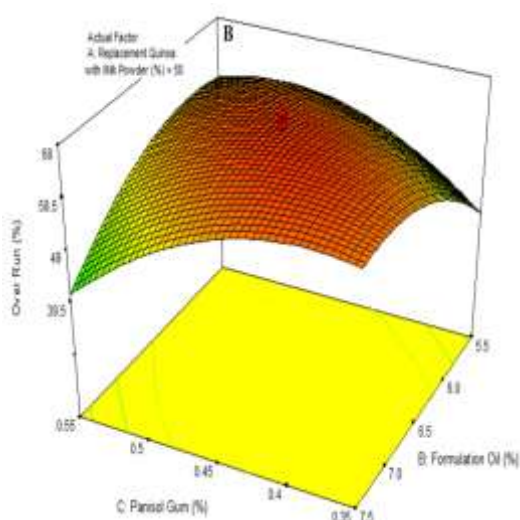
A (درصد جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی)، B (درصد روغن هیدروژنه گیاهی) و C (درصد صمغ پانیسول)، خطوط تیره در جدول نشان دهنده‌ی بی تأثیر بودن متغیر مربوطه در پاسخ‌های اندازه‌گیری شده است، ***: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۱ درصد، **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ درصد، *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱ درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

روغن هیدروژنه گیاهی، اثر مجذور جایگزینی آرد کینوا، اثر مجذور سطوح مختلف درصد روغن هیدروژنه گیاهی و اثر مجذور سطوح مختلف درصد صمغ پانیسول بر فاکتور تغییرات حجم معنی‌دار بود

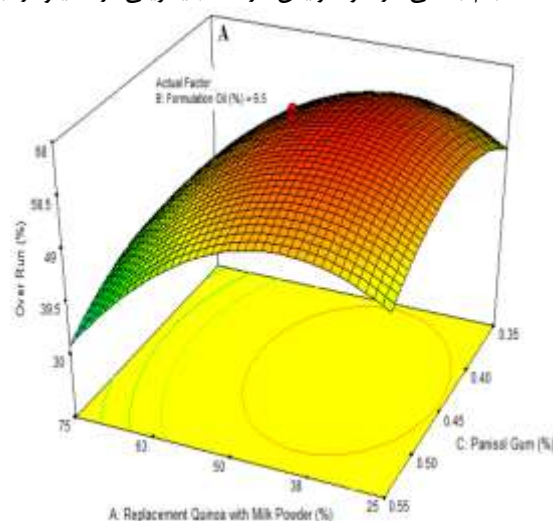
تغییرات حجم

با توجه به نتایج جدول ۳، اثر مستقل جایگزینی آرد کینوا، اثر متقابل سطوح مختلف درصد صمغ پانیسول و سطوح مختلف درصد

توانایی جذب آب بالای کینوا نسبت داد (گلروس و همکاران، ۲۰۰۱). آکسون (۲۰۰۹) اذعان داشت که افزودن ریز جلبک اسپیرولینا به بستنی موجب می‌شود تا در طول فرایند هموژنیزاسیون، حجم کف مخلوط بستنی افزایش یابد. به‌طور کلی، استفاده از جایگزین‌کننده‌های غنی از پروتئین به بستنی می‌تواند باعث افزایش حجم کف و حجم هوای به‌دام افتاده در داخل مخلوط بستنی و همچنین بهبود هوادهی گردد. از آنجایی که آرد کینوا همانند اسپیرولینا از محتوی بالای پروتئین برخوردار است، استفاده از آن در فرمول بستنی سبب بهبود تغییرات حجم بستنی گردیده است.



($P < 0.001$). همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش سطوح جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی تا حدود ۴۰ درصد و افزایش درصد صمغ پانیسول تا حدود ۰/۵ درصد تغییرات حجم افزایش و بعد از آن کاهش می‌یابد. کاهش تغییرات حجم نمونه بستنی با افزایش سطوح جایگزینی آرد کینوا را می‌توان به افزایش ویسکوزیته مخلوط اولیه بستنی نسبت داد. در واقع با افزایش ویسکوزیته، به دلیل کاهش توانایی هم‌زدن مخلوط بستنی، امکان ورود هوا به مخلوط بستنی‌های حاوی آرد کینوا طی انجماد کاهش یافته است. همچنین می‌توان علت کاهش میزان تغییرات حجم بستنی در اثر افزایش درصد جایگزینی آرد کینوا را به

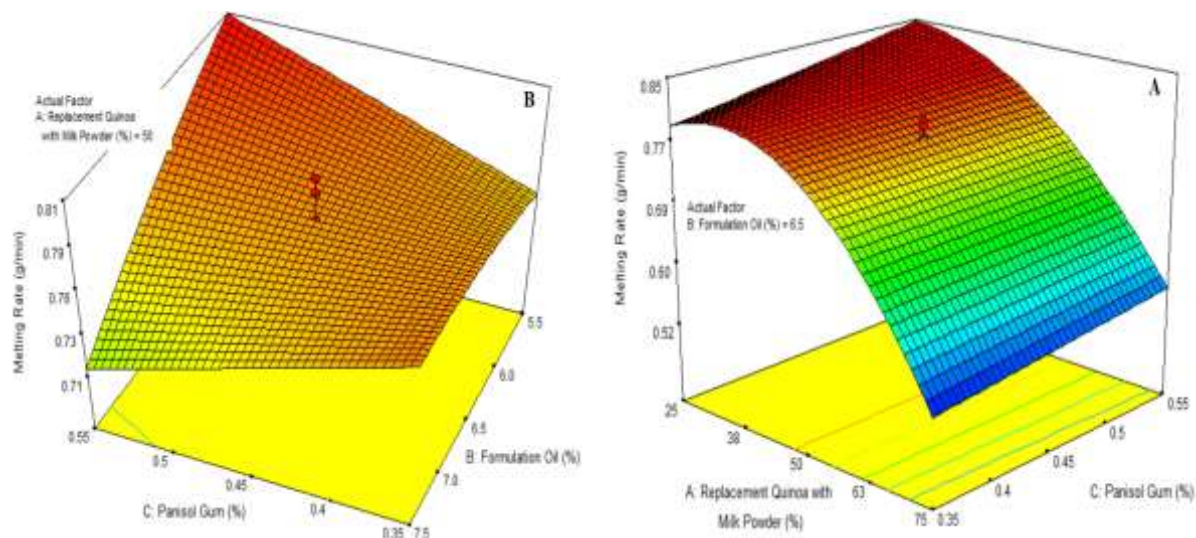


شکل ۱- اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی و درصد صمغ پانیسول (A) و اثر متقابل درصد صمغ پانیسول و درصد روغن هیدروژنه گیاهی (B) بر میزان تغییرات حجم بستنی

نمونه‌های بستنی حاوی سطوح بالاتر جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، با قدرت جذب آب بالا و افزایش ویسکوزیته مخلوط بستنی، آب آزاد کمتر و زمان بیشتری برای ذوب داشتند. علت کاهش سرعت ذوب شدن بستنی با افزایش درصد جایگزینی آرد کینوا، را می‌توان به وجود ترکیبات پلی‌ساکاریدی (۵۴/۱ تا ۶۴/۲ درصد) با قدرت جذب آب بالا نسبت داد که موجب افزایش شدت جذب آب محصول و ویسکوزیته و به دنبال آن کاهش افزایش حجم شدند (Keskin and Evlice, 2015). از عوامل مؤثر بر ویژگی‌های ذوب شدن افزایش تغییرات حجم است (سلیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). به علاوه، نقش آرد کینوا در ارتباط با افزایش مقاومت به ذوب بستنی را می‌توان به نوع پروتئین‌های موجود در آن، توان امولسیفایری و خصوصیات فعال سطحی پروتئین‌ها و چربی‌های آن نسبت داد (میرچولی برازقان، ۱۳۹۰). حضور مقادیر بالای پروتئین در آرد کینوا تأثیر به‌سزایی در پایدار شدن مولکول‌های هوا دارد.

سرعت ذوب

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، اثر مستقل جایگزینی آرد کینوا، اثر مستقل سطوح مختلف درصد روغن هیدروژنه گیاهی، اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا و سطوح مختلف درصد روغن هیدروژنه گیاهی، اثر متقابل سطوح مختلف درصد روغن هیدروژنه گیاهی و سطوح مختلف درصد صمغ پانیسول، اثر مجذور جایگزینی آرد کینوا، اثر مجذور سطوح مختلف درصد روغن هیدروژنه گیاهی، بر سرعت ذوب بستنی معنی‌دار بود ($P < 0.001$). همچنین اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا و سطوح مختلف درصد صمغ پانیسول بر سرعت ذوب معنی‌دار بود ($P < 0.05$). اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی و صمغ پانیسول بر میزان سرعت ذوب بستنی وانیلی در شکل ۲ نشان داده شده است. افزایش سطوح جایگزینی آرد کینوا منجر به کاهش سرعت ذوب نمونه‌های بستنی شد.



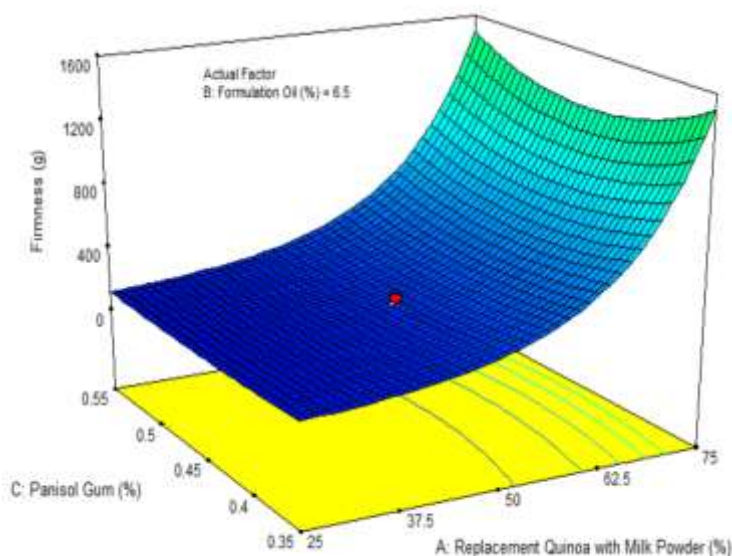
شکل ۲- اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی و صمغ پانیسول (A) و اثر متقابل درصد صمغ پانیسول و درصد روغن هیدروژنه گیاهی (B) بر سرعت ذوب

سفتی

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که مدل آماری ارائه شده برای پیش بینی اثر متغیرهای آزمایش بر سفتی بافت مناسب می‌باشد. اثر مستقل جایگزینی آرد کینوا ($P < 0.001$) و اثر مجذور جایگزینی آرد کینوا بر سفتی بافت معنی‌دار بود ($P < 0.001$). با توجه به شکل ۳ می‌توان دریافت که با افزایش سطوح جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی سفتی بستنی افزایش می‌یابد. در سطوح پایین‌تر جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، روند تغییرات مقدار سفتی با کاهش صمغ پانیسول خطی یکنواخت است. در سطوح بالاتر جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، با کاهش صمغ پانیسول مقدار سفتی ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

افزایش سفتی بستنی با افزایش سطوح جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی را می‌توان با بالا رفتن زیاد ویسکوزیته مرتبط دانست. به نظر می‌رسد که افزایش مقدار ویسکوزیته تا حد مشخصی توانسته باعث کاهش مقدار سفتی بافت شود و افزایش بیشتر ویسکوزیته به دلیل کاهش تغییرات حجم موجب افزایش سفتی بافت بستنی شده است. بخش مهمی از آب موجود در ماده غذایی متصل به عواملی همچون گروه هیدروکسیل در پلی‌ساکاریدها و گروه‌های آمین و کربونیل در پروتئین‌ها از طریق پیوند هیدروژنی می‌باشد. میزان فعالیت آبی و آب غیرقابل انجماد، بر حسب میزان پروتئین موجود در نمونه، که نقش مهمی در جذب آب دارد، از یک ماده به ماده دیگر فرق می‌کند (سلیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۸).

در همین راستا، مالیک و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که با جایگزینی پایدارکننده‌ها با اسپیرولینا در بستنی مقاومت به ذوب بستنی بهبود می‌یابد و این امر به دلیل محتوی بالای پروتئین اسپیرولینا می‌باشد که با کمک کردن به پایدار شدن مولکول‌های هوا موجب افزایش مقاومت به ذوب بستنی می‌گردد. مطالعات انجام شده حاکی از آن است که بستنی‌های با افزایش حجم بالاتر، دیرتر ذوب می‌شوند و دلیل آن می‌تواند وجود مقدار بیش‌تر هوا در این نمونه‌ها باشد زیرا هوا عایق خوبی است که سرعت انتقال حرارت را در بستنی‌های با تغییرات حجم بالاتر، کاهش می‌دهد (سوفیجان و هارتل، ۲۰۰۴). سایر محققان نیز گزارش کردند که حضور پلی‌ساکاریدها در بستنی، ویسکوزیته را افزایش و سرعت ذوب شدن را کاهش می‌دهد (سگال و گف، ۲۰۰۲). نتایج پژوهش‌های ال‌ناگار و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که حضور اینولین در بستنی ممکن است به عنوان یک پایدارکننده عمل کند، زیرا به دلیل داشتن ظرفیت جذب آب موجب کاهش حرکت آزادانه مولکول‌های آب شده و در نتیجه موجب کاهش ویژگی‌های ذوب نمونه‌های بستنی شده است. فرجی و همکاران (۱۳۹۳) دریافتند که با افزایش درصد جایگزینی شکر با شیره انگور در بستنی، شدت ذوب نمونه‌ها کاهش یافت. آنها علت این امر را ناشی از وجود ترکیبات پلی‌ساکاریدی با قدرت جذب آب بالا دانستند. سوکولیس و همکاران (۲۰۰۸)، در بررسی تأثیر صمغ‌های زانتان، گوار، سدیم آلزینات و کربوکسی متیل سلولز نتایج خود را مبنی بر کاهش سرعت ذوب بستنی با افزایش غلظت این هیدروکلوئیدها بیان و دلیل را ویسکوزیته و تغییرات حجم بالای بستنی حاوی صمغ‌ها نسبت به نمونه شاهد عنوان کردند.



شکل ۳- اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی و صمغ پانیسول بر سفتی

بدون چربی مقدار چسبندگی افزایش می‌یابد. همانطور که در شکل مشخص است، کاهش صمغ پانیسول اثر معنی‌داری بر میزان چسبندگی نمونه‌های بستنی نداشته و روند تغییرات چسبندگی خطی یکنواخت می‌باشد (شکل ۴).

آرد کینوا به واسطه داشتن شمار زیاد گروه‌های هیدروکسیل در ساختار خود، سبب حفظ و جذب مولکول‌های آب می‌شود (داویدو و همکاران، ۱۹۹۶). در واقع توانایی بالای جذب آب کینوا بدلیل حضور، فیبرهای نامحلول در آب آن می‌باشد، که اجازه تعامل بیش‌تر به آب از طریق پیوندهای هیدروژنی می‌دهد (گلروس و همکاران، ۲۰۰۱). بنابراین، آرد کینوا با داشتن گروه‌های قطبی، آب موجود در فرمولاسیون را در ساختار خود به دام انداخته و در نهایت منجر به افزایش انسجام و چسبندگی بستنی می‌شود. این احتمال نیز وجود دارد که بخش پروتئینی آرد کینوا از طریق پیوند هیدروژنی و تعامل‌های یون-دوقطبی و دو قطبی-دو قطبی با مولکول‌های آب موجود در نمونه اتصال برقرار کرده و از این طریق موجب کاهش فعالیت آب و افزایش چسبندگی نمونه می‌گردد (فاطمی، ۲۰۰۸).

بهینه‌یابی

شرایط بهینه برای تولید بستنی وانیلی به کمک جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی با استفاده از روش بهینه‌یابی عددی انجام شد. در جدول ۴ دامنه مقادیر به‌دست آمده برای فرایند بهینه‌سازی و هدف آن مشخص شده است. در نهایت نتیجه به‌دست آمده برای بهینه‌یابی به صورت جدول ۵ بود که در زیر نشان داده شده است. نتایج بهینه پیشنهادی (پیشگویی) نرم‌افزار شامل فرمول بهینه اول و دوم برای تولید بستنی به‌ترتیب شامل ۲۵ و ۵۳ درصد

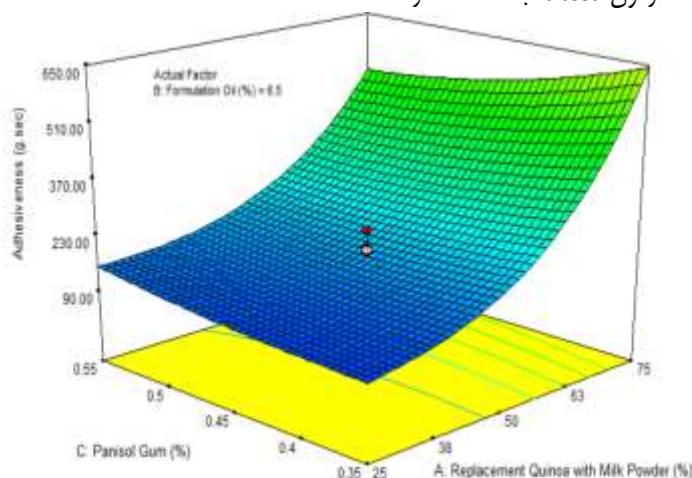
از آنجایی که آرد کینوا دارای مقادیر بالایی پروتئین است، این بخش پروتئینی آرد از طریق پیوندهای هیدروژنی میان گروه‌های آمید-هیدروکسیل و هیدروکسیل-کربونیل با گروه‌های قطبی سایر اجزای فرمولاسیون بستنی نظیر صمغ پانیسول موجب افزایش سفتی بستنی گردیده است. به‌علاوه احتمال تشکیل پیوندهای هیدروژنی، ناشی از تعامل‌های الکترواستاتیک بین گروه‌های باردار پروتئین آرد کینوا با بخش باردار صمغ پانیسول، به‌عنوان یک ترکیب امولسیفایر و پایدارکننده با بار الکتریکی منفی، دارای مخلوطی از مونو و دی‌گلیسرید، سلولز، صمغ گوار و کاراجینان (Gheisari et al., 2016)، وجود دارد، که این عامل نیز می‌تواند دلیلی بر افزایش سفتی بستنی در حضور آرد کینوا باشد (فاطمی، ۲۰۰۸). حضور آرد کینوا تا سطوح ۲۵ درصد در فرمول بستنی با افزایش ویسکوزیته فاز سرمی تا حد مشخص و کاهش تحرک مولکول‌های آب و ایجاد خاصیت ژله‌ای توانسته از تشکیل کریستال‌های بزرگ یخ و در نهایت افزایش سفتی بافت بستنی جلوگیری کند. سوکولیس و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تأثیر صمغ‌های مختلف اعلام نمودند که افزایش غلظت صمغ زانتان و گوار سبب کاهش مقدار سفتی بستنی می‌شود. آنها دلیل کاهش سفتی بافت را حبس مولکول‌های آب و توانایی کنترل کریستالیزاسیون در حین انجماد توسط هیدروکلوئیدها و افزایش مقدار تغییرات حجم بیان کردند.

چسبندگی

مطابق با نتایج جدول ۳، اثر مستقل جایگزینی آرد کینوا و اثر درجه دوم جایگزینی آرد کینوا بر چسبندگی بافت معنی‌دار بود ($P < 0.01$). با افزایش سطوح جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک

سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفت و تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p < 0.05$).

جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، ۸/۵ و ۸/۲ درصد روغن هیدروژنه گیاهی و درصد پانیسول ۰/۳۹ و ۰/۴۸ درصد با نتایج واقعی در روز اول تولید بستنی توسط آزمون t-test جفت شده در



شکل ۴- اثر متقابل جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی و صمغ پانیسول بر چسبندگی

جدول ۴- مقادیر مورد استفاده برای بهینه‌یابی و ویژگی و یا هدف آن

متغیر مستقل و پاسخ‌ها	حد پایین	حد بالا	هدف
جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی (%)	۰	۱۰۰	is in range
روغن هیدروژنه گیاهی (%)	۴/۵	۸/۵	is in range
صمغ پانیسول (%)	۰/۲۵	۰/۶۸	is in range
تغییرات حجم (درصد)	۱۶	۶۷/۱۴	Maximize
سرعت ذوب (گرم بر دقیقه)	۰/۷	۰/۸۱	Minimize
سفتی (گرم)	۵۵	۴۰۰	is in range
چسبندگی (گرم در ثانیه)	۴۰	۲۳۰	is in range

جدول ۵- ویژگی‌های فرمول بهینه بستنی وانیلی به کمک جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی

جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی (%)	روغن هیدروژنه گیاهی (%)	صمغ پانیسول (%)	تغییرات حجم (درصد)	سرعت ذوب (گرم بر دقیقه)	سفتی (گرم)	چسبندگی (گرم در ثانیه)
مقدار بهینه ۱	۸/۵	۰/۳۹	۵۰/۲۱	۰/۶۱	۱۰۵/۰۵	۴۰
مقدار بهینه ۲	۸/۲	۰/۴۸	۴۰/۳۹۶	۰/۷۰	۲۷۵/۱۵۳	۲۳۰

جدول ۶- ارزیابی حسی نمونه‌های بهینه و شاهد بستنی یک روز پس از تولید

نوع بستنی	خواص حسی	بافت (سفتی)	پس طعم (قابض بودن)	رنگ (کدورت)	پذیرش کلی
شاهد	۶/۲۰ ± ۰/۳۷ ^a	۵/۲۰ ± ۰/۲۴ ^b	۶/۰۵ ± ۰/۵۶ ^a	۶/۲۰ ± ۰/۵۲ ^a	۶/۱۲ ± ۰/۵۶ ^a
بهینه اول	۵/۹۰ ± ۰/۵۴ ^a	۶/۲۰ ± ۰/۲۵ ^a	۵/۳۵ ± ۰/۲۳ ^b	۶/۱۵ ± ۰/۴۵ ^a	۶/۲۵ ± ۰/۲۴ ^a
بهینه دوم	۶/۰۵ ± ۰/۴۶ ^a	۶/۱۰ ± ۰/۳۵ ^a	۵/۵۰ ± ۰/۶۵ ^b	۶/۱۰ ± ۰/۲۷ ^a	۵/۵۵ ± ۰/۵۶ ^b

فرمول بهینه اول (۲۵ درصد جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، ۸/۵ درصد روغن هیدروژنه گیاهی و ۰/۳۹ درصد صمغ پانیسول) و فرمول بهینه دوم (۵۳ درصد جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، ۸/۲ درصد روغن هیدروژنه گیاهی و ۰/۴۸ درصد صمغ پانیسول)

آنالیز حسی نمونه‌های بهینه بستنی

ارزیابان حسی خواص حسی بستنی‌های شاهد و بهینه را مطابق با جدول ۶ بیان کردند. اختلاف معنی‌داری بین نمونه شاهد و نمونه‌های بهینه از نظر عطر و طعم و رنگ دیده نشد ($p < 0.05$)، در حالی که از نظر سفتی بافت و پس طعم و پذیرش کلی دیده شد ($p > 0.05$). نتایج نشان داد که جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی تا سطح ۲۵ درصد هیچ‌گونه تاثیر منفی بر روی امتیاز ارزیابان حسی نداشت خصوصاً روی پذیرش کلی که می‌تواند مشابه با نمونه شاهد باشد ($p > 0.05$).

نتیجه‌گیری

با توجه به مشاهده عدم اختلاف معنی‌دار پاسخ‌های پیش‌گویی شده توسط برنامه سطح پاسخ و نتایج واقعی (آزمایشگاهی) توسط

منابع

- Adapa, S. Dingeldein, H. Schmidt, K.A. Herald, T.J. 2000. Rheological properties of ice cream mixes and frozen ice creams containing fat and fat replacers. *Journal of Dairy Science*, 83(10): 2224-2229.
- Afkhami, R. Goli, M. Keramat, J. 2019. Loading lime by-product into derivative cellulose carrier for food enrichment. *Food Science and Nutrition*, 7: 2353- 2360.
- Akesowan, A. 2009. Influence of soy protein isolate on physical and sensory properties of ice cream. *Thai Journal of Agricultural Science*, 42(1), 1-6.
- Codină, G.G. Franciuc, S.G. Mironeasa, S. 2016. Rheological characteristics and microstructure of milk yogurt as influenced by quinoa flour addition. *Journal of Food Quality*, 39(5): 559-566.
- Dervisoglu, M. Yazici, F. Aydemir, O. 2005. The effect of soy protein concentrates addition on the physical, chemical, and sensory properties of strawberry flavored ice cream. *European Food Research and Technology*, 221(3): 466-470.
- El-Nagar, G. Clowes, G. Tudorică, C.M. Kuri, V. Brennan, C.S. 2002. Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *International Journal of Dairy Technology*, 55(2): 89-93.
- Fatemi, H. 2008. Food Chemistry. Tehran Publishing Corporation. 1: 12-25.
- Gelroth, J. and Ranhotra, G.R. Dreher, M.L. 2001. Handbook of dietary fiber.
- Gheisari, H.R. Ahadi, L. Khezli, S. Dehnavi, T. 2016. Properties of ice-cream fortified with zinc and *Lactobacillus case*. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 15(4): 367-377.
- Hashemi, M. Gheisari, H. Shekarforoush, S. 2015. Evaluation of physicochemical, textural and sensorial characteristics of low-fat or low-sugar synbiotic ice-cream. *Journal of food hygiene*, 2(18): 71-81.
- James, L.E.A. 2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in food and nutrition research*, 58: 1-31.
- Keskin, S. Evlice, K.A. 2015. Use of Quinoa in Bakery Products. *Journal of Field Crops Central Research Institute*, 24(2), 150-156.
- Mahdian, E. Mazaheri, T.M. Shahidi, F. 2011. Evaluation of the effect of soy flour on rheological properties of ice cream. *Journal of Food Science and Technology*, 8(31): 107-114.
- Malik, P. Kempanna, C. Aman, P. 2013. Quality characteristics of ice cream enriched with Spirulina powder. *International Journal of Food and Nutrition Science*, 2(1): 44-50.
- Mirchouli Barazegh, A.R. Mazaheri Tehrani, M. 2011. Investigating the effect of substituting whole total solid of ice cream with almonds on its physical and sensory properties. *Journal of Food Science and Technology Research*, 3(1): 20-26.
- Muse, M.R. Hartel, R.W. 2004. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. *Journal of dairy science*, 87(1): 1-10.
- Rasouli, F. Berenji, S., Shahab, L.A., 2017. Optimization of traditional Iranian ice cream formulation enriched with spirulina using response surface methodology. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 14(3): 15-28.

آزمون t-test جفت شده، کارایی مناسبی برای پیش‌بینی و بهینه‌یابی پارامترهای مورد ارزیابی وجود داشت. فرمول بهینه اول (۲۵ درصد جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، ۸/۵ درصد روغن هیدروژنه گیاهی و ۰/۳۹ درصد صمغ پانیسول) و فرمول بهینه دوم (۵۳ درصد جایگزینی آرد کینوا با شیر خشک بدون چربی، ۸/۲ درصد روغن هیدروژنه گیاهی و ۰/۴۸ درصد صمغ پانیسول) پیشنهاد گردید. در مجموع آرد کینوا به دلیل داشتن مقادیر بالای پروتئین و فیبر رژیمی و همچنین ویژگی‌های منحصر به فرد نظیر قدرت جذب و نگهداری آب بالا و ظرفیت امولسیفایری می‌تواند موجب بهبود خواص فیزیکی و بافتی از جمله سفتی و چسبندگی، تغییرات حجم و مقاومت به ذوب بستنی گردد.

- Ruales, J. Nair, B.M. 1993. Saponins, phytic acid, tannins and protease inhibitors in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Food Chemistry*, 48: 137-143.
- Salimpour Erdi, M. Khoshkhoo, Zh. Emtiazjoo, M. 2019. The investigation of production of ice cream containing *Dunaliella salina* alga powder. *Food Science and Technology*, 90(16): 271-282.
- Sofjan, R.P. Hartel, R.W. 2004. Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. *International Dairy Journal*, 14(3): 255-262.
- Soukoulis, C.H. Chandrinis, I. Tzia, C. 2008. Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with k-carrageenan on storage quality of vanilla ice cream, *LWT. Food Science and Technology*, 41: 1816-1827.
- Zhang, B. Deng, Z. Tang, Y. Chen, P. Liu, R. Ramdath, D.D. Liu, Q. Hernandez, M. Tsao, R. 2014. Fatty acid, carotenoid and tocopherol compositions of 20 Canadian lentil cultivars and synergistic contribution to antioxidant activities. *Food chemistry*, 161: 296-304



Optimization of Vanilla Ice Cream Formula by Replacement of Skim Milk Powder with Quinoa Flour by Response Surface Methodology (RSM)

D. Hami¹, M. Goli^{2*}

Received: 2019.11.02

Accepted: 2020.06.02

Introduction: Ice cream contains a mixture of milk components, sweeteners, stabilizers, emulsifiers, and flavorings. The quality of the finished product depends not only on the processing conditions or the freezing efficiency, but also on the constituents, the amount of entrapped air, and the number of ice crystals. The physical structure of ice cream has a significant effect on the melting properties (melting rate) and texture (hardness) of ice cream (Mouse & Hartel, 2004). The improvement and expansion of the ice cream structure are attributed to the macromolecules present in the ice cream mixture; milk fat, protein, and carbohydrates (Adapa et al., 2000). Quinoa as a high biologically valuable protein can be used in various food products to enrich and positively affect the physical and sensory properties of the product (James, 2009). The purpose of the present study was to replace skim milk powder with quinoa flour (0 to 100%), hydrogenated vegetable oil (4.5 to 8.5%) and Panisol gum (0.25 to 0.65%) to obtain the optimal formulas of Vanilla ice cream using the response surface methodology.

Materials and Methods: After adjusting the ratio of the ingredients in the various ice cream formulations, the amount of raw material of each formula was weighed. The milk was then heated to about 45 °C, and then the remaining ingredients were slowly added and thoroughly mixed. The mixture was then pasteurized at 85 °C for 15 minutes. After the pasteurization operation, the mixture was immediately kept in a water-ice bath and cold down for 4 hours in a 4 °C refrigerator. After the ripening step, the mixture went through the freezing phase in a homemade ice cream maker. The ice cream samples were packed in plastic containers and stored at -18 °C for the period of hardening. To optimize the process conditions, the independent variables A (quinoa flour replacement from 0 to 100%), B (hydrogenated vegetable oil from 4.5 to 8.5%) and C (Panisol gum from 0.25 to 0.65%) were selected at five levels. To obtain optimal points, 34 experiments were recommended by design expert software. The volumetric overrun (%) and the melting rate (g/min.) were measured according to Hashemi et al., (2015) method. Ice cream textural properties were tested after 3 days storage at -18 °C using a Brookfield texture analyzer. It was equipped with a cylindrical probe with a diameter of 6 mm and a height of 15 mm. The probe was applied to the test samples twice at a speed of 1 mm / s and up to 50% of the probe height and the results were recorded by device software. Ice cream textural data used in this study included hardness (g) and adhesiveness (g. sec) (Hashemi et al., 2015).

Results and Discussions: Reducing overrun of ice cream samples by increasing the replacement levels of quinoa flour can be attributed to an increase in the viscosity. As viscosity increases, due to the reduced mixing ability of the ice cream mixture, the ability of air to enter the mixture of ice cream containing quinoa flour has been reduced during freezing (Gelroth et al., 2001). The reason for the decrease in the melting rate of ice cream with increasing percentage of quinoa flour replacement can be attributed to the existence of polysaccharide compounds with high water holding capacity, which led to increase the product water intake intensity and viscosity and subsequently decrease the overrun. One of the factors affecting the melting properties is the increase in volume. In addition, the role of quinoa flour in enhancing the melting resistance of ice cream can be attributed to the type of protein content, the emulsifier potential and the surface active properties of its proteins and lipids. The presence of high amounts of protein in quinoa flour has a significant effect on the stability of air molecules. Since quinoa flour contains high amounts of protein, this fraction of flour quinoa protein, increases the hardness of ice cream through creating hydrogen bonds between the amide-hydroxyl and hydroxyl-carbonyl groups with other polar groups of other ice cream components such as panisol gum. In addition, hydrogen bonds are likely to be formed by electrostatic interactions between the quinoa protein groups of the polar with the polar part of the gum panisol, which may also be the reason for the increased hardness of the ice cream in the presence of the quinoa flour. With polar groups, quinoa flour traps the water in its structure and ultimately increases the

1. Msc. Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

2. Associate professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

(*Corresponding Author Email: mgolifood@yahoo.com)

consistency and adhesiveness of the ice cream. It is also possible that the protein portion of quinoa flour binds to the water molecules present in the sample through hydrogen bonding and ion-dipole and dipole-dipole interactions, thereby reducing water activity, increasing sample adhesiveness (Fatemi, 2008).

The optimal formulas were predicted for replacement of skim milk powder with quinoa flour at 25 and 53%, hydrogenated vegetable oil 8.5 and 8.2% and panisol gum 0.39 and 0.48%, respectively.

Keywords: Panisol gum, Hydrogenated vegetable oil, Overrun, Textural properties, Melting rate, Sensory evaluation

مقاله پژوهشی

تهیه فیلم کامپوزیت زیست تخریب پذیر کربوکسی متیل سلولز- صمغ عربی و ارزیابی خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و حرارتی آن

امیر رضائی^۱ - مسعود رضائی^{۲*} - مهدی آل بوفتله^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۷

چکیده

در این پژوهش اثر ترکیب دو پلیمر کربوکسی متیل سلولز و صمغ عربی به منظور بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های زیست تخریب پذیر مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور ابتدا فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز و صمغ عربی به صورت جداگانه تهیه و در ادامه این دو پلیمر به نسبت‌های مختلف (۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵) با یکدیگر ترکیب شده و خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و حرارتی آنها ارزیابی گردید. میزان نفوذپذیری به بخار آب در فیلم‌های ترکیبی دو پلیمر با افزایش سطح صمغ عربی به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0.05$) و کمترین میزان عبور بخار آب در تیمار ۷۵:۲۵ (کربوکسی متیل سلولز: صمغ عربی) ۲/۲۵۶۷ ($\text{g pas}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$) مشاهده شد. میزان آب‌گریزی فیلم‌ها با اضافه کردن صمغ عربی به ماتریس فیلم کربوکسی متیل سلولز به طور معنی‌داری از ۴۱/۳۳ درجه به ۶۱/۱۰ درجه افزایش یافت ($p < 0.05$). مقاومت کششی فیلم‌های تولید شده با افزایش سطح صمغ عربی از ۵۱/۱۰ مگاپاسکال به ۳/۱۶ مگاپاسکال کاهش یافت. میزان عبور نور از فیلم‌های تولید شده با افزایش نسبت صمغ عربی کاهش نشان داد ($p < 0.05$). بیشترین و کمترین میزان دمای انتقال ذوب به ترتیب در تیمارهای کربوکسی متیل سلولز (۲۶۵/۲۹) درجه سانتی‌گراد و صمغ عربی (۲۴۱/۹) درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. به طور کلی، از نتایج حاضر دریافت می‌شود که تهیه فیلم‌های ترکیبی از کربوکسی متیل سلولز و صمغ عربی باعث بهبود برخی از ویژگی‌های فیلم‌های تولید شده از قبیل خواص فیزیکی، حرارتی و میزان عبور نور گردید.

واژه‌های کلیدی: فیلم کامپوزیت، کربوکسی متیل سلولز، صمغ عربی، فیلم زیست تخریب‌پذیر.

مقدمه

یکی از اهداف بسته‌بندی، حفظ کیفیت مواد غذایی به بهترین شکل ممکن و با صرف کمترین میزان هزینه می‌باشد، به طوری که به ترتیب رضایت مصرف کننده و تولیدکننده را به همراه داشته باشد. بسیاری از مواد مورد استفاده در تهیه بسته‌بندی مواد غذایی، پلیمرهای حاصل از مشتقات نفتی می‌باشند. در سال‌های اخیر به دلیل مخاطرات زیست محیطی حاصل از این بسته بندی‌ها، تمایل به استفاده از پلیمرهای طبیعی و زیست تخریب‌پذیر در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی افزایش یافته است (Wang et al., 2010). فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی زیست تخریب پذیر که در سال‌های اخیر توجه خاصی را به خود جلب کرده‌اند، می‌توانند به عنوان راهکاری برای جلوگیری از مضرات بسته بندی‌های معمول مورد استفاده قرار گیرند (Emiroğlu et al., 2010). این نوع پوشش‌ها سطح ماده غذایی را پوشانده و می‌توانند به عنوان مانعی در برابر عوامل مخرب از قبیل گاز اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و

رطوبت عمل کرده و در نهایت نگهداری محصول بسته‌بندی شده را افزایش دهند (Falguera et al., 2011). پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها از مهم‌ترین ترکیبات مورد استفاده در تهیه فیلم‌های خوراکی و زیست تخریب‌پذیر هستند. کازئین شیر، کلاژن، ژلاتین، سلولز، پکتین، دکسترین، نشاسته و نشاسته‌های اصلاح شده، کیتوزان، کاراژینان، آلژینات و صمغ‌ها نمونه‌هایی از این ترکیبات هستند (Mariniell et al., 2010; Ojagh et al., 2003). کربوکسی متیل سلولز از مشتقات سلولز بوده که به دلیل قیمت پایین، امکان تولید فیلم‌های شفاف، خاصیت بازدارندگی نسبت به اکسیژن و چربی‌ها قابلیت استفاده در تهیه فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر را داراست.

صمغ‌ها به طور گسترده در صنایع غذایی برای تهیه ژل و سوسپانسیون و همچنین به عنوان پایدارکننده مورد استفاده قرار می‌گیرند. صمغ‌ها ترکیبات پلی ساکاریدی و محلول در آبی هستند که از منابع مختلفی همچون صمغ‌های ترشخی، صمغ‌های جلبکی، دانه‌ای،

*-نویسنده مسئول: (Email: a_rezaie@modares.ac.ir)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.85857

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد، گروه فرآوری محصولات شیلانی، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
۳- پژوهشکده آبی‌پروری آب‌های داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندر انزلی، ایران.

تهیه فیلم‌ها

محلول یک درصد (وزنی-حجمی) صمغ عربی و کربوکسی متیل سلولز به صورت جداگانه به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۵ درجه توسط همزن مغناطیسی تهیه شد. محلول‌های حاصل به منظور تولید فیلم کامپوزیت در پنج نسبت مختلف شامل ۱۰۰ درصد کربوکسی متیل سلولز (ک ۱۰۰-ص ۰)، ۷۵ درصد کربوکسی متیل سلولز (ک ۷۵-ص ۲۵)، ۵۰ درصد کربوکسی متیل سلولز (ک ۵۰-ص ۵۰)، ۲۵ درصد کربوکسی متیل سلولز (ک ۲۵-ص ۷۵) و ۱۰۰ درصد صمغ عربی (ک ۰-ص ۱۰۰) تهیه شدند. گلیسرول به منظور افزایش خاصیت انعطاف‌پذیری و نرم شدن فیلم‌ها به میزان ۰/۳ گرم به ازای هر گرم پلیمر به آن‌ها اضافه شد. محلول تهیه شده توسط دیسکاتور پمپ خلاء حباب‌زدایی شده و به پلیت‌های پلاستیکی (۸ سانتی‌متر) منتقل گردید. پلیت‌ها برای خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۵ درجه در آون قرار داده شدند. بعد از خشک شدن و جدا کردن از پلیت‌ها، فیلم‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دیسکاتور حاوی محلول اشباع نیترات منیزیم جهت تعادل رطوبتی و دمایی قرار داده شدند (اجاق و همکاران، ۱۳۹۶؛ Ghaderi و همکاران، ۲۰۱۹).

بررسی خواص فیزیکی فیلم‌ها

آزمون پراش پرتو ایکس (XRD)

آزمون پراش پرتو ایکس فیلم‌های تهیه شده با استفاده از دستگاه X'Pert MPD ساخت کشور هلند با پرتویی با طول موج پرتو ۱/۷۸۹۰۱ آنگستروم و با تیوب کبالت در زاویه $2\theta = 5-80$ درجه، در دمای محیط و با سرعت یک درجه در دقیقه صورت پذیرفت (Ghaderi و همکاران، ۲۰۱۹).

آزمون طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)

این آزمون با استفاده از دستگاه Shimadzu (۸۴۰۰s، ژاپن) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های مورد آزمایش پس از آماده‌سازی برش داده شده و تکه‌هایی با قطر ۲ سانتی‌متر بین دو صفحه KBr قرار گرفتند. طیف‌های FTIR در گستره $4000-400\text{ cm}^{-1}$ و تفکیک‌پذیری 4 cm^{-1} تعیین گردید (Jiang et al., 2019).

نفوذپذیری نسبت به بخار آب (WVP)

خاصیت نفوذپذیری نمونه‌ها نسبت به بخار آب طبق روش شماره E96 بررسی شد (ASTM, 2002). در این آزمایش از سلول‌های نفوذپذیری با ابعاد ۳ سانتی‌متر قطر داخلی و ۳/۵ سانتی‌متر ارتفاع داخلی که حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر بودند استفاده شد. فیلم‌ها بر سطح سلول‌های نفوذپذیری نصب گردید و در ادامه سل داخل دیسکاتور حاوی سیلیکاژل به مدت ۸ ساعت قرار داده شد. طی این زمان، وزن

میکروبی و مشتقات نشاسته و سلولز تهیه می‌شوند. یکی از صمغ‌هایی که بیشتر مورد توجه است، صمغ عربی می‌باشد. صمغ عربی هتروپولی‌ساکاریدی پیچیده می‌باشد که از ترکیباتی با وزن مولکولی بالا تشکیل شده و از درخت *Acacia senegal* ترشح می‌شود. در صمغ عربی بر خلاف سایر صمغ‌ها میزان ویسکوزیته در غلظت‌های پایین، زیاد نمی‌باشد اما با افزایش غلظت، ویسکوزیته به سرعت افزایش می‌یابد (Phillips et al., 2000). همچنین گزارش شده است که صمغ عربی قابلیت تشکیل فیلم زیستی مناسبی نیز دارا می‌باشد (Mishrs & Murmu, 2018). استفاده از فیلم‌های بیوپلیمری به دلیل مشکلات مرتبط با عملکرد آن‌ها و حساسیت ذاتی به آب، مقاومت و سختی نسبتاً کم به ویژه در محیط‌های مرطوب با محدودیت مواجه شده است (Azeredo, 2009; Arora et al., 2010). همچنین مطالعات پیشین نشان داده است که فیلم‌های تهیه شده از یک پلیمر به طور معمول نسبت به شرایط محیطی حساس بوده و خواص مکانیکی ضعیف‌تری را نشان می‌دهند. تاکنون راه‌های مختلفی برای غلبه بر این محدودیت‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از این راه‌ها، ترکیب پلیمرهای مختلف با یکدیگر و تشکیل فیلم‌های ترکیبی می‌باشد (Rhim et al., 2006). در این زمینه پیشتر طبری و همکاران (۱۳۹۵) برخی خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های تهیه شده از کربوکسی متیل سلولز و کنیرا را مورد بررسی قرار دادند. همچنین مطالعاتی در رابطه با تهیه فیلم کامپوزیت کیتوزان-کنیرا توسط اجاق و همکاران (۱۳۹۶) بررسی گردید. نتایج تحقیقات عنوان شده بیان داشت که تهیه فیلم‌های ترکیبی می‌تواند منجر به بهبود ویژگی‌های فیلم‌های تهیه شده گردد. براساس مطالب گفته شده در رابطه با ضعف‌ها و مشکلات تهیه فیلم‌های تک پلیمری و امکان بهبود ویژگی‌های این فیلم‌ها با ترکیب بیوپلیمرها با یکدیگر و همچنین با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در زمینه ترکیب صمغ عربی با کربوکسی متیل سلولز گزارش نشده است در پژوهش حاضر به منظور تهیه بهترین فیلم دارای ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مناسب، ابتدا نسبت‌های مختلف دو پلیمر کربوکسی متیل سلولز و صمغ عربی با یکدیگر ترکیب شده و در ادامه فیلم‌های تهیه شده از نظر ویژگی‌های کیفی متعدد مورد ارزیابی قرار گرفته تا بهترین نسبت ترکیب پلیمرها ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

مواد مورد آزمایش در این تحقیق شامل کربوکسی متیل سلولز می‌باشد که از شرکت Dycell تهیه گردید. همچنین صمغ عربی از بازار محلی و گلیسرول از شرکت مرک آلمان خریداری شد.

$$(4) \quad \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} + (100 - L^*)^2 = 100 - \text{شاخص سفیدی (Whiteness Index)}$$

خصوصیات مکانیکی فیلم‌ها

ضخامت فیلم‌ها در پنج نقطه از هر تکرار توسط ریزسنج دیجیتالی ۰/۰۰۱ میلی‌متر (Mitutoyo، ژاپن) اندازه‌گیری شد. به‌منظور بررسی خاصیت مکانیکی نمونه‌ها ابتدا فیلم‌ها در ابعاد (۱۰×۶۰ میلی‌متر) برش داده شد و آزمون کشش طبق استاندارد D882-09 مصوب ASTM انجام شد. سرعت کشش ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و فاصله بین دو فک ۳ سانتی‌متر انتخاب شد. شاخص‌های مقاومت کششی (TS) (MPa) و درصد کرنش در نقطه شکست (EAB) (%) (۱۰۰× طول اولیه / تغییر طول اولیه) از روی منحنی‌های نیرو بر حسب تغییر شکل به‌دست آمدند (ASTM، ۲۰۰۲).

آزمون گرماسنجی افتراقی (DSC)

به‌منظور بررسی رفتار گرمایی فیلم‌ها از دستگاه DSC (ZEN3600، MALVERN، انگلستان) استفاده شد. حدود ۱۵ میلی‌گرم از هر نمونه از دمای ۳۰ تا ۳۶۰ درجه حرارت داده شد که تغییرات دمایی ثابت و برابر ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه بود.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

جهت مقایسه فاکتورهای بیان شده و بررسی معنی‌داری اختلاف بین فیلم‌های تهیه شده، از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰، آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن استفاده شد. سطح معنی‌داری برای تمامی فاکتورها $p < 0.05$ در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

آزمون پراش پرتو ایکس (XRD)

آزمون XRD به‌منظور بررسی ساختار کریستالی فیلم‌های تهیه شده سنجش گردید. نتایج آزمون XRD فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز، صمغ عربی و فیلم‌های ترکیبی در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تمامی فیلم‌های تهیه شده دارای یک پیک می‌باشند. فیلم‌های تهیه شده از کربوکسی متیل سلولز و صمغ خالص به‌ترتیب دارای یک پیک نسبتاً قوی در نواحی ۲۴/۰۹-۲۵ و ۲۲/۹-۲۵ بودند. این پیک در فیلم ترکیبی کربوکسی متیل سلولز ۷۵ درصد و صمغ عربی ۲۵ درصد، فیلم کربوکسی متیل سلولز ۵۰ درصد و صمغ عربی ۵۰ درصد و فیلم کربوکسی متیل سلولز ۲۵ درصد و صمغ عربی ۷۵ درصد به‌ترتیب در نواحی ۲۳/۶۹-۲۵، ۲۳/۳۲-۲۵ و ۲۳/۱۱-۲۵ مشاهده شد.

سل‌ها توسط ترازوی دیجیتالی ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. نرخ انتقال بخار آب با استفاده از معادله ۱ اندازه‌گیری شد.

$$(1) \quad \text{نرخ انتقال بخار آب} = \frac{\text{سطح سلول}}{\text{شیب خط}}$$

همچنین میزان نفوذپذیری به بخار آب از ضرب نمودن نرخ انتقال بخار آب در ضخامت فیلم‌ها و تقسیم آن در اختلاف فشار موجود در دو سمت فیلم به‌دست آمد و به‌صورت گرم $\text{g pas}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ گزارش شد.

زاویه تماس

زاویه تماس فیلم‌های تهیه شده به عنوان فاکتوری از میزان آب‌دوستی و آب‌گریزی مواد با استفاده از دستگاه Rycobel (سوئیس) مورد بررسی قرار گرفت. حدود ۵ میکرولیتر آب دوبار تقطیر و فاقد یون به وسیله میکروسرنگ بر سطح افقی فیلم در دمای 23 ± 5 درجه سانتی‌گراد با ۳ تکرار قرار گرفت و در نهایت میزان زاویه تماس در طول مدت زمان یک دقیقه اندازه‌گیری شد (قادری و همکاران، ۲۰۱۹).

سنجش کدورت و عبور نور

جهت سنجش کدورت، نمونه‌های فیلم (۴۰×۹ میلی‌متر) به مدت ۲۴ ساعت در دیسکاتور حاوی سیلیکا ژل خشک شدند. در ادامه، جذب فیلم‌ها در طول موج ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (Unic، چین) اندازه‌گیری و برای محاسبه میزان کدورت از معادله زیر استفاده شد (Liang et al., 2019).

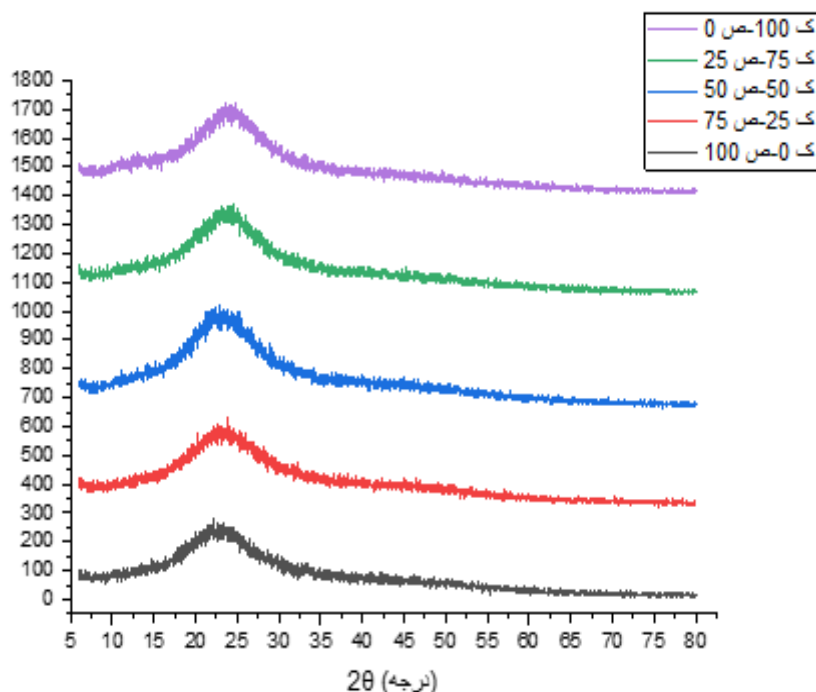
$$(2) \quad \text{کدورت} = \frac{\text{ضخامت نمونه}}{\text{جذب نور}}$$

رنگ سطحی

بررسی رنگ سطحی نمونه‌ها توسط دستگاه رنگ‌سنج (BYK Gardner، آمریکا) انجام شد. در این آزمون از یک پلیت سفید به‌عنوان مرجع استفاده شد و فاکتورهای L^* ، a^* و b^* که به‌ترتیب بیانگر میزان روشنایی، قرمز/سبز و زرد/آبی می‌باشند اندازه‌گیری شدند. به‌منظور محاسبه اختلاف رنگ نمونه‌ها و شاخص سفیدی از معادلات ۳ و ۴ استفاده گردید که داده‌های مرتبط با پلیت استاندارد (L ، a و b) و همچنین داده‌های L^* ، a^* و b^* مربوط به هر نمونه در معادلات قرار داده شد (Ojagh et al., 2010; Jiang et al., 2019; Bolin & Huxsoll, 1991 و اجاق و همکاران، ۱۳۹۶).

$$(3) \quad \Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

در اینجا L^*-L ، $\Delta a = a^*-a$ ، $\Delta b = b^*-b = \Delta L$ است.



شکل ۱- الگوی پراش پرتو ایکس فیلم‌های تهیه شده

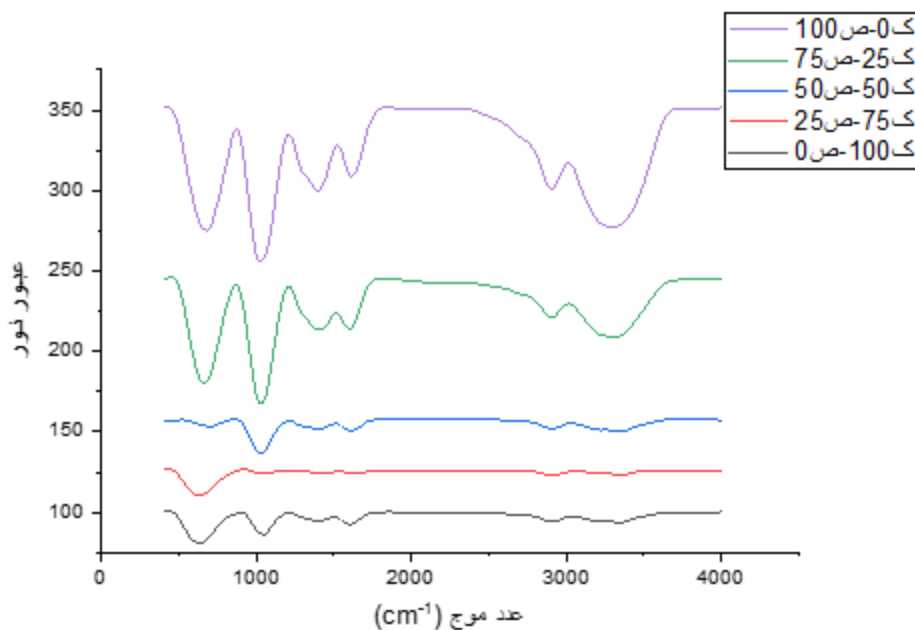
ک ۱۰۰- ص ۰ = فیلم کربوکسی متیل سلولز خالص

ک ۷۵- ص ۲۵ = فیلم ترکیبی با نسبت ۷۵ درصد کربوکسی متیل سلولز و ۲۵ درصد صمغ عربی

ک ۵۰- ص ۵۰ = فیلم ترکیبی با نسبت ۵۰ درصد کربوکسی متیل سلولز و ۵۰ درصد صمغ عربی

ک ۲۵- ص ۷۵ = فیلم ترکیبی با نسبت ۲۵ درصد کربوکسی متیل سلولز و ۷۵ درصد صمغ عربی

ک ۰- ص ۱۰۰ = فیلم صمغ عربی خالص



شکل ۲- الگوی طیف مادون قرمز فیلم‌های تهیه شده

(Dudhani et al., 2010) می‌باشد. همچنین پیوندهای $C=O$ کششی، گروه NH و ارتعاش کششی متقارن CH به‌ترتیب در فرکانس‌های 1026 cm^{-1} ، 1597 cm^{-1} و 1324 cm^{-1} مشاهده شد (قادری و همکاران، ۲۰۱۹). همه این پیک‌ها در فیلم‌های ترکیبی و فیلم تهیه شده از کربوکسی متیل سلولز در طول موج‌های مشابه ظاهر شدند اما شدت آن‌ها کاهش یافت. همچنین در محدوده 847 cm^{-1} تا 674 cm^{-1} پیک‌هایی مشاهده شد که مرتبط با تفسیر وضعیت آنومری در فرم پیرانوزی قندها می‌باشد (رجایی و همکاران، ۱۳۹۸). کاهش شدت پیک‌ها در فیلم‌های ترکیبی می‌تواند به دلیل شکل‌گیری یک ساختار ویژه در نتیجه واکنش بین گروه‌های عاملی کربوکسی متیل سلولز و گروه‌های عاملی صمغ عربی باشد.

خواص فیزیکی فیلم‌ها (نفوذپذیری نسبت به بخار آب و زاویه تماس)

سنجش میزان نفوذپذیری به بخار آب در بسته‌بندی مواد غذایی به دلیل مشارکت این عامل در واکنش‌های عامل فساد، از مهمترین پارامترهای مورد مطالعه در زمینه تهیه فیلم‌های خوراکی می‌باشد. در مطالعه حاضر خاصیت نفوذپذیری نسبت به بخار آب به‌عنوان یکی از ویژگی‌های فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر توسط بررسی نرخ انتقال بخار آب نسبت به زمان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از نظر میزان نفوذپذیری نسبت به بخار آب وجود دارد ($p < 0.05$).

افزودن صمغ عربی به فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز باعث کاهش زاویه و پهن تر شدن پیک در فیلم‌های ترکیبی گردید. این پدیده می‌تواند ناشی از تشکیل پیوندهای جدید بین دو پلیمر و ایجاد ترکیب جدید باشد (Yoksan et al., 2010). به‌طور کلی کاهش شدت و زاویه پیک‌ها نشان‌دهنده کاهش ساختار کریستالی در فیلم‌های تهیه شده می‌باشد (Jingou et al., 2011). بر این اساس ساختار کریستالی فیلم‌های ترکیبی و صمغ عربی کمتر از ساختار کریستالی فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز می‌باشد.

آزمون طیف‌سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریه (FTIR)

طیف‌سنجی مادون قرمز به‌منظور بررسی وضعیت پیوندها و ریزساختار مواد یا به عبارتی ارزیابی پیوندهای هیدروژنی و سایر واکنش‌ها در قابلیت ترکیب پلیمرها انجام می‌شود (Zhang et al., 2002). نتایج آزمون طیف‌سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریه فیلم‌های مختلف تولید شده در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود شدت پیک‌ها در الگوهای FTIR فیلم‌های مختلف متفاوت بوده و با افزایش میزان کربوکسی متیل سلولز در تیمارهای ترکیبی شدت پیک‌ها کاهش یافت. پیک‌های تشکیل شده در تیمار صرفاً دارای صمغ عربی در فرکانس‌های بین 3000 cm^{-1} و 3500 cm^{-1} قابل مشاهده است که به‌ترتیب مرتبط با باندهای کششی متقارن و نامتقارن $N-H$ در گروه آمین و باندهای کششی هیدروکسیل‌های آزاد (اجاق و همکاران، ۱۳۹۶)، باند کششی گروه CH

جدول ۱- میزان نفوذپذیری به بخار آب و زاویه تماس فیلم‌های تهیه شده

فیلم	زاویه تماس ($^{\circ}$)	نفوذپذیری ($\text{g pas}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$)
ک ۱۰۰ ص ۰	$41/33 \pm 0/41^b$	$4/1967 \pm 0/25^a$
ک ۷۵ ص ۲۵	$62/16 \pm 8/07^a$	$3/3067 \pm 0/28^b$
ک ۵۰ ص ۵۰	$66/80 \pm 0/75^a$	$3/0000 \pm 0/09^b$
ک ۲۵ ص ۷۵	$64/03 \pm 3/34^a$	$2/2567 \pm 0/13^c$
ک ۰ ص ۱۰۰	$61/10 \pm 9/10^a$	$3/2200 \pm 0/63^b$

حروف انگلیسی کوچک متفاوت در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف فیلم کامپوزیت می‌باشد ($p < 0.05$).

ک ۱۰۰ ص ۰ = فیلم کربوکسی متیل سلولز خالص

ک ۷۵ ص ۲۵ = فیلم ترکیبی با نسبت ۷۵ درصد کربوکسی متیل سلولز و ۲۵ درصد صمغ عربی

ک ۵۰ ص ۵۰ = فیلم ترکیبی با نسبت ۵۰ درصد کربوکسی متیل سلولز و ۵۰ درصد صمغ عربی

ک ۲۵ ص ۷۵ = فیلم ترکیبی با نسبت ۲۵ درصد کربوکسی متیل سلولز و ۷۵ درصد صمغ عربی

ک ۰ ص ۱۰۰ = فیلم صمغ عربی خالص

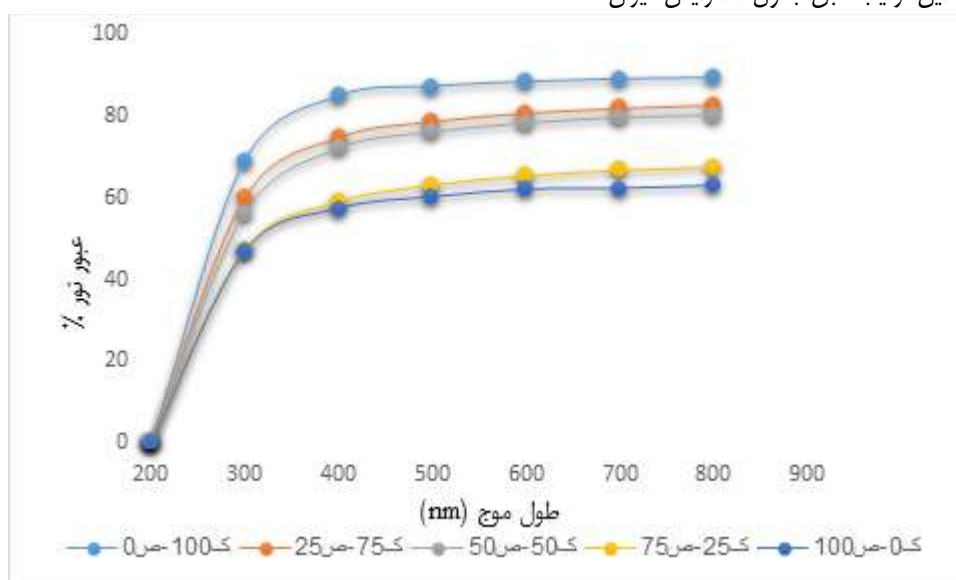
میزان نفوذپذیری به بخار آب شده باشد (طبری و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج آزمون زاویه تماس که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد نیز بیانگر این می‌باشد که فیلم‌های صمغ عربی به نسبت فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز خاصیت آب‌گریزی بیشتری دارا هستند (جدول ۱). بیشتر

بدین صورت که با افزایش درصد صمغ عربی میزان نفوذپذیری نسبت به بخار آب کاهش یافت (جدول ۱). علت این کاهش می‌تواند به دلیل وجود خاصیت آب‌گریزی بیشتر (آبدوستی کمتر) فیلم صمغ عربی نسبت به کربوکسی متیل سلولز بوده که در نهایت باعث کاهش

صمغ عربی به فیلم کربوکسی متیل سلولز باعث افزایش میزان زاویه تماس در فیلم‌های ترکیبی گردید. در واقع صمغ عربی با افزایش میزان آبگریزی قطرات آب را وادار به کاهش ارتباط با سطح فیلم‌ها می‌کند و در نهایت زاویه تماس قطره آب با سطح فیلم افزایش می‌یابد

کدورت و عبور نور

میزان کدورت فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز خالص، صمغ عربی خالص و فیلم‌های کامپوزیت در جدول شماره ۲ نشان داده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش نسبت صمغ عربی میزان کدورت در فیلم کامپوزیت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$) و بیشترین میزان کدورت در تیمار ۱۰۰ درصد صمغ عربی مشاهده شد. کدورت در فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر با میزان سطح شفافیت رابطه عکس دارند. به‌طوری که با افزایش میزان کدورت شفافیت فیلم‌های تولیدی کاهش می‌یابد (Pereda et al., 2011). در بررسی این آزمون می‌توان عنوان کرد که وجود رنگ متمایل به زرد در ساختار صمغ عربی علت افزایش کدورت در فیلم‌های کامپوزیت باشد.



شکل ۳- میزان عبور نور از فیلم‌های تهیه شده

پرتوها بیشترین اثر مخرب نور را در مواد غذایی دارا هستند و میزان اکسیداسیون را در ترکیبات غذایی شدت می‌دهند. به این ترتیب فیلم‌های تهیه شده می‌توانند در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی مطلوب واقع شده و پدیده اکسیداسیون ناشی از پرتوهای UV را کاهش دهند (Guo et al., 2014; Bonilla et al., 2014).

رنگ سطحی فیلم‌ها

در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، رنگ فیلم‌های تولید شده از عوامل موثر بر ظاهر عمومی محصول، پذیرش مصرف کننده و همچنین

طبری و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که افزودن صمغ کتیرا به فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز، باعث کاهش میزان نفوذپذیری فیلم‌های ترکیبی شد. اجاق و همکاران (۱۳۹۶) نیز رفتار مشابهی برای فیلم‌های ترکیبی کیتوزان-کتیرا گزارش کردند

نتایج حاصل از آزمون زاویه تماس که در جدول ۱ آورده شده است نشان داد که زاویه تماس فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز و صمغ عربی به ترتیب ۴۱/۳۳ و ۶۱/۱۰ می‌باشد. با افزودن صمغ عربی به فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز زاویه تماس در فیلم‌های کامپوزیت افزایش پیدا کرد. بیشترین مقدار زاویه تماس در فیلم ترکیبی ۵۰:۵۰ مشاهده گردید (۶۶/۸۰). زاویه تماس آب به‌عنوان شاخص نشان‌دهنده ویژگی‌های آبدوستی و آبگریزی مواد می‌باشد (اجاق و همکاران، ۲۰۱۰). به‌طور کلی بالاتر بودن زاویه تماس نشان‌دهنده آبگریزتر بودن ماده مورد مطالعه می‌باشد و بالعکس. بر این اساس افزودن پلیمرهای آبدوست باعث کاهش میزان زاویه تماس خواهد شد. سطوح با خاصیت آبدوستی بیشتر به علت واکنش با مولکول‌های آب منجر به پهن شدن قطره بر روی سطح می‌شوند. به این ترتیب طبق جدول ۱ افزایش میزان غلظت

میزان عبور نور از فیلم‌های تولیدی در طول موج‌های ۲۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر در شکل شماره ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، افزایش نسبت صمغ عربی در بستر فیلم‌های کامپوزیتی منجر به کاهش عبور نور گردید. به‌طوریکه کمترین میزان عبور نور در فیلم‌های صمغ عربی خالص مشاهده شد. علت این امر می‌تواند به دلیل حضور صمغ عربی در ماتریس فیلم و افزایش ضخامت فیلم‌ها باشد (جدول ۳). این کاهش میزان عبور نور می‌تواند نشان‌دهنده قابلیت فیلم‌های تولیدی در جذب پرتوهای UV باشد (قادری و همکاران، ۲۰۱۹). این

کاربرد آن‌ها می‌باشد (قنبرزاده و همکاران، ۲۰۱۰). شاخص‌های رنگ سطحی فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز، صمغ عربی و کامپوزیت کربوکسی متیل سلولز- صمغ عربی در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش میزان صمغ عربی در بستر فیلم‌ها پارامتر L^* کاهش یافت به‌طوری که این میزان در فیلم صمغ عربی ۸۰/۷۷ و در فیلم تهیه شده از کربوکسی متیل سلولز ۸۱/۹۴ اندازه‌گیری شد. این نتایج با نتایج افزایش کدورت در نتیجه افزایش نسبت صمغ عربی مطابقت دارد. پارامتر b^* با افزایش سطح صمغ عربی در بستر فیلم افزایش یافت و بیشترین میزان آن در فیلم تهیه شده از صمغ عربی (۳/۱۷) مشاهده شد. بر این اساس فیلم‌های صمغ عربی و ترکیبی به نسبت فیلم کربوکسی متیل سلولز زردتر شده‌اند. دلیل این امر را می‌توان به ماهیت و رنگ طبیعی صمغ عربی و همچنین وجود ترکیبات فنولی که منجر به جذب نور در طول موج پایین می‌شوند، نسبت داد (Shojaee-Aliabadi et al., 2014). این نتایج با مشاهدات ظاهری فیلم‌ها مطابقت دارد.

به‌منظور بررسی دقیق‌تر تغییرات رنگی ایجاد شده در فیلم‌های مختلف تهیه شده، پارامترهای اختلاف رنگی و شاخص سفیدی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مطابق با جدول ۲، میزان اختلاف رنگی کل (ΔE)

فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز خالص و صمغ عربی به‌ترتیب ۱۲/۸۲ و ۱۴/۲۵ می‌باشد. بالاتر بودن میزان اختلاف رنگ در فیلم‌های صمغ عربی می‌تواند ناشی از کدورت بالاتر این فیلم‌ها نسبت به کدورت فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز باشد. از این رو اختلاف رنگ نسبت به پلیت استاندارد در فیلم‌های صمغ عربی در مقایسه با فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز بیشتر خواهد بود. در بین فیلم‌های ترکیبی نیز اختلاف رنگ فیلم‌ها با افزایش نسبت صمغ عربی افزایش نشان داد. میزان شاخص سفیدی فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز خالص و صمغ عربی به‌ترتیب ۸۱/۸۵ و ۸۰/۵۰ می‌باشد. در بین فیلم‌های ترکیبی نیز شاخص سفیدی فیلم‌ها با افزایش نسبت صمغ عربی کاهش نشان داد. پیشتر اجاق و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که افزودن کتیرا به فیلم‌های کیتوزان باعث کاهش اختلاف رنگ و افزایش شاخص سفیدی در فیلم‌های ترکیبی گردید. این تفاوت می‌تواند ناشی از متفاوت بودن طبیعت صمغ استفاده شده باشد. در این رابطه صمغ کتیرا دارای رنگ روشن و سفیدتری نسبت به پلیمر کیتوزان دارا بوده این در حالی است که صمغ عربی دارای رنگ کدرتری نسبت به کربوکسی متیل سلولز دارا می‌باشد.

جدول ۲- شاخص‌های رنگ سطحی و میزان کدورت فیلم

فیلم	L^*	a^*	b^*	اختلاف رنگ	شاخص سفیدی	کدورت
ک ۱۰۰-ص ۰	۸۱/۹۴± ۱/۷۱ ^{ab}	۰/۷۴± ۰/۰۵ ^a	۱/۵۱± ۰/۲۶ ^b	۱۲/۸۲± ۱/۷۷ ^{ab}	۸۱/۸۵± ۱/۷۴ ^b	۰/۶۱۰۰± ۰/۵۲ ^c
ک ۷۵-ص ۲۵	۸۳/۷۱± ۰/۷۲ ^a	۰/۰۲± ۰/۲۵ ^b	۱/۳۹± ۰/۱۴ ^b	۱۰/۹۹± ۰/۷۴ ^b	۸۳/۶۴± ۰/۷۳ ^a	۱/۰۷۰۰± ۰/۰۴ ^b
ک ۵۰-ص ۵۰	۸۳/۳۸± ۰/۳۸ ^a	۰/۰۶± ۰/۰۴ ^b	۲/۱۱± ۰/۵۱ ^b	۱۱/۳۸± ۰/۴۳ ^b	۸۳/۲۴± ۰/۴۳ ^a	۱/۱۹۳۳± ۰/۱۲ ^{ab}
ک ۲۵-ص ۷۵	۸۳/۲۳± ۰/۵۶ ^a	۰/۰۳± ۰/۰۳ ^b	۲/۰۴± ۰/۴۱ ^b	۱۱/۵۲± ۰/۶۰ ^b	۸۳/۰۹± ۰/۶۰ ^a	۱/۴۴۰۰± ۰/۰۷ ^a
ک ۰-ص ۱۰۰	۸۰/۷۷± ۰/۸۸ ^b	۰/۱۶± ۰/۰۹ ^b	۳/۱۷± ۰/۵۶ ^a	۱۴/۲۵± ۱/۵ ^a	۸۰/۵۰± ۰/۹۶ ^{ab}	۱/۴۸۰۰± ۰/۳۳ ^a

حروف انگلیسی کوچک متفاوت در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف فیلم کامپوزیت می‌باشد ($p < 0.05$).

خصوصیات مکانیکی فیلم‌ها

مواد بسته‌بندی شده تحت تاثیر عوامل و تنش‌های محیطی به‌ویژه در هنگام حمل و نقل قرار دارند که این امر اهمیت افزایش میزان مقاومت کششی در فیلم‌های بسته‌بندی را نشان می‌دهد (Rivero et al., 2010). نتایج حاصل از آزمون درصد افزایش طول و مقاومت در برابر کشش فیلم‌های تهیه شده در جدول ۳ نشان داده شده است. بین فیلم‌های تهیه شده تفاوت معنی‌داری از نظر مقاومت کششی و درصد افزایش طول در لحظه پاره شدن مشاهده شد ($p < 0.05$). مقاومت کششی فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز خالص و صمغ عربی به‌ترتیب ۵۱/۱۰ و ۳/۱۶ مگاپاسکال می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود مقاومت کششی فیلم‌های کامپوزیتی نسبت به فیلم کربوکسی متیل سلولز خالص با افزایش نسبت صمغ عربی به‌طور معنی‌داری کاهش

یافت ($p < 0.05$). پیشتر اجاق و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که مقاومت کششی فیلم‌های کیتوزان با افزایش کتیرا کاهش یافت. درصد افزایش طول در لحظه پاره شدن فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز خالص و صمغ عربی به‌ترتیب ۸/۴۰ و ۲۹/۳۸ می‌باشد. کمترین میزان درصد افزایش طول در لحظه پاره شدن در تیمار ترکیبی ۵۰:۵۰ مشاهده گردید (۶/۰۸ درصد). نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج مطالعات طبری و همکاران (۱۳۹۳) در ارتباط با ارزیابی خواص مکانیکی فیلم تهیه شده از کربوکسی متیل سلولز و کتیرا مطابقت داشت. همچنین مطالعات صورت گرفته توسط قنبرزاده و همکاران (۲۰۱۱) در رابطه با بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های تشکیل شده از نشاسته ذرت توسط CMC و اسید سیتریک با نتایج حاصل از تحقیق حاضر همپوشانی داشت.

جدول ۳- خواص مکانیکی فیلم‌های تولیدی

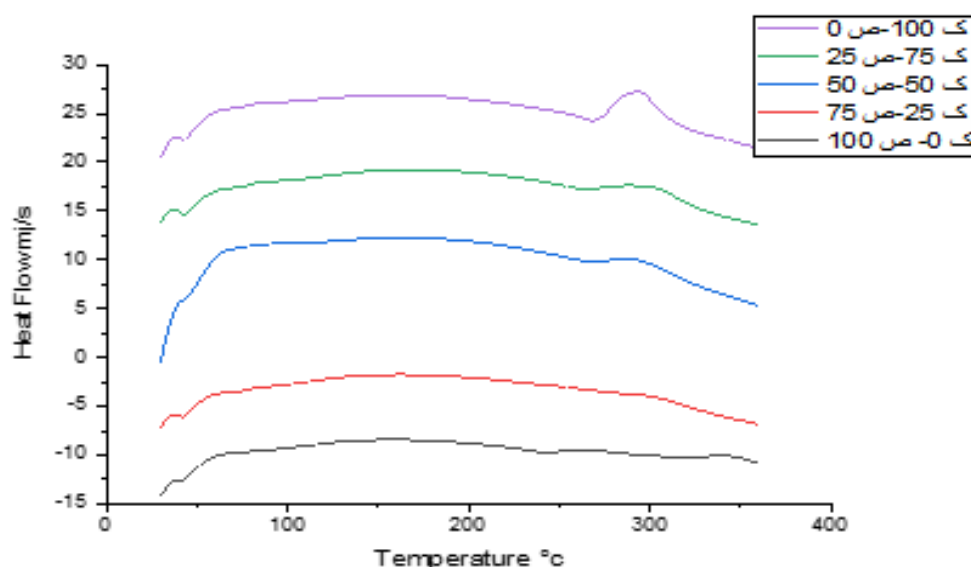
فیلم	ضخامت (mm)	مقاومت کششی (MPa)	درصد افزایش طول (%)
ک ۱۰۰-ص ۰	0.06 ± 0.003^e	$51/10 \pm 1/86^a$	$8/40 \pm 2/41^c$
ک ۷۵-ص ۲۵	0.07 ± 0.003^d	$21/63 \pm 1/73^b$	$8/16 \pm 1/55^c$
ک ۵۰-ص ۵۰	0.08 ± 0.003^c	$19/00 \pm 0/62^c$	$6/08 \pm 0/72^d$
ک ۲۵-ص ۷۵	0.09 ± 0.004^b	$8/75 \pm 1/00^d$	$18/62 \pm 1/43^b$
ک ۰-ص ۱۰۰	0.13 ± 0.003^a	$3/16 \pm 0/66^e$	$29/38 \pm 4/93^a$

حروف انگلیسی کوچک متفاوت در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف فیلم کامپوزیت می‌باشد ($p < 0.05$).

آزمون گرماسنجی افتراقی (DSC)

امتزاج‌پذیری پلیمرها از عوامل مهم در بهبود ترکیبات نوین حاصل از ترکیب پلیمرها می‌باشد و بر خواص نهایی آن‌ها تاثیر می‌گذارد (Kanimozhi et al., 2016). آزمون گرماسنجی افتراقی به منظور بررسی خواص حرارتی، شناخت بیشتر ساختار و تعامل بین پلیمرهای فیلم‌های تهیه شده بر پایه کربوکسی متیل سلولز و صمغ انجام شد و نتایج حاصل از آن در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. دمای ذوب و دمای انتقال شیشه‌ای با بلورینگی نمونه فیلم‌ها در ارتباط است به طوری که در دمای انتقال شیشه‌ای پایین، فیلم‌ها سخت و شکننده هستند اما در دمای انتقال شیشه‌ای بالا فیلم‌ها از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار هستند (Peesan et al., 2005; Ghasemlou et al., 2011). دمای ذوب اندوترمیک وابسته به حرکت مولکولی زنجیره‌های پلیمر و تخریب ساختار مولکولی منظم یا تجمع یافته می‌باشد که بر خواص مواد و کاربرد آن‌ها تاثیرگذار است (Tongnuachan et al., 2016). دمای انتقال شیشه‌ای نمونه فیلم‌های تهیه شده از کربوکسی متیل سلولز و صمغ عربی به ترتیب ۴۱/۰۷ درجه سانتی‌گراد و ۴۳/۵۱

درجه سانتی‌گراد بود. همچنین دمای انتقال شیشه‌ای سایر فیلم‌های ترکیبی بالاتر از دمای اتاق بوده که به رطوبت پایین فیلم‌ها مربوط می‌باشد. این مرحله از تحقیق با یافته‌های Tongnuachan و همکاران (۲۰۱۶) همپوشانی دارد. بیشترین میزان دمای انتقال ذوب در تیمار صرفا دارای کربوکسی متیل سلولز مشاهده شد (۲۶۵/۲۹ درجه سانتی‌گراد) و تیمار تهیه شده از صمغ عربی کمترین دمای انتقال ذوب (۲۴۱/۹ درجه سانتی‌گراد) را نشان داد. ترکیب این دو پلیمر و تهیه فیلم‌های ترکیبی از آن‌ها منجر به بهبود مقاومت حرارتی فیلم صمغ عربی گردید به طوری که در تیمار حاوی ۵۰ درصد از هر پلیمر (ک ۵۰-ص ۵۰) دمای انتقال ذوب ۲۶۵/۱۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. افزایش میزان مقاومت دمایی می‌تواند به افزایش گروه‌های هیدروکسیل و پیوندهای هیدروژنی نسبت داده شود. پیشتر Ghanbarzadeh و Almasi (۲۰۱۱) نشان دادند که افزودن اسید اولئیک باعث کاهش مقاومت حرارتی فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز گردید.



شکل ۴- الگوی DSC فیلم‌های تهیه شده

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های مکانیکی و همچنین باعث افزایش زاویه تماس فیلم‌های تهیه شده گردید. بر اساس نتایج تحقیق حاضر می‌توان بیان نمود که ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و حرارتی فیلم‌های ترکیبی تهیه شده وابسته به نوع ترکیب بکار رفته و همچنین سازگاری آنها با یکدیگر دارد.

تحقیق حاضر نشان داد که تهیه فیلم‌های کامپوزیت از پلیمرهای کربوکسی متیل سلولز و صمغ عربی در نسبت‌های مختلف منجر به بهبود برخی خواص فیزیکی فیلم‌های تهیه شده گردید. ترکیب این دو پلیمر باعث کاهش میزان نفوذپذیری به بخار آب، میزان عبور نور و

منابع

- Arora, A., & Padua, G. W. Nanocomposites in food packaging. *Journal of Food science*, 2010; 75(1), R43-R49.
- Azeredo, H. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International*, 2009; 42 (9), 1240-1253.
- ASTM (2002). Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. Annual Book of ASTM Standards. Designation D882-02. Philadelphia: American Society for Testing Materials.
- Bosquez-Molina, E., Tomás, S.A., Rodríguez-Huezo, M.E. Influence of CaCl on the water vapor permeability and the surface morphology of mesquite gum based edible films. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologi - Food Sci. Techno.* 2010; 43, 1419-1425.
- Bolin, H.R., & Huxsoll, C.C. Control of Minimally Processed carrot (*Daucuscarota*) Surface Discoloration Caused by Abrasion Peeling. *Journal of food science*. 1991; 56(2): 416-422.
- Bonilla, J., Fortunati, E. L. E. N. A., Atarés, L., Chiralt, A., & Kenny, J. M. Physical, structural and antimicrobial properties of poly vinyl alcohol-chitosan biodegradable films. *Food Hydrocolloids*: 2014; 35, 463-470.
- Chen, C.H., Lai, L.S. Mechanical and water vapor barrier properties of tapioca starch/decolorized hsian-tsao leaf gum films in the presence of plasticizer. *Food Hydrocolloids*. 2008; 22, 1584-1595.
- Dudhani, A. R., & Kosaraju, S. L. Bioadhesive chitosan nanoparticles: Preparation and characterization. *Carbohydrate polymers*, 2010; 81(2), 243-251.
- Emiroğlu, Z. K., Yemis, G. P., Coskun, B. K., Candoğan, K. Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties. *Meat Science*, 2010; 86(2), 283-288.
- Falguera, V., Quintero, J.P., Jimenez, A., Munoz, J. A. & Ibarz, A. Edible films and coating: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & amp: Technology*, 2011; 22 (6), 292-303.
- Ghaderi, J., Hosseini, S. F., Keyvani, N., & Gómez-Guillén, M. C. Polymer blending effects on the physicochemical and structural features of the chitosan/poly (vinyl alcohol)/fish gelatin ternary biodegradable films. *Food Hydrocolloids*, 2019; 95, 122-132.
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., & Entezami, A. A. Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. *Innovative food science & emerging technologies*, 2010; 11(4), 697-702.
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., Entezami, A., Improving the barrier and mechanical properties of corn starch-based edible films: Effect of citric acid and carboxymethyl cellulose. *Industrial Crops and Products*, 2011; 33, 229-235.
- Ghanbarzadeh, B., & Almasi, H. Physical properties of edible emulsified films based on carboxymethyl cellulose and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*: 2011; 48, 44-49.
- Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., & Oromiehie, A. pPhysical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from kefir. *Carbohydrate Polymers*: 2011; 84(1), 477-483.
- Guo, J., Ge, L., Li, X., Mu, C., & Li, D. Periodate oxidation of xanthan gum and its crosslinking effects on gelatin-based edible films. *Food Hydrocolloids*: 2014; 39, 243-250.
- Jingou, J., Shilei, H., Weiqi, L., Danjun, W., Tengfei, W., & Yi, X. Preparation, characterization of hydrophilic and hydrophobic drug in combine loaded chitosan/cyclodextrin nanoparticles and in vitro release study. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2011; 83(1), 103-107.
- Jouki, M., Yazdi, F.T., Mortazavi, S.A., & Koocheki, A. Qunice seed mucilage films incorporated with oregani essential oil. pPhysical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. *Food Hydrocolloids*: 2014; 36, pp. 9-19.
- Jiang, G., Hou, X., Zeng, X., Zhang, C., Wu, H., Shen, G., Li, S., Luo, Q., Li, M., Liu, X., Chen, A., Wang, Z & Zhang, Z. Preparation and characterization of indicator films from carboxymethyl-cellulose/starch and purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) anthocyanins for monitoring fish freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*: 2019; 143, 359-372.
- Kanimozhi, K., Basha, S.K. & Kumari, V. S. Processing and characterization of chitosan/PVA and methylcellulose porous scaffolds for tissue engineering. *Materials Science and Engineering*. 2016; C, 61, pp. 484-491.
- Liang, T., Sun, G., Cao, L., Li, J., & Wang, L. A pH and NH₃ sensing intelligent film based on *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum and red cabbage anthocyanins anchored by carboxymethyl cellulose sodium added as a host complex. *Food hydrocolloids*, 2019; 87, 858-868.

- Mariniello, L., Di Pierro, P., Esposito, C., Sorrentino, A., Masi, P., & Porta, R. Preparation and mechanical properties of edible pectin-soy flour films obtained in the absence or presence of transglutaminase. *Journal of biotechnology*, 2003; 102(2), 191-198.
- Martucci, J.F., Ruseckaite, R.A. Biodegradation behavior of three-layer sheets based on gelatin and poly (lactic acid) buried under indoor soil condition. *Polymer Degradation and Stability*, 2015; 116, 36-44.
- Murmu, S.B., Mishra, H.N. The effect of edible coating based on Arabic gum, sodium caseinate and essential oil of cinnamon and lemon grass on guava. *Food Chemistry*, 2018; 245, 820-828.
- Ojagh, S.M., Rezaei, M., Razavi, S.H., Hosseini, S.M.H. Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. *Food Chemistry*, 2010; 122, 161-166.
- Ojagh, S.M., Shariatmadari, F., Adeli, A., Kordjozi, M., & Abdolahi, M. Development composite films based chitosan-Katira and evaluation physical and mechanical properties. *Innovative Food Technologies*. 2017; 4, 151-161. (In Persian).
- Pereda, M., Marcovich, N.E., Aranguren, M.I. Characterization of chitosan/caseinate films. *J Appl Polym Sci.*, 2011;107, 1080-1090.
- Pereira, J. R., V. A., de Arruda, I.N.Q., & Stefani, R. Active chitosan/PVA films with anthocyanins from Brassica oleraceae (Red Cabbage) as time-temperature indicators for applications in intelligent food packaging. *Food Hydrocolloids*: 2015; 43, pp. 180-188.
- Phillips, G. O., & Williams, P. A. (Eds.). Handbook of hydrocolloids (pp. 53-64). Boca Raton, 2000; FL: CRC press.
- Peesan, M., SupapHol, P & Rujiravaint, R. Preparation and characterization of hexanoyl chitosan/poly lactide blend films. *Carbohydrate Polymers*. 2005; 60(3), pp. 343-350.
- Qi, L., Xu, Z., Jiang, X., Hu, C & Zou, X. Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. *Carbohydrate research*: 2004; 339, 2693-2700.
- Rivero, S., Garcia, M.A., Pinotti, A., Correlations between structural, barrier, thermal and mechanical properties of plasticized gelatin films. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2010; 11 (2), 369-375.
- Rhim, J. W., Hong, S. I., Park, H. M., & Ng, P. K. Preparation and characterization of chitosan-based nanocomposite films with antimicrobial activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2006; 54(16), 5814-5822.
- Rajaie, A., Shokrchizadeh, H. Investigation of physical and mechanical properties of edible film prepared from opopanax gum (*Commiphora guidottii*). 2018. 16 (91), 323-335.
- Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, H., Mohammadifar, M.A., Mohammadi, A., Ghasemio, M., Hosseini, S.M & Khaksar, R. Characterization of carrageenan films incorporated plant essential oil with improved antimicrobial activity. *Carbohydrate polymers*: 2014; 101, pp. 582-591.
- Tabari, F., Rezaei, M., Aryaee, P and Abdullahi. Evaluation of some physical and mechanical properties of carboxymethyl cellulose/tragacanth Edible film. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 2016 12 (1), 88-97.
- Tongnuanchan, P., Benjakul, S., Prodparn, T., Pisuchpen, S., & Osako, K. Mechanical, thermal and heat sealing properties of fish skin gelatin film containing palm oil and basil essential oil with different surfactants. *Food Hydrocolloids*, 2016 56, 93-107.
- Wang, L., Auty, M. A., & Kerry, J. P. Physical assessment of composite biodegradable films manufactured using whey protein isolate, gelatin and sodium alginate. *Journal of Food Engineering*: 2010; 96(2), 199-207.
- Yoksan, R., & Chirachanchai, S. Silver nanoparticle-loaded chitosan-starch based films: Fabrication and evaluation of tensile, barrier and antimicrobial properties. *Materials Science and Engineering*: 2010; C, 30(6), 891-897.
- Zhang, M., Li, X.H., Gong, Y.D., Zhao, N.M & Zhang, X.F. Properties and biocompatibility of chitosan film modified by blending with PEG. *Bio mater*: 2002; 23, 2641-2648.



Preparation of biodegradable carboxymethyl cellulose-Arabic gum composite film and evaluation of the physical, mechanical and thermal properties

A. Rezaei¹, M. Rezaei^{*1}, M. Alboofetileh²

Received: 2020.03.02

Accepted: 2020.06.06

Introduction: Films with appropriate mechanical properties and low permeability are very important for food packaging. Natural polymers have gained increasing attention for the development of biodegradable films due to the environmental problems caused by petroleum-based polymers. Carboxymethyl cellulose (CMC) is a linear polysaccharide that exhibited good film forming properties. Gum Arabic (GA) is another polysaccharide that can be used for preparing the edible and biodegradable films. However, several studies have shown that biopolymers like CMC and GA films have high water vapor permeability and poor mechanical properties in moist conditions. One of the strategies that can be used for improving the properties of biopolymers films is blending the different polymers and formation the composite films. Various studies on the preparation of biocomposite films have been performed, however, to the best of our knowledge, studies on combinations of the CMC and AG have not been reported yet. Thus, the main objectives of this study were to prepare CMC/AG composite films using solvent casting method and investigate the effect of different CMC/AG blending ratio on the physical (water vapor permeability (WVP), water contact angle (WCA), color, opacity and light-barrier properties), mechanical and thermal properties. Furthermore, in order to determine the structural characteristics of the films, fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR) and x-ray diffraction (XRD) measurements were also performed.

Material & Method: The CMC and AG solutions were prepared by dissolving 1 g in 100 mL of distilled water at 45 °C for 24 h under magnetic stirring. The prepared solutions were then blended in different proportions (75:25, 50:50, and 25:75). After mixing, glycerol (0.3% w/w) was added as a plasticizer and the solution was stirred for 15 min. The prepared solutions were poured into a glass plate, then dried at 45 °C for 24 h in the oven. Finally, the properties of CMC, GA and composite films were determined.

Result and Discussion: In this study, biodegradable films composed of CMC and AG were successfully prepared. Results showed that some properties of the composite films were greatly influenced by addition of AG. So that, WVP of films was decreased significantly in the blend films and the lowest WVP was observed in the 25:75 (AG: CMC) films ($p < 0.05$). The films hydrophobicity was significantly increased from 41.33° to 61.10° by addition of AG to the CMC films ($p < 0.05$). With increasing the ratio of AG, the tensile strength (TS) of blend films decreased. Opacity and light transmission of the composite films increased and decreased, respectively with increasing the AG ratio. The differential scanning calorimetry (DSC) test demonstrated that the thermal properties of blend films improved with increasing the AG content. The FT-IR analysis indicated that new interaction was generated between the components of the blend films. Generally, it can be concluded that blending the AG and CMC can improve some of the physico-mechanical properties of the blend films

Keywords: Composite film, Carboxymethyl cellulose, Arabic gum, Biodegradable film

¹ Department of Seafood Processing, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

² Inland Water Aquaculture Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Anzali, Iran.

(*Corresponding Author Email: rezaie_ma@modares.ac.ir)

مقاله پژوهشی

بهینه سازی خواص مکانیکی و نوری نانوکامپوزیت های بر پایه پلی وینیل الکل به منظور بسته بندی مواد غذایی

مریم زمانیان^۱ - حسن صدرنیا^{۲*} - مهدی خجسته پور^۲ - فرشته حسینی^۳ - جولز تیبالت^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۳

چکیده

در این پژوهش، برای بهبود ویژگی های فیلم های بر پایه پلی وینیل الکل (PVA) از دو نوع نانوذره دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) (۲۰ درصد وزنی) و مونت موریلونیت (MMT) (۲ و ۴ درصد وزنی) به صورت توأم استفاده گردید و سپس تأثیر این دو نانوذره بر خواص مکانیکی (مدول یانگ و مقاومت کششی)، ویژگی های رنگ (تفاوت رنگ سنجی کل و ضریب سفیدی) و میزان عبور نور در فیلم ها توسط روش سطح پاسخ (RSM) مورد بررسی قرار گرفت. جهت تعیین مشخصات فیلم ها از تکنیک های مختلفی نظیر پراش اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی روشی استفاده شد. الگوهای پراش X نشان دادند که نانوذرات به خوبی در ماتریس پلیمر پخش شده اند و ریز ساختار فیلم های PVA/TiO_2 و PVA/MMT از نوع لایه لایه می باشد. همچنین میکروگراف های SEM توزیع خوبی از نانوذرات را در غلظت کم نشان دادند در حالی که در غلظت های بالا تجمع نانوذرات مشاهده شد. در این پژوهش اثر خطی نانوذرات MMT و TiO_2 و اثر متقابل MMT بر مقاومت کششی معنی دار بود ($P < 0.05$) در حالی که اثر خطی، درجه دوم و اثر متقابل هر دو نانوذره بر مدول یانگ معنی دار بود ($P < 0.01$) و در حالت کلی مقادیر بهینه TiO_2 و MMT به ترتیب ۱٪ و ۴٪ برای خواص مکانیکی به دست آمد. همچنین وجود هر دو نانوذره در ماتریس پلیمر بر میزان عبور نور از فیلم و ΔE مؤثر و معنی دار بود ($P < 0.01$). با بررسی سفیدی فیلم ها نانوکامپوزیتی با ترکیب ۲٪ TiO_2 و ۴٪ MMT از نظر ظاهری سفیدتر از سایر نمونه ها و در حقیقت کدرتر گزارش شد. با بررسی نتایج مختلف آزمایشگاهی و تحلیل آن ها با روش سطح پاسخ نمونه بهینه از نظر خواص مکانیکی و فیزیکی نمونه ای با TiO_2 ۰/۵٪ و MMT ۴٪ پیشنهاد شد.

واژه های کلیدی: نانو کامپوزیت، پلی وینیل الکل، بسته بندی مواد غذایی، دی اکسید تیتانیوم، مونت موریلونیت.

مقدمه

در صنعت بسته بندی مواد غذایی، پلیمرها نقش مهمی را در حفاظت از ماده غذایی ایفا می کنند. به منظور کاهش نگرانی های موجود از تجمع مواد پلاستیکی و اثرات مخرب آن ها، محققین به دنبال یافتن پلیمرهای جایگزین زیست تخریب پذیر بوده اند. از این نظر در سال های اخیر مواد اولیه مورد استفاده در بسته بندی مواد غذایی مانند بیوپلیمرها به دلیل فراوانی و تخریب پذیری آن ها بسیار مورد توجه قرار گرفته اند (Muratore et al., 2005; XZ Tang et al., 2012).

پلی وینیل الکل از جمله بیوپلیمرهای سنتزی محلول در آب و سازگار با محیط زیست است که با توجه به قابلیت تشکیل فیلم و

پایداری شیمیایی، کاربردهای مختلفی از جمله پوشش مواد غذایی، دارو و غیره داشته و مورد توجه قرار گرفته است. ضعف الیاف پلی وینیل الکل مقاومت و یکپارچگی پایین آن است که می توان آن را با اصلاح ساختار، افزودن نانو ذرات و یا کاربرد هر دو مورد بهبود داد (Rouhi et al., 2017). مواد پلاستیک ساز (Plasticizers) در فیلم ها بسیار مورد استفاده قرار می گیرند. تأثیر این مواد بر فیلم ها، کاهش نیروهای بین مولکولی، افزایش تحرک زنجیره های پلیمر و کاهش دمای انتقال شیشه ای (Tg) می باشد (Gontard et al., 1993). همچنین این ترکیبات با تغییر شبکه سه بعدی زنجیره ها سبب افزایش کشش پذیری، انعطاف پذیری، کاهش مقاومت مکانیکی و پیوستگی الاستیسیته می شوند (Chen, 1995). گلیسرول از پرکاربردترین پلاستیک سازها در

*-۴ استاد، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه اتاوا، اتاوا، آنتاریو، کانادا، K1N 6N5.

(*)-نویسنده مسئول: (Email: hassan.sadrnia@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.85221

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۳- استادیار، گروه افزودنی های غذایی، جهاد دانشگاهی مشهد. خراسان رضوی.

تولید فیلم‌ها است که خصوصیات مانند محلولیت در آب، نقطه جوش بالا، غیر قطبی و غیر فرار بودن آن، سبب گستردگی کاربرد آن به عنوان یک پلاستیک‌ساز بسیار مناسب در مقایسه با دیگر نمونه‌های محلول در آب شده است (Cheng et al., 2006). وجود گروه‌های هیدروکسیل در پلی‌وینیل الکل و گلیسرول^۱ و در نتیجه برقراری پیوند هیدروژنی به‌طور بالقوه می‌تواند باعث امتزاج پذیری و بهبود خواص فیزیکی ترکیبات حاصل از آن‌ها شود. پلی وینیل الکل نسبت به نفوذ حلال‌ها و روغن بسیار مقاوم است و مانند یک بازدارنده قوی در برابر اکسیژن عمل می‌کند (Paralikar et al., 2008).

با استفاده از فناوری نانو می‌توان بسیاری از مشکلات موجود در صنایع غذایی را تا حد زیادی برطرف کرد و ویژگی‌های فیلم‌های مورد استفاده در بسته‌بندی را با ایجاد نانو کامپوزیت‌ها تا حدودی اصلاح نمود. نانو کامپوزیت به دسته خاصی از کامپوزیت‌ها گفته می‌شود که حداقل یکی از اجزای آن در مقیاس نانو باشد. در نانو کامپوزیت‌های پلیمری نسبت به کامپوزیت‌های معمولی برهم‌کنش بهتری بین شبکه پلیمر و پرکننده وجود دارد. توزیع یکنواخت نانو ذرات در ماتریس‌های پلیمری موجب افزایش سطح تماس ماتریس و نانو ذرات می‌شود که بهبود خواص گرمایی، مکانیکی و ممانعتی نسبت به رطوبت و گاز را سبب می‌شود. توزیع نانو ذرات در ماتریس پلیمر با کاهش اندازه نانو ذرات مشکل‌تر خواهد بود زیرا تمایل زیادی به تجمع با کلوخه‌ای شدن دارند که نقطه ضعفی برای ماتریس پلیمر محسوب می‌شود (Oleyaei et al., 2016a).

امروزه پلیمرهای نانو کامپوزیتی یک انتخاب ارزان‌قیمت برای کاربرد بسته‌بندی هستند همچنین این بسته‌بندی‌ها از شفافیت بیشتر، استحکام بالا، وزن کم و مقاومت در برابر حرارت، نفوذ اکسیژن، رطوبت و مواد فرار برخوردارند (Ciprari, 2004; Hussain et al., 2006) که منجر به افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی می‌شوند. فناوری نانو و استفاده از بسته‌بندی‌های نانو کامپوزیتی زمان ماندگاری مواد غذایی مثل گوشت‌های فرآیندی، پنیر، آرد قنادی، غلات و غذاهای کنسرو شده را افزایش می‌دهد. همچنین این بسته‌ها از پخش بو جلوگیری کرده، مانع جذب طعم یا ویتامین‌های موجود در غذا به‌وسیله بسته‌بندی می‌شوند (Arora et al., 2010). همچنین مدول بالاتر این ذرات نسبت به ماتریس پلیمر، سفتی پلیمرها را افزایش می‌دهد. مهم‌ترین نانو ذرات بکار رفته در ماتریس‌های بیوپلیمری نانو ذرات معدنی مانند نانو رس مونت موریلونیت، دی‌اکسید تیتانیوم، و نانو پرکننده‌های طبیعی و آلی مانند نانوکریستال سلولز، نانوکریستال کیتوزان و نانوکریستال

نشاسته هستند (Rhim et al., 2007). مونت موریلونیت^۲ (MMT) یکی از انواع سیلیکات‌های لایه‌ای است که به دلیل دارا بودن سطح بالا (۷۵۰-۸۰۰ m²/g) و مدول الاستیک^۳ بالا (۱۷۸ GPa) بسیار مورد توجه است (Kumar, 2009). افزودن نانو ذرات آب‌دوست MMT به ماتریس پلیمر PVA نه تنها سبب کاهش دمای انتقال شیشه‌ای پلیمر (Tg) و تبلور آن شده و افزایش فاز آمورف پلیمر را تسهیل می‌کند، بلکه باعث افزایش هدایت یونی آن می‌شود. سازگاری بالای PVA با سدیم مونت موریلونیت (Na⁺MMT) منجر به تشکیل فیلم‌های نانو کامپوزیتی شده است که از نظر مکانیکی و حرارتی خواص بهتری را نشان داده‌اند (Yang et al., 2008). افزودن نانو ذرات مونت موریلونیت به ماتریس پلیمر به دلیل ساختار لایه‌ای نانو ذرات رس سبب افزایش مسیر عبور گاز (Bodaghi et al., 2015) و کاهش عبور اکسیژن می‌گردد. همچنین خواص حرارتی و مکانیکی را بهبود می‌بخشد (Yang et al., 2008).

همچنین نانو ذرات فلزی غیر آلی دی‌اکسید تیتانیوم^۴ به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند هزینه تولید نسبتاً پائین، جذب نسبتاً یکنواخت نور مرئی و پرتوهای فرابنفش (UV)، شاخص پراکندگی بالای نور (۲/۵) و خاصیت فتوکاتالیستی بسیار مورد توجه می‌باشند (Mahshid et al., 2006; Ren et al., 2015). دی‌اکسید تیتانیوم در نانو کامپوزیت‌های مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی به دلیل پایداری شیمیایی بالا (Kaler et al., 2018) خواص مکانیکی (Oleyaei et al., 2016a; Yousefi et al., 2019) و افزایش خاصیت تخریب پذیری پلیمرها (Kubacka et al., 2007) کاربرد زیادی دارد و همچنین می‌تواند سبب از بین رفتن ترکیبات بدبو، لکه‌های رنگی و عوامل آلرژی‌زا و فساد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در حضور تابش پرتوهای UV گردد. علاوه بر این عمر نگهداری و انبارداری سبزی‌ها و میوه‌های آماده مصرف را افزایش می‌دهد (Xiao et al., 2004).

اخیراً مطالعاتی در زمینه افزایش نانو ذرات با ابعاد مختلف به ماتریس پلیمر انجام شده است. در پژوهشی افزایش هم‌زمان نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و مونت موریلونیت به پلیمر اثر مطلوبی بر جذب اشعه ماورا بنفش و خواص حائل فیلم نانو کامپوزیتی داشته است (Bodaghi et al., 2015). اثر مونت موریلونیت و نانوبلور سلولوز بر خواص فیزیکی فیلم‌های آمیخته کربوکسی متیل سلولوز-پلی‌وینیل الکل مورد بررسی قرار گرفت. فیلم‌های کربوکسی متیل سلولوز (CMC)-پلی‌وینیل الکل (PVA) - نانو خاک رس (MMT) و کربوکسی متیل سلولوز-

3 Elastic Modulus
4 Titanium Dioxide (TiO₂)

1 Glycerol
2 Montmorillonite (MMT)

تهیه فیلم‌های نانوکامپوزیتی

فیلم‌های پلی وینیل الکل، پلی وینیل الکل- مونت موریلونیت، پلی‌وینیل الکل- دی‌اکسید تیتانیوم و پلی وینیل الکل- مونت موریلونیت- دی‌اکسید تیتانیوم به روش محلول‌سازی آماده شدند. در ابتدا برای هر نمونه فیلم $1/8$ g پلی‌وینیل الکل در آب دیونیزه ریخته (50 ml) و به مدت 24 ساعت در دمای محیط نگهداری شد. محلول فوق در دمای 90 درجه سانتی‌گراد به مدت 3 ساعت همراه با هم‌زدن با همزن مغناطیسی حرارت‌دهی شد و تا دمای محیط خنک گردید. از سوی دیگر ترکیبات مختلف نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم (1 ، 2 ، 3 ، 4 wt%)، صفر وزن پلیمر و مونت موریلونیت (2 ، 4 wt%)، صفر به‌طور جداگانه به مقدار مشخص آب دیونیزه اضافه و به مدت 12 ساعت (500 rpm) با استفاده از همزن مغناطیسی هم‌زده شد و پس از آن به مدت 20 دقیقه از هموژنایزر اولتراسونیک (BANDELIN SONOPULS) (UW 3200, 100W) به‌منظور پخش مناسب ذرات استفاده گردید. پس از آن محلول نانوذره به همراه گلیسرول (30 wt%) به محلول پلیمر افزوده شد و در انتها با زدودن حباب‌های موجود محلول حاصل در پتری‌هایی با قطر 15 سانتی‌متر ریخته و در دمای 40 درجه سانتی‌گراد به مدت 72 ساعت خشک شدند، (شکل ۱).

آزمون پراش پرتو ایکس (XRD)

برای شناسایی نحوه پراکنش ذرات نانو در بستر پلیمری و تشکیل نانوکامپوزیت آزمون پراش پرتو ایکس انجام شد. این آزمون با استفاده از طیف‌سنج پراش اشعه ایکس (model Explorer, GNR Company, the Italy) با پرتویی با طول موج $1/54439$ آنگستروم با ماده آندی کبالت در زاویه $2\theta = 15-80$ درجه برای تیتانیم دی‌اکسید و زاویه $2\theta = 10-20$ درجه برای مونت موریلونیت صورت گرفت (Destéfanis, 2013; Oleyaei et al., 2016a).

آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

برای بررسی ریزساختار فیلم‌های تولیدی به‌منظور بررسی تأثیر افزودن نانوذرات مونت موریلونیت و تیتانیم دی‌اکسید، از میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی (FE-SEM) بنیاد علوم کاربردی رازی مدل MIRA3 ساخت شرکت TESCAN که دارای قدرت تفکیک در حد $1/5$ nm در ولتاژ 15 KV و $4/5$ nm در ولتاژ 1 KV است استفاده شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح مقطع فیلم‌ها تهیه گردید. ابتدا فیلم‌ها به کمک چسب نقره بر روی یک پایه آلومینیومی چسبانده شدند. پایه‌ها در یک دستگاه پوشش‌دهنده/پاشنده (Leichtenstein) تا نقطه بحرانی خشک‌شده و به مدت پنج دقیقه با طلا پوشش داده

پلی‌وینیل‌الکل- نانو بلور سلولوز (CNC)، حاوی مقادیر 3 تا 10 ٪ (وزنی/ وزنی) CMC) نانو ذرات با استفاده از روش قالب‌ریزی تولید و خواص فیزیکی آن‌ها مقایسه شد تا اثر استفاده از CNC به‌جای نانو خاک رس در فیلم‌های بر پایه کربوکسی متیل سلولوز مشخص شود. نتایج نشان داد در سطح 10 ٪، تفاوت بین نانو ذرات در کاهش جذب رطوبت، در سطح 5 ٪ معنی‌دار نبود. فیلم‌های حاوی نانو خاک رس، استحکام مکانیکی بیشتری را در مقایسه با فیلم‌های حاوی CNC نشان دادند (فخری و همکاران، ۱۳۹۰). اثر تقویت‌کنندگی دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) و مونت موریلونیت (MMT) در فیلم نانوکامپوزیتی حاصل از نشاسته سیب‌زمینی (خواص حائل، حرارتی و مکانیکی) مورد بررسی قرار گرفت. در این فیلم نانو ذرات صفحه‌ای رس در دو سطح 5 wt٪ و 3 و نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در سه سطح 2 wt٪ و 1 ، $0/5$ مورد استفاده قرار گرفتند. استحکام کششی (TS)، خزش (EB) و نقطه ذوب فیلم پس از افزایش MMT و TiO_2 افزایش پیدا کرد. نفوذپذیری بخار آب (WVP) و عبور پرتوهای مرئی UVA، UVB و UVC با افزایش مقدار مونت موریلونیت و دی‌اکسید تیتانیوم کاهش پیدا کرد. حالت بهینه در خواص اندازه‌گیری شده با کاربرد 3 ٪ MMT و 2 ٪ TiO_2 به‌دست آمد (Oleyaei et al., 2016b). در مطالعه‌ای فیلم نانوکامپوزیت (PBAT)، پلی (بوتیلن- آدیپات- ترفتالات) حاوی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم تهیه شده و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزودن نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم مقاومت مکانیکی و خاصیت ضد میکروبی فیلم افزایش یافته و میزان عبور اکسیژن از این فیلم کاهش می‌یابد. بهترین حالت هماهنگ در میان خواص مکانیکی، حائل و میکروبی با افزودن 10 ٪ وزنی نانو ذره TiO_2 به پلیمر به‌دست آمد (Venkatesan et al., 2017).

در این تحقیق هدف تخمین اثر ترکیب غلظت‌های مختلف نانوذرات کروی دی‌اکسید تیتانیوم و صفحه‌ای مونت موریلونیت بر خواص فیزیکی، نوری و مکانیکی فیلم‌های PVA/ TiO_2 /MMT حاصل و تعیین ترکیب بهینه بر خواص مورد نظر با روش سطح پاسخ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پلی وینیل الکل ($M_w = 145000$ gm/mole)، نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2 ، آناتاز، 99 ٪ با قطر 20 نانومتر) و سدیم مونت موریلونیت (MMT, K10) استفاده شده در این تحقیق از شرکت سیگما آلدريج (Sigma-Aldrich Chemicals و گلیسرول از شرکت مرک (Darmstadt, Germany) خریداری شد.

شدند. تصویربرداری از نمونه‌ها به وسیله میکروسکوپ الکترونی در ولتاژ ۵ KV انجام شد.



شکل ۱- آماده سازی فیلم‌های نانوکامپوزیتی، (a) پلیمر خالص PVA، (b) هموژنایزر اولتراسونیک، (c) نانوکامپوزیت MMT/PVA و TiO₂/PVA.

رنگ

از دستگاه هانتز لب (color flex، امریکا) برای سنجش رنگ نمونه‌های فیلم استفاده شد. اطلاعات رنگ بر اساس کمیسیون بین المللی رنگ (CIE) با سه فاکتور a (قرمزی - سبزی)، b (زردی - آبی) و L (روشنی) مشخص می‌گردد. نمونه پلیمر خالص به عنوان شاهد انتخاب شده و ΔE ، تفاوت رنگ سنجی کل، برای هر نمونه نسبت به شاهد محاسبه گردید (Gharoy Ahangar et al., 2015).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (2)$$

برای محاسبه ضریب سفیدی (Whiteness Index, WI) نمونه‌های فیلم از فرمول بولین و هاکسول (۱۹۹۸) و رابطه زیر استفاده شد:

$$WI = 100 - [(100 - L)^2 + a^2 + b^2]^{0.5} \quad (3)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای بهینه‌سازی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نانوکامپوزیت‌های پلی وینیل الکل از روش آماری سطح پاسخ استفاده شد. در این تحقیق طرح 3- Level Factorial برای انجام آزمایش‌ها استفاده و به منظور محاسبه واریانس، ۱۳ آزمایش شامل ۵ تکرار در نقطه مرکزی استفاده گردید. متغیرهای مستقل شامل غلظت نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید (X_1) و غلظت نانو ذرات مونت موریلونیت (X_2) و متغیر وابسته شامل ویژگی‌های مکانیکی، رنگ فیلم‌ها و میزان عبور نور در ۶۰۰ nm بودند.

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

استحکام کششی نهایی و مدول یانگ فیلم‌ها با استفاده از دستگاه آزمون مکانیکی (H5 KS, Manchester, U.K.) و طبق استاندارد ASTM (ASTM Standard, Method D882-02) اندازه‌گیری گردید. نمونه‌های فیلم به ابعاد ۲۵ × ۸۰ میلی‌متر تهیه شده و قبل از انجام آزمون، به مدت ۲۴ ساعت در رطوبت نسبی ۴۲٪ واجد شرایط شدند. فاصله اولیه بین دوفک دستگاه ۵ cm و سرعت حرکت فک بالایی ۵۰ mm/min در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری میزان عبور نور فیلم‌ها

درصد شفافیت یا میزان عبور نور در فیلم‌ها با استفاده از دستگاه UV-Vis اسپکتروفتومتر (CAMSPEC M550، انگلستان) در طول موج تعیین شده اندازه‌گیری گردید (Yan et al., 2012). فیلم‌ها به ابعاد ۱×۴ سانتی‌متری بریده شده و به مدت ۲۴ ساعت در رطوبت نسبی ۴۲ درصد واجد شرایط شدند. سپس بر روی یکی از سل‌های شفاف طیف‌سنج قرار داده و میزان جذب نمونه قرائت شد. برای محاسبه میزان شفافیت، میزان کدورت فیلم‌ها از رابطه زیر محاسبه شد (Pereda et al., 2011):

$$Opacity = \frac{A_{600}}{d} \quad (1)$$

در این معادله A₆₀₀ میزان جذب در طول موج ۶۰۰ نانومتر و d متوسط ضخامت فیلم می‌باشد.

$\theta = 5/88^\circ$ مشاهده شد و بیانگر این است که فاصله بین لایه‌ای افزایش پیدا کرده و این ممکن است به نفوذ پلیمر در بین صفحات مونت موریلونیت مربوط باشد (Ali et al., 2013). در حقیقت حالت آب‌دوستی موجود در نانو رس اصلاح نشده به سبب وجود کاتیون در سطح مونت موریلونیت طبیعی، در این تحقیق Na^+ هیدراته، سبب برهم‌کنش نانو رس و پلیمر آب‌دوست PVA می‌گردد (Xiaozi et al., 2008) و با وجود گروه‌های هیدروکسیل و برهم‌کنش قوی بین MMT و PVA و گلیسرول زنجیرهای پلیمر در بین لایه‌های MMT نفوذ می‌کند (Cyra et al., 2008) و به‌این ترتیب پیک موجود در MMT به حالت آمورف و پهن تبدیل می‌شود.

آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ الکترونی سطح مقطع نمونه‌های فیلم پلی‌وینیل الکل به همراه مخلوطی از ۱ و ۲ درصد وزنی TiO_2 و ۴ درصد وزنی از MMT را با استفاده از SEM برای بررسی پراکندگی و توزیع نانوذرات درون ماتریس پلیمر نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نانو ذرات نسبتاً به‌خوبی در ماتریس پلیمر پراکنده شده‌اند (شکل ۳ a و b و c) و (شکل ۳ e و f و g). نتایج XRD حاکی از تعامل خوب بین نانوکامپوزیت‌های PVA/MMT و PVA/ TiO_2 است، اگرچه تجمع MMT در برخی دامنه‌ها مشاهده شده است (شکل ۳ d و h) که می‌توان گفت احتمالاً کافی نبودن فرایند فراصوت سبب تجمع نانوذرات MMT شده است یا به عبارت دیگر، فیلم نانوکامپوزیتی قبل از تعامل سازنده نانوذرات با مولکول‌های پلیمری تولید شده باشد همان‌طور که توسط یوسفی و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش شده است.

مدل‌سازی آماری

سطوح مختلف متغیرهای مستقل (مقدار نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و مونت موریلونیت و ترکیب آن‌ها) بر خواص مکانیکی، مقاومت به کشش (TS)، مدول یانگ (YM)، رنگ (ΔE و WI) و میزان عبور نور (Transparency) از فیلم‌های نانو کامپوزیتی مورد بررسی قرار گرفت. با مقایسه مدل‌های مختلف برای پاسخ‌ها با در نظر گرفتن حداکثر مقدار R_{adj}^2 حداقل ضریب تغییرات (CV) و حداقل مجموع مربعات خطای پیش بینی شده (PRESS) مدل‌های رگرسیونی مناسب برای پیش‌بینی ویژگی‌های فیلم‌ها با بررسی نتایج آزمایشگاهی حاصل ارائه شد.

نرم‌افزار Design-Expert (نسخه ۷) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارهای سطح پاسخ مورد استفاده قرار گرفت و به‌منظور تجزیه و تحلیل از معادله چند جمله‌ای درجه دوم زیر استفاده شده است:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} X_i X_j \quad (4)$$

در این فرمول Y پاسخ مدل یا متغیر وابسته می‌باشد، X_i و X_j متغیرهای مستقل، β_0 ضریب ثابت (عرض از مبدأ) و β_i ، β_{ii} ، β_{ij} به‌ترتیب ضریب اثر خطی، اثر درجه دوم و اثر متقابل هستند.

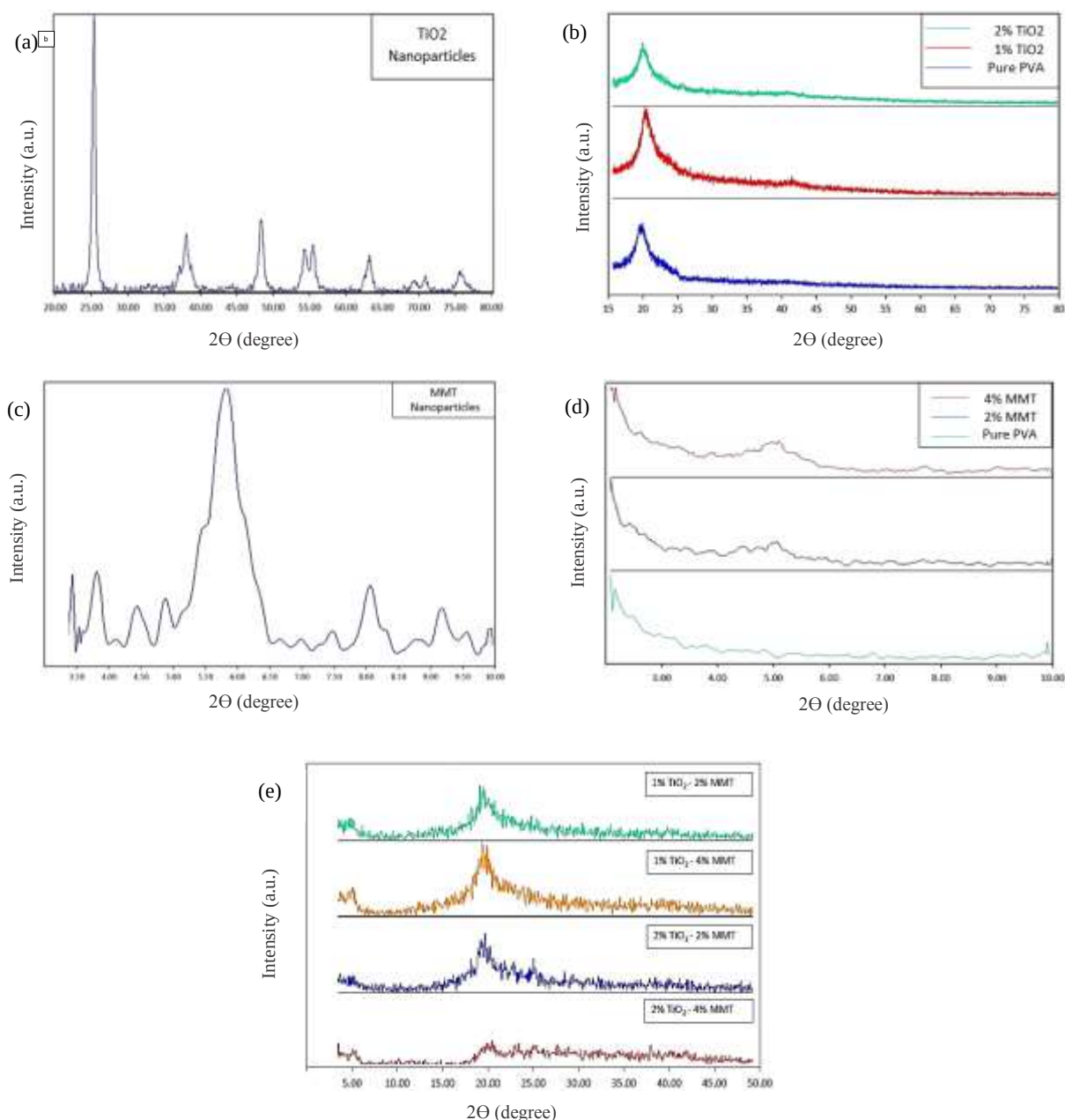
نتایج و بحث

بررسی ساختار نانوکامپوزیت به کمک الگوی پراش پرتو

ایکسی (XRD)

از آزمون XRD به‌منظور بررسی روش اختلاط دوفاز نانوذره و ماتریس پلیمر استفاده می‌شود. شکل ۲ الگوی پراش پرتو X برای فیلم‌های PVA- TiO_2 دارای سطوح مختلف TiO_2 (صفر، ۱ و ۲ درصد)، فیلم‌های PVA/MMT دارای سطوح مختلف MMT (صفر، ۲ و ۴ درصد) را نشان می‌دهد. TiO_2 خالص پیک‌های مشخصی در زوایای $2\theta = 26.37/65, 38/55, 48/7, 54.63/0.8, 75/46, 75/67^\circ$ نشان می‌دهد که ساختار آناتاز می‌باشد. پراش پرتو X برای پلی وینیل الکل پیک مشخصی را در زاویه $2\theta = 19.37^\circ$ نشان می‌دهد که به دلیل پیوند قوی هیدروژنی بین مولکولی و درون مولکولی (El-Shamy et al., 2014) و نشانگر ساختار نیمه کریستالی است که در شکل ۲-b نشان داده شده است و با نتایج گزارش شده در پژوهش‌های گذشته مطابقت دارد (Kim, 2008). با ترکیب یک ساختار کریستالی در دی‌اکسید تیتانیوم با یک ساختار نیمه کریستالی در پلی‌وینیل الکل یک ساختار نیمه کریستالی حاصل شد. فیلم‌های نیمه کریستالی 1 wt% PVA/ TiO_2 پیک‌هایی را در زوایای $2\theta = 26.37/65, 38/55, 48/7, 54.63/0.8, 75/46, 75/67^\circ$ و PVA/ 2 wt% TiO_2 پیک‌هایی را در زوایای $2\theta = 19.37, 26.37/65, 38/55, 48/7, 54.63/0.8, 75/46, 75/67^\circ$ نشان می‌دهند که بیانگر وجود پلی‌وینیل الکل و دی‌اکسید تیتانیوم در فیلم‌ها است (Oleyaei et al., 2016a).

همان‌طور که در شکل ۲-d نشان داده شده است الگوی پراش پرتو X برای نانوکامپوزیت PVA/MMT نشانگر پیکی در زاویه $2\theta = 5/1^\circ$ می‌باشد درحالی‌که برای MMT این پیک در زاویه



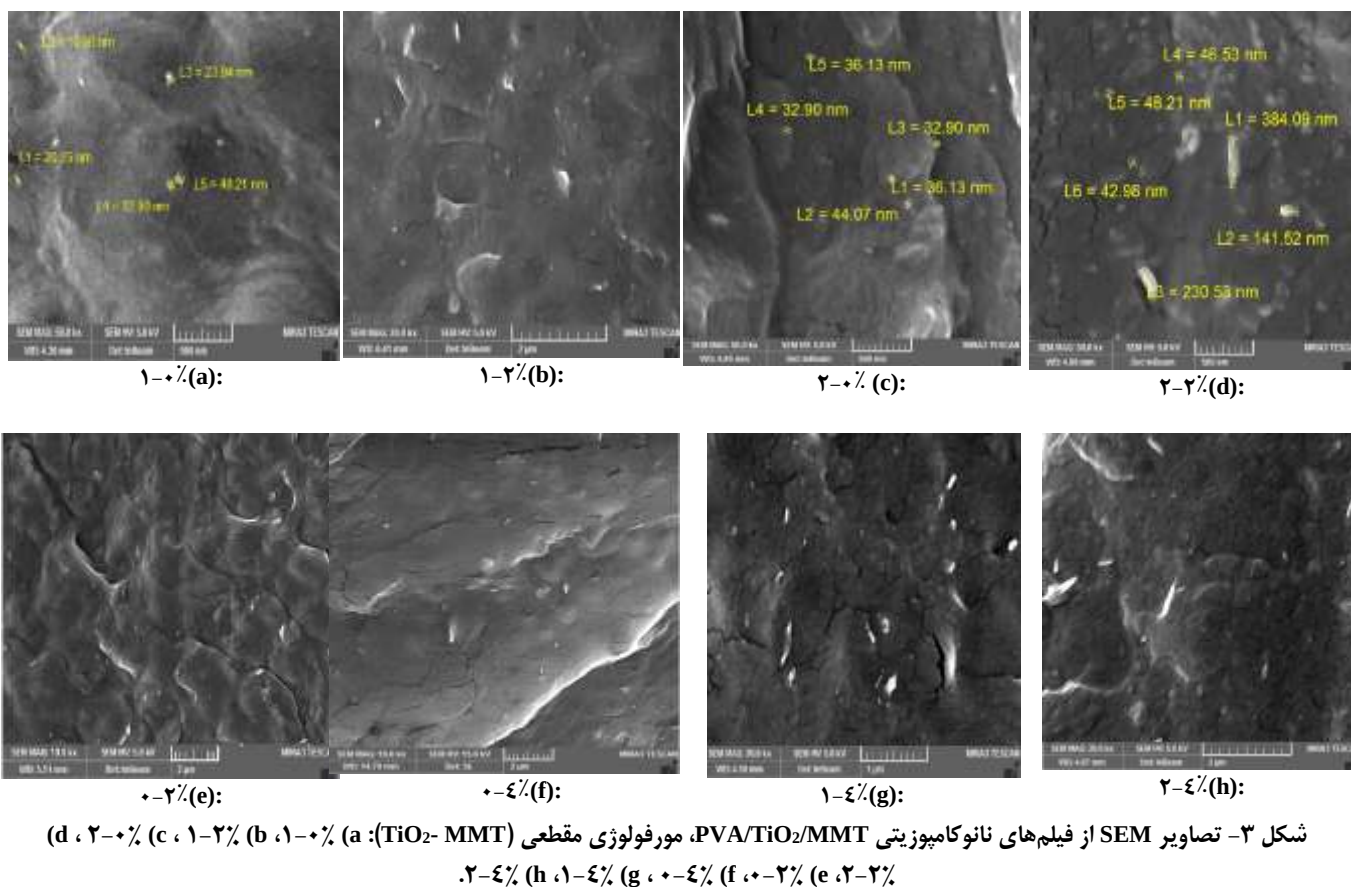
شکل ۲- نمودار پراش بر تو ایکس (a) نانو ذرات TiO_2 ، (b) فیلم‌های نانوکامپوزیتی PVA/TiO_2 ، (c) نانوذرات MMT، (d) فیلم‌های نانوکامپوزیتی PVA/MMT ، (e) فیلم‌های نانوکامپوزیتی $\text{PVA/TiO}_2/\text{MMT}$.

هر قسمت به مجموع مربعات کل به دست می‌آید مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌های نهایی ارائه شده برای پاسخ‌های مختلف، اجزای مختلف معنی‌داری در سطح معنی‌داری ۵٪ یا اینکه درصد سهم (PC%) بیشتر از ۵٪ دارند. با توجه به درصد سهم متغیرهای مدل، اجزاء خطی بیشترین سهم را در مقایسه با دیگر اجزاء در ΔE ، WI و Opacity دارند. همچنین اجزاء درجه دوم بیشترین سهم را نسبت به اجزاء اثر متقابل در ΔE ، WI و YM دارند. هرچند اثر متقابل فاکتورها فقط در

برای ارزیابی دقیق و کفایت مدل‌های انتخابی آنالیز ANOVA مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس برای مدل‌های پیشنهادی حاصل از تأثیر نانو ذرات بر ویژگی‌های فیلم‌های نانو کامپوزیتی را نمایش می‌دهد. P-values برای همه مدل‌های پیشنهادی کمتر از ۰/۰۵ بوده که بیانگر این است که مدل‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشند. ضرایب مدل‌ها با توجه به فاکتور P-Value و درصد سهم مؤثر ضرایب مدل که از تقسیم مجموع مربعات

به‌دست آمده برای پیش‌بینی تأثیر نانو ذرات بر نتایج حاصل در بخش‌های بعد ارائه شده است.

WI معنی‌دار نبود. همچنین درصد سهم خطای مدل نسبت به تغییرات کلی در همه پاسخ‌ها کمتر از ۰/۷٪ مشاهده شد. مدل‌های خلاصه شده



افزایش نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر نشاسته اثر مثبتی بر افزایش استحکام کششی داشته است (Oleyaei et al., 2016a). کمترین کاهش مقاومت ۶/۲٪ در نانو کامپوزیت با صفر٪ دی‌اکسید تیتانیوم و ۴٪ مونت موریلونیت در مقایسه با دیگر تیمارها، مشاهده شد همان‌طور که در شکل ۵-a نیز قابل ملاحظه است. می‌توان گفت اثر هم‌افزایی دی‌اکسید تیتانیوم و مونت موریلونیت استحکام کششی را در این تیمار نسبت به موارد دیگر افزایش داده است.

فرم نهایی مدل رگرسیونی برای استحکام نهایی کششی در معادله ۵ مشخص شده است:

$$TS = 23/82 - 0/33 x_2 + 0/97 x_1 x_2 \quad (5)$$

از سوی دیگر با توجه به نمودار سطح پاسخ ایجاد شده برای مدول یانگ شکل ۴-b با توجه به تغییرات نانوذرات، نتایج حاکی از افزایش مدول یانگ با افزایش نانو ذرات به ماتریس پلیمر می‌باشد به‌گونه‌ای که بیشترین مدول یانگ مربوط به نمونه نانوکامپوزیت (۱۴) (۱ درصد

ویژگی‌های مکانیکی

با توجه به جدول اثر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر استحکام نهایی کششی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبود. همچنین میزان سهم آن برابر با ۱۲/۱٪ بود. بنابراین اثر این فاکتور از مدل حذف شد. همچنین اثر خطی متقابل اجزای مدل $x_1 x_2$ ($P < 0/05$) معنی‌دار می‌باشد و یا به عبارت دیگر میزان غلظت دی‌اکسید تیتانیوم و مونت موریلونیت بر استحکام نهایی کششی مؤثر است. شکل ۴-a سطح پاسخ تخمینی برای استحکام کششی در برابر تغییرات دو نانوذره را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که با افزایش نانو ذرات به ماتریس پلیمر استحکام کششی نهایی در کل کاهش یافته است می‌توان گفت این کاهش به دلیل غیریکساخت بودن ماتریس پلیمر در فیلم نانو کامپوزیتی می‌باشد که کاهش استحکام کششی با افزایش نانو ذرات تیتانیوم اکسید مشهودتر است همان‌طور که در تحقیقی افزایش نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به پروتئین آب‌پنیر کفیران سبب کاهش استحکام کششی شد (Zolfi et al., 2014a). اگرچه در پژوهشی دیگر

$$YM = 7/56 + 34/23 x_1 - 2/16 x_2 + 2/ \quad (6)$$

$$0.5 x_1 x_2 - 15/31 x_1^2 + 0/98 x_2^2$$

با توجه به این نتایج مقدار بهینه ۱٪ و ۴٪ از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و مونت موریلونیت مقادیر مناسب نانوذرات در فیلم نانوکامپوزیتی برای به دست آوردن رفتار مکانیکی مناسب در هر دو فاز الاستیک و پلاستیک برای استفاده بیشتر در بسته بندی مواد غذایی می باشند.

دی اکسید تیتانیوم و ۴ درصد مونت موریلونیت) می باشد همان گونه که در شکل ۵-b نیز قابل مشاهده است. این اثر می تواند مربوط به تعامل بین ماتریس و نانو ذرات با تشکیل پیوند شیمیایی بین پلیمر و ذرات پرکننده باشد (Sapalidis et al., 2011) با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس هر دو نانوذره به صورت خطی و اثر متقابل آن ها ($P < 0/01$) و همچنین اثر نانو ذرات به صورت جداگانه و از مرتبه دوم بر نتایج حاصل مؤثر و معنی دار است. مدل به دست آمده برای پیش بینی تأثیر نانو ذرات بر مدول یانگ به صورت زیر است:

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس بررسی تأثیر نانوذرات بر ویژگی های فیلم های نانوکامپوزیت.

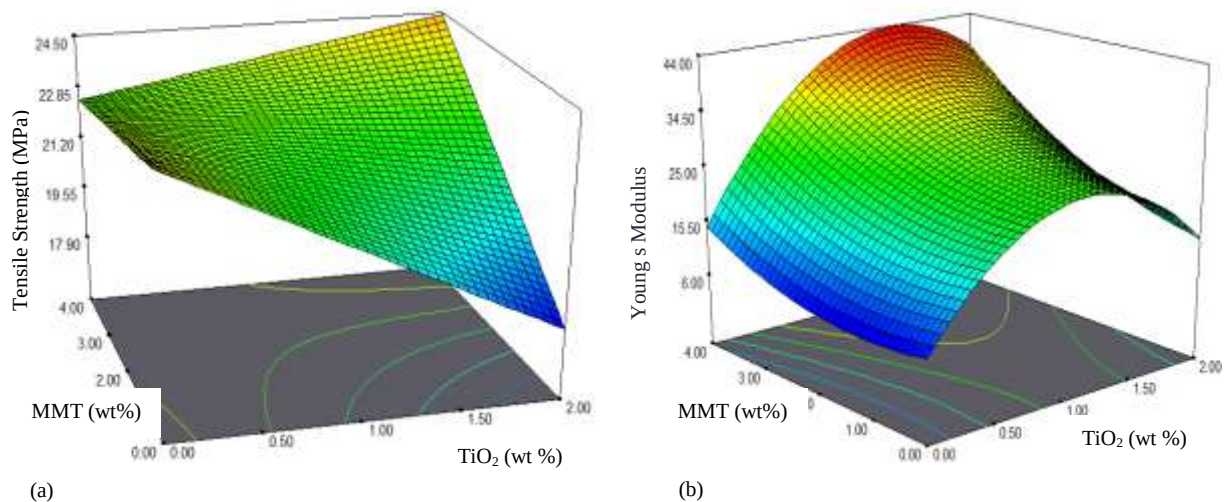
YM			WI			درجه آزادی	منبع تغییرات	TS			درجه آزادی	منبع تغییرات
PC(%)	P-Value	SS	PC(%)	P-Value	SS			PC(%)	P-value	SS		
۹۸/۱۶	۰/۰۰۰۱**	۱۴۲۷/۴۶	۹۷/۲۳	۰/۰۰۰۱**	۲۰۱۳/۶۲	۵	مدل	۶۵/۷۲	*۰/۰۱۷۷	۳۰/۷۳	۳	مدل
۲۴/۴۷	۰/۰۰۰۱**	۳۵۵/۸۹	۸۲/۵۷	۰/۰۰۰۱**	۱۷۰۹/۹۴	۱	X1	۱۲/۱۰	ns۰/۱۰۸۲	۵/۶۶	۱	X1
۲۳/۷۵	۰/۰۰۰۱**	۳۴۵/۳۵	۳/۷۸	۰/۰۱۷۴*	۷۸/۴۸	۱	X2	۲۱/۰۸	*۰/۰۴۳۱	۹/۸۶	۱	X2
۴/۶۰	۰/۰۰۴۱**	۶۶/۹۹	۰/۷۶	۰/۲۰۸۵ ns	۱۵/۷۲	۱	X1X2	۳۲/۵۲	*۰/۰۱۷۰	۱۵/۲۱	۱	X1X2
۴۴/۵۱	۰/۰۰۰۱**	۶۴۷/۲۵	۸/۵۳	۰/۰۰۲۴**	۱۷۶/۷۵	۱	X1 ²	۳۴/۲۸		۱۶/۰۳	۹	باقیمانده
۲/۸۹	۰/۰۱۲۸*	۴۲/۱۵	۰/۰۰۲	۰/۹۳۹۸ ns	۰/۰۵۰	۱	X2 ²	۱۰۰		۴۶/۷۶	۱۲	کل
۱/۸۴		۲۶/۸۱	۲/۷۷		۵۷/۳۶	۷	باقیمانده					
۱۰۰		۱۴۵۴/۲۶	۱۰۰		۲۰۷۰/۹۸	۱۲	کل					

EΔ			Opacity			درجه آزادی	منبع تغییرات
PC(%)	P-value	SS	PC(%)	P-value	SS		
۹۸/۶۶	۰/۰۰۰۱**	۲۴۴۶/۳۷	۹۹/۶۷	۰/۰۰۰۱**	۲۱/۷۹	۵	مدل
۸۰/۸۹	۰/۰۰۰۱**	۲۰۰۵/۶۸	۷۸/۲۲	۰/۰۰۰۱**	۱۷/۱۰	۱	X1
۲/۳۹	۰/۰۰۹۴**	۵۹/۳۵	۱۷/۵۷	۰/۰۰۰۱**	۳/۸۴	۱	X2
۱/۰۸	۰/۰۴۸۵*	۲۶/۸۸	۱/۹۶	۰/۰۰۰۳**	۰/۴۳	۱	X1X2
۱۰/۸۹	۰/۰۰۰۱**	۲۷۰/۰۷	۰/۰۰۲	۰/۸۴۰۷ ns	۰/۰۰۰۴۳	۱	X1 ²
۰/۲۰	۰/۳۳۸۵ ns	۴/۹۹	۱/۶۴	۰/۰۰۰۵**	۰/۳۶	۱	X2 ²
۱/۳۳		۳۳/۰۷	۰/۳۲		۰/۰۷	۷	باقیمانده
۱۰۰		۲۴۷۹/۴۴	۱۰۰		۲۱/۸۶	۱۲	کل

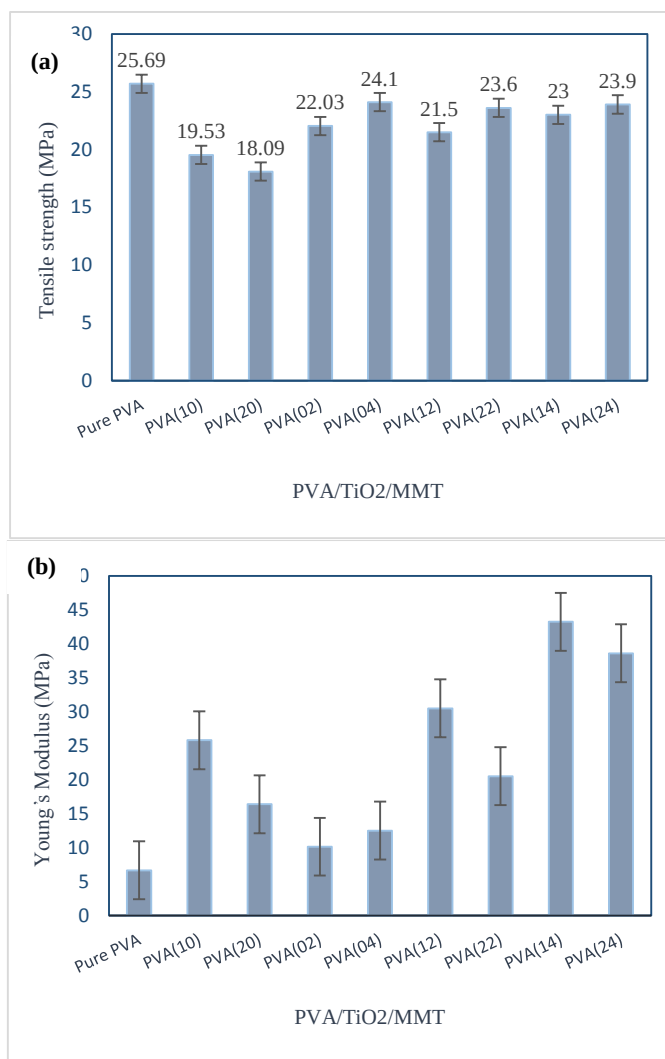
نتایج تجزیه و تحلیل واریانس بر میزان شفافیت و عبور نور در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به جدول و مقادیر P برای مدل ($P < 0/01$) و همچنین مقدار عددی ضریب تبیین R^2_{adj} برای مدل رگرسیونی به دست آمده که برابر است با ۹۹/۴۵٪، می توان گفت مدل رگرسیونی به خوبی رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته را پیش بینی می کند.

عبور نور و شفافیت

شفافیت یکی از ویژگی های بسیار مهم در فیلم هایی است که برای بسته بندی مواد غذایی استفاده می گردد (AGHILI et al., 2016; Pereda et al., 2011). شفافیت را می توان با سنجش میزان کدورت بررسی کرد به گونه ای که با افزایش کدورت، شفافیت کاهش می یابد (Pereda et al., 2011).



شکل ۴- نمودار سطح پاسخ تأثیر سطوح مختلف TiO₂ و MMT بر (a) استحکام کششی، (b) مدول یانگ



شکل ۵- خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌ها (a) استحکام نهایی کششی (b) مدول یانگ.

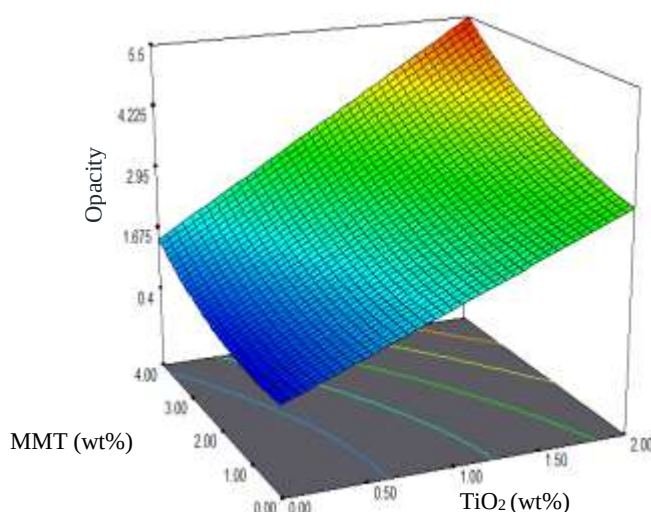
(2011)، بیونانو کامپوزیت آلژینات-مونت موریلونیت- سلولز (Abdollahi *et al.*, 2013)، نشاسته سیب زمینی- مونت موریلونیت- دی اکسید تیتانیوم (Oleyaei *et al.*, 2016a) نیز گزارش شده است، هرچند انتظار نمی رود عناصر تقویت کننده با قطر کمتر از یک دهم نور مرئی باعث پراکندگی نور شوند (Siró *et al.*, 2010)، همچنین با توجه به شکل می توان گفت تأثیر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر کاهش میزان عبور نور بیشتر از مونت موریلونیت است. می توان گفت صفحات نانو ذرات مونت موریلونیت با ضخامت حدود ۱ نانومتر (کمتر از طول موج نور مرئی) در ماتریس پلیمر به خوبی پخش شده اند و کمتر مانع عبور نور می شوند (Zolfi *et al.*, 2014b) اما با افزودن نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم عبور نور به طور چشم گیری کاهش می یابد. با توجه به شکل ۶ کمترین و بیشترین میزان عبور نور مربوط به نمونه فیلم (۲۴) (۲ درصد دی اکسید تیتانیوم و ۴ درصد مونت موریلونیت) و نمونه فیلم نانو کامپوزیتی (۰۲) (صفر درصد دی اکسید تیتانیوم و ۲ درصد مونت موریلونیت) می باشد.

با توجه به جدول ۱ مقادیر P برای اثرات خطی، اثر متقابل و اثر درجه دوم MMT معنی دار است ($P < 0.01$). به عبارت دیگر میزان غلظت دی اکسید تیتانیوم و مونت موریلونیت به طور خطی، اثر متقابل آن ها و نیز اثر درجه دوم مونت موریلونیت بر میزان عبور نور در ۶۰۰ nm تأثیر معنی داری دارد.

مدل به دست آمده برای پیش بینی تأثیر نانو ذرات بر میزان عبور نور در ۶۰۰ nm پس از حذف عوامل غیر معنی دار به صورت زیر است:

$$\text{Opacity} = 0.05 + 1/36 x_1 - 0.12 x_2 + 0.16 x_1 x_2 + 0.09 x_2^2 \quad (7)$$

برای نمایش تغییرات میزان عبور نور با تغییرات متغیرهای مستقل، منحنی سطح پاسخ سه بعدی آن در شکل ۶ ترسیم شده است. همان طور که در شکل مشاهده می شود، با افزایش غلظت نانو ذرات میزان عبور نور کاهش می یابد. کاهش میزان عبور نور با افزودن نانو ذرات در پژوهش های دیگری از جمله: نانو کامپوزیت متیل سلولز- مونت موریلونیت (Tunç *et al.*, 2010)، آگار- مونت موریلونیت (Rhim,



شکل ۶- نمودار سطح پاسخ تأثیر سطوح مختلف TiO_2 و MMT بر میزان کدورت

رگرسیون درجه دوم، متأثر از تغییر متغیرهای مستقل، امکان پذیر و در ادامه آورده شده است:

$$\Delta E = 2/36 + 41/67 x_1 + 2/87 x_2 - 1/29 x_1 x_2 - 10/4 x_1^2 \quad (8)$$

$$\text{WI} = 7/27 + 32/98 x_1 + 1/81 x_2 - 8/05 x_1^2 \quad (9)$$

ویژگی رنگ

رنگ فیلم یکی از مهم ترین ویژگی های ظاهری مهم در بازارپسندی بسته بندی محصولات غذایی است. نتایج اندازه گیری ویژگی های رنگی نمونه های فیلم در جدول ۲ مشخص شده است. در این جدول تفاوت رنگ سنجی کل (ΔE) با استفاده از پارامترهای L و a و b محاسبه و به همراه ضریب سفیدی (WI) هر نمونه گزارش شده است. تجزیه و تحلیل نتایج حاکی از این بود که پیش بینی تغییرات رنگ سنجی کل و نیز ضریب سفیدی نمونه های فیلم توسط مدل های

شکل ۷-a و ۷-b تغییرات رنگ‌سنجی و ضریب سفیدی هر نمونه را بر اساس تغییرات نانو ذرات نشان می‌دهد. با افزایش نانو ذرات به ماتریس پلیمر، افزایش معنی‌داری ($P < 0.01$) در میزان ΔE مشاهده شد. نمونه فیلم (۲۴) (۲ درصد دی‌اکسید تیتانیوم و ۴ درصد مونت موریلونیت) کدرتر از سایر نمونه‌ها بود جدول ۲ درواقع وجود نانو ذرات TiO_2 و MMT در ماتریس پلیمر درخشندگی فیلم‌ها را کاهش می‌دهد و درنتیجه ΔE افزایش می‌یابد (Oleyaei et al., 2016a). با توجه به جدول ۱ افزایش نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به‌صورت خطی و مرتبه دوم و به ترتیب با درصد سهم ۸۹/۸۰٪ و ۸۹/۱۰٪ بر ΔE معنی‌دار بود. درحالی‌که نانو ذرات مونت موریلونیت به‌صورت خطی و با درصد سهم ۳۹/۲٪ بر ΔE مؤثر بوده‌اند ($P < 0.01$) همچنین اثر متقابل دو نانوذره نیز بر پاسخ معنی‌دار است ($P < 0.05$).

شکل ۵-e بیانگر اثر افزایش نانو ذرات به ماتریس پلیمر بر میزان سفیدی فیلم‌ها می‌باشد. با توجه به شکل و جدول ۲ نمونه فیلم (۲۴)

(۲ درصد دی‌اکسید تیتانیوم و ۴ درصد مونت موریلونیت) سفیدتر از سایر نمونه‌ها بوده و نمونه فیلم نانو کامپوزیتی (۰۲) (صفر درصد دی‌اکسید تیتانیوم و ۲ درصد مونت موریلونیت) سفیدی کمتری نشان داده و یا به عبارتی شفاف‌تر می‌باشند ($P < 0.05$). در حقیقت سفیدتر بودن ناشی از وجود ناخالصی‌های بیشتر در فیلم و درنتیجه کدورت بیشتر می‌شود که همان‌طور که قبلاً اشاره شد دلیلی است بر کاهش میزان عبور نور، همان‌طور که در پژوهش‌های پیشین نتایج مشابهی گزارش شده است (He et al., 2016).

در نتیجه با توجه به شکل ۵-f، با تجزیه و تحلیل نتایج و در نظر گرفتن حالت‌های بیشینه برای مقاومت کششی و مدول یانگ و کمینه برای رنگ و خواص نوری فیلم‌ها و به‌منظور بسته‌بندی مواد غذایی حالت بهینه فیلم از نظر خواص مکانیکی و فیزیکی، فیلم نانو کامپوزیتی حاوی ۵/۰٪ دی‌اکسید تیتانیوم و ۴ درصد مونت موریلونیت با روش سطح پاسخ پیشنهاد شد.

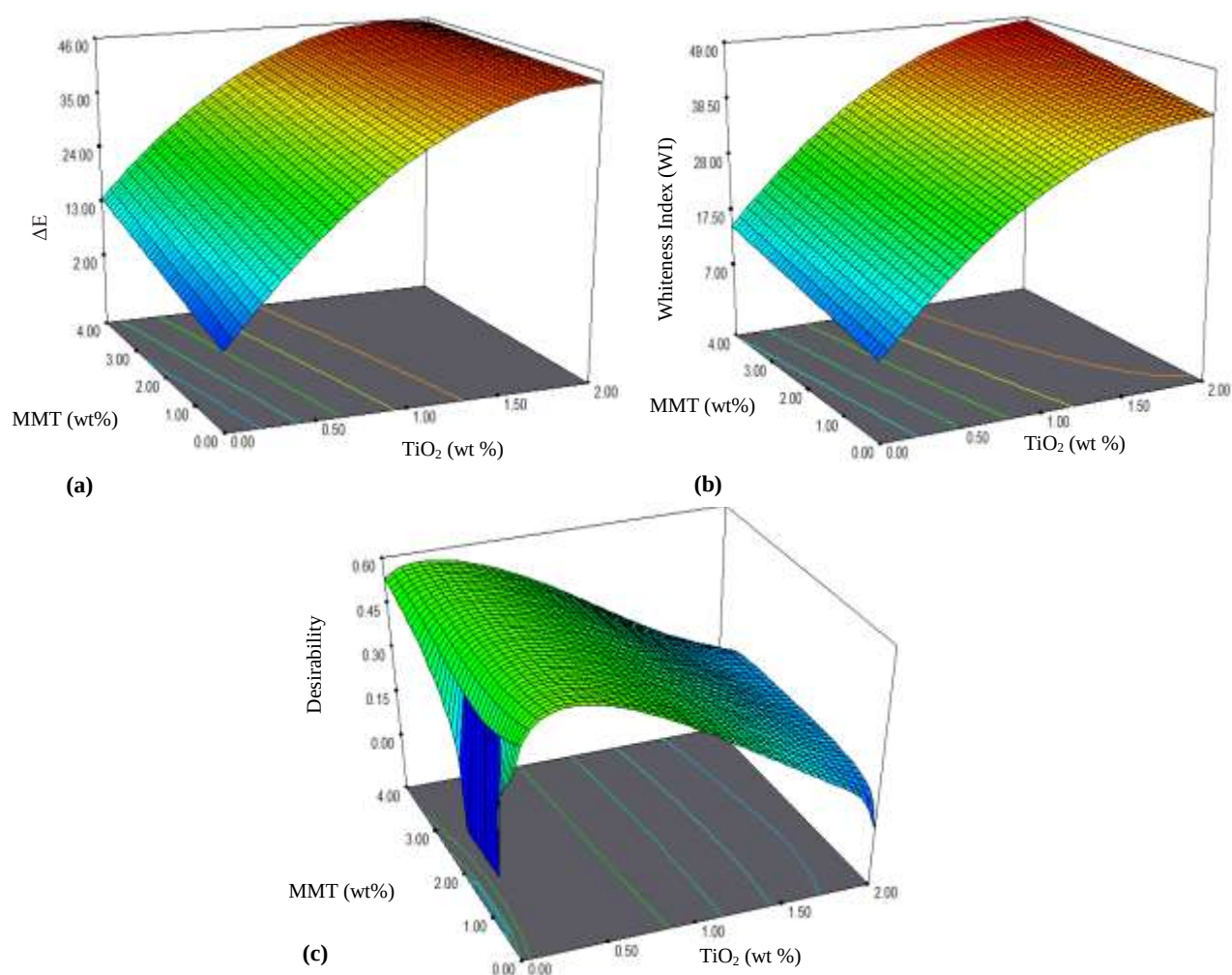
جدول ۲- رنگ و عبور نور نمونه‌های مختلف فیلم نانو کامپوزیتی PVA/TiO₂/MMT

نمونه فیلم	(mm) ضخامت	Opacity	WI	ΔE
Pure PVA	۰/۱۴	۰/۱۰±۰/۴۵	۰/۲۱±۲/۸۸	۰/۲۸±۰/۰۰
PVA(۱۰)	۰/۱۴	۱/۳۹±۲/۲۶	۱/۵۰±۳۶/۶۴	۱/۴۸±۳۶/۲۳
PVA(۲۰)	۰/۱۴	۰/۰۸±۳/۱۱	۲/۴۷±۴۰/۸۱	۲/۸۷±۴۲/۰۴
PVA(۰۲)	۰/۱۴	۰/۰۴±۰/۶۳	۰/۴۲±۱۲/۲۳	۰/۴۳±۹/۵۵
PVA(۰۴)	۰/۱۱	۰/۴۱±۱/۴۷	۰/۶۰±۱۷/۵۶	۰/۶۰±۱۴/۷۶
PVA(۱۲)	۰/۱۴	۰/۲±۲/۲۸	۱/۸۹±۳۶/۹۶	۱/۸۸±۳۷/۰۳
PVA(۲۲)	۰/۱۴	۰/۱۷±۴/۱۳	۰/۹۶±۴۵/۵۹	۰/۸۳±۴۵/۵۴
PVA(۱۴)	۰/۱۰	۰/۶۶±۳/۴۸	۰/۶۶±۳۶/۹۱	۰/۸±۳۵/۹۵
PVA(۲۴)	۰/۱۰	۰/۱۴±۵/۴۴	۲/۴۴±۴۷/۵۶	۲/۲۳±۴۶/۴۳

نتیجه‌گیری

به‌منظور بهبود ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی فیلم بر پایه پلی‌وینیل الکل از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و مونت موریلونیت به‌عنوان نانوپرکننده‌ها استفاده شد و نانوکامپوزیت‌های PVA/TiO₂/MMT با مقادیر مختلف نانوذره تولید شد. اثرات معنی‌دار خطی مونت موریلونیت و اثر متقابل اجزای مدل بر استحکام کششی ($P < 0.05$) با استفاده از روش سطح پاسخ تعیین شد. نتایج بیانگر این بود که با افزایش نانوذرات به ماتریس پلیمر استحکام کششی نهایی در کل کاهش یافته است. می‌توان گفت این کاهش به دلیل غیریکنواخت بودن ماتریس پلیمر در فیلم نانو کامپوزیتی می‌باشد. همچنین اثرات دو

نانوذره بر میزان مدول یانگ معنی‌دار بوده و کاربرد هم‌زمان دو نانوذره سبب بهبود مدول یانگ در فیلم‌های حاصل شد. نتایج تجزیه‌وتحلیل اثر نانو ذرات بر میزان عبور نور، مقدار سفیدی و اختلاف رنگ نمونه‌های فیلم با پلیمر خالص به روش سطح پاسخ بیانگر این بود که کاربرد هر دو نانوذره بر ΔE و میزان عبور نور در فیلم‌ها تأثیر معنی‌داری داشته است و نمونه فیلم با ۲٪ دی‌اکسید تیتانیوم و ۴٪ مونت موریلونیت کمترین میزان عبور نور را داشت. با توجه به نتایج حاصل نمونه فیلم (۲۴) سفیدتر از سایر نمونه‌ها بود که در حقیقت ناشی از وجود ناخالصی‌های بیشتر در فیلم و کدورت بیشتر فیلم بوده که نشانگر پتانسیل بالای این فیلم‌ها در صنعت برای بسته‌بندی مواد غذایی و کاهش واکنش‌های فتوشیمیایی است.



شکل ۷- نمودار سطح پاسخ تأثیر سطوح مختلف MMT و TiO₂ بر (a) ΔE، (b) ضریب سفیدی، (c) نانو کامپوزیت بهینه

منابع

- ابوالقاسمی فخری، ل.، قنبر زاده، ب.، دهقان نیا، ج. و انتظامی، ع. ا.، ۱۳۹۰. اثر مونت موریلونیت و نانوبلور سلولوز بر خواص فیزیکی فیلم‌های آمیخته کربوکسی متیل سلولوز-پلی وینیل الکل. *مجله علوم و تکنولوژی پلیمر*، شماره ۶، صفحات ۴۵۵-۴۶۶.
- Abdollahi, M., Alboofetileh, M., Rezaei, M., & Behrooz, R. 2013. Comparing physico-mechanical and thermal properties of alginate nanocomposite films reinforced with organic and/or inorganic nanofillers. *Food Hydrocolloids*, 32(2), 416-424.
- Aghili, M. H. S., Emadi, B., Hosseini, F., & Sadrnia, H. 2016. Production of biodegradable edible films from tragacanth gum and determination of their physical and mechanical properties.
- Ali, M. H., Kahder, M. M., Al-Saad, K. A., & Al-Meer, S. 2013. Properties of nanoclay PVA composites materials. *QScience Connect*, 2013(1), 1.
- Arora, A., & Padua, G. W., 2010. Nanocomposites in food packaging. *Journal of food science*, 75(1), R43-R49.
- Bodaghi, H., Mostofi, Y., Oromiehie, A., Ghanbarzadeh, B., & Hagh, Z. G. 2015. Synthesis of clay-TiO₂ nanocomposite thin films with barrier and photocatalytic properties for food packaging application. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(14).
- Chen, H. 1995. Functional properties and applications of edible films made of milk proteins. *Journal of dairy science*, 78(11), 2563-2583.

- Cheng, L. H., Karim, A. A., & Seow, C. C. 2006. Effects of water-glycerol and water-sorbitol interactions on the physical properties of konjac glucomannan films. *Journal of food science*, 71(2), E62-E67.
- Ciprari, D. L. 2004. *Mechanical characterization of polymer nanocomposites and the role of interphase*. Georgia Institute of Technology.
- Cyras, V. P., Manfredi, L. B., Ton-That, M.-T., & Vázquez, A. 2008. Physical and mechanical properties of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposite films. *Carbohydrate polymers*, 73(1), 55-63.
- Destéfanis, H. A. 2013. Barrier properties and structural study of nanocomposite of HDPE/montmorillonite modified with polyvinylalcohol. *Journal of Chemistry*, 2013.
- El-Shamy, A., Attia, W., & El-Kader, K. A. 2014. The optical and mechanical properties of PVA-Ag nanocomposite films. *Journal of Alloys and Compounds*, 590, 309-312.
- Gharoy Ahangar, E., Abbaspour-Fard, M. H., Shahtahmassebi, N., Khojastehpour, M., & Maddahi, P. 2015. Preparation and characterization of PVA/ZnO nanocomposite. *Journal of food processing and preservation*, 39(6), 1442-1451.
- Gontard, N., Guilbert, S., & CUQ, J. L. 1993. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *Journal of food science*, 58(1), 206-211.
- He, Q., Zhang, Y., Cai, X., & Wang, S. 2016. Fabrication of gelatin-TiO₂ nanocomposite film and its structural, antibacterial and physical properties. *International journal of biological macromolecules*, 84, 153-160.
- Hussain, F., Hojjati, M., Okamoto, M., & Gorga, R. E. 2006. Review article: polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing, and application: an overview. *Journal of composite materials*, 40(17), 1511-1575.
- Kaler, V., Pandel, U., & Duchaniya, R. 2018. Development of TiO₂/PVA nanocomposites for application in solar cells. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 6279-6287.
- Kim, S. W. 2008. Preparation and barrier property of poly (vinyl alcohol)/SiO₂ hybrid coating films. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 25(5), 1195-1200.
- Kubacka, A., Serrano, C., Ferrer, M., Lünsdorf, H., Bielecki, P., Cerrada, M. L., & Fernández-García, M. 2007. High-performance dual-action polymer- TiO₂ nanocomposite films via melting processing. *Nano Letters*, 7(8), 2529-2534.
- Kumar, P. 2009. Development of bio-nanocomposite films with enhanced mechanical and barrier properties using extrusion processing.
- Mahshid, S., Ghamsari, M. S., Askari, M., Afshar, N., & Lahuti, S. 2006. Synthesis of TiO₂ nanoparticles by hydrolysis and peptization of titanium isopropoxide solution. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 9(2), 65-68.
- Muratore, G., Nobile, D., Buonocore, G., Lanza, C., & Asmundo, N. 2005. The influence of using biodegradable packaging films on the quality decay kinetic of plum tomato (*PomodoroDatterino*). *Journal of food engineering*, 67(4), 393-399.
- Oleyaei, S. A., Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., & Moayedi, A. A. 2016a. Synergistic reinforcing effect of TiO₂ and montmorillonite on potato starch nanocomposite films: Thermal, mechanical and barrier properties. *Carbohydrate polymers*, 152, 253-262.
- Oleyaei, S. A., Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., & Moayedi, A. A. 2016b. Synergistic reinforcing effect of TiO₂ and montmorillonite on potato starch nanocomposite films: Thermal, mechanical and barrier properties. *Carbohydrate polymers*, 152, 253-262.
- Paralikar, S. A., Simonsen, J., & Lombardi, J. 2008. Poly (vinyl alcohol)/cellulose nanocrystal barrier membranes. *Journal of Membrane Science*, 320(1-2), 248-258.
- Pereda, M., Amica, G., Rácz, I., & Marcovich, N. E. 2011. Structure and properties of nanocomposite films based on sodium caseinate and nanocellulose fibers. *Journal of Food Engineering*, 103(1), 76-83.
- Ren, J., Wang, S., Gao, C., Chen, X., Li, W., & Peng, F. 2015. TiO₂-containing PVA/xylan composite films with enhanced mechanical properties, high hydrophobicity and UV shielding performance. *Cellulose*, 22(1), 593-602.
- Rhim, J.-W. 2011. Effect of clay contents on mechanical and water vapor barrier properties of agar-based nanocomposite films. *Carbohydrate polymers*, 86(2), 691-699.
- Rhim, J.-W., & Ng, P. K. 2007. Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 47(4), 411-433.
- Rouhi, M., Razavi, S. H., & Mousavi, S. M. 2017. Optimization of crosslinked poly (vinyl alcohol) nanocomposite films for mechanical properties. *Materials Science and Engineering: C*, 71, 1052-1063.
- Sapalidis, A. A., Katsaros, F. K., & Kanellopoulos, N. K. 2011. PVA/montmorillonite nanocomposites: development and properties. *Nanocomposites and polymers with analytical methods*, 29-50.
- Siró, I., & Plackett, D. 2010. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. *Cellulose*, 17(3), 459-494.
- Tang, X. 2008. *Use of extrusion for synthesis of starch-clay nanocomposites for biodegradable packaging films*. Kansas State University.

- Tang, X., Kumar, P., Alavi, S., & Sandeep, K. 2012. Recent advances in biopolymers and biopolymer-based nanocomposites for food packaging materials. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(5), 426-442.
- Tunç, S., & Duman, O. 2010. Preparation and characterization of biodegradable methyl cellulose/ montmorillonite nanocomposite films. *Applied Clay Science*, 48(3), 414-424.
- Venkatesan, R., & Rajeswari, N. 2017. TiO₂ nanoparticles/poly (butylene adipate-co-terephthalate) bionanocomposite films for packaging applications. *Polymers for Advanced Technologies*.
- Xiao-e, L., Green, A. N., Haque, S. A., Mills, A., & Durrant, J. R. 2004. Light-driven oxygen scavenging by titania/polymer nanocomposite films. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 162(2-3), 253-259.
- Yan, Q., Hou, H., Guo, P., & Dong, H. 2012. Effects of extrusion and glycerol content on properties of oxidized and acetylated corn starch-based films. *Carbohydrate polymers*, 87(1), 707-712.
- Yang, C.-C., & Lee, Y.-J. 2008. Preparation and characterization of the PVA/MMT composite polymer membrane for DMFC. *ECS Transactions*, 13(28), 1-20.
- Yousefi, A., Savadkoohi, B., Zahedi, Y., Hatami, M., & Ako, K. 2019. Fabrication and characterization of hybrid sodium montmorillonite/TiO₂ reinforced cross-linked wheat starch-based nanocomposites. *International journal of biological macromolecules*, 131, 253-263.
- Zolfi, M., Khodaiyan, F., Mousavi, M., & Hashemi, M. 2014a. Development and characterization of the kefiran-whey protein isolate-TiO₂ nanocomposite films. *International journal of biological macromolecules*, 65, 340-345.
- Zolfi, M., Khodaiyan, F., Mousavi, M., & Hashemi, M. 2014b. The improvement of characteristics of biodegradable films made from kefiran-whey protein by nanoparticle incorporation. *Carbohydrate polymers*, 109, 118-125.



Optimizing mechanical and optical properties of nanocomposite films based on polyvinyl alcohol for food packaging

M. Zamanian¹, H. Sadrnia², M. Khojastehpour³, F. Hosseini⁴, J. Thibault⁵

Received: 2020.01.23

Accepted: 2020.06.02

Introduction: Among the different types of polymers used for packaging and coating, polyvinyl alcohol (PVA), given its very enviable properties, has been used in various industrial applications. It is used for instance as controlled release in pharmaceutical elements, paper, textile and food supplement coating due to its good physical properties, chemical resistance, thermostability, film-forming capability, efficiency and biodegradability. The aim of this work was to examine the combined effect of montmorillonite (MMT) platelets and titanium oxide (TiO₂) spherical nanoparticles on the physical and mechanical properties of PVA/ TiO₂/MMT nanocomposites, and to determine the optimal combination to provide good properties, using response surface methodology (RSM).

Materials & methods: PVA, PVA/TiO₂, PVA/MMT and PVA/ TiO₂/MMT nanocomposite films were prepared by the solution casting method. For each sample, 1.8 g of PVA was dissolved in 50 mL deionized water and maintained for 24 h at room temperature. The mixture was then heated to 90°C and stirred using a magnetic stirrer up to 3 h to ensure the complete dissolution of PVA, followed by cooling down the solution to room temperature. Various amounts of TiO₂ nanoparticles (1 and 2 w% on a dry basis) were added to deionized water and agitated with a stirrer for 12 h at 500 rpm. This method was also used for MMT (2 and 4 w% on a dry basis). The nanoparticle suspension was subjected to ultrasonic homogenization for 20 min to ensure a good dispersion. The 50 mL nanoparticle suspension was added to the PVA solution drop by drop during a period of 5 min while maintaining intense stirring (1000 rpm). Mixing was continued and glycerol (30 w% based on the polymer) was added. Vacuum with a rotary vacuum pump was applied to remove air bubbles from the solution. The solution was poured into a 15-cm internal diameter Petri dish with a perfectly flat bottom and carefully aligned horizontally. Homogeneous films were peeled off after drying in an air oven at 40°C for 72 h. Scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction analysis (XRD) were performed for characterizing the morphology of nanocomposite films. The effect of these two nanoparticles on physical and mechanical properties, was evaluated by response surface methodology (RSM). A three-level factorial design was used to define the test points for the series of experiments. Among the various design alternatives suggested by theoretical algorithm, the selected design consisted of 13 experiments including five replicate central points used for variance calculation. Furthermore, PVA film data were analyzed using the Design-Expert program (Version 7.0, Stat-Ease Inc., Minneapolis, Minnesota) to find the optimum combination of constituents for the best properties.

Results and discussions: X-ray diffraction patterns showed that the nanoparticles were well dispersed in the polymer matrix of PVA/ TiO₂ and PVA / MMT films with layered microstructure. In addition, the linear effect of MMT nanoparticles and the interaction of TiO₂ and MMT on tensile strength were significant. The linear, quadratic and interaction effects of both nanoparticles on Young's modulus were also significant. In general, the optimum values of TiO₂ and MMT were 1% and 4% respectively for mechanical properties. The presence of both nanoparticles had a significant effect on transparency and ΔE. Results of nanocomposite films indicated that the film with 2% TiO₂ and 4% MMT has higher WI and actually is darker than other samples. By analyzing different results with response surface method, the nanocomposite film with 0.5% TiO₂ and 4% MMT was proposed as optimum combination for mechanical and physical properties

Keywords: Nanocomposite, Poly vinyl alcohol, Food packaging.

1. Ph.D. Student, Biosystems Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad. Iran.

2, 3. Associate Professor, Biosystems Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad. Iran.

4. Assistant Professor, Department of Food Additives, Iranian Academic Centre for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad. Iran.

5. Professor, Department of Chemical and Biological Engineering, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada K1N 6N5 .

(*Corresponding Author Email: hassan.sadrnia@um.ac.ir)



مقاله پژوهشی

افزایش ماندگاری قارچ تکمه‌ای با اسانس خوشاریزه و بسته‌بندی نانوکامپوزیت پلی اتیلن-رس

سیف‌اله حمزه کلکناری^۱ - حجت اله بداقی^{۲*} - زیبا قسمی حق^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۱

چکیده

در این پژوهش، ویژگی‌های کمی و کیفی قارچ تکمه‌ای در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد طی ۳۵ روز نگهداری در بسته‌بندی‌های پلی‌اتیلن و نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن-رس ۵ درصد در ترکیب با اسانس خوشاریزه در سه غلظت صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر بررسی شد. ارزیابی صفاتی از قبیل کاهش وزن، سفتی بافت، نشت الکترولیت و محتوی مالون دی آلدئید، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، جمعیت میکروبی، شاخص قهوه‌ای شدن، درصد باز شدن کلاهک‌ها و بازارپسندی کلی قارچ‌های تکمه‌ای در بسته‌بندی‌ها نشان داد که افزودن نانوذرات رس در بستر پلی‌اتیلن اثر معنی‌داری بر افزایش دوره نگهداری نسبت به بسته‌بندی پلی‌اتیلن داشته است. از طرف دیگر اسانس خوشاریزه در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر اثرات بهبوددهنده‌ای در حفظ ویژگی‌های قارچ‌ها در دوره نگهداری در هر دو نوع بسته‌بندی نشان داد با این وجود، غلظت ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس خوشاریزه تاثیر بیشتری داشت. در کل، بسته‌بندی قارچ‌های تکمه‌ای در نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن-رس ۵ درصد و استفاده از پوشش خوراکی اسانس خوشاریزه با غلظت ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر برای افزایش دوره نگهداری این محصول همراه با حفظ کیفیت پس از برداشت و بازارپسندی پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اسانس خوشاریزه، قارچ تکمه‌ای، نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن-رس، ماندگاری

مقدمه

قارچ در فیلم‌های پلی‌اتیلن مناسب، برای افزایش ماندگاری قارچ و تجارت آن بهترین گزینه باشد. بسته‌بندی قارچ در پوشش‌های مختلف با توجه به شرایط کشت و رقم قارچ باید به‌طور دقیق طراحی شود. انتخاب نامناسب ممکن است بی اثر باشد و یا حتی کیفیت محصول را به دلیل صدمه به بافت کاهش دهد و با ایجاد شرایط تنفس غیرهوازی موجب کاهش عطر و طعم محصول شود. گزارشات زیادی درباره استفاده فیلم‌های بسته‌بندی وجود دارد. در تحقیقی اثر بسته‌بندی تعدیل یافته بر ماندگاری قارچ‌های تکمه‌ای کامل و برش خورده با استفاده از فیلم پلی وینیل کلراید^۴ و دو نوع فیلم پلی‌الفینی با پوشش‌های کلرید کلسیم و کیتوزان بررسی گردید که سفیدی قارچ‌های کامل به‌طور معنی‌داری با نوع پوشش تغییر کرد و ممانعت از کاهش وزن در تمام بسته‌ها نسبت به شاهد معنی‌دار شد (Kim et al., 2006) همچنین گزارش شده در بسته‌های اتمسفر تعدیل یافته با کاهش اکسیژن در بسته‌ها ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نسبتاً بالایی القاء شده و به‌طور قابل توجهی باعث جلوگیری از افت کیفیت پس از برداشت شده است؛ ولی با کاهش بیش از حد اکسیژن قارچ‌ها کیفیت خود را از دست داده‌اند. همچنین گزارش شده است که استفاده از بسته‌بندی قارچ در پوشش‌های

امروزه قارچ تکمه‌ای خوراکی (*Agaricus bisporus*) یکی از منابع مهم تامین مواد غذایی در دنیا است و روند کشت آن هم‌زمان با افزایش مصرف آن به‌طور پیوسته افزایش یافته است. قارچ تکمه‌ای اصلی‌ترین قارچ خوراکی در ایران بوده و مهم‌ترین شاخص کیفی آن سفید بودن، داشتن کلاهک گرد و براق، ساقه راست، فقدان لکه‌های قهوه‌ای است (Ares et al., 2007). قارچ‌های خوراکی به‌طور معمول ماندگاری کوتاهی دارند. بر اساس گزارشات عمر نگهداری قارچ تکمه‌ای در دمای محیط ۱ تا ۳ روز و در دمای یخچال ۸ تا ۱۰ روز است (Kim et al., 2006). قارچ در مقایسه با سایر محصولات باغبانی سرعت تنفس بالاتری دارد و به دلیل فقدان پوشش محافظ طبیعی برای جلوگیری از هدر رفتن آب، کیفیت آن به‌سرعت از دست می‌رود. لذا کاهش سریع کیفیت قارچ تکمه‌ای در مرحله پس از برداشت توزیع و عرضه آن را دچار محدودیت کرده است (Nerya et al., 2006). در دهه اخیر استفاده از فیلم‌های پلی‌اتیلن جهت ایجاد اتمسفر تعدیل‌یافته^۳ و اسانس‌های طبیعی به‌منظور افزایش دوره نگهداری محصولات گسترش زیادی یافته است. به‌نظر می‌رسد که بسته‌بندی

^۳ Modified atmosphere

^۴ Polyvinyl chloride (PVC)

۱ و ۲- به‌ترتیب کارشناسی ارشد و استادیار، گروه باغبانی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

(*)- نویسنده مسئول: (Email: h.bodaghi@yahoo.com)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.83935

نازک باعث ماندگاری این محصول می‌شود (Xing, 2008; Nath, 2012). محققان گزارش کرده‌اند که بین چهار ضخامت مختلف پوشش نازک پلی‌اتیلن به همراه اتمسفر تعدیل‌یافته فیلم بسته‌بندی با ضخامت ۰/۰۵ میلی‌متر بهترین اثر را در حفظ کیفیت انباری و پس از برداشت قارچ خوراک صدفی داشت (Li et al., 2010). در پژوهشی دیگر به مقایسه فیلم‌های پلی‌اتیلن و پلی‌وانیل کلراید در عمرماندگاری قارچ خوراکی پرداخته شد. آنها بیان کردند در فیلم‌های پلی‌اتیلن از ۱۰ الی ۱۴ روز افزایش عمر ماندگاری نسبت به فیلم‌های پلی‌وانیل کلراید مشاهده گردید (Taghizadeh et al., 2010).

نانوکامپوزیت‌های پلیمری سیستم‌های دو فازی هستند که یک ماتریس پلیمری و نانو ذرات معدنی را شامل می‌شوند. نانو ذرات رس از جمله نانو ذراتی هستند که بسیار مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. دلیل این توجه ارزانی، دسترسی آسان، و عملکرد و فرایندپذیری خوب آن‌ها است (De Azeredo, 2009). در تحقیقی بدافقی و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند فیلم‌های نانوکامپوزیتی حاوی رس خواص بازدارندگی بیشتری نسبت به فیلم‌های پلی‌اتیلن معمولی دارند. همچنین این محققان اعلام کردند زمانی که نانوذرات رس به فیلم‌های نانو کامپوزیت اضافه می‌شود، سبب افزایش استحکام فیلم شده و کاهش میزان نفوذپذیری فیلم نانو کامپوزیت را به دنبال داشته است. این امر به دو دلیل صورت می‌گیرد. دلیل اول ایجاد شدن مسیر پیچ و خم‌دار برای انتشار ماده گازی است چون مواد پرکننده^۱ کریستال‌های غیرآلی نفوذناپذیر هستند و مولکول‌های گازی به‌جای عبور از یک مسیر عمودی از پیرامون آن‌ها (مسیر زیگزاگ) عبور می‌کنند بنابراین باید مسیر طولانی‌تر را برای عبور طی کنند. دلیل دوم برای توجیه بهبود ویژگی بازدارندگی، ایجاد شدن برخی تغییرات در نواحی بین سطوح در زمینه پلیمری است. اگر برهمکنش مطلوبی از پلیمر و نانو ذره به وجود آید، رشته‌های پلیمر که در مجاورت هر نانو ذره قرار دارد تا حدودی بی‌حرکت می‌شوند. در پی آن میزان جهش مولکول‌های گازی مهاجر که از نواحی فی‌مابین سطوح نانو ذرات و زمینه پلیمری عبور می‌کنند با تغییر در تراکم و اندازه منافذ آزاد، کاهش می‌یابد (Pereira de Abreu et al., 2007).

استفاده از اسانس‌های طبیعی می‌تواند کمک به‌سزایی در افزایش ماندگاری و جلوگیری از فساد داشته باشد. اخیراً از اسانس‌های گیاهان در افزایش ماندگاری میوه‌ها، گل‌ها، سبزی‌ها و موادغذایی استفاده‌های فراوانی شده است (Regnier et al., 2010). گیاه خوش‌اریزه با نام علمی *Echinophora cinerea* گیاهی پایا با ارتفاعی حدود ۱۲۰-۴۰ سانتی متر از خانواده چتریان می‌باشد. اثرات ضدقارچ و ضدباکتری این گیاه توسط محققان گزارش شده است (Entezari., 2009). روغن‌های فرار و عصاره متانولی این گیاه اثر آنتی‌اکسیدانی دارد (Rahimi-

Nasrabadi et al., 2012). کاربرد اسانس میخک هندی، آویشن و سینامالدهید در دوره پس از برداشت قارچ تکمه‌ای باعث کاهش افت وزن، قهوه‌ای شدن و باز شدن کلاهک، کاهش فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز (قهوه‌ای شدن آنزیمی) و حفظ ترکیبات فنلی و اسید آسکوربیک شد به‌نحوی که از پیری بافت نسبت به قارچ‌های تیمار نشده به‌طور چشمگیری مانعت شد (Gao et al., 2014). در پژوهشی دیگر، اثر پوشش اسانس‌های میخک هندی، آویشن و سینامالدهید بر ماندگاری قارچ خوراکی بررسی شد و اثر معنی‌دار استفاده از آن‌ها بر حفظ صفات کیفی و کمی پس از برداشت قارچ گزارش شده است (Jiang et al., 2015).

مرور تحقیقات گذشته نشان داد که تاکنون گزارشی در مورد استفاده توام از فیلم‌های نانوکامپوزیت و اسانس‌های گیاهی بر ماندگاری قارچ تکمه‌ای صورت نگرفته است. به نظر می‌رسد پوشش قارچ تکمه‌ای با اسانس‌های خوراکی و بسته‌بندی آن در فیلم‌های نانوکامپوزیتی بتواند افزایش ماندگاری پس از برداشت، عمر قفسه‌ای و ایمنی غذایی محصول را برای مصرف‌کننده به همراه داشته باشد. لذا در این پژوهش استفاده توام از اسانس خوش‌اریزه در پوشش‌دهی و به‌کارگیری فیلم نانوکامپوزیت حاوی نانوذرات رس (۵٪) بر صفات فیزیکیوشیمیایی قارچ تکمه‌ای در دوره پس از برداشت ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

فیلم‌های نانوکامپوزیتی پلی‌اتیلن-رس با استفاده از نانوذرات رس 20 A و با روش مخلوط واکنشی مذاب در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران ساخته شدند. ارزیابی برخی از ویژگی‌های فیزیکی، حرارتی، مورفولوژیکی و رئولوژیکی فیلم بسته‌بندی در گزارشات قبلی ارائه شده است (Bodaghi et al., 2015). نمونه‌های قارچ از مؤسسه پرورش قارچ شاهوار شهرستان شاهرود تهیه شد و پس از انتقال به آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، قارچ‌های یکسان و هم‌اندازه و سالم جدا شدند و به‌منظور گرفتن گرمای مزرعه‌ای به شرایط تاریکی و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰٪ منتقل شدند. فاکتور اول، اسانس خوش‌اریزه در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ میکرولیتر در لیتر به‌صورت اسپری روی محصول صورت گرفت و سپس به مدت کوتاهی هوادهی شدند. به‌منظور یکنواختی در اجرای آزمایش نمونه‌های شاهد با آب مقطر استریل اسپری شدند. فاکتور دوم فیلم‌های بسته بندی پلی‌اتیلن با دانسیته پایین و فیلم‌های نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن-رس تولید شده در پژوهش قبل (Bodaghi et al., 2015) با ضخامت ۲۰ میکرومتر بودند. نفوذپذیری فیلم پلی‌اتیلن در برابر اکسیژن، دی‌اکسید کربن و بخار آب به‌ترتیب برابر با

نفوذپذیری غشا بر اساس میزان نشت الکترولیت با استفاده از روش Mao و همکاران (۲۰۰۷) انجام شد. برای این منظور دیسک‌هایی به قطر ۹ میلی‌متر از کلاهک قارچ‌ها برداشت شد. ۵ دیسک از هر کلاهک به فاکون پلاستیکی ۳۵ میلی‌لیتری حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه منتقل شد و عمل همزدن یکنواخت به مدت ۲۰ دقیقه توسط دستگاه شیکر انجام شد. هدایت الکتریکی اولیه (EC1) به وسیله دستگاه EC متر صورت گرفت. سپس فاکون‌ها در آب جوش به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شدند و پس از خنک‌شدن در دمای اتاق مجدداً هدایت الکتریکی آن‌ها قرائت شد (EC2). نشت الکترولیت بر اساس رابطه ۲ ذیل محاسبه شد:

$$(2) \quad (EC1 / EC2) \times 100 = \text{نشت الکترولیت (درصد)}$$

میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا (MDA^۱)

اندازه‌گیری میزان مالون دی آلدهید (MDA) بر اساس روش Meng و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد. حدود ۳ گرم از بافت کلاهک در ۱۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید ۵٪ (TCA) هموژنیزه شد و به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ g سانتریفیوژ شد. ۲ میلی‌لیتر از روشناور با ۲ میلی‌لیتر تیوباربیتریک اسید ۶۷٪ (TBA) مخلوط شده و تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه گرما داده شد سپس به سرعت سرد شده و به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ g سانتریفیوژ شده. سپس روشناور جمع‌آوری شده و میزان جذب به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Unico 2015, China) در طول موج‌های ۵۳۲، ۶۰۰ و ۵۴۰ نانومتر قرائت شد. مقدار MDA از طریق رابطه ۳ زیر محاسبه شد:

$$(3) \quad \text{MDA (mmolkg}^{-1}\text{)} = [6.45 \times (OD532 - OD600) - 0.56 \times OD450] \times Vt \times Vr / (Vs \times m)$$

Vt: حجم کل محلول عصاره

Vr: حجم محلول مخلوط واکنش

Vs: حجم کل عصاره موجود در محلول مخلوط واکنش

m: وزن نمونه

فعالیت آنزیم کاتالاز

ارزیابی فعالیت آنزیم کاتالاز در طول زمان نگهداری بر اساس روش Candan و همکاران (۲۰۰۳) در طول موج ۲۴۰ نانومتر انجام شد. سنجش در مخلوط واکنش شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم (pH 7)، ۱۰ میلی‌مولار H₂O₂ و عصاره آنزیمی صورت گرفت. یک واحد فعالیت کاتالاز به صورت مقدار آنزیمی که برای یک میکرومولار H₂O₂ در دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تجزیه می‌کند بیان شده است.

۱۹۲۳۱/۸۱ cc ml m⁻² day⁻¹ و ۴۱۱۱۵ cc ml m⁻² day⁻¹ و ۲/۲۱ g mm kpa⁻¹h⁻¹m⁻² و نفوذپذیری فیلم نانوکامپوزیت رس ۵ درصد در برابر اکسیژن، دی‌اکسید کربن و بخار آب برابر ۹۶۳۲/۲ cc ml m⁻² day⁻¹ ، ۲۲۱۲۲ cc ml m⁻² day⁻¹ و ۱/۹ g mm kpa⁻¹h⁻¹m⁻² بود. به منظور اندازه‌گیری نفوذپذیری فیلم‌ها در برابر اکسیژن و دی‌اکسید کربن با استفاده از دستگاه MONOCON, Millenapolis, MN و برای اندازه‌گیری نفوذپذیری در برابر بخار آب از دستگاه WVP tester, model 180-500 استفاده شد. در مرحله بعد قارچ‌های تکمهای به مقدار ۱۰۰ گرم در فیلم‌های مورد نظر به ابعاد ۲۰ × ۲۵ سانتی‌متر توسط دستگاه دوخت حرارتی بسته‌بندی و به شرایط دمایی ۱ ± ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰٪ منتقل شدند. بررسی صفات کیفی پس از برداشت در زمان‌های ۵ روز یک‌بار به مدت ۳۵ روز انجام شد. برای هر زمان و هر تکرار بسته‌های جداگانه در نظر گرفته شد که در نهایت ۱۲۶ بسته جداگانه تا پایان آزمایش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند.

صفات مورد بررسی

درصد کاهش وزن

برای ارزیابی کاهش وزن در طول دوره نگهداری، وزن بسته‌های قارچ تکمهای در تیمارهای مختلف در شروع آزمایش و در فواصل زمانی ۵ روزه به وسیله ترازوی دیجیتال ۰/۰۱ (SCALTEC، آلمان) انجام گرفت. اندازه‌گیری بدین صورت بود که نمونه‌های اولیه بلافاصله پس از بسته‌بندی در روز اول وزن شدند و در دمای ۵ درجه قرار گرفتند. در هر دفعه نمونه برداری وزن بسته‌ها ثبت گردید و از طریق رابطه ۱ زیر درصد کاهش وزن مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$(1) \quad \text{کاهش وزن} = 100 \times (w1 - w2) / w1$$

W1: وزن بسته‌ها در شروع آزمایش

W2: وزن بسته‌ها در هر مرحله نمونه‌برداری

سفتی بافت

سفتی بافت قارچ توسط دستگاه پنترومتر (سفتی‌سنج) (FT 011) بر حسب واحد نیوتن صورت گرفت. قرائت میزان سفتی بر اساس عمق نفوذ ۵ میلی‌متری پروب دستگاه به ضخامت ۵ میلی‌متر از بالا عمود بر مرکز کلاهک قارچ (در محلی که زیر آن پایه قارچ قرار می‌گیرد) صورت گرفت.

نشت الکترولیت (نفوذپذیری غشا)

نرم افزار فتوشاپ CC 2019 V20.0.4×64 portable به منظور ارزیابی مقادیر مذکور حاصل شده‌اند.

درصد بازشدن کلاهک‌ها قارچ‌ها و بازارپسندی کلی قارچ‌ها

در بسته‌بندی

معیار ارزیابی درصد باز شدن کلاهک‌ها بر اساس توسعه شکل چتر مانند کلاهک‌ها که همراه با بازشدن تیغه‌های زیرین کلاهک است در نظر گرفته شد (Gao et al., 2014). این پارامتر از رابطه (۵) محاسبه شد:

$$\%open\ caps = \frac{Noc}{Nt} \times 100 \quad (5)$$

Nt: تعداد کل قارچ‌ها در هر تیمار

Noc: تعداد قارچ‌ها با کلاهک باز شده

پذیرش یا مقبولیت کلی قارچ در پایان هر مرحله نگهداری، بر اساس رنگ، بافت و درصد کلاهک‌های باز شده با قضاوت ۵ نفر فرد آموزش دیده به عنوان داور در ۴ نقطه مقیاس انجام شد. این مقیاس‌ها شامل ۱=ضعیف=۲ نسبتاً خوب=۳ خوب و ۴=عالی بودند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. در این تحقیق تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد و سپس مقایسه میانگین صفات مورد بررسی به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

درصد کاهش وزن

افت وزن قارچ‌های بسته‌بندی شده تا روز پانزدهم اختلافات چشمگیری را نشان ندادند در صورتی که از روز پانزدهم تا پایان دوره نگهداری (روز سی و پنجم)، کاهش وزن در تمام بسته‌بندی‌ها با گذشت زمان افزایش نشان داد ($p < 0.05$) (شکل ۱-الف). بالاترین افت وزن در قارچ‌های بسته‌بندی شده در فیلم پلی‌اتیلن (۱۳/۶٪) و کمترین درصد کاهش وزن در قارچ‌های بسته‌بندی شده در فیلم نانوکامپوزیت با پوشش و بدون پوشش اسانس خوشایزه (NC)، (NC + 50) و (NC + 100) به ترتیب ۸/۳، ۸/۶ و ۸/۸ درصد مشاهده شد که از نظر آماری اختلافات معنی‌دار نداشتند ($p > 0.05$). در صورتی که کاهش وزن قارچ‌های تیمار شده و بسته‌بندی شده در فیلم پلی‌اتیلن بیشتر بود. دلیل کاهش وزن قارچ در دوره پس از برداشت از دست دادن آب است که یکی از عوامل مهم در کاهش کیفیت آن محسوب می‌شود. این

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بر اساس توانایی این آنزیم در ممانعت از احیای فتوشیمیایی کلرید نیتروترتروزولیوم آبی (NBT) در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از روش Candan و Beuchamp (۱۹۷۰) ارزیابی شد. شرایط دمایی انجام آزمایش ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود. مخلوط واکنش (۳ میلی‌لیتر) شامل NBT ۳۳ میکرومولار، ۱-متیونین ۱۰ میلی‌مولار، EDTA.Na₂ ۰/۶۶ میلی‌مولار و ۰/۰۳۳ میلی‌مولار ریوفلاوین در بافر فسفات پتاسیم ۰/۰۵ مولار (pH 7.8) بود. واکنش با افزودن ریوفلاوین تحت شرایط روشنایی ۳۰۰ میکرومولار بر مترمربع-ثانیه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد آغاز شد. میزان جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

بررسی جمعیت باکتری

ارزیابی جمعیت کل باکتری‌ها بر اساس روش Del Nobile و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد. به فواصل زمانی ۵ روز یک‌بار حدود ۲۵ گرم از بافت نمونه‌های قارچ از هر تیمار به صورت تصادفی برش داده شد و به ۲۲۵ میلی‌لیتر محلول نمکی ۰/۹ درصد منتقل شد. محلول‌های رقیق شده ۱/۱۰، ۱/۱۰۰ و ۱/۱۰۰۰ از محلول اولیه با رقیق‌سازی به وسیله محلول نمکی تهیه شد و سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول اولیه و رقیق‌شده‌ها بر محیط کشت باکتری (PCA) پخش گردید و به انکوباتور و شرایط دمایی ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت انتقال داده شد. سپس تعداد کلونی‌های باکتری تشکیل شده برای هر تیمار شمارش شدند و با واحد لگاریتم کلونی‌های تشکیل شده در واحد گرم (LOD CFU/g) گزارش شدند.

شاخص قهوه‌ای شدن (BI)

شاخص قهوه‌ای شدن (BI) که بیان کننده خلوص رنگ قهوه‌ای است (Palou et al., 1999) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد:

$$BI = [100(x - 0.31)] / 0.172 \quad (4)$$

و مقدار x از رابطه زیر محاسبه شد:

$$x = (a + 1.75L) / (5.645L + a - 3.012b) \quad (5)$$

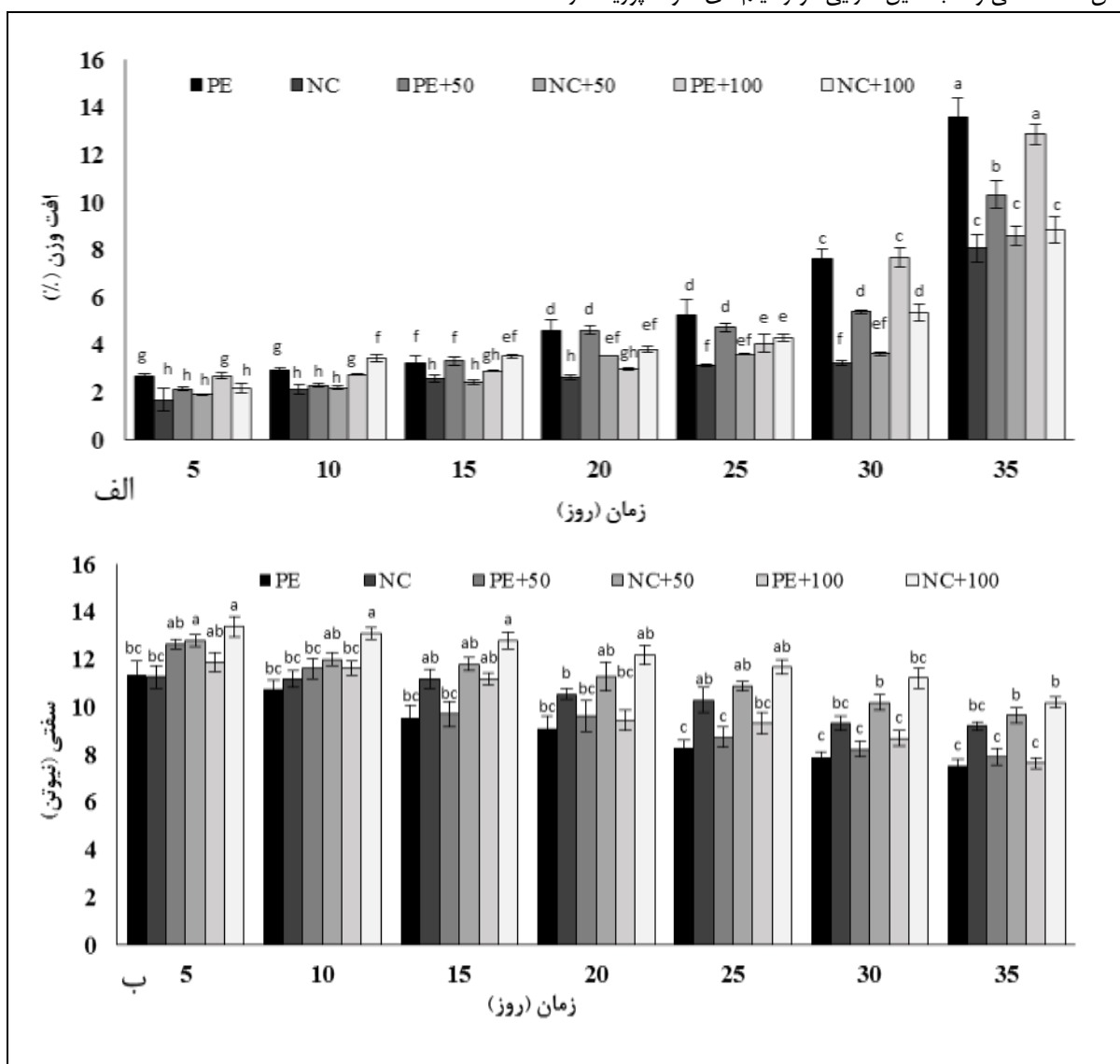
مقادیر L^* ، a^* ، b^* مولفه‌های رنگی هستند که این مقادیر با عکس‌برداری از سطوح کلاهک قارچ در هر زمان نمونه‌برداری در اتاقکی با نور ثابت و با استفاده از دوربین دیجیتال Canon SX20

ممانعت از خروج بخار آب و ایجاد اتمسفر تعدیل یافته مطلوب در فضای اتمسفر درونی داخل بسته‌ها باشد. یافته‌های ما با نتایج ارایه شده توسط Hu و همکاران (۲۰۱۱) همراستا بود.

سفتی بافت قارچ

سفتی بافت یکی از شاخص‌های مهم تعیین‌کننده کیفیت قارچ است و نشان‌دهنده تغییرات متابولیکی و تغییرات محتوای بافت قارچ است. نرم شدن بافت کلاهک در تمامی قارچ‌های بسته‌بندی شده با گذشت زمان افزایش نشان داده است (شکل ۱-ب).

پدیده به علت ساختار اپیدرمی نازک قارچ است که توانایی ممانعت از دفع سریع آب از سطوح بافت را ندارد. پوشش اسانس بر سطوح بافت قارچ، چروکیدگی و کاهش کیفیت قارچ‌ها را به وضوح به تاخیر انداخت. این نتایج با گزارش‌های Gao و همکاران (۲۰۱۴) همراستا بود. آن‌ها نیز اثر اسانس‌ها بر جلوگیری از کاهش وزن را در قارچ شیتاکه گزارش کرده‌اند. از طرف دیگر با توجه با نفوذپذیری کمتر فیلم‌های نانوکامپوزیتی در برابر گازها، میزان تبخیر آب از سطوح بافت قارچ نسبت به فیلم‌های پلی‌اتیلنی کاهش یافته است. استفاده و عدم استفاده از اسانس خوشاریزه بر قارچ‌های بسته‌بندی شده در فیلم‌های نانوکامپوزیت اثر معنی‌دار بر کاهش افت وزن در طول دوره نگهداری نشان نداد که می‌تواند به دلیل کارایی موثر فیلم‌های نانوکامپوزیت در



شکل ۱- تاثیر نوع بسته‌بندی و پوشش خوراکی اسانس خوشاریزه بر کاهش وزن (الف) و سفتی بافت (ب) قارچ تکمهای در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد طی ۳۵ روز نگهداری

نرم شدن بافت، در قارچ‌های بسته‌بندی شده با فیلم‌های نانوکامپوزیت رس نسبت به فیلم‌های پلی‌اتیلنی به تأخیر افتاد هم‌چنین پوشش اسانس خوش‌بویزه بر قارچ‌های بسته‌بندی شده در فیلم‌های نانوکامپوزیتی نسبت به فیلم‌های پلی‌اتیلنی اثر قابل توجهی بر کاهش پارامتر سفتی بافت در واحد زمان نشان داد به‌نحوی که بیشترین مقدار نرم‌شدن در قارچ‌های بسته‌بندی شده در PE, PE +50, PE +100 به‌ترتیب به میزان ۷/۵۵، ۷/۹، ۷/۶۴ نیوتن و کمترین مقدار آن در تیمار NC+ 100 به میزان ۱۰/۲ نیوتن مشاهده شد.

با پیشرفت مراحل رسیدگی و عمر میوه، شدت تنفس محصول افزایش پیدا می‌کند که سبب ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در بافت محصول می‌شود. تخریب دیواره سلولی و نرم شدن بافت میوه از مهم‌ترین این تغییرات هستند (Jooste, 2002). نرم شدن و یا کاهش سفتی در طول پس از برداشت میوه‌ها نیز به دلیل ایجاد تغییراتی در غشا اتفاق می‌افتد. از طرف دیگر تغییرات بافت وابسته به تخریب پروتئین و پلی‌ساکاریدها، شکستن واکوئل‌ها و گسترش مواد ذخیره شده در واکوئل در فضای بین سلولی است (Galvis-Sanchez et al., 2003). تخریب ساختار بین سلولی و کاهش حجم واکوئل مرکزی می‌تواند با افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها بر بافت قارچ نیز مرتبط باشد که در نهایت فساد میکروبی و کاهش فشار آماس سلولی را به‌همراه دارد (Zivanovic et al., 2000). امکان این نوع نرم شدن بافت در بسته‌بندی‌های بدون اسانس به‌وضوح مشاهده شد. در صورتی که اسانس خوش‌بویزه با کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های عامل فساد به ویژه باکتری‌ها، به‌طور موثر از کاهش سفتی بافت مانع کرده است علاوه بر این استفاده از اسانس‌های خوراکی می‌تواند تا حدی از فعالیت آنزیم‌های تخریب کننده دیواره سلولی جلوگیری کند این نتایج با گزارش‌های Jiang و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. آن‌ها اثر مثبت اسانس آویشن و میخک هندی بر حفظ سفتی کلاهدک قارچ تکمه‌ای را بیان کرده‌اند. محافظت از سفتی بافت در قارچ‌های بسته‌بندی شده در فیلم‌های نانوکامپوزیت می‌تواند به‌علت کاهش نفوذپذیری حاصل از حضور نانوذرات رس باشد که خواص سدکنندگی پلیمر پلی‌اتیلن خالص را بهبود بخشیده است. بنابراین با کاهش میزان نفوذپذیری و در پی آن کاهش فعالیت‌های متابولیکی تخریب دیواره‌های سلول و نرم‌شدن به تأخیر افتاده است. نتایج مشابه در استفاده از فیلم‌های بسته‌بندی متفاوت و فیلم‌های نانوکامپوزیتی در کاهش میزان نرم شدن بافت میوه گلابی در پژوهش‌های Nath و همکاران (۲۰۱۲) و Ghasimi Hagh و Bodaghi (۲۰۱۹) گزارش شده است

نفوذپذیری غشا و مقدار MDA

نفوذپذیری غشای سلولی، به‌عنوان شاخصی از پایداری و سلامت غشای سلولی، از طریق اندازه‌گیری نشت الکترولیت و میزان اکسیداسیون لیپیدها با سنجش محتوای MDA در طول دوره نگهداری

قارچ‌ها ارزیابی شد. همانطور که در شکل‌های ۲-الف و ب مشاهده می‌شود نشت الکترولیت و محتوای MDA در تمام بسته‌بندی‌ها با افزایش دوره نگهداری روند افزایشی داشته است. البته از روز پانزدهم تا پایان دوره نگهداری، روند افزایشی بیشتر بوده است. در کل دوره نگهداری، کمترین مقدار نشت الکترولیت و محتوای MDA در بسته‌بندی NC + 100 مشاهده شد به‌طوری که کمیت این پارامترها در این بسته‌بندی با روز ۲۵ یادداشت برداری در بسته‌بندی پلی‌اتیلن برابری کرد. بررسی اثر پوشش اسانس خوش‌بویزه در بسته‌بندی‌ها نشان داد که اسانس توانسته است در کاهش میزان نشت الکترولیت و محتوای مالون دی آلدهید در هر دو نوع بسته‌بندی با هر دو غلظت مصرفی اثرگذار باشد ولی نتایج بهتر با غلظت ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر حاصل شد (شکل ۲-الف و ب). تغییر در نفوذپذیری غشا و محتوای مالون دی آلدهید بیان‌گر آسیب‌های غشایی است زیرا با صدمه اکسیداتیو سلولی محتوای MDA که محصول پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی است، افزایش می‌یابد (Xu et al., 2009). در تایید این نتایج می‌توان به مطالعه Xing و همکاران (۲۰۱۱) اشاره کرد. آن‌ها نقش مثبت اسانس دارچین در حفظ پایداری غشا و تأخیر در تجزیه دیواره سلولی را به‌دلیل کنترل آلودگی‌های میکروبی و شدت تنفس محصول فلفل دلمه‌ای و در پی آن بهبود صفات کیفی پس از برداشت ابراز نمودند.

فعالیت آنزیم کاتالاز

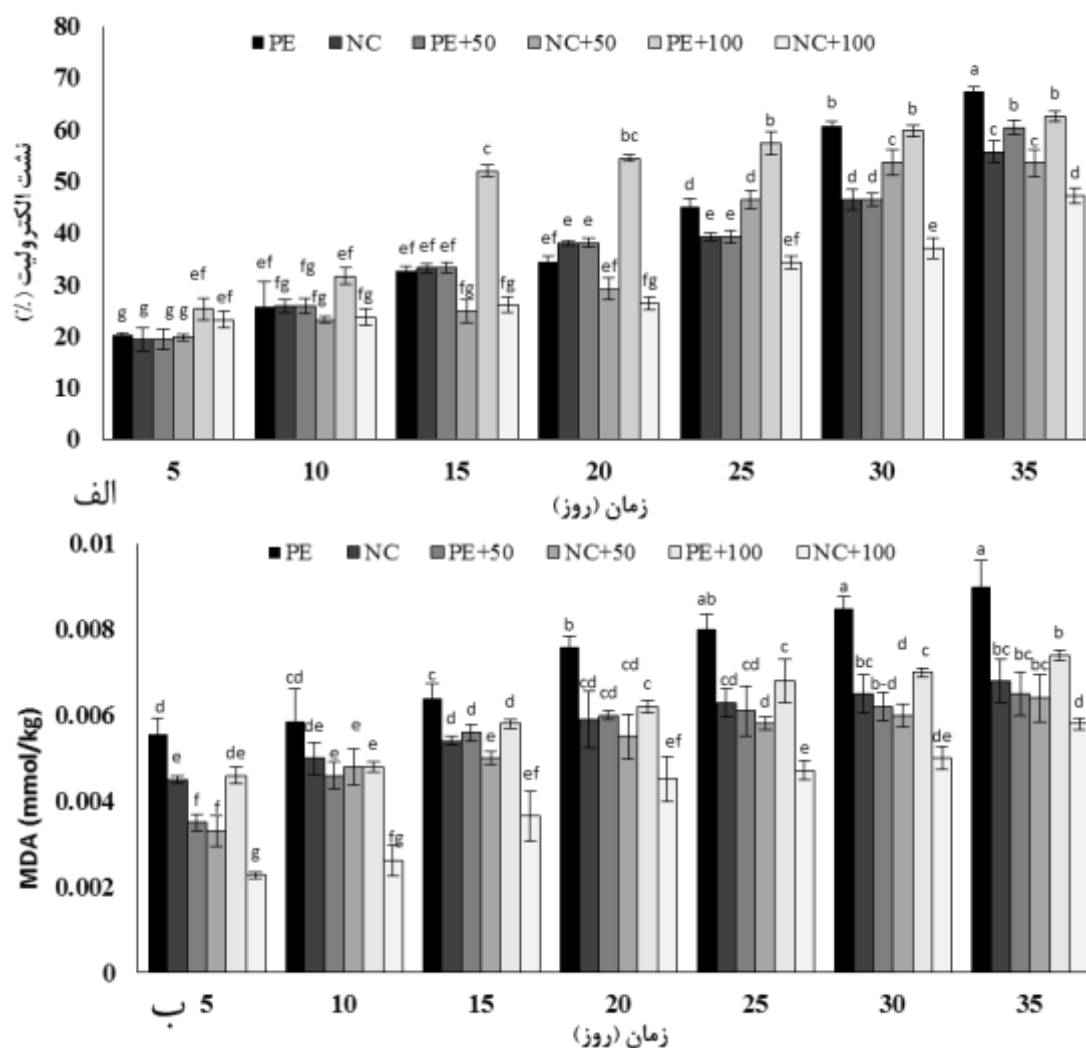
بررسی تغییرات فعالیت آنزیم کاتالاز، که بیانگر میزان تجزیه آب اکسیژنه (H_2O_2) به آب و اکسیژن است، در بسته‌بندی‌های پلی‌اتیلنی و نانوکامپوزیت با پوشش اسانس خوش‌بویزه نشان داد که هر چند در طول دوره نگهداری روند افزایشی داشته است ولی افزایش فعالیت این آنزیم از روز پانزدهم شدت گرفته است و در بسته‌بندی پلی‌اتیلنی این آنزیم از روز سی‌ام کاهش فعالیت نشان داده است (شکل ۳-الف) که می‌تواند ناشی از کاهش فعالیت این آنزیم در تجزیه H_2O_2 و به‌دلیل وقوع فرایند پیری در نمونه‌های قارچ بسته‌بندی شده در فیلم‌های پلی‌اتیلنی باشد. در حالیکه فعالیت آنزیم کاتالاز در هر دو نوع بسته‌بندی با غلظت ۵۰ میکرولیتر در لیتر اسانس خوش‌بویزه از روز بیست و پنجم فعالیت ثابتی داشته است، با غلظت ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر فعالیت آنزیم کاتالاز همچنان روند رو به بالایی داشته به‌طوری که در انتهای دوره فعالیتش در بسته‌بندی نانوکامپوزیت به همراه غلظت بالای اسانس حدود ۲/۳۵ برابر نسبت به پلی‌اتیلن بوده است (شکل ۳-الف). فعالیت بیشتر آنزیم کاتالاز در قارچ‌های بسته‌بندی شده در فیلم‌های نانوکامپوزیت و پوشش داده شده با اسانس خوش‌بویزه نشان‌دهنده به تأخیر افتادن فرایند زوال و پیری در بافت قارچ‌ها است. سلول‌های هوازی گیاه در برابر تنش تولید گونه‌های فعال اکسیژن مثل H_2O_2 می‌کنند که مسمومیت آن‌ها توسط هر دو نوع سیستم آنتی اکسیدانت آنزیمی و غیرآنزیمی رفع می‌شود. فعالیت کاتالاز در برابر تنش‌ها در گیاهان به‌صورت سیستم

وجود فعالیت آنزیم SOD در قارچ‌های بسته‌بندی شده با فیلم‌های نانوکامپوزیت و پوشش داده شده با اسانس خوشاریزه بالاتر از فیلم‌های پلی‌اتیلنی بود. این آنزیم به‌عنوان یکی از آنزیم‌های اساسی در حذف رادیکال‌های O_2^- و کاتالیز آن‌ها به H_2O_2 و O_2 عمل می‌کند. در راستای مطالعات انجام شده درباره قارچ شیتاکه (Jiang *et al.*, 2015) پوشش‌دار کردن قارچ‌ها با اسانس میخک هندی و دارچین فعالیت آنزیم SOD را در مقایسه با قارچ‌های بدون پوشش افزایش داد.

دفاعی افزایش می‌یابد. از اینرو کاتالاز روند تجزیه آب اکسیژنه به اکسیژن و آب را مدیریت می‌کند (Kavita *et al.*, 2001).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

بر اساس نتایج (شکل ۳-ب)، فعالیت آنزیم SOD در بسته‌بندی های قارچ تکمه ای تا روز بیستم نگهداری یک روند افزایشی داشته است در حالیکه پس از آن تاریخ تا پایان دوره نگهداری در تمام بسته‌بندی‌ها فعالیت آنزیم کاهش محسوسی را نشان داده است. با این



شکل ۲- تاثیر نوع بسته‌بندی و پوشش خوراکی اسانس خوشاریزه بر نشت الکترولیت (الف) و محتوای MDA (ب) قارچ تکمهای در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد طی ۳۵ روز نگهداری

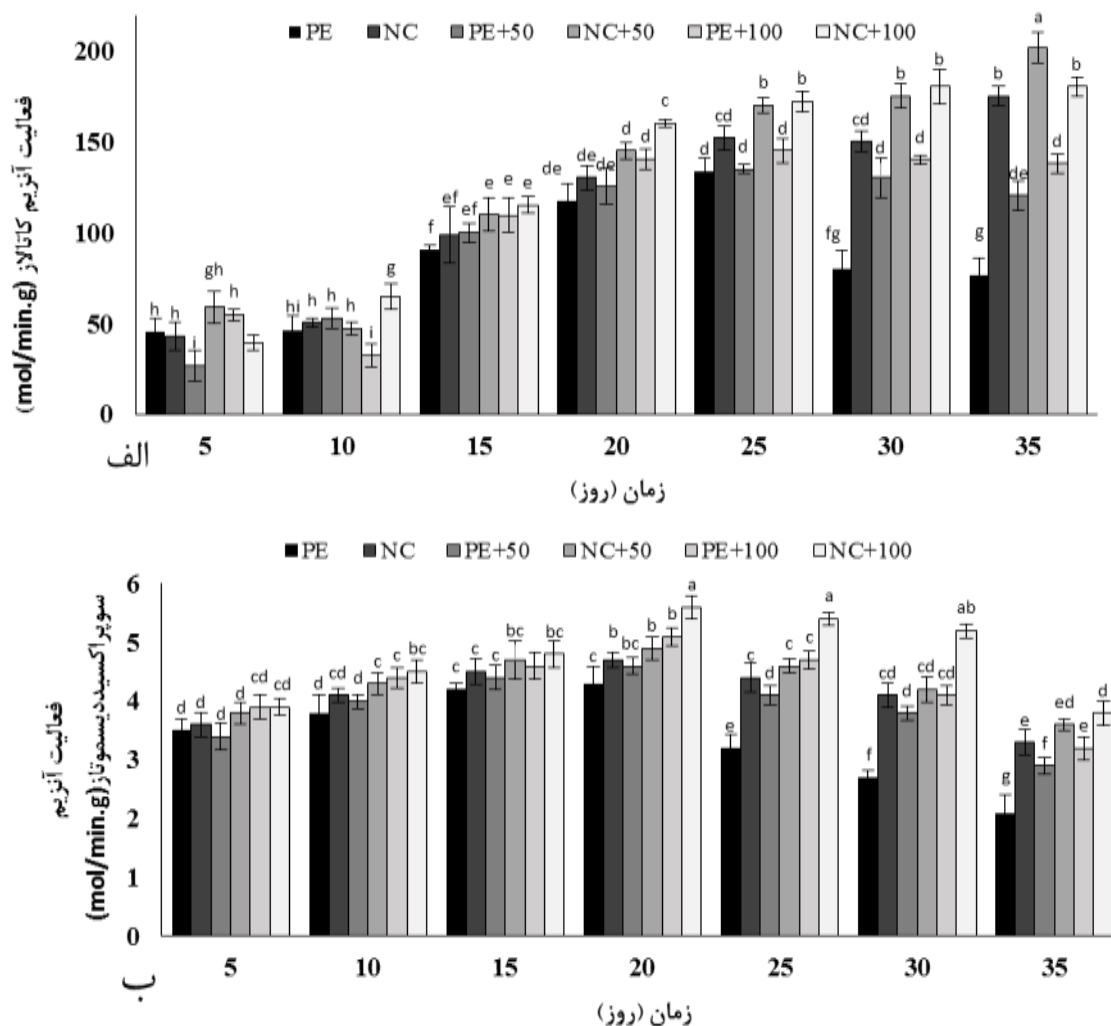
بسته‌بندی پلی‌اتیلن از همان روز پنجم نسبت به همه بسته‌بندی‌ها بالا بود. این نسبت تا پایان دوره نگهداری تغییری نکرده است. با پوشش اسانس خوشاریزه در بسته‌بندی پلی‌اتیلنی و نانوکامپوزیت رس مشاهده شد که این پوشش شدت رشد جمعیت میکروبی را نسبت به بسته‌بندی

جمعیت میکروبی

بررسی نتایج کشت میکروبی قارچ های بسته‌بندی شده نشان داد که جمعیت میکروبی در بسته‌بندی‌ها با افزایش طول دوره نگهداری افزایش داشته است (شکل ۴-الف). تکثیر جمعیت میکروبی در

میخک هندی، دارچین و آویشن را بر کنترل میکروارگانیسم‌هایی از قبیل باکتری مزوفیلیک، سودوموناس، سایکروفیلیک و مخمر گزارش کرده‌اند. اثرات ضد میکروبی ترکیبات طبیعی به خوبی شناخته شده است و مکانیسم عمل آن‌ها مرتبط با از دست رفتن یکپارچگی و پایداری غشای سلول است (Bagamboula et al., 2004).

پلی اتیلنی کاهش داده است. بیشترین ممانعت از رشد جمعیت میکروبی با استفاده از اسانس با غلظت ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر در هر دو نوع بسته‌بندی مشاهده شد. هر چند اسانس در بسته‌بندی‌ها مانع رشد جمعیت میکروبی شده است ولی بسته‌بندی نانوکامپوزیت رس با غلظت بالای اسانس توانسته بیشترین تاثیر را در ممانعت از رشد جمعیت میکروبی داشته باشد. Gao و همکاران (۲۰۱۴) نیز اثرات اسانس‌های



شکل ۳- تاثیر نوع بسته‌بندی و پوشش خوراکی اسانس خوشاریزه بر فعالیت آنزیم کاتالاز (الف) و آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (ب) قارچ تکمه‌ای در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد طی ۳۵ روز نگهداری.

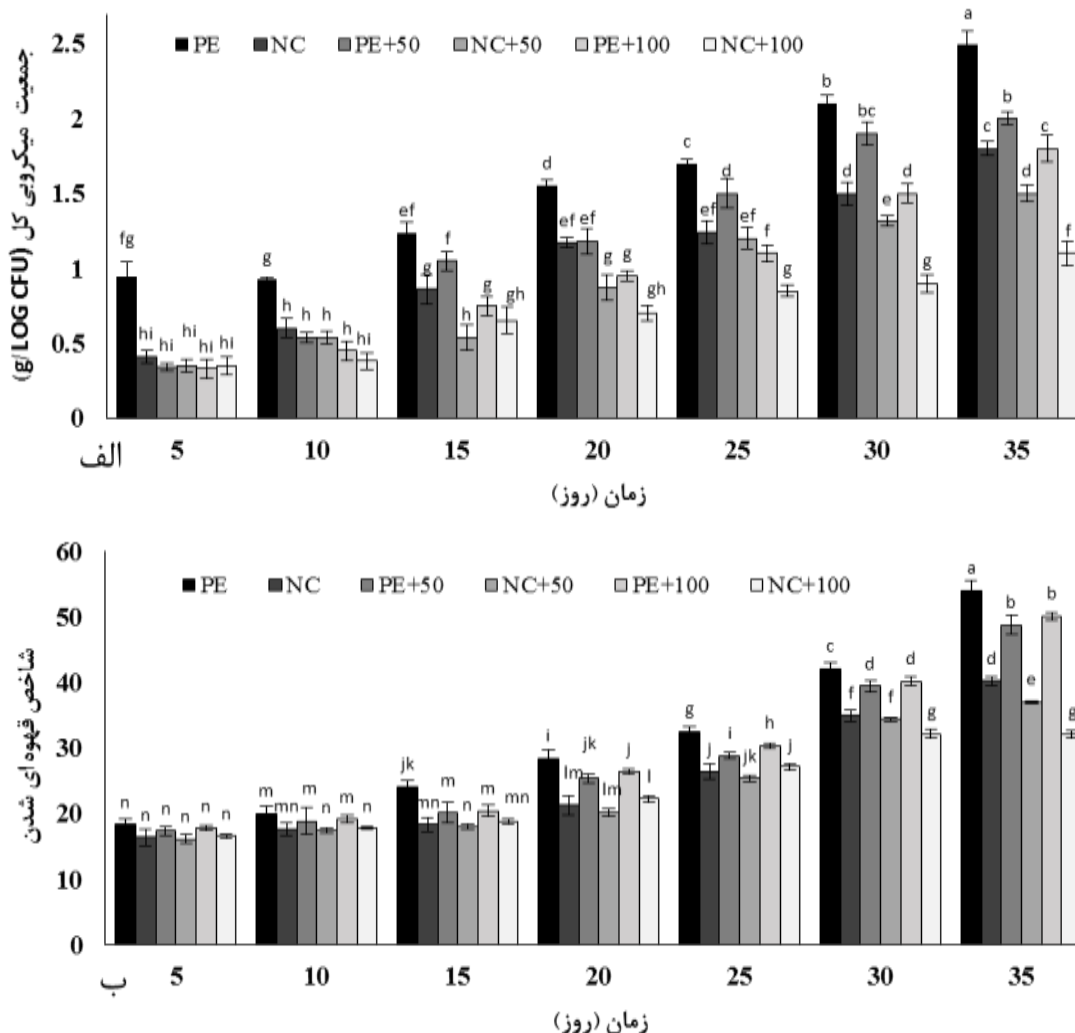
است ولی اسانس خوشاریزه در کاهش قهوه‌ای شدن کلاhek قارچ‌های تکمه‌ای تاثیر معنی داری داشته است (شکل ۴-ب). یکی از علل قهوه‌ای شدن افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در طول دوره نگهداری است. تخریب سلولی و خروج ترکیبات فنولی از واکوتل به سیتوپلاسم که مکان حضور این آنزیم است و فراهم شدن اکسیژن شرایط افزایش فعالیت این آنزیم و سپس اکسید شدن ترکیبات فنلی و تجمع ترکیبات قهوه‌ای رنگ ملانین را فراهم می‌آورد. به نظر می‌رسد

شاخص قهوه‌ای شدن کلاhek

از شاخص‌های مهم در عرضه محصول قارچ تکمه‌ای در بازار رنگ کلاhek قارچ‌ها است که هرچه‌قدر سفیدتر باشد بازارپسندی بیشتری دارد. نتایج شاخص قهوه‌ای شدن کلاhek قارچ‌ها در بسته‌بندی‌ها نشان داد که قهوه‌ای شدن در تمام بسته‌بندی‌ها با افزایش دوره نگهداری افزایش یافته است. هرچند روند افزایش قهوه‌ای شدن در بسته‌بندی‌های نانوکامپوزیت نسبت به پلی‌اتیلنی با تاخیر صورت گرفته

فعالیت آنتی اکسیدانی این ترکیبات به خوبی شناخته شده است. این امکان وجود دارد که اسانسهای طبیعی از دهیدراسیون و تجمع پلیمرهای قهوه‌ای که عامل قهوه‌ای شدن بافت قارچ است جلوگیری کنند (Gao et al., 2014).

که فیلم‌های نانوکامپوزیتی در مقایسه با فیلم‌های پلی اتیلنی نفوذپذیری نسبت به اکسیژن را کاهش داده و فعالیت کمتر این آنزیم باعث کاهش قهوه‌ای شدن کلاهایک‌های قارچ شده است. از طرف دیگر پوشش اسانس خوشاریزه نیز سرعت قهوه‌ای شدن را کاهش داده است. شواهد عینی در مورد نقش این ترکیبات طبیعی در این زمینه وجود ندارد اما



شکل ۴- تاثیر نوع بسته‌بندی و پوشش خوراکی اسانس خوشاریزه بر جمعیت میکروبی (الف) و شاخص قهوه‌ای شدن (ب) قارچ تکمهای در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد طی ۳۵ روز نگهداری

قارچ‌ها را به طور معنی‌دار ($p < 0.05$) به تاخیر بیندازد (شکل ۵-الف). برخی پژوهشگران بیان کرده‌اند که باز شدن کلاهایک قارچ با کاهش غلظت اکسیژن و افزایش دی اکسیدکربن کاهش می‌یابد (Villaescusa and Gil., 2003). همان‌طور که شکل ۵-الف نشان داده شده است باز شدن کلاهایک قارچ‌های بسته بندی شده در فیلم نانوکامپوزیتی حاوی رس نسبت به بسته‌بندی پلی اتیلنی با پوشش و عدم پوشش اسانس کمتر بوده است. میزان تأثیر نوع بسته‌بندی نانوکامپوزیتی حاوی رس بر این پارامتر به توانایی نانوذرات رس موجود

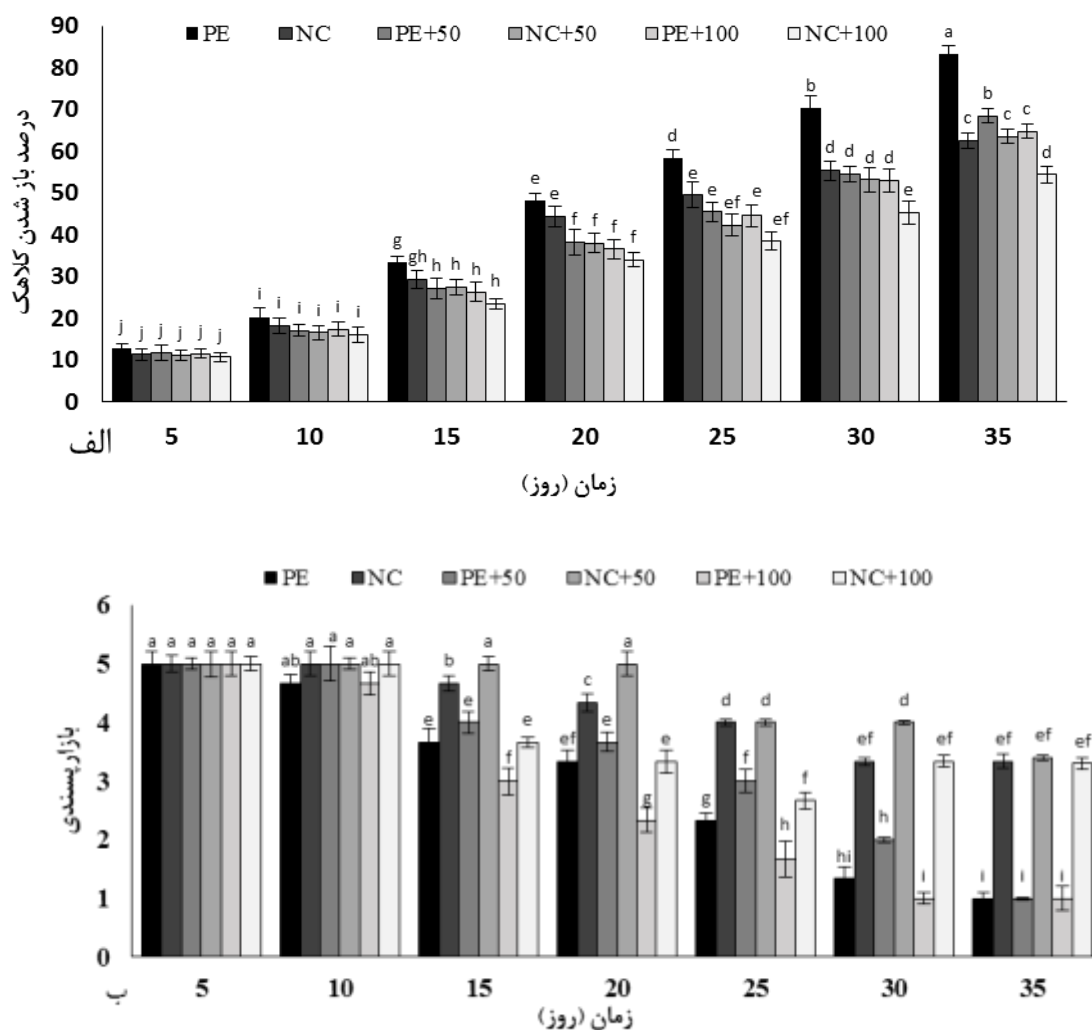
باز شدن کلاهایک قارچ‌ها

از مهم‌ترین علائم کیفیت و تازگی قارچ‌های تکمهای عدم باز شدن کلاهایک است. باز شدن کلاهایک قارچ یکی از معیارهای پایین آمدن عمر و کیفیت قارچ است که به طور معمول از نشانه‌های بارزی است که هر خریداری آن را بررسی می‌کند. بررسی نتایج باز شدن کلاهایک قارچ‌های بسته‌بندی شده نشان داد که با افزایش مدت زمان نگهداری باز شدن کلاهایک قارچ‌ها نیز افزایش پیدا کرده است. اما استفاده از فیلم‌های بسته‌بندی و اسانس خوشاریزه توانست باز شدن کلاهایک

بازار پسندی

تحقیقات پس از برداشت برای حفظ طولانی مدت بازارپسندی محصول صورت می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۵-ب نشان داده شده است، با توجه به نظر داوران در ارزیابی حسی در تمام بسته‌بندی‌ها، با افزایش دوره نگهداری، بازارپسندی کاهش یافته است. بازارپسندی قارچ‌ها در بسته‌بندی پلی‌اتیلنی نسبت به نانوکامپوزیتی حاوی رس از روز بیستم کاهش معنی‌داری داشته است در حالیکه بازارپسندی قارچ‌ها در بسته‌بندی نانوکامپوزیتی و پوشش‌های اسانس خوش‌بازریزه تا پایان روز سی و پنجم از مقبولیت بیشتری برخوردار بوده‌اند. این نتایج بیان می‌کند که کاربرد فیلم‌های نانوکامپوزیتی و پوشش‌دادن قارچ‌های تکمهای با اسانس خوش‌بازریزه به نحو کارآمد زوال قارچ‌ها را در ارزیابی حسی به‌تأخیر انداخته است. تصاویر قارچ‌ها در بسته‌بندی فیلم‌های پلی اتیلن و نانوکامپوزیت پلی اتیلن-رس و همچنین قارچ‌های بسته‌بندی شده با پوشش و عدم پوشش اسانس خوش‌بازریزه در شکل ۶ ارائه شده است.

در بستر پلی‌اتیلن در کاهش نفوذپذیری گازی برمی‌گردد چرا که بیشترین کنترل تبادل گازی را در ساختار خود دارد. باز شدن کلاهک مربوط به خشک شدن بافت کلاهک است که در پی کاهش میزان آب در حین نگهداری اتفاق می‌افتد. کاهش محتوای آب سلولی، نیروی چسبندگی مولکول‌های آب به سایر مولکول‌های آب‌دوست از قبیل پروتئین را که باعث حفظ ساختار کلاهک و تیغه‌های آن می‌شود، کاهش می‌دهد (Gao et al., 2014). به‌نظر می‌رسد که فیلم‌های نانوکامپوزیتی با محدود کردن هدر رفت آب سلول‌ها توانایی بیشتری نسبت به فیلم‌های پلی‌اتیلنی در به‌تأخیر انداختن باز شدن کلاهک داشته باشند. از طرفی پوشش‌های اسانس به‌عنوان یک عامل نیمه نفوذپذیر نیز از اتلاف آب ممانعت به‌عمل آورده‌اند. این نتایج با گزارش‌های Abad Ullah و همکاران (۲۰۱۷) که توانایی پوشش ژل آلوت‌ه‌ورا و اسانس دارچین را در ممانعت از اتلاف آب بافت میوه‌های فلفل دلمه‌ای گزارش کرده‌اند، همراستا است.



شکل ۵- تاثیر نوع بسته بندی و پوشش خوراکی اسانس خوشاریزه بر درصد باز شدن کلاهک (الف) و بازارپسندی (ب) قارچ تکمه‌ای در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد طی ۳۵ روز نگهداری



شکل ۶- (الف) فیلم‌های استفاده شده در بسته‌بندی قارچ‌ها شامل فیلم نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن-رس (راست) و فیلم پلی‌اتیلن (چپ). (ب) قارچ‌های بسته‌بندی شده در روز ۳۰ ام در ردیف بالا از چپ به راست PE، PE+50، PE+100 و در ردیف پایین NC، NC+50 و NC+100.

نتیجه‌گیری

متابولیسم از قبیل شدت تنفس اتمسفر بهتری در بسته‌بندی محصول ایجاد کرد و با ممانعت از کاهش محتوای آب سلولی و نرم شدن بافت، کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های عامل فساد و حفظ فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی توانست ویژگی‌های کیفی و بازارپسندی قارچ‌های بسته‌بندی شده را برای مدت زمان بیشتری حفظ کند. همچنین، استفاده از اسانس خوشاریزه به عنوان یک ماده طبیعی گیاهی با دارا بودن خواص ضد میکروبی و کاهش نفوذپذیری نسبی، پتانسیل استفاده به عنوان ماده نگهدارنده در پس از برداشت محصولات را دارد.

نتایج این تحقیق بیانگر آن است که هر چند برای ممانعت بهتر از پیری و آلودگی قارچ تکمه‌ای در دوره نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد استفاده از اسانس خوشاریزه در بسته‌بندی پلی‌اتیلنی می‌تواند موثر باشد ولی تغییر در ساختار بستر پلی‌اتیلن با افزودن ۵ درصد نانورس برای افزایش دوره نگهداری قارچ‌ها با حفظ ویژگی‌های کمی و کیفی نتایج بسیار مطلوبی داشت. بنابراین استفاده از نانوذرات رس در پلی‌اتیلن با افزایش مقدار نفوذپذیری در برابر گازها و کاهش فعالیت‌های

منابع

- Abad Ullah, Abbasi, N.A., Shafique, M., Qureshi, A.A., 2017, Influence of edible coating on biochemical fruit quality and storage life of bell pepper cv. Yolo wonder. *Journal of food quality* (Hindawi), <https://doi.org/10.1155/2017/2142409>.
- Ares, G., Lareo, C., Lema, P. 2007. Modified atmosphere packaging for postharvest storage of mushrooms. A review. *Fresh Produce*, 1(1), 32-40.
- Bagamboula, C.F., Uyttendaele, M., & Debevere, j., 2004, Inhibitory effect of thyme and basil essential oils, cavacrol, thymol, estragol, linalool and p-cymene towards *Shigella sonnei* and *S. flexneri*, *Food microbiology*, 21, 33-42.
- Beuchamp, C., & Fridovich, L., 1971, Superoxide dismutase: Improved assays and an assay application to acrylamide gels. *Analytical biochemistry*, 44, 276-287.
- Bodaghi, H., Ghasimi Hagh, Z., 2019, Application of clay-TiO₂ nanocomposite packaging films on pears (*Prunus communis* L. cv. Williams) under cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 2377-2388.
- Bodaghi, H., Mostofi, Y., Oromiehie, A., Ghanbarzadeh, B. & Ghasimi Hagh, Z., 2015, Synthesis of clay-TiO₂ nanocomposite thin films with barrier and photocatalytic properties for food packaging application. *Journal applied polymer Science*, 10(132), 1-8.
- Candan, N., & Tarhan, L., 2003, Relationship among chlorophyll-carotenoid content, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation level by Mg⁺² deficiency in the *Menta pulegium* leaves. *Plant physiology and biochemistry*, 41, 35-40.
- De Azeredo, H.M.C., 2009, Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International*, 42(9), 1240-1253.
- Del Nobile, M. A., Conte, A., Scrocco, C., Laverse, J., Brescia, I., Conversa, G., & Elia, A., 2009, New packaging strategies to reserve fresh-cut artichoke quality during refrigerated storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10, 128-133.
- Entezari, M., 2009, Studying the effect Echinophora platyloba extract on bactira (*Staphilococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*) and fungi (*Candidia albicans*, *Aspergillus flavus* and *Aspergillus niger*) in vitro. *World Journal Medical Scences*, 4(2), 89-92.
- Galvis-Sanchez, A.C., Fonseca, S.C., Morais, A.M.M.B., Malcata, F.X., 2003. Physicochemical and sensory evaluation of 'Rocha' pear following controlled atmosphere storage. *Journal of food science*, 68, 318-327.

- Gao, M., Feng, L., Jiang, T., 2014, Browning inhibition and quality preservation of botton mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment. *Food chemistry*, 149, 104-113.
- Hu, Q., Fang, Y., Yang, Y., Ma, N., Zhao, L., 2011, Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. *Food Research international Journal*, 44, 1589-1596.
- Jiang, T., Luo, Z., Ying, T., 2015, Fumigation with essential oils improves sensory quality and enhanced antioxidant ability of shittake mushroom (*Lentinus edodes*). *Food chemistry*, 172, 692-698.
- Jooste, M.M., 2002, Optimum harvest maturity and cold-storage duration for *Prunus armeniaca* L. cvs. Supergold and imperial cultivated in South Africa. *SA Fruit Journal*, 71, 63-71.
- Kavita, S., Ritambhara, G.K., Shalini, V. and Dubey, R.S., 2001, Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant science*, 3(2), 23-35.
- Kim, K.M., A Ko, J., Lee, J.S., Park, H.J., Hanna, M.H. 2006. Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms. *LWT-Food Science and Technology*, 39(4), 365-372.
- Mao, L. C., Wang, G. Z., Zhu, C. G., Pang, H. Q., 2007, Involvement of phospholipase D and lipoxygenase in response to chilling stress in postharvest cucumber fruits. *Plant science*, 172, 400-405.
- Meng, X. Y., Zhang, M., Adhikari, B., 2012, Extending shelf-life of fresh-cut green peppers using pressurized argon treatment. *Postharvest biology and technology*, 71, 13-20.
- Nath, A. Bidyut, C., Sing, A., Patel, R. K., Paul, D., Misra, L.K. Ojha, H., 2012. Extension of shelf life of pear fruits using different packaging materials. *Journal of food science and technology*, 49(5), 556-563.
- Nerya, O., Ben-Arie, R., Luzzatto, T., Musa, R., Khativ, S., Vaya, J., 2006, Prevention of *Agaricus bisporus* postharvest browning with tyrosinase inhibitors. *Postharvest Biology and Technology*, 39(3), 272-277.
- Li, X., Li, Y., Zhang, L., Wang, X., 2010, Effects of modified atmosphere packaging of PE film with different thickness on quality of *Pleurotus nebrodensis*. *Advanced Materials Research*, (156-157), 371-374.
- Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canova, G.V., Weltri-Chanes, J., & Swanson, G.B., 1999, Polyphenoloxidase activity and colour of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of food science*, 64, 42-45.
- Pereira de Abreu DA., Paseiro Losada P., Angulo I. and Cruz JM. 2007. Development of new polyolefin films with nanoclays for application in food packaging. *Eur. Polym. J.* 43: 2229-2243.
- Rahimi-Nasrabadi, M., Gholivand, M.B., Vatanara, A., pourmohamadian, S., Rouholamini-Najafabadi, A., Batooli, H., 2012, Comparison of essential oil composition of eucalyptus oleosa obtained by supercritical carbon dioxide and hydrodistillation. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 18(4), 318-330.
- Regnier, T., Combrinck, S., Plooy, W., Botha, B., 2010, Evaluation of *Lippia scaberrima* essential oil and some pure terpenoid constituents as postharvest mycobiocides for avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 176-182.
- Taghizadeh, M., Gowen, A., Ward, P. & O'Donnell, C.P., 2010, Use of hyperspectral imaging for evaluation of the shelf-life of fresh white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) stored in different packaging films. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(3), 423-431.
- Villaescusa, R., & M. Gil., 2003, Quality improvement of *Pleurotus* mushrooms by modified atmosphere packaging and moisture absorbers. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1), 169-179.
- Xing, Y., Li, X., Xu, Q., Yun, J., Lu, Y., Tang, Y., 2011, Effect of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L). *Food chemistry*, 124, 1443-1450.
- Xing, Z. 2008, Effect of different packaging films on postharvest quality and selected enzyme activities of *Hypsizygus marmoreus* mushrooms. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(24), 11838-11844.
- Xu, W.T., Peng, X.L., Luo, Y.B., Wang, J., Guo, X., & Huang, K.L., 2009, Physiological and biochemical responses of grape fruit seed extract dip on redglobe grape. *LWT-Food science and technology*, 42, 471-476.
- Zivanovic, S., Buescher, R.W., & Kim, K.S., 2000, Textural changes in mushroom (*Agaricus bisporus*) associated tissue ultrastructure and composition. *Journal of food science*, 65, 1404-1408.



Improving postharvest quality of button mushroom (*Agaricus bisporus*) using polyethylene-clay nanocomposite packing and *Echinophora cinerea* essential oil coating

S. Hamzeh-kalkenari, H. Bodaghi*, Z. Ghasimi Hagh

Received: 2019.09.26

Accepted: 2020.02.10

Introduction: Button mushrooms are the main edible mushrooms in Iran and the most important quality indicators of this fungus are the whiteness, having a glossy cap, straight stem, lack of brown spots. The mushroom has a higher respiration rate than other horticultural products and, due to the lack of natural protective cover to prevent water loss, its edible quality is rapidly lost. In the last decade, the use of polyethylene films to create a modified atmosphere and natural essential oils to extend the shelf life of crops has been greatly expanded. Mushrooms packaging Polymeric nanocomposites are two-phase systems comprising a polymeric matrix and inorganic nanoparticles. Clay nanoparticles are among the most widely studied nanoparticles. When added to the nanocomposite films, the clay nanoparticles increase the film strength and decrease the permeability of the nanocomposite film. Also, the incorporation of natural essential oils can greatly increase the post-harvest life and prevent deterioration. Recently, essential oils have been widely used in various fields after harvesting fruits, flowers, and vegetables. So far, there has been no report on the combined use of nanocomposite films and plant essential oils on extending shelf life of button mushroom.

Materials and methods: Mushroom samples were obtained from Shahwar Company in Shahrood. The experiment was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with 3 replications. The first factor *Echinophora cinerea* essential oil, was sprayed on the product at three levels of 0, 5 and 10 μl /l. The second factor was low-density polyethylene packaging films and 20 μm thick polyethylene-clay nanocomposite films. Subsequently, 100 g button mushrooms were packaged in the desired 25 $\times$ 20 cm films, the packed mushrooms were then transferred to 4 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$ and relative humidity 90% storage conditions. Post-harvest qualitative traits were studied at 5-day intervals for 35 days. The studied traits were: tissue firmness, membrane permeability (electrolyte leakage), membrane lipid peroxidation (MDA), catalase and superoxide dismutase activity, microbial population, browning index, fungal opening percentage and fungal marketability.

Results and Discussion: Packed mushrooms in nanocomposite films with and without essential oils did not show a significant effect on weight loss during storage, which could be due to the effective performance of nanocomposite films in preventing water vapor and the creation of a favorable modified atmosphere in the microclimate space inside the packages. Tissue softening was delayed in packed mushrooms in nanocomposite films compared to polyethylene films, also coating of essential oil on packed mushrooms in nano films compared to polyethylene films. Polyethylene films had a significant effect on decreasing the firmness parameter during storage. Evaluation of the effect of essential oil coating and the packaging showed that the essential oil was effective in reducing electrolyte leakage and malondialdehyde content in both types of packaging with both concentrations, but the results were better with 100 μl /l. The change in membrane permeability and malondialdehyde content reflects membrane damage as the cellular oxidative damage of MDA content, which is a product of membrane lipid peroxidation, increases. The higher activity of catalase in the mushroom in nanocomposite films coated with essential oils indicates that the process of decay and aging in the mushroom tissue is delayed. The aerobic cells of the plant produce reactive oxygen species such as H_2O_2 against stress and their toxicity is eliminated by both types of enzymatic and non-enzymatic antioxidant systems. SOD enzyme activity was higher in mushroom packed in nanocomposite films and coated with essential oils than in polyethylene films alone. This enzyme acts as the basic scavenging enzyme for O $_2$ radicals and catalysis to H_2O_2 and O_2 . It seems that the lower permeability of nanocomposite films compared to polyethylene films leads to prevent oxygen entry to a certain extent and the lower activity of this enzyme reduces the browning of the mushroom caps. On the other hand, coating with essential oil has also reduced the browning rate. The marketability of mushroom in polyethylene packaging has decreased significantly since the 20th day of clay nanocomposite, while the marketability of mushroom in the packaging of nanocomposite and essential oil coatings was acceptable by the end of 35th day. The results of this study indicate that although for the better prevention of senescence and contamination of button mushrooms during storage at 4 $^{\circ}\text{C}$, use of essential oil in polyethylene packaging can be effective but change in the structure of polyethylene by adding 5% nanoclay, it was highly desirable to increase the shelf life of the mushroom by retaining the quantitative and qualitative characteristics.

(*Corresponding Author Email: h.bodaghi@yahoo.com)

Key words: Button mushroom (*Agaricus bisporus*), Polyethylene-clay nanocomposite, Echinophora cinerea essential oil, Postharvest life.



مقاله پژوهشی

بررسی اثر پیش‌فرآوری فراصوت و آنزیم آلفا-آمیلاز بر تولید نشاسته متخلخل از نشاسته‌های گندم و ذرت و بررسی میزان توانایی جذب یون آهن

سمیه قندهاری علویجه^۱ - مهران اعلمی^{۲*} - یحیی مقصودلو^۳ - علیرضا صادقی ماهونک^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷

چکیده

نشاسته‌های متخلخل به گروهی از نشاسته‌های فرآوری شده اطلاق می‌شوند که به‌عنوان یک جاذب پرقدرت، ترکیبات حساس به نور، حرارت و اکسیداسیون را در خود جای می‌دهند و علاوه بر نقش حامل به‌عنوان محافظ نیز محسوب می‌شوند. تولید نشاسته‌های متخلخل امروزه با به‌کارگیری فناوری‌های نوین مانند امواج فراصوت و آنزیم‌ها رو به گسترش است. در این پژوهش نشاسته گندم و ذرت با توان ۳۵۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه طی فرایند فراصوت قرار گرفتند. مراحل افزودن آنزیم آلفا-آمیلاز (آنزیم باکتریایی از *Bacillus subtilis*) در غلظت ۰/۱ درصد به‌صورت قبل، همزمان و پس از اعمال عملیات فراصوت صورت گرفت. به نشاسته‌های گندم و ذرت متخلخل تولید شده یون آهن (آمونیم سولفات آهن (II)) در غلظت‌های ۴۰، ۶۰ و ۸۰ ppm افزوده شد. نشاسته‌های متخلخل پس از تولید، به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی مشاهده و توانایی آنها در جذب آب و روغن مورد بررسی قرار گرفت. سپس میزان یون آهن جذب شده و نوع پیوندهای شکل گرفته بین نشاسته‌ها و یون آهن به‌ترتیب توسط دستگاه پلاسما جفت شده القایی (ICP) و طیف‌سنج مادون قرمز (FTIR) تعیین شدند. در کلیه مراحل نشاسته ذرت و گندم با یکدیگر مقایسه شدند. تصاویر SEM نشان دادند که نشاسته‌های گندم و ذرت که ابتدا تحت عملیات فراصوت و سپس آنزیم قرار گرفتند (گروه اول) دارای شکل منظم‌تری از تخلخل‌ها هستند. همچنین قابلیت جذب آب و روغن در نشاسته‌های گروه اول تفاوت معناداری با نشاسته‌های گروه دوم (عملیات همزمان فراصوت و آنزیم) و سوم (ابتدا عملیات آنزیم‌زنی و سپس فراصوت) ندارند. مقادیر مورد آزمون در نشاسته ذرت در کلیه مراحل بالاتر از نشاسته گندم بود. جذب یون آهن در نشاسته‌های متخلخل نسبت به نشاسته‌های معمولی افزایش یافته و با افزایش غلظت یون آهن، میزان جذب آن توسط نشاسته‌ها افزایش یافت. همچنین این نشاسته‌ها قادر به تشکیل پیوندهای آهن-اکسیژن بودند و در طول موج 575 cm^{-1} پیک‌های متفاوتی با نمونه‌های شاهد مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: نشاسته متخلخل، نشاسته گندم، نشاسته ذرت، آنزیم آلفا-آمیلاز، فراصوت

مقدمه

آنزیم‌های هیدرولیزکننده خود (مانند آلفا-آمیلاز، بتا-آمیلاز، آمیلوگلوکوزیداز و سیکلودکسترین گلیکوزیل ترانسفراز) در محیطی هیدراته شود فرم متخلخل نشاسته تولید می‌گردد. در این روش گرانول‌ها سالم باقی مانده و شکل ظاهری آنها تخریب نمی‌شود اما نواحی آمورف گرانول‌های نشاسته تا حدودی هیدرولیز شده و روی سطح گرانول حفره‌ها ایجاد می‌شوند (Jung et al., 2017). همچنین امواج فراصوت به دلیل ایجاد پدیده کاویتاسیون، پیوندهای C-C موجود در مولکول نشاسته را تخریب نموده و منافذ و سوراخ‌هایی بر سطح گرانول ایجاد می‌کنند. کاربرد همزمان دو فرایند آنزیمی و فراصوت نقش موثری در تولید نشاسته‌های متخلخل دارد. حفره‌های ایجاد شده بر سطح گرانول دارای قطر تقریبی ۱ میکرومتر هستند که اجازه ورود مولکول‌های کوچکتر را به درون خود می‌دهند (Majzoobi et al., 2015). این گروه از نشاسته‌های اصلاح شده به‌عنوان ترکیباتی متخلخل دارای قابلیت جذب بالا هستند به این صورت که تخلخل‌ها

نشاسته‌ها یکی از مهمترین و فراوان‌ترین پلی‌ساکاریدها هستند که در تأمین انرژی بشر نقش دارد. نشاسته‌های خام به دلیل ساختارهای گرانولی بسته، کاربردی در صنعت غذا نداشته و ایجاد برخی تغییرات فیزیکیوشیمیایی در ساختار مولکولی نشاسته‌ها می‌تواند آنها را برای مصارف خاصی مناسب سازد. نشاسته‌های متخلخل گروهی از نشاسته‌های فرآوری شده هستند که کاربرد وسیعی در بسیاری از صنایع دارند (Cheetham and Tao, 1998). به‌طور کلی نشاسته وقتی در دمای پایین (دمای کمتر از ژلاتینه شدن) با

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

(*)-نویسنده مسئول: (Email: mehranalami@yahoo.com)

نشاسته متخلخل به عنوان یک حامل قدرتمند در حفظ ترکیبات معطر و محلول در چربی استفاده نمایند. لو و همکاران (۲۰۱۳) طی پژوهشی از نشاسته کاساوا با فرایندهای آنزیمی، نشاسته متخلخل تولید کرده و به این نشاسته یون روی اضافه نمودند. برای این منظور مخلوطی از آنزیمهای آلفا-آمیلاز و گلوکوامیلاز به صورت محلول به کار برده شدند. تصاویر مشاهده شده طی NMR نشان دادند که یون روی به طور عمده به اتم اکسیژن کربن شماره ۶ گلوکز متصل شده است. در پایان محققان این طرح، عنوان نمودند که نشاسته ها را می توان به عنوان حامل یون روی و سایر املاح جهت تهیه مکمل های غذایی به کار برد بدون اینکه خاصیت آلرژی زایی ایجاد نمایند.

با توجه به کاربرد آنزیم ها و توان های مختلف فراصوت در مطالعات قبلی، برای تولید نشاسته های متخلخل گندم و ذرت در این مطالعه از آنزیم آلفا-آمیلاز استفاده شد زیرا این آنزیم در ایجاد تخلخل ها، با شکل مناسب بر سطح گرانول ها، نسبت به سایر آنزیم ها موثرتر است (Benavent-Gil and Rosell, 2017). همچنین کاربرد فراصوت با توان ۳۵۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه بیشترین اثر در ایجاد ترک ها و شکستگی ها بر سطح گرانول نشاسته را دارد. قابل ذکر است که تولید تخلخل ها باید با کمترین میزان آسیب و تخریب بر ساختارهای نیمه کریستالی و کریستالی در نشاسته باشد زیرا شکسته شدن ساختارهای اصلی نشاسته ها باعث ایجاد تغییرات نامطلوب می گردد. به عنوان مثال مجذوبی و همکاران (۲۰۱۵) نشاسته متخلخلی را با استفاده از فراصوت به مدت ۶۰ دقیقه با توان ۲۴۰ وات و آنزیم آلفا-آمیلاز با غلظت ۰/۶ درصد تولید کردند که در نهایت منجر به تجزیه و فروپاشی ساختارهای اصلی گرانول های نشاسته شد. این امر در نهایت باعث کاهش جذب روغن در این نشاسته متخلخل شد (Majzoubi et al., 2015). از نشاسته های متخلخل می توان به عنوان حامل برای حفاظت از ترکیبات حساس استفاده نمود که از جمله این ترکیبات املاح معدنی هستند. در سراسر جهان کم خونی فقر آهن شایع ترین اختلال تغذیه ای است که دو میلیارد نفر (بیش از ۳۰ درصد از جمعیت جهان) را تحت تأثیر قرار داده است. حفاظت از یون آهن در مقابل فیتات در محصولات آردی و همچنین اکسیداسیون یون آهن در ترکیبات غذایی امری ضروری است. اکسیداسیون باعث تبدیل Fe^{+2} (فروس، قابل حل) به فرم اکسید شده Fe^{+3} (فریک، غیرقابل حل) می شود که قابلیت دسترسی به یون آهن در بدن را کاهش دهد (Infante et al., 2017). با توجه به اینکه فلزات سنگین از جمله یون آهن در تسریع اکسیداسیون روغن و چربی ها نقش موثر دارند و در مرحله تجزیه هیدروپراکسیدها عامل مهم در تخریب و تجزیه هستند، بنابراین باند شدن یون های آهن با نشاسته در محصولات غذایی می تواند نقش حفاظت از روغن و چربی ها را نیز داشته باشد (فاطمی، ۱۳۹۲).

در سطح گرانول نشاسته، باعث افزایش سطح ویژه شده و قدرت جذب نشاسته ها را افزایش می دهند. همچنین نشاسته ها به عنوان ترکیباتی با زیست تخریب پذیری مناسب محسوب شده بنابراین از نشاسته ها می توان به عنوان ترکیبات جاذب طبیعی استفاده نمود. در واقع عامل اصلی و مهم در قابلیت جذب بالا در نشاسته های متخلخل حضور عوامل هیدروکسیل آزاد است که به سایر مولکول ها اجازه ورود و ایجاد پیوند در این خلل و فرج ها را می دهد (Zhang et al., 2012). این حفره و یا تخلخل ها قادر به نگهداری ترکیبات حساس مانند روغن ها، مواد معدنی، ویتامین، رنگدانه های غذایی مانند بتا-کاروتن و لیکوپن و غیره هستند. همچنین پیشنهاد شده است که از نشاسته های متخلخل به عنوان حامل ترکیبات رنگی، مواد معطر، ادویه ها، شیرین کننده ها و ترکیبات دارویی نیز می توان استفاده نمود.

دورا و همکاران (۲۰۱۴) اثر دو آنزیم قارچی آلفا-آمیلاز و آمیلوگلوکوزیداز را بر روی نشاسته ذرت مورد بررسی قرار دادند. تصاویر مشاهده شده به وسیله SEM نمایان گر ایجاد تخلخل در گرانول های نشاسته بود. تغییرات متعددی در خواص حرارتی و نحوه هیدرولیز این نشاسته های اصلاح شده مشاهده شد. میزان جذب آب به طور قابل ملاحظه ای در نشاسته اصلاح شده با آنزیم آمیلوگلوکوزیداز افزایش یافت. به طور کلی این متخصصان نشان دادند که اصلاح آنزیمی در دمای کمتر از ۷۰ درجه سانتیگراد نشاسته به عنوان یک روش مطلوب برای تولید گرانول های نشاسته متخلخل است. همچنین لو و همکاران (۲۰۰۸) به تأثیر فرایند فراصوت بر ویژگی های نشاسته های ذرت معمولی، مومی و آمیلوز بالا پرداختند که نتایج تصاویر SEM نشان داد که گرانول های تولید شده دارای ساختارهای حفره دار هستند اما در الگوی پراش اشعه ایکس گرانول ها تغییری ایجاد نشد. اعمال فرایند فراصوت سبب افزایش میزان جذب آب، حلالیت در آب و دمای ژلاتینه شدن نشاسته ها شد. ویسکوزیته تمام نشاسته های فرایند شده در فراصوت کاهش یافت، اما در الگوی ویسکوزیته آنها تغییری ایجاد نشد. به طور کلی این محققان بیان کردند که اعمال فرایند فراصوت می تواند سبب تخریب بخش های آمورف گرانول ها شود اما تأثیر آن بر بخش های کریستالی ناچیز است. بلینگری و همکاران (۲۰۱۵) روغن آفتابگردان با اولئیک بالا را در نشاسته متخلخل انکپسوله نموده و پایداری اکسیداتیو آن را مورد بررسی قرار دادند. طی این تحقیق اسید اولئیک در صمغ و در مالتودکسترین نیز انکپسوله شد. سپس نمونه های انکپسوله شده و نمونه کنترل در خشک کن پاششی حرارت دهی شدند. عدد پراکسید و دی ان های مزدوج اندازه گیری شدند و نتایج گویای افزایش تقریباً یکسان عدد پراکسید در هر دو نمونه کنترل و انکپسوله شده بود اما دی ان های مزدوج در نمونه انکپسوله شده کمتر بود که بیانگر تجزیه هیدروپراکسیدها در نمونه کنترل و تولید دی ان های مزدوج در این نمونه بود. در نهایت محققان این طرح نتیجه گرفتند که می توان از

مواد و روش‌ها

نشاسته گندم از شرکت مرک (Merk) و نشاسته ذرت از شرکت سیگما آلدریج (Sigma Aldrich) خریداری شدند. یون آهن به صورت آمونیوم سولفات آهن (II) از شرکت مرک تهیه شد. آنزیم آلفا-آمیلاز (حاصل از باسیلوس سوبتیلیس، رنگ کرمی، فعالیت ۳۸۰ U/mg، قابل نگهداری در دمای ۲-۸ درجه سانتی‌گراد، بهینه pH برای فعالیت ۶/۹) از شرکت سیگما آلدریج تهیه و سایر مواد شیمیایی لازم از شرکت مرک خریداری شدند.

روند کلی فرایند

نشاسته ذرت و گندم خریداری شده پس از تصویر برداری با میکروسکوپ الکترونی جهت تولید نشاسته متخلخل وارد فرایند می‌شوند. نشاسته‌ها ابتدا جهت هیدراته شدن با آب مخلوط شده (۳۰٪ وزنی- حجمی) و پس از تنظیم pH به حد خنثی، برای مدت یک شب روی دستگاه همزن مغناطیسی با مگنت (stirrer) قرار می‌گیرند. هر نوع نشاسته به ۳ گروه تقسیم می‌شود؛ (۱) گروه اول، ابتدا عملیات فراصوت روی سوسپانسیون اعمال می‌شود و سپس عملیات آنزیمی صورت می‌گیرد. (۲) گروه دوم، انجام عملیات فراصوت و آنزیمی به شکل همزمان انجام می‌گیرد.

(۳) گروه سوم، ابتدا سوسپانسیون تحت فرایند آنزیمی قرار گرفته و پس از طی زمان مورد نظر، وارد عملیات فراصوت می‌شود. قابل ذکر است که دستگاه اولتراسوند (مافوق صوت)، UP400A مجهز به پروب که جنس هورن (پروپ) Ti-6Al-4V و قطر آن ۱۲ میلیمتر است. توان خروجی دستگاه بین صفر تا ۴۰۰ وات و فرکانس خروجی 20 ± 1 کیلوهرتز است. این دستگاه با صفحه لمسی قابل تنظیم بود که مجهز به دماسنج (PT-100) با رنج دمای بین صفر تا ۱۰۰ قابل تنظیم بود. برای این تحقیق دمای دستگاه روی ۴۵ درجه سانتیگراد تنظیم شد که در صورت افزایش دما از مقدار مذکور، به دلیل حضور سنسور حرارتی دستگاه خاموش شده که برای جلوگیری از این امر، اطراف ظرف سوسپانسیون نشاسته یخ قرار داده شد.

نحوه تولید نشاسته متخلخل

پس از هیدراته شدن نشاسته‌های گندم و ذرت، لازم است که pH آنها با محلول بیکربنات سدیم توسط دستگاه pH متر تنظیم و به عدد ۶-۷ رسانیده شود زیرا pH اپتیمم برای فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز حدود ۶ تا ۶/۲ می‌باشد. pH سوسپانسیون نشاسته گندم و ذرت خام به ترتیب حدود ۵ و ۴ است. برای گروه اول، عملیات فراصوت با توان ۳۵۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه و سپس فرایند آنزیم‌زنی (۱/۰ درصد، وزنی- حجمی) به مدت ۳۶ ساعت انجام شد. برای گروه سوم، ابتدا

عملیات آنزیم‌زنی همانند شرایط قبلی و سپس عملیات فراصوت انجام گرفت. برای گروه دوم، ۳۶ ساعت زمان فرایند آنزیمی به ۳ زمان ۱۲ ساعتی تقسیم شد که در ۱۲ ساعت میانی، طی ۳ مرحله عملیات فراصوت انجام گرفت. پس از گذراندن ۴ ساعت، یعنی در زمان‌های ۱۶، ۲۰ و ۲۴ ساعت پس از آنزیم زنی، عملیات فراصوت در ۳ مرحله به مدت زمان ۳/۳ دقیقه انجام شد. در نهایت طی ۳ مرحله عملیات شستشو و سانتریفوژ (با دور ۳۰۰۰ g به مدت ۱۵ دقیقه در دمای زیر ۲۰ درجه سانتی‌گراد) انجام گرفت (Wu et al., 2011). عملیات خشک کردن نشاسته‌های فرآوری شده در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت انجام شد. سپس نشاسته‌های خشک شده در شیشه‌های غیرقابل نفوذ به رطوبت در محل تاریک جهت انجام سایر عملیات قرار گرفتند.

نحوه افزودن یون آهن

نشاسته‌های متخلخل گندم و ذرت کاملاً خشک، در مجاورت ۳ غلظت ppm ۴۰، ۶۰ و ۸۰ از ترکیب آمونیوم سولفات آهن (II) قرار گرفتند و پس از تنظیم pH به مدت ۴۸ ساعت روی دستگاه همزن مغناطیسی با مگنت قرار داده شدند. سپس محلول نشاسته و آهن در سانتریفوژ با دور ۵۰۰۰ g به مدت نیم ساعت قرار گرفته و پس از جداسازی فاز رویی، جهت حذف یون‌های آهن اضافه در نشاسته (فاز جامد زیرین) طی ۳ مرحله با آب مقطر شسته و با همین شرایط مجدداً سانتریفوژ شد. در مرحله نهایی نشاسته‌ها در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خشک شدند و در نهایت برای انجام آزمون‌ها بسته‌بندی و در مکان تاریک با دمای اتاق قرار گرفتند.

اندازه‌گیری میزان جذب آب و روغن توسط نشاسته‌ها

میزان جذب آب و روغن نمونه‌های نشاسته گندم و ذرت به صورت سه تکرار و بر اساس روش یوسیف و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد. برای هر دو آزمایش، نشاسته‌ها در آون کاملاً خشک و به وزن ثابت رسیدند. در اندازه‌گیری میزان جذب آب، ابتدا ۰/۵ گرم نمونه با ۱۰ سی‌سی آب مقطر مخلوط شده و به مدت ۲ دقیقه همزده شد سپس از سانتریفوژ با دور ۲۵۰۰ g به مدت ۳۰ دقیقه استفاده و آب شفاف روی سطح نشاسته با پیپت جدا و دور ریخته شد. در اندازه‌گیری میزان جذب روغن نیز ۰/۵ گرم نشاسته به ۵ میلی‌لیتر روغن مایع آفتابگردان اضافه شده و این مخلوط توسط همزن با ایجاد گرداب (vortex) با ۲۰۰۰ دور در دقیقه در یک ارلن مایر به مدت ۵ دقیقه در دمای محیط هم زده شد. این مخلوط به مدت ۲۰ دقیقه بدون حرکت باقی‌مانده، سپس به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفوژ ۳۰۰۰g قرار گرفت. دو فاز حاصل بعد از سانتریفوژ از یکدیگر جدا شدند. ظرفیت جذب آب و روغن به‌عنوان درصد وزن آب و روغن باقیمانده در نشاسته‌ها بیان شده است.

آزمون ICP (Inductively Coupled Plasma)

دستگاه ICP مدل optima v300 DV شرکت سازنده آن پریکن المر (Perkin Elmer) است. با توجه به نوع نمونه (ترکیب آلی) و دستگاه موجود، ۱ گرم از نشاسته حاوی یون آهن را با ۵۰ سی سی اسید کلریدریک ۱۰۰ درصد مخلوط و روی همزن مغناطیسی با مگنت به مدت ۶ ساعت قرار داده تا ترکیبات آلی نشاسته سوخته و آماده برای اندازه گیری میزان یون آهن شود. پس از آن، مخلوط مورد نظر را به بالن ژوژه ۱۰۰ سی سی منتقل نموده و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ سی سی رسانیده و ۱۰ سی سی از این مخلوط برای سنجش میزان یون آهن به اوپراتور دستگاه ICP تحویل داده شد.

FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

دستگاه FTIR مدل Tensor 27 ساخت شرکت بروکر (Bruker) است. در این دستگاه، روش عبوری نسبت به روش انعکاسی روشی کامل تر است و در اینجا چون هدف مشاهده پیوندهای فلزی (Fe-O) است این روش انتخاب گردید. نواحی فرکانس این دستگاه در روش عبوری (cm^{-1}) ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ است در اینجا امواج مادون قرمز از درون نمونه عبور می کنند. نمونه های نشاسته در هاون از جنس عقیق به نسبت ۱ به ۱۰۰ با برومور پتاسیم مخلوط و ساییده شدند سپس با دستگاه مخصوص پودر پرس شده و در نهایت به صورت قرص تهیه آماده شدند. قرص ها دارای قطر ۱ میلی متر و ضخامت آنها کمتر از ۱ میلی متر است.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

طرح آماری کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل است اندازه گیری ها برای هر مورد در ۳ تکرار انجام گردید و نتایج به صورت میانگین با محاسبه انحراف استاندارد ($\pm$) گزارش شدند. تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. احتمال سطح معنی داری در آزمون ها با سطح اطمینان ۹۵٪ محاسبه شد. برای تعیین نرمال بودن

داده ها از آزمون کلموگراف- اسمیرنوف و برای مقایسه میانگین داده ها از آزمون های پارامتری t (t-test) استفاده شد. مقایسه در ۳ سطح (غلظت یون آهن) به صورت یکطرفه با آزمون تحلیل واریانس و مقایسه دو به دو میانگین ها با آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

توانایی جذب آب

میزان جذب آب در نشاسته های خام و فرایند شده گندم و ذرت در جدول ۱ مقایسه شدند. میزان جذب آب در نشاسته گندم فرآوری شده کمتر از ذرت است که این امر مربوط به ساختار گرانولی نشاسته گندم و ذرت است. نشاسته گندم از نظر شکل و اندازه دارای دو شکل متفاوت است که شامل گرانول های بزرگ از نوع A، که شکل آنها شبیه دیسک یا عدسی است در حالی که گرانول های کوچک از نوع B، عمدتاً کروی یا بیضوی هستند. گرانول های نشاسته ذرت چند ضلعی و گرد هستند و از نظر شکل و اندازه مشابه هستند (اعلمی، ۱۳۹۴). با اعمال فرایند فراصوت در ابتدا و سپس کاربرد آنزیم آلفا-آمیلاز (گروه ۱) برای نشاسته گندم و ذرت، مقادیر جذب آب، نسبت به نشاسته خام افزایش معناداری داشت ($P < 0.05$) اما تفاوت معناداری از لحاظ آماری بین ۳ گروه مشاهده نشد ($P > 0.05$). علت این وقایع به دلیل اثر آنزیم روی قسمت آمورف نشاسته ها است که باعث افزایش ظرفیت جذب آب شده و نسبت سطح به حجم گرانول ها افزایش پیدا کرده است. عملیات فراصوت همچنین با ایجاد پدیده کاویتاسیون باعث ایجاد تغییراتی در پیوندهای کووالانسی موجود در نشاسته شده که عامل اصلی در افزایش میزان جذب آب است. به طور کلی می توان گفت که کاربرد عملیات فراصوت و آنزیم باعث تخریب بیشتر بخش آمورف (آمیلاز) نسبت به بخش کریستالی (آمیلوپکتین و آمیلاز) شده است (Benavent-Gil and Rosell, 2017).

جدول ۱- جذب آب روغن در نشاسته های ذرت و گندم خام و متخلخل

نشاسته ذرت	میزان جذب آب (%)	میزان جذب روغن (%)	نشاسته گندم	میزان جذب آب (%)	میزان جذب روغن (%)
نمونه خام	1.87 ± 0.02	1.09 ± 0.14	نمونه خام	1.39 ± 0.09	0.88 ± 0.19
گروه اول	6.66 ± 0.12	3.73 ± 0.16	گروه اول	3.06 ± 0.08	2.42 ± 0.13
گروه دوم	6.22 ± 0.20	3.32 ± 0.08	گروه دوم	3.29 ± 0.04	2.95 ± 0.17
گروه سوم	5.84 ± 0.07	3.48 ± 0.03	گروه سوم	3.07 ± 0.06	2.64 ± 0.10

(جدول ۱). به طور کلی در نشاسته های گندم و ذرت در ۳ گروه موجود، تفاوت معناداری در میزان جذب روغن وجود ندارد ($P > 0.05$). بناوخت گیل و همکاران (۲۰۱۷) به طور کلی بیان نمودند که نشاسته های

توانایی جذب روغن

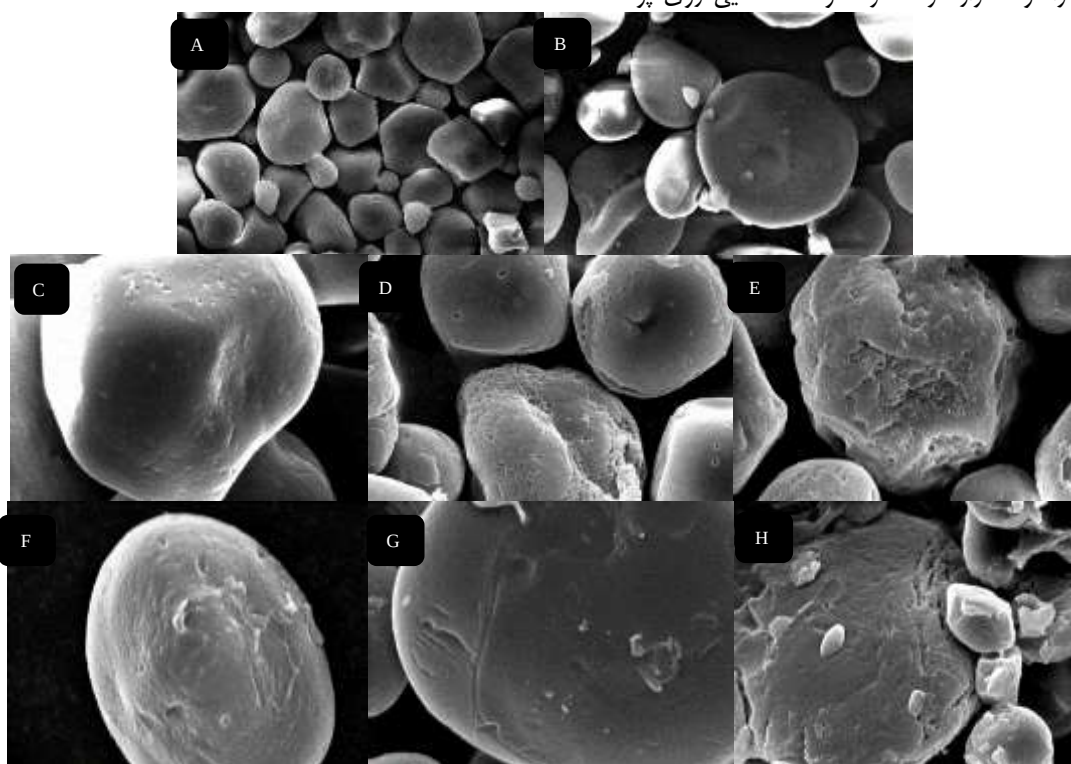
جذب روغن نیز در نشاسته های خام و فرآوری شده گندم به طور معناداری ($P < 0.05$) کمتر از نشاسته خام و فرآوری شده ذرت است

سطحی گرانول ایجاد شدند که نهایتاً به نفوذ و عملکرد بهتر آنزیم کمک نموده و حفره و تخلخل‌ها با شکل مناسبی ایجاد شدند (شکل C). در حالی که استفاده همزمان آنزیم و فراصوت باعث ایجاد گرانول‌هایی با منافذ کمتر و پراکندگی حفره‌ها شد و این حفره‌ها به سختی قابل رویت بودند (شکل D). در این گروه، ساختار سطحی گرانول‌ها بیشتر به شکل ورقه ورقه دیده شد زیرا امواج فراصوت نسبت به آنزیم در تخریب سطح و ایجاد شکاف و ترک‌ها بسیار موثرتر است. همچنین فراصوت می‌تواند آنزیم‌ها را به واسطه پدیده کاویتاسیون غیرفعال نماید. در نتیجه در این گروه، بافت متخلخل به‌صورت جزئی ایجاد شد. براساس مشاهدات در گرانول‌های ذرت در گروه سوم، سطح گرانول بیشتر دچار آسیب سطحی شده و بافت متخلخل به ندرت مشاهده شد (شکل E).

متخلخل که به‌وسیله فرایندهای آنزیمی حاصل شدند دارای منافذ زیادی در سطح خود هستند و به همین دلیل بر اساس تعداد و اندازه حفره‌ها، خواص مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی نشاسته‌ها دست خوش تغییرات عمده‌ای می‌شود و توانایی این نشاسته‌ها در جذب روغن و سایر موارد افزایش می‌یابد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی

نشاسته‌های خام ذرت و گندم توسط دستگاه SEM مشاهده شدند (شکل ۱). در ذرت گرانول‌های هم اندازه و گوشه دار (شکل A) و در گندم گرانول‌های نشاسته با سایزهای بزرگ و کوچک و با شکل گرد (شکل B) مشاهده شدند. همانطور که در شکل مشخص است سطح گرانول نشاسته گندم و ذرت خام، صاف و بدون هیچ شواهدی از شکاف و حفره است. هنگامی که نشاسته ذرت در گروه اول، ابتدا تحت عملیات فراصوت قرار گرفت ترک و شکاف‌هایی روی پوسته



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی ۲ میکرومتر، شکل A برای نشاسته ذرت خام و گروه اول، دوم و سوم نشاسته متخلخل به ترتیب C، D و E؛ شکل B برای نشاسته گندم خام و گروه اول، دوم و سوم نشاسته متخلخل گندم به ترتیب F، G و H.

تعداد مناسب‌تر ایجاد نماید. به‌طور کلی می‌توان گفت که انفجار ناگهانی در پدیده کاویتاسیون با ایجاد فشار و سرعت بسیار بالا در لایه‌های مایع و در پی آن با ایجاد نیروی‌های برشی، باعث ایجاد شکستگی در زنجیره‌های پلیمری نشاسته شده است. این وقایع در نهایت نفوذ آنزیم آلفا-آمیلاز را به داخل گرانول تسهیل نمود. اساس تصاویر، بافت متخلخل و حفره روی سطح گرانول نشاسته‌های

تغییرات در این گروه تقریباً مشابه گروه دوم به نظر رسیدند. براین اساس می‌توان نتیجه گرفت که عملیات فراصوت بیشتر اثر تخریبی بر روی سطح گرانول‌ها دارد و آنزیم آلفا-آمیلاز در ایجاد حفره‌ها و نفوذ به درون ساختار گرانول مؤثر است. در نتیجه می‌توان بیان نمود که عملیات فراصوت، در گروه ۱ می‌تواند اثر آنزیم را، به دلیل ایجاد تخریب در سطح گرانول‌ها، افزایش دهد و تخلخل‌هایی با شکل و

دانه گندم به سختی مشاهده شد. در نمونه‌های گروه ۱ (شکل F) نسبت به نمونه‌های دو گروه دیگر (شکل G, H) حفره‌های بیشتری مشاهده شدند. با مقایسه نشاسته ذرت و گندم می‌توان نتیجه‌گیری نمود که نشاسته ذرت برای تولید نشاسته متخلخل و انکپسوله کردن ترکیبات مغذی بسیار مناسب‌تر از نشاسته گندم است. این امر بدلیل ساختار متفاوت مولکولی نشاسته گندم و ذرت می‌باشد. این نظریه وجود دارد که برای ایجاد بافت متخلخل در گرانول‌های گندم نیاز به صرف انرژی، آنزیم (مقدار و نوع) و زمان بیشتری است.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشاسته ذرت طی پژوهشی که توسط دورا و راسل (۲۰۱۶) انجام شد نمایان‌گر سطحی صاف، صیقلی و بدون حضور حفره یا تخلخل برای نشاسته خام بود. بر اثر عملکرد آنزیم سیکلودکسترین ترانسفراز (CGTase) و فرایند حرارت‌دهی در دمای کمتر از ژلاتینه شدن نشاسته (۵۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت، سطح گرانول‌های نشاسته ذرت تغییر یافته و دچار شکستگی و تخریب شدند همچنین حفره‌ها و تخلخل‌های ریز به صورت پراکنده نیز بر اثر عملکرد آنزیم مشاهده شدند. با توجه به اینکه گرانول‌های نشاسته دارای ساختارهای کریستالی، نیمه کریستالی و آمورف هستند و بخش‌های کریستالی عمدتاً از آمیلوپکتین و بخش‌های آمورف از آمیلوز تشکیل شده اند؛ با استفاده از فرایند آنزیمی (CGTase) تغییرات ایجاد شده بیشتر در مناطق

غیرکریستالی (آمورف) سطح گرانول‌ها بوده است. به طور کلی آنزیم‌های هیدرولیزکننده نشاسته با نفوذ به ساختارهای داخلی گرانول‌ها باعث ایجاد بافت متخلخل و حفره‌ها شده که در این حفره‌ها عوامل هیدروکسیل آزاد فراوانی وجود دارد که آمادگی زیادی برای برقراری پیوند دارند.

پلاسمای جفت شده القایی (ICP)

میزان یون آهن جذب شده توسط نشاسته‌های خام و فرآوری شده ذرت و گندم با دستگاه ICP اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج (جدول ۲) نشاسته ذرت فرآوری شده به‌طور معناداری ($P < 0.05$) توانایی جذب یون آهن بیشتری نسبت به نشاسته گندم فرآوری شده دارد. همچنین نشاسته ذرت در میزان جذب آهن در گروه اول با گروه دوم و سوم دارای تفاوت معنادار ($P < 0.05$) است اما داده‌های گروه دوم و سوم تفاوت معناداری ($P > 0.05$) نداشتند. با توجه به این نتایج می‌توان عنوان نمود که انجام عملیات فراصوت در ابتدا در ایجاد شکاف و حفره‌ها بر سطح گرانول و در پی آن افزایش اثر آنزیم و میزان جذب یون آهن، بسیار موثرتر از انجام عملیات فراصوت حین عملکرد آنزیم و یا پس از آن است. این احتمال وجود دارد که تشکیل حفره‌های بیشتر با شکل متناسب‌تر در نشاسته ذرت در گروه اول، عامل جذب بیشتر یون آهن است.

جدول ۲- میزان یون آهن جذب شده توسط نشاسته‌های خام و متخلخل

مقادیر آهن (ppm)	نشاسته گندم	مقادیر آهن (ppm)	غلظت آهن	نشاسته ذرت
۵۶/۶۳	نمونه خام	۸۸/۲۱	۰	نمونه خام
۹۲/۴۷ ^A	نمونه خام آهن‌دار	۱۲۰/۸۹ ^A	۴۰	نمونه خام آهن‌دار
۱۰۱/۶۸ ^A		۱۴۰/۳۹ ^A	۶۰	
۱۲۹/۵۰ ^A		۱۵۹/۵۰ ^A	۸۰	
۱۵۷/۲۲ ^c	گروه اول	۲۱۹/۰۰ ^a	۴۰	گروه اول
۱۷۵/۴۴ ^c		۲۳۹/۰۱ ^a	۶۰	
۱۹۰/۶۹ ^c		۲۵۹/۷۰ ^a	۸۰	
۸۲/۸۷ ^d	گروه دوم	۱۴۳/۰۶ ^b	۴۰	گروه دوم
۹۶/۶۳ ^d		۱۶۰/۴۹ ^b	۶۰	
۱۰۵/۷۴ ^d		۱۶۶/۴۳ ^b	۸۰	
۸۰/۴۹ ^d	گروه سوم	۱۳۵/۹۴ ^b	۴۰	گروه سوم
۹۹/۰۰ ^d		۱۴۷/۹۲ ^b	۶۰	
۱۱۵/۸۴ ^d		۱۶۷/۶۲ ^b	۸۰	

حروف بزرگ اختلاف معنادار در نشاسته‌های خام گندم و ذرت است و حروف کوچک اختلاف معنادار بین ۳ گروه را بیان می‌کنند

مقایسه نمونه‌های خام گندم و ذرت مشخص شد که بین نشاسته ذرت و گندم خام تفاوت معناداری ($P > 0.05$) در جذب یون آهن وجود ندارد. در نشاسته گندم نیز میزان جذب یون آهن در گروه اول با گروه

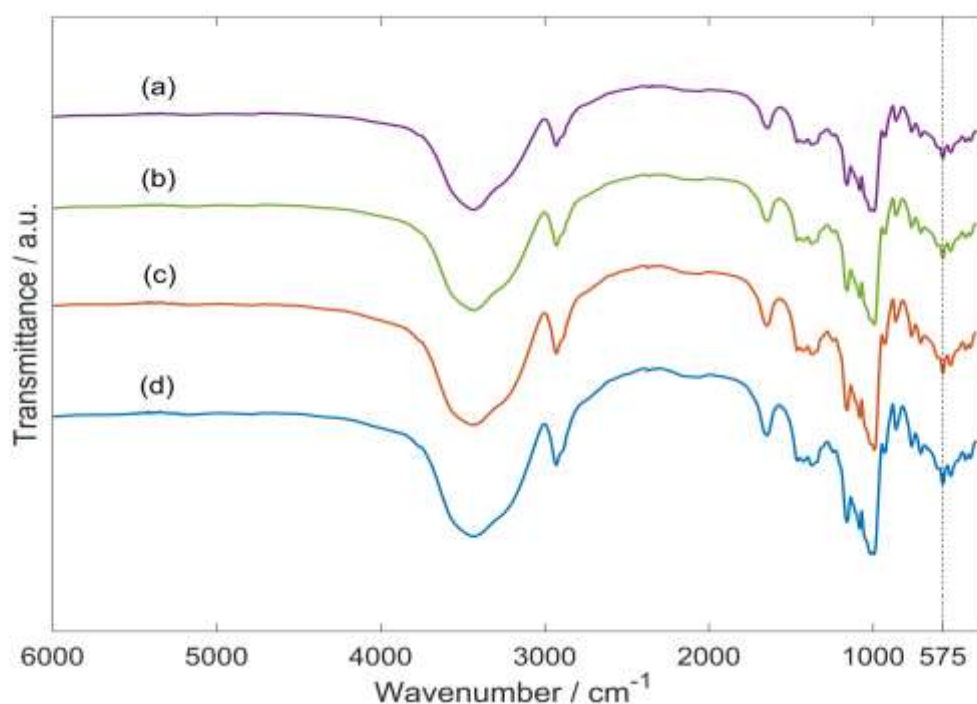
با توجه به نتیجه عملکرد عملیات فراصوت و آنزیم، عوامل هیدروکسیل آزاد زیادی از مولکول‌های گلوکز (واحدهای سازنده نشاسته) در تخلخل‌ها آماده برای ایجاد پیوندهای یونی هستند. با

نشاسته ذرت و گندم متخلخل در گروه اول و با غلظت ۸۰ پی‌پی‌ام به‌ترتیب ۱۰۰/۲ و ۶۱/۱۹ پی‌پی‌ام بیشتر از فرم خام خود توانایی در جذب یون آهن داشتند. این مشاهدات بیان‌کننده نتایج مطلوب برای انکپسوله کردن یون آهن توسط نشاسته‌های متخلخل را دارد زیرا حضور حفره‌ها توانایی جذب نشاسته‌ها به‌خصوص نشاسته ذرت را افزایش داده است.

طیف سنج مادون قرمز (FTIR)

طیف FTIR نشاسته خام گندم و ذرت (a و b) و فرم متخلخل آهن‌دار شده آنها (c و d) در شکل ۲ مشخص شده است. موقعیت قله پیک‌ها هیچ‌گونه تغییر مشخصی نکرده است بدیهی است که پس از اعمال عملیات فراصوت و فرایند آنزیمی نشاسته دست‌خوش تغییرات مولکولی نشده و ساختار مولکولی نشاسته همچنان ثابت باقی مانده است. با این وجود، شدت پیک‌ها پس از فرایندها کاهش یافته به این دلیل که ایجاد منافذ منجر به کاهش تراکم و دانسیته گرانول‌های نشاسته شده است (Zhang et al., 2012).

دوم و سوم دارای تفاوت معنادار ($P < 0.05$) است. در کلیه نمونه‌ها با افزایش غلظت آهن، میزان جذب توسط نشاسته‌ها افزایش یافته است. با توجه به ارقام در جدول، میزان یون آهن طبیعی موجود در نشاسته خام ذرت و گندم به‌ترتیب ۸۸/۲۱ و ۵۶/۶۳ پی‌پی‌ام است که با قرار دادن این نشاسته‌ها در مجاورت آمونیوم سولفات آهن (II)، این مقادیر به حداکثر میزان خود در غلظت ۸۰ پی‌پی‌ام رسیدند. به‌عبارتی دیگر می‌توان بیان نمود که حداکثر میزان قابلیت جذب یون آهن در غلظت ۸۰ پی‌پی‌ام توسط نشاسته خام ذرت و گندم به‌ترتیب ۷۱/۲۹ و ۷۲/۸۷ پی‌پی‌ام است که این ارقام حاصل اختلاف دو عدد ۸۸/۲۱ و ۱۵۹/۵۰ برای ذرت و دو عدد ۵۶/۶۳ و ۱۲۹/۵۰ برای گندم به‌دست آمد. در حالی که برای نشاسته‌های فرآوری شده در گروه اول و در غلظت ۸۰ پی‌پی‌ام، این اختلاف افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. طبق محاسبات انجام شده، اختلاف بین میزان یون آهن طبیعی موجود در نشاسته خام ذرت (۸۸/۲۱) با نشاسته متخلخل آهن‌دار شده با غلظت ۸۰ پی‌پی‌ام (۲۵۹/۷۰) عدد ۱۷۱/۴۹ حاصل شده که این عدد برای نشاسته گندم ۱۳۴/۰۶ به‌دست آمد. واضح است که



شکل ۲- طیف FTIR نشاسته گندم خام (a)، نشاسته ذرت خام (b)، نشاسته متخلخل گندم با ۸۰ پی‌پی‌ام آهن (c) و نشاسته متخلخل ذرت با ۸۰ پی‌پی‌ام آهن (d).

باند های O-H است) طی عملیات فرآوری نشاسته متخلخل است. عدد موجی 1022 cm^{-1} نشان‌دهنده بخش‌های آمورف و عدد موجی 1048 cm^{-1} تا 1022 cm^{-1} بخش‌های کریستالی در گرانول‌های نشاسته است که به‌دلیل تغییرات ایجاد شده در قسمت‌های آمورف، پیک‌های

کلیه پیک‌ها در عدد موجی‌های بین 3300 cm^{-1} تا 3500 cm^{-1} از جمله باندهای پهن موجود در عدد موجی 3440 cm^{-1} با انجام فرایندها باریک‌تر شدند که نشان‌دهنده قطع برخی از پیوندهای هیدروژنی (منظور stretching vibration که نشانه لرزش کششی در

این نواحی نیز دچار تغییر شده و برعکس در قسمت کریستالی شکل پیک‌ها ثابت هستند (Zhu et al., 2018). همچنین در نشاسته گندم و ذرت به ترتیب، پیک‌هایی در عدد موجی 993 cm^{-1} و 993 cm^{-1} وجود داشتند که در نمونه خام آنها در 993 cm^{-1} و 992 cm^{-1} مشاهده شدند. علت افزایش این مقادیر می‌تواند ناشی از واکنش بین هیدروکسیل‌ها و اتم‌های یون آهن باشد. شدت و تغییر شکل ناچیز در پیک‌ها، تا حدودی ممکن است به دلیل تغییر در بلورینگی نشاسته‌ها مربوط باشد

(Staroszczyk and Janas, 2010). قابل ذکر است که گروه‌های هیدروکسیل از واحدهای D-گلوکز در نشاسته به صورت پی در پی وارد واکنش با یون‌های آهن شدند که بر اساس تحقیقات انجام شده توسط سانتوس و همکاران (۲۰۱۶) پیوند Fe-O در عدد موجی 575 cm^{-1} پیک می‌دهد. در جدول ۴ نیز اعداد جذب در عدد موجی 575 cm^{-1} نمایش داده شده است.

جدول ۳- اعداد جذب طیف سنجی FTIR در طول موج 575 cm^{-1}

جذب (طول موج 575 cm^{-1})	نشاسته گندم	جذب (طول موج 575 cm^{-1})	غلظت آهن	نشاسته ذرت
۰/۶۷۸	نمونه خام	۰/۵۹۹	۰	نمونه خام
۰/۴۶۴	نمونه خام آهن‌دار	۰/۶۵۰	۴۰	نمونه خام آهن‌دار
۰/۵۵۴		۰/۵۹۰	۶۰	
۰/۵۳۶		۰/۵۶۵	۸۰	
۰/۴۷۵	گروه اول	۰/۵۹۱	۴۰	گروه اول
۰/۵۴۹		۰/۵۸۱	۶۰	
۰/۴۴۷		۰/۵۷۱	۸۰	
۰/۳۲۰	گروه دوم	۰/۵۸۷	۴۰	گروه دوم
۰/۵۹۲		۰/۵۷۲	۶۰	
۰/۵۸۱		۰/۶۲۱	۸۰	
۰/۵۳۲	گروه سوم	۰/۶۵۵	۴۰	گروه سوم
۰/۶۹۸		۰/۵۷۸	۶۰	
۰/۵۵۷		۰/۶۱۹	۸۰	

به نشاسته ذرت صرف نمود. انجام عملیات فراصوت قبل از استفاده از آنزیم، به طور قطع اثر آنزیم را در نفوذ بیشتر به بافت نشاسته‌ها افزایش داد و توانایی جذب یون آهن را در ساختارهای درونی نشاسته بالا برد. از معیارهای مهم در انتخاب منابع آهن در مواد غذایی جهت جبران کمبود این عنصر ارزشمند می‌توان به این موارد اشاره نمود؛ قابلیت زیست‌دسترسی، اثرات چشایی، رنگ و هزینه است که تاکنون کاربرد هیچ یک از روش‌های پیشین پاسخگوی رفع کمبود این عنصر نشده است. بنابراین محافظت از یون آهن در ساختارهای متخلخل نشاسته ذرت به عنوان منبعی فراوان و ارزان توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از میزان توانایی جذب آب و روغن آفتابگردان توسط نشاسته‌های متخلخل گندم و ذرت می‌توان بیان نمود که نشاسته ذرت قابلیت جذب بیشتری نسبت به نشاسته گندم دارد. همچنین مطابق با تصاویر حاصل شده از SEM حضور تخلخل‌ها و حفرات در نشاسته ذرت با وضوح مناسب‌تر مشاهده شدند در حالی که گرانول‌های فرآوری شده گندم بیشتر ورقه ورقه شده بودند و حفره‌ها به ندرت مشاهده شدند. در نشاسته گندم سطح گرانول‌ها دچار تخریب و آسیب‌دیدگی شد که می‌توان نتیجه گرفت که برای ایجاد حفره در این نشاسته باید هزینه و زمان بیشتری نسبت

منابع

- اعلمی، م. ۱۳۹۴، مبانی دانش و فرآوری غلات، نشریه جهاد دانشگاهی مشهد، شماره ۵۲۴، صفحات ۳۳-۲۱.
- فاطمی، ح. ۱۳۹۲، شیمی مواد غذایی، شرکت سهامی انتشار تهران، ۴۸۰، صفحات ۱۸۰-۱۷۹.
- Belingeri, C., Giussani, B., Rodriguez-Estrada, M T., Ferrillo, A., & Vittadini, E. (2015). Oxidative stability of high-oleic sunflower oil in a porous starch carrier. *Food Chemistry*. 166, 346-351.

- Benavent-Gil, y., & M. Rosell, C. (2017). Morphological and physicochemical characterization of porous starches obtained from different botanical sources and amylolytic enzymes. *International Journal of Biological Macromolecules*. 103, 587–595.
- Benavent-Gil, y., & M. Rosell, C. (2017). Performance of granular starch with controlled pore size during hydrolysis with digestive enzymes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72:353-359.
- Cheetham, N. W.H., & Tao, T. (1998). Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study. *Carbohydrate Polymers*, 36, 277–284.
- Dura, A., Blaszcak, W., & M. Rosell, C. (2014). Functionality of porous starch obtained by amylase or amyloglucosidase traetments. *Carbohydrate Polymers*. 101, 837-845.
- Dura, A and M. Rosell C. (2016). Physico-chemical properties of corn starch modified with cyclodextrin glycosyltransferase. *International Journal of Biological Macromolecules*. 87, 466–472.
- Infante, R. A., Natal, D. I. G., Moreira, M. E. C., Bastiani, M.I. D., Oliveira Chagas, C. G., Regini Nutti, M., Queiroz, V. A. V., & Duarte Martino, H. S. (2017). Enriched sorghum cookies with biofortified sweet potato carotenoids have good acceptance and high iron bioavailability. *Journal of Functional Foods*. 38, 89-99.
- Jung, Y., Lee, B., Yoo, S. (2017). Physical structure and absorption properties of tailor-made porous starch granules produced by selected amylolytic enzymes. *Journal pone*. 1-14.
- Luo, Z., Cheng, W., Chen, H., Fu, X., Peng, X., Luo, F., & Nie, L. (2013). Preparation and properties of enzymes-modified Cassava starch-zink complexes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 61, 4631-4638.
- Luo, Z., Fu, X., He, X., Luo, F., Gao, Q., & Yu, S. (2008). Effect of ultrasonic treatment on the physicochemical properties of maize starches differing in amylose content. *Starch-Stärke*, 60(11), 646-653.
- Majzoobi, M., Hedayati, S., & Farahnaky, A. (2015). Functional properties of microporous wheat starch produced by α -amylase and sonication. *Food Bioscience*. 11, 79–84.
- Santos, A. F. M., Macedo, L. J. A., Chaves, M. H., Espinoza-Castañeda, M., Merkoçi, A., A. Limac, F., & Cantanhêde, W. (2016). Hybrid Self-Assembled Materials Constituted by Ferromagnetic Nanoparticles and Tannic Acid: a Theoretical and Experimental Investigation. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 4, 727-734.
- Staroszczyk, H., Janas, p. (2010). Microwave-assisted synthesis of zinc derivatives of potato starch. *Carbohydrate Polymers*. 80, 962–969.
- Wu, y., Du, X., Ge, H., & Lv, Z. (2011). Preparation of microporous starch by glucoamylase and ultrasound. *Starch journal*. 63, 217-225.
- Yousif, E. I., Gadallah, M. G. E., & Sorour, A. M. (2012). Physico-chemical and rheological properties of modified corn starches and its effect on noodle quality. *Annals of Agricultural Sciences*, 57(1), 19–27.
- Zhang, B., Cui, D., Liua, M., Gong, H., Huang,Y., & Han, F. (2012). Corn porous starch: Preparation, characterization and adsorption property. *International Journal of Biological Macromolecules*. 50, 250– 256.
- Zhu, J., Sun, W., Meng, Z., Zhu, X., Gun, H., Gu, R., Wu, Z., & Dou, G. (2018). Preparation and characterization of a new type of porous starch microspheres (PSM) and effect of physicochemical properties on water uptake rate. *Biological macromolecules*. 116, 707-714.



Effect of ultrasound and enzyme treatment on wheat and corn starches for making porous starches and iron ion absorption capacity

S. Ghandehari, M. Alami*, Y. Maghsoudlou, A. R. Sadeghi

Received: 2020.01.28

Accepted: 2020.05.16

Introduction: Porous starch granules are becoming of great interest such as non-toxic absorbents, owing to their great absorption capacity derived from the major specific surface area. Pores can protect sensitive elements as oils, minerals, vitamins, bioactive lipids, food pigments such as beta-carotene and lycopene that are sensitive to light, oxidation or high temperature. Alpha-amylases from *Bacillus* and glucoamylases from *Aspergillus niger* have the strongest hydrolytic ability toward starch. Ultrasonic treatments have been reported to produce modified starch. In the last years, the effects of sonication on the starch microstructures and properties have been studied. It was shown that the C-C bonds of starch granules were destroyed, and hollows or pores were formed on the surface and inside the granules. Therefore, the main objective of this study was to identify a suitable starch (corn or wheat) to carry and protect iron ions. The enzyme having a fixed concentration of 0.1% within a fixed period of 36 hour, was added to the starch solutions in three different steps - after, simultaneously and before - the ultrasound processes. The power of the ultrasound was 350 watt for 10 minutes. Iron ions (Iron Ammonium Sulfate (II)) were added to the porous corn and wheat starches in concentrations of 40, 60 and 80 ppm.

Materials and methods: The ability of water and oil adsorptions were measured in the produced corn and wheat porous starches. The microstructures of porous starches were revealed by using Scanning Electron microscopy (SEM). After adding iron ammonium sulfate (II) to the porous starches of corn and wheat, the amount of iron ions absorbed and the type of bonds formed between starch and iron ions were determined by inductively coupled plasma (ICP) and infrared spectroscopy (FTIR), respectively. Statistical analysis was performed by using SPSS software and the mean comparison test at 5% probability level and in the form of factorial test.

Results & Discussion: The hydration capacity in processed wheat starch was lower than corn starch due to the differences in granular structure of wheat and corn starch. The hydration capacity in native wheat and corn starches was significantly ($P < 0.05$) lower than the processed forms. No significant difference ($P > 0.05$) was observed between the three steps of adding enzyme (e after, simultaneously and before the ultrasound processes). According to the results, the oil adsorption capacity in the processed starches was more than that of the native forms. Scanning Electron Microscopy (SEM) shows that the native corn and wheat starch granules appeared without any clear of fissures, fractures and pores. The corn and wheat starches which were treated by the enzyme after (step 1), simultaneously (step 2) and before (step 3) the ultrasound change and lose their smooth surfaces and become uneven. The surface of corn granules in group 2 and 3 have less pores and porosities with more laminated. In simultaneously processes (phase 2) the ultrasound causes the enzyme to be inactivated. In phase 1, it can be concluded that the ultrasound helps the enzyme performance in creating the porosities and cavities. The wheat granules in step 1, 2 and 3 have a lot of damage on the surface and it is likely that the surface of the wheat granule is more resistant to enzyme penetration than the corn. The results of the ICP test show that processed corn starch has significantly ($P < 0.05$) greater ability to absorb iron ions than processed wheat starch. Also, corn starch had a significant difference in iron uptake in the step 1 than steps 2 and 3 ($P < 0.05$), but the data of the second and third steps did not differ significantly ($P > 0.05$). Hydroxyl groups of D-glucose units in starch granules bond with iron ions and FTIR spectrums give drop at 575 cm^{-1} wavelengths.

This study showed that enzymatic treatment and ultrasound led to the native corn starches convert to porous starches. The corn starch is more suitable than the wheat because the wheat is more resistant and the cavities were rarely formed. The corn porous starch is a suitable carrier for iron ions.

Keywords: Porous starch, α -amylase enzyme, Ultrasound, Corn, Wheat, Iron, Fortification

(*Corresponding Author Email: mehranalami@yahoo.com)

مقاله پژوهشی

کاربرد منطق فازی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی - فازی جهت پیش‌بینی تغییرات فیزیکی و شیمیایی و طبقه‌بندی کیفی لیموشیرین پوشش‌دار طی مدت نگهداری

محسن زندی^{۱*} - علی گنجلو^۲ - ماندانا بی‌مکر^۲ - نرگس نیکومنش^۳ - نگار مرادی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

چکیده

در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از منطق فازی و با کمک روش حداکثری - حداقلی ممدانی و یکی از توابع عضویت مثلثی، گوسی و دوزنقه‌ای برای طبقه‌بندی کیفی لیموشیرین پوشش‌دهی شده با بهره‌گیری از دو الگوریتم، یکی با پنج ورودی (سفتی بافت، مواد جامد محلول، درصد رنگ سبز، حجم و رنگ پوست) و دیگری با سه ورودی حاصل از تصویر (درصد رنگ سبز، حجم و رنگ پوست) استفاده گردید. برای پیش‌بینی خصوصیات کیفی (سفتی و شاخص رسیدگی) نیز از سیستم ممدانی و توابع عضویت مطلوب مثلثی، دوزنقه‌ای، زنگوله‌ای و گوسی با کمک سه ورودی (یعنی زمان نگهداری، زاویه رنگ و حجم) استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین دقت الگوریتم طبقه‌بندی برای توابع عضویت گوسی، مثلثی و دوزنقه‌ای به ترتیب ۰/۹۷۵، ۰/۹۳۱ و ۰/۹۶۰ بود. نکته مهم دیگر این که مدل بر مبنای شاخص‌های استخراجی از تصویر نیز عملکرد بسیار خوبی داشت (صحت بالاتر از ۰/۹۶۶). مشخص شد که بهترین پیش‌بینی برای شاخص رسیدگی و سفتی بافت به ترتیب با مدل منطق فازی با توابع عضویت مثلثی (ضریب تبیین برابر ۰/۹۹۹۶) و گوسی (ضریب تبیین برابر ۰/۹۹۹۲) قابل دستیابی است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل میزان حساسیت نشان داد که زمان نگهداری بیشترین تأثیر را هم بر شاخص رسیدگی و هم بر سفتی سطحی لیموشیرین دارد. در نهایت می‌توان گفت که سیستم استنتاج عصبی - فازی عملکرد قابل قبولی در طبقه‌بندی کیفی و پیش‌بینی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لیموشیرین برخوردار است و با توجه به استفاده از خصیصه‌های استخراجی از تصاویر، به عنوان روش غیرمخرب در سردخانه‌ها قابل استفاده است.

واژه‌های کلیدی: منطق فازی، لیموشیرین، سیستم ممدانی، سیستم استنتاج عصبی - فازی، طبقه‌بندی.

مقدمه

مدل‌سازی روابط ورودی و خروجی استفاده می‌کند (Abbaspour- Gilandeh et al., 2020; Al-Mahasneh et al., 2016). امروزه از شاخص‌های بصری جهت تعیین روند رسیدگی، تغییرات کیفی طی نگهداری و به‌ویژه طبقه‌بندی میوه‌ها استفاده می‌نمایند (Fashi et al., 2018; Rad et al., 2019) که این کار به‌طور عمده با کمک سامانه ماشین بینایی و با استفاده از الگوریتم‌های ساده در حیطه منطق یا جبر بولی^۵ صورت می‌پذیرد که با تغییر اندک در شرایط دچار خطا می‌شود؛ این درحالی است که منطق فازی یک روش مدل‌سازی جامع و کارآمد است. در تئوری منطق فازی یک موضوع می‌تواند متعلق به یک یا چند مجموعه فازی با درجه‌بندی عضویت باشد. میزان عضویت توسط کارکردهای عضویت فازی تعریف شده است. توابع عضویت رایج شامل توابع مثلثی، دوزنقه‌ای، گاوسی و سیگموئید می‌باشند. این توابع عضویت به‌گونه‌ای انتخاب می‌شوند که نداشت درستی بین فضای ورودی و خروجی حاصل شود. قوانین زبانی یا اصطلاحات رابطه‌ای برای بیان

منطق فازی و سیستم استنتاج فازی تکنیک‌های جدید و کارآمدی هستند که در سال‌های اخیر برای شناسایی، طبقه‌بندی و مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی پیچیده استفاده می‌شوند (LigusPetrnek, 2018; Sakthivel et al., 2018). این منطق که نخستین بار توسط Zadeh در سال ۱۹۶۵ مطرح گردید (Zadeh, 1965)، می‌تواند برای پیش‌بینی خصوصیات خاص با قواعد دقیق و به‌منظور توصیف صحیح سیستم‌های پیچیده و غیرخطی استفاده شود. به‌طور کلی، خصوصیات کیفی و فیزیکی و شیمیایی مواد غذایی به‌عنوان سیستم‌های پیچیده غیرخطی در نظر گرفته می‌شوند. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های یادگیری هوشمند به‌طور گسترده، به منظور ارزیابی کیفی مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است. سیستم استنتاج تطبیقی عصبی - فازی (انفیس (ANFIS))^۴ یک شبکه تغذیه‌ای چند لایه است که از الگوریتم‌های یادگیری شبکه عصبی و سیستم‌های استنتاج فازی برای

رابطه ورودی - خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرد، که مسئله مهمی در مدل‌سازی با منطق فازی است. فرایند استنتاج فازی شامل سه مفهوم مهم توابع عضویت، عملیات مجموعه فازی و قوانین استنتاج است؛ این سیستم تطبیق غیرخطی بین یک یا چند متغیر ورودی و یک متغیر خروجی را تعریف می‌کند و شامل سه مرحله فازی‌سازی، استنباط و غیرفازی کردن است که به معنای تعیین تطابق غیرخطی بین یک یا چند متغیر ورودی با یک متغیر خروجی است (Birle et al., 2013). سیستم انفیس ترکیبی از شبکه عصبی مصنوعی و یک سیستم استنتاج فازی است به گونه‌ای که شبکه‌های عصبی برای تعیین ویژگی سیستم استنتاج فازی اعمال می‌شوند. در مقایسه با سایر تکنیک‌های یادگیری، انفیس دارای سرعت آموزش بالاتر، موثرترین الگوریتم یادگیری و سادگی نرم‌افزار است؛ مزیت منحصر به فرد مدل انفیس این است که نیازی به وجود هرگونه ارتباط مشخص بین متغیرهای ورودی و خروجی قبل از استفاده از مدل ندارد و این رابطه از طریق یک فرآیند خودآموزی تعیین می‌گردد (Bahram-Parvar et al., 2017). انفیس عمدتاً در بسیاری از زمینه‌ها مانند شناسایی سیستم، کنترل فازی، پردازش داده‌ها و غیره مورد استفاده قرار گرفته است. منطق فازی ابزاری مهم دیگری برای تصمیم‌گیری است که اخیراً کاربردهای نسبتاً گسترده‌ای در کنترل کیفیت مواد غذایی پیدا کرده است (Birle et al., 2013).

به تازگی استفاده از سیستم‌های هوشمند مانند استنتاج فازی و انفیس در مطالعات غذایی به خصوص مدل‌سازی تغییرات کیفی، بصری و فیزیکی و شیمیایی و نیز طبقه‌بندی میوه و سبزی‌ها طی فرایندهایی مانند نگهداری، خشک کردن، جداسازی و درجه‌بندی گسترش یافته است. تحقیقات بسیاری با هدف کاربرد روش منطق فازی و انفیس برای مدل‌سازی فرایندهای مختلف و طبقه‌بندی کیفی برخی از انواع میوه و سبزی انجام پذیرفته است. از آن جمله می‌توان به طبقه‌بندی انار از نظر رنگ و اندازه (Fashi et al., 2019)، پیش‌بینی فرآیند خشک کردن پیاز (Jafari et al., 2016)، پیش‌بینی کیفیت آب (Gharibi et al., 2012)، پیش‌بینی سینتیک خشک کردن آلو با هوای خشک (Abbaspour-Gilandeh et al., 2020)، پیش‌بینی سینتیک خشک کردن توت سفید (Rad et al., 2018)، طبقه‌بندی گوجه‌فرنگی (IrajiTosinia, 2011)، ارزیابی رسیدگی گوجه‌فرنگی (GoelSehgal, 2015)، ارزیابی حسی برای برش‌های سبب خشک‌شده با پرتودهی مادون قرمز (Sabbaghi et al., 2019) و درجه‌بندی کیفی سبب (Papageorgiou et al., 2018) اشاره کرد.

لیمو شیرین (*Citrus limetta*) نوعی از مرکبات با رنگ زرد روشن و پوست نازک است که معمولاً به‌طور گسترده در کشورهای گرمسیری آمریکا، پاکستان و هند کشت می‌شود و در ایران به دلیل شرایط آب‌وهوایی خاص، کشت این گیاه به مناطق جنوبی کشور مانند جهرم، داراب، کرمان و غیره محدود است این میوه غنی از اسکوربیک اسید است و در دنیا به سبب اثر ضد فشار خون و اثرات خنک‌کنندگی آن در

بیماری زردی یا تب زیاد شناخته شده است. در ایران برای درمان آنفولانزا و سرما خوردگی استفاده فراوان دارد. تولید سالانه این محصول در ایران بین ۵۵۰ تا ۶۰۰ هزار تن می‌باشد (Askari et al., 2019; Barreca et al., 2011). با توجه به دمای هوای مناطق کشت لیموشیرین و آب فراوان این محصول باغی، سرعت تبخیر، تنفس، تعرق، واکنش‌های بیوشیمیایی و میکروبی در آن بالا است که منجر به کاهش کیفیت لیمو شیرین طی نگهداری می‌گردد. استفاده از پوشش‌دهی کی از روش‌های کاهش سرعت این تغییرات کیفی، می‌باشد. در چند دهه گذشته، پوشش‌های خوراکی حاصل از ترکیبات طبیعی به سبب توجه به سلامتی مصرف‌کننده و حفظ محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است و به‌عنوان ابزارهایی مؤثر در افزایش زمان ماندگاری میوه به کار گرفته شده‌اند (Kingwascharapong et al., 2020). تاکنون مطالعات فراوانی با هدف بررسی تاثیر پوشش‌های خوراکی بر افزایش مدت زمان ماندگاری میوه‌ها انجام شده است (Askari et al., 2019; Chen et al., 2019; Kingwascharapong et al., 2020; Klangmuang and Sothornvit, 2018; MaftoonazadRamaswamy, 2019; Morsy and Rayan, 2019; Yan et al., 2019). در بیشتر این پژوهش‌ها از ترکیبات طبیعی برای ایجاد اثرات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی استفاده شده است. عصاره برگ تربچه به سبب خواص آنتی‌اکسیدانی فراوان، امکان استفاده در پوشش‌ها را برای افزایش زمان ماندگاری میوه دارد (Chung et al., 2012; Sung et al., 2016)، که تاکنون پژوهشی در این زمینه انجام نشده است.

هدف از پژوهش حاضر در دو مرحله قابل بیان است؛ در گام اول بررسی اثر پوشش و شرایط نگهداری در روند تغییرات کیفی میوه‌های پوشش‌دار شده با عصاره برگ تربچه طی زمان نگهداری با کمک سیستم‌های هوشمند مانند استنتاج فازی و انفیس و در گام دوم امکان استفاده از خصوصیات بصری حاصل از تصاویر RGB و ویژگی‌های کیفی با کمک سیستم استنتاج فازی و انفیس جهت طبقه‌بندی کیفی لیموشیرین طی نگهداری.

مواد و روش‌ها

لیمو شیرین‌های زرد، کاملاً رسیده و یکنواخت (از نظر شکل، اندازه و رنگ) و برگ تربچه تازه از بازار محلی زنجان تهیه گردید. لیمو شیرین‌ها پس از شستشو با آب و هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد (سیگما، آمریکا) و با کمک جریان هوا با سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه در دمای محیط خشک شدند. برگ تربچه نیز پس از شستشو در خشک‌کن قفسه‌ای با کمک هوایی با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۱ متر بر ثانیه خشک گردید. آلزینات سدیم، گلسیرین و اتانول نیز از شرکت سیگما (آمریکا) تهیه گردید.

استخراج عصاره از برگ تربچه

استخراج عصاره برگ تربچه به روش حرارت‌دهی مقاومتی (Gavahian et al., 2013) و با کمک محلول آب و اتانول (۵۰ درصد حجمی/ حجمی) و در شدت جریان ۳۰ ولت بر سانتی‌متر و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه انجام پذیرفت. عصاره پس از فیلتراسیون و تبخیر حلال تحت شرایط خلأ حاصل گردید.

پوشش‌دهی

برای تهیه پوشش، ۵۰ میلی‌لیتر آلزینات سدیم ۲ درصد (وزنی/ حجمی)، ۱ میلی‌لیتر گلیسرین و ۰ یا ۱۰ گرم عصاره برگ تربچه مخلوط و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پوشش‌دار کردن لیمو شیرین‌ها هم با استفاده از روش غوطه‌وری (به مدت ۲ دقیقه) انجام پذیرفت. چهار گروه لیموشیرین به مدت ۵۰ روز در دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد نگهداری گردید؛ گروه اول بدون پوشش (تیمار ۱)، گروه دوم با پوشش حاوی ۱ درصد (وزنی/ حجمی) آلزینات سدیم و گلیسرین بدون عصاره برگ تربچه (تیمار ۲)، گروه سوم با پوشش حاوی ۱ درصد (وزنی/ حجمی) آلزینات سدیم و گلیسرین حاوی ۱۰ درصد عصاره برگ تربچه (تیمار ۳) و گروه چهارم که کاملاً مشابه گروه سوم بود با این تفاوت که پس از پوشش‌دار کردن توسط پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی با دانسیته پایین تحت شرایط خلأ، بسته‌بندی گردید (تیمار ۴). نمونه‌برداری و انجام آزمایشات کیفی در فواصل زمانی ۱۰ روزه انجام پذیرفت.

تصویربرداری و پیش پردازش

به‌منظور تصویربرداری سطحی از پوست لیموشیرین از محفظه پردازش تصویر مجهز به دو لامپ مهتابی (SMD با توان ۱۵ وات) و یک پنل نوری (SMD با توان ۲۰ وات) استفاده گردید. تصویربرداری با کمک دوربین (کانن، ۷۰D، ژاپن) در فاصله ۵۵ سانتی‌متری از نمونه و در حالت خام^۱ (با سرعت شاتر^۲ ۱/۶ ثانیه و دیافراگم^۳ f(۱/۵) انجام پذیرفت. تصویربرداری با استفاده از پس‌زمینه سفید و در جهات مختلف لیمو شیرین صورت گرفت و تصاویر RGB با وضوح ۱۶۰۰×۱۲۰۰ پیکسل (۴۰۰dpi) به‌دست آمد. تصاویر لیموشیرین به‌دست آمده پس از تقطیع، تبدیل لاپلاس و حذف نویز با کمک فیلتر میانه^۴، با بهره‌گیری از هیستوگرام از پس‌زمینه جدا شد. کانال‌های رنگی R، G و B هر تصویر به‌طور جداگانه استخراج شد و محیط آن از RGB به مختصات CIELab تبدیل گردید. دو ویژگی زاویه رنگ^۵ (h^*) و حجم لیمو شیرین به ترتیب بر اساس روابط ۲ و ۳ از تصاویر CIELab و دو دویی^۶ استخراج گردید. پیش پردازش تصاویر و استخراج خصیصه اولیه با کمک جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب (R2019a، آمریکا) انجام پذیرفت.

$$h^* = \arctan(b^*/a^*) \quad (2)$$

$$Volume (V) = \frac{\pi D^3}{6} \quad (3)$$

ساختار مدل فازی و انفیس جهت طبقه‌بندی

فازی‌سازی اولین قدم در فرآیند ایجاد سیستم استنتاج فازی است (Rad et al., 2018) و در طی آن، متغیرهایی که برای توصیف فرآیند تصمیم‌گیری برای ارزیابی کیفیت میوه لیموشیرین استفاده می‌شوند، توصیف و تحلیل می‌گردند. در این پژوهش قواعد اگر- آنگاه فازی برای ارزیابی و طبقه‌بندی کیفیت میوه لیموشیرین شامل پنج ورودی و یک خروجی استفاده شد. ورودی‌ها شامل سفتی بافت، مواد جامد محلول کل، درصد رنگ سبز، حجم و رنگ پوست (زاویه رنگ) بودند. پنج ویژگی کیفی به‌عنوان مجموعه‌های فازی تعریف شده و توابع عضویت به آنها اختصاص داده شده است (شکل ۲). متغیرهای کیفی و کمی برای لیمو شیرین وجود دارند که طبق مراحل شرح داده شده باید فازی‌سازی، استنباط و غیرفازی شوند. برای فازی کردن این ویژگی‌ها از متغیرهای زبانی کم (L)، متوسط (M) و زیاد (H) استفاده شد. این سیستم از قوانین فازی اگر- آنگاه برای شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل رابطه نگاشت غیرخطی بین داده‌های ورودی و خروجی از طریق فرآیند یادگیری برای تعیین توزیع بهینه تابع عضویت استفاده می‌کند و شامل

آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی

افت وزن لیموشیرین از نسبت اختلاف وزن نمونه‌ها در زمان‌های مختلف با زمان صفر به وزن اولیه برای حداقل ۱۰ نمونه در هر تیمار محاسبه گردید (Kingwascharapong et al., 2020). تغییرات سفتی (F) لیموشیرین با کمک آزمون نفوذ و با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (STM-5، سنتام، ایران) انجام پذیرفت؛ بدین منظور از پروب استوانه‌ای به قطر ۳ میلی‌متر و سرعت نفوذ ۱۰ میلی‌متر بر ثانیه استفاده گردید و پروب تا عمق ۲۰ میلی‌متری نمونه وارد گردید.

برای انجام آزمون‌های شیمیایی ابتدا آب لیموشیرین گرفته شد و در ادامه مواد جامد محلول کل (TSS) (بر حسب درجه بریکس) با استفاده از رفراکتومتر دستی (آکروس، HR18-01، آلمان) اندازه‌گیری شد. تعیین اسیدیته قابل تیترا (TA) (درصد اسید) بر طبق روش AOAC انجام شد. شاخص رسیدگی (RPI) نیز با کمک رابطه ۱ محاسبه گردید (Vélez-Rivera et al., 2014):

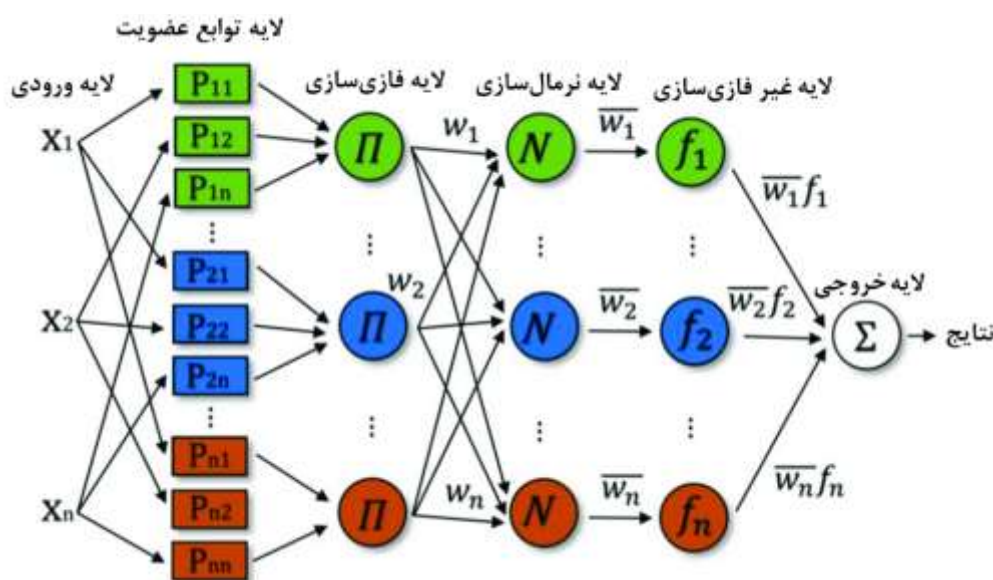
$$RPI = \ln(100 \times |F| \times \frac{TA}{TSS}) \quad (1)$$

پایاده سازی منطق فازی و انفیس در این پژوهش از جعبه ابزارهای منطق فازی و انفیس در نرم افزار متلب (R2019a، آمریکا) استفاده گردید.

۵ لایه است: لایه اول - فازی سازی ورودی، لایه دوم - ایجاد پایگاه داده مجموعه فازی، لایه سوم - ایجاد پایه قاعده فازی، لایه چهارم - تصمیم گیری و لایه پنجم - غیرفازی کردن خروجی (شکل ۲). برای



شکل ۱ - (الف) تصویر اصلی لیمو شیرین (ب) تصویر لیمو شیرین پس از اعمال فیلتر (میان) و (ج) تصویر دو دویی



شکل ۲ - ساختار انفیس

شامل درجه ۱، درجه ۲، درجه ۳ و درجه ۴ اختصاص داده شد (شکل ۴ و ۵).

برای تعریف مجموعه های فازی دو روش مختلف وجود دارد: روش اول تعریف ارزش های زبانی بر اساس رفتار متغیر و روش دوم تعریف ارزش های زبانی بر اساس دانش متخصصان در دامنه صفر تا ۱. شایان ذکر است که کارکردهای عضویت فازی هر کلاس با کلاس های همسایه همپوشانی دارند. در پژوهش حاضر از روش حداکثری - حداقلی ممدانی برای مکانیسم استنتاج و از توابع عضویت مثلثی^۱، گاوسی^۲ و دوزنقه ای^۳ به سبب ساده و متداول بودن، استفاده گردید. هدف گزینش

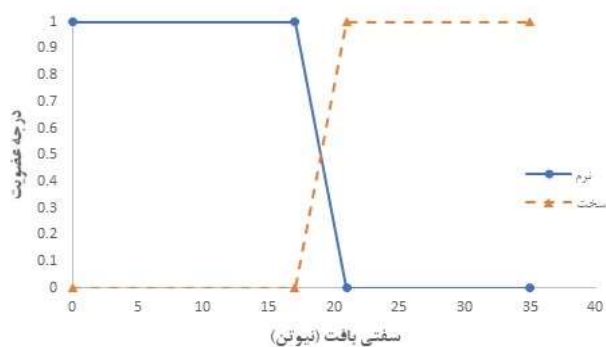
بر اساس مطالعات تجاری و نیز مطالعات پیشین و آزمون های حساس غیررسمی از مصرف کننده (Birle et al., 2013; Rad et al., 2018)، سه سطح کیفی برای مواد جامد محلول و درصد رنگ سبز (پایین، متوسط و زیاد)، سه سطح کیفی برای حجم (تازه، چروکیده و خشک شده)، سه سطح کیفی برای رنگ پوست (زاویه رنگ) (زرد روشن، زرد و بسیار زرد) و دو سطح کیفی برای سفتی بافت (نرم و سفت) استفاده شد. کیفیت کلی میوه لیمو شیرین، متغیر تعریف شده به عنوان خروجی است که بر اساس مطالعات تجربی و بر اساس ظاهر چهار طبقه کیفی

3 Trapezoidal

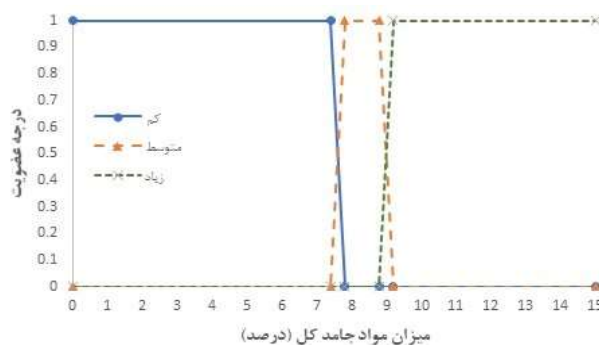
1 Triangular
2 Gaussian

تعریف رابطه بین این فهرست عددی و اصطلاحات زبانی در نظر گرفته شد.

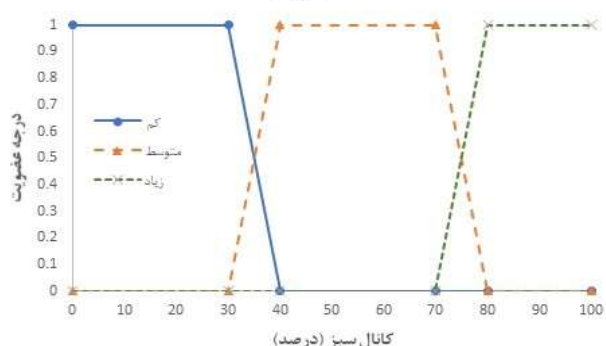
نوع تابع عضویت و درجه عضویت برای ایجاد بهترین پیکربندی بود. در این پژوهش برای توصیف سطح کیفی لیموشیرین یک شاخص پیوسته عددی (بین صفر تا ۱) با استفاده از مجموعه های فازی برای



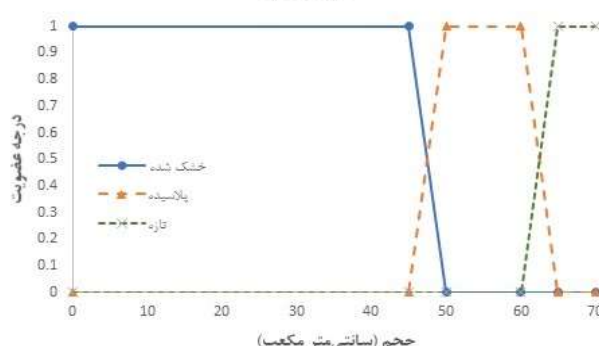
(ب)



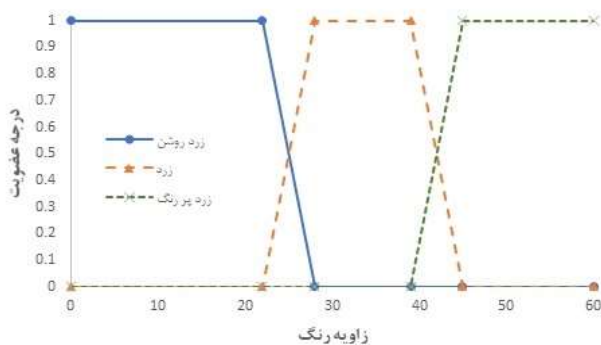
(الف)



(د)



(ج)



(ذ)

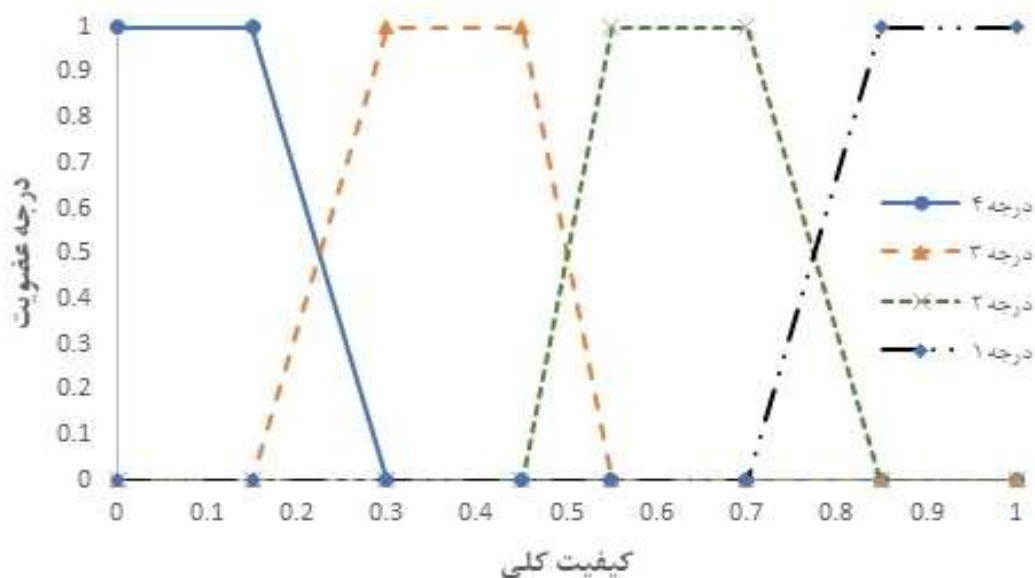
شکل ۳- نمونه توابع عضویت برای (الف) مواد جامد محلول کل، (ب) سفتی یافت، (ج) حجم، (د) رنگ سبز و (ذ) رنگ پوست (زاویه رنگ).

استفاده از تصاویر سه ورودی شامل درصد رنگ سبز، حجم (حاصل از تصویر) و رنگ پوست (زاویه رنگ) در نظر گرفته شد؛ در این حالت نیز الگوریتم مشابه الگوریتم قبل بود و سیستم استنتاج فازی مورد استفاده در این حالت دارای ۲۷ قانون بر اساس توابع عضویت در نظر گرفته شده برای ورودی ها می باشد. از الگوریتم یادگیری پیوندی که ترکیبی از الگوریتم پس انتشار خطا و روش حداقل مربعات می باشد، برای آموزش و تطبیق با سیستم استنتاج فازی استفاده شد. در این پژوهش

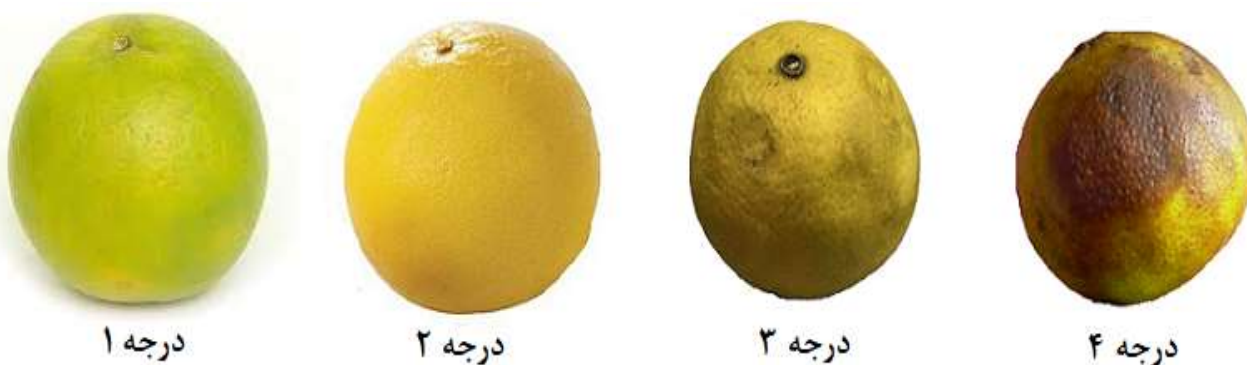
سیستم استنتاج فازی مورد استفاده در پژوهش حاضر دارای ۱۶۲ قانون بر اساس توابع عضویت در نظر گرفته شده برای ورودی ها می باشد. به طور مثال اگر پوست میوه نرم، رنگ پوست زرد، حجم زیاد و کانال سبز کم باشد، آنگاه درجه کیفی از نوع درجه اول است. برای خروجی نیز توابع عضویت تعریف گردید. قواعد اگر- آنگاه فازی نیز تعریف و به وسیله غیرفازی سازی های خروجی به عدد تبدیل شد. در طبقه بندی دیگری به منظور حذف آزمون های فیزیکی و شیمیایی و تنها

بر اساس اطلاعات واقعی موجود، نمایش می‌دهد. در این ماتریس اعداد موجود در قطر مورب برای نمونه‌هایی است که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و اعداد خارج از قطر اصلی نیز نشان‌دهنده نمونه‌هایی است که به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند. در این جدول اعداد موجود در هر ستون نشان‌دهنده اعداد پیش‌بینی و اعداد موجود در هر ردیف نشان‌دهنده اعداد واقعی است.

۷۵ درصد از داده‌ها برای آموزش و ۲۵ درصد از داده‌ها برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. برای مقایسه جداسازی و طبقه‌بندی کیفی لیموشیرین‌ها با استفاده از شاخص رسیدگی و کارشناس با منطق فازی (دو الگوریتم مختلف) از آزمون کیفی مربع کای اسکوتر^۱ استفاده شد. ماتریس درهم‌ریختگی برای بررسی صحت طبقه‌بندی استفاده گردید. جدول یا ماتریس درهم‌ریختگی، نتایج حاصل از طبقه‌بندی را



شکل ۴- نمونه توابع عضویت (خروجی) کیفیت کلی لیمو شیرین.



شکل ۵- درجات مختلف لیمو شیرین.

عضویت مطلوب از میان توابع مختلف مثلثی، دوزنقه‌ای، زنگوله‌ای و گاوسی و درجه عضویت مناسب آنها برای هر ترکیب ورودی از آزمون و خطا به دست آمد. تعداد بهینه توابع عضویت معمولاً به صورت آزمون و خطا تعیین می‌شود و به صورت تجربی تأیید می‌گردد. از سه ورودی (یعنی زمان نگهداری، زاویه رنگ و حجم (حاصل از تصویر)) برای

مدل‌سازی انفیس و منطق فازی جهت پیش‌بینی خصوصیات

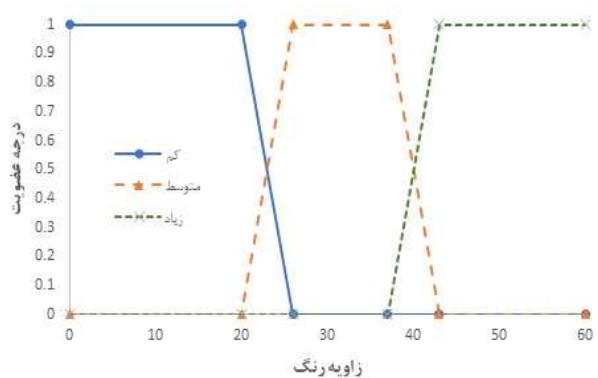
کیفی

در این پژوهش مدل‌سازی استنتاج تطبیقی عصبی- فازی تحت قوانین فازی اگر- آنگاه برای متغیرهای ورودی و خروجی صورت پذیرفت به این منظور از سیستم مددانی استفاده گردید و تابع

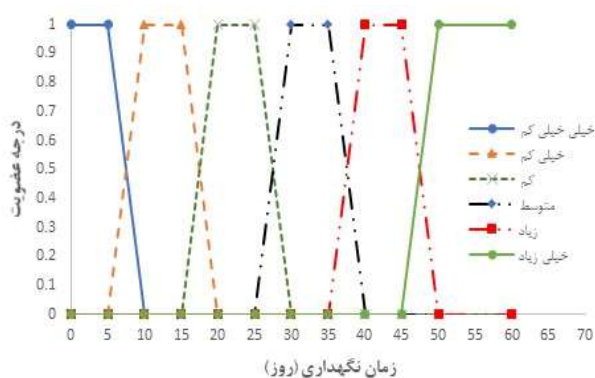
1 Chi square test

خطا و روش حداقل مربعات می‌باشد، برای آموزش و تطبیق با سیستم استنتاج فازی استفاده شده است.

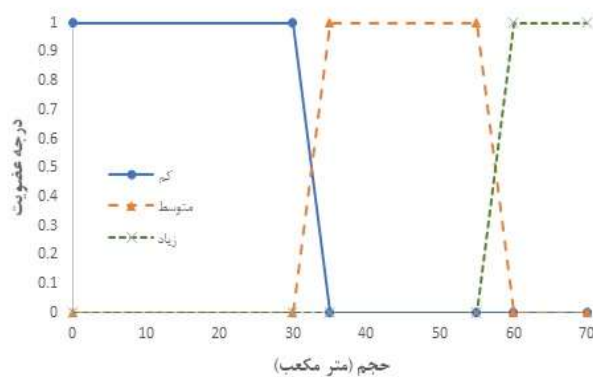
به منظور مشخص کردن اهمیت نسبی هر یک از متغیرهای ورودی مدل استنتاج فازی تجزیه و تحلیل میزان حساسیت انجام گردید. برای تعیین میزان حساسیت مدل به هر یک از خصوصیات ورودی شامل زمان نگهداری، زاویه رنگ و حجم (حاصل از تصویر) از روش حذف آنها استفاده گردید (Kaveh et al., 2018).



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۶- توابع عضویت برای (الف) زمان نگهداری، (ب) رنگ پوست (زاویه رنگ) و (ج) حجم.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{P-O}{O} \right|}{n} \times 100 \quad (۶)$$

که P ، O و n به ترتیب داده تجربی، داده پیش‌بینی شده، تعداد مشاهده و تعداد خصوصیات مدل است. رسم نمودارها و محاسبه نوار خطا به ترتیب با کمک نرم‌افزارهای اکسل (نسخه ۲۰۱۶) و متلب (Matlab R2019a) صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

طبقه‌بندی کیفی لیموشیرین

دو نوع الگوریتم طبقه‌بندی یکی بر مبنای خصوصیات کیفی و دارای ۵ ورودی (شامل سفتی پوست، مواد جامد محلول کل، درصد

پیش‌بینی خصوصیات کیفی (سفتی و شاخص رسیدگی) استفاده شد. قوانین فازی به منظور برقراری ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی تعریف شدند. برای فازی کردن خصوصیات ورودی از متغیرهای لفظی کم، متوسط و زیاد برای متغیرهای ورودی زاویه رنگ و حجم و از متغیرهای لفظی خیلی خیلی کم، خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد برای متغیر ورودی زمان نگهداری استفاده گردید (شکل ۶). همچنین از الگوریتم یادگیری پیوندی که ترکیبی از الگوریتم پس انتشار

تجزیه و تحلیل و ارزیابی مدل پیش‌بینی

مقایسه میانگین با کمک آنالیز واریانس و آزمون تعقیبی دانکن و با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۶، آمریکا) انجام پذیرفت. ارزیابی و مقایسه مدل با کمک ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و درصد خطای مطلق (MAPE) انجام شد (Abbaspour- Gilandeh et al., 2020; Rad et al., 2018; Sabbaghi et al., 2019):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O-P)^2}{\sum_{i=1}^n (O-P)^2} \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{(O-P)^2}{n-p}} \quad (۵)$$

رنگ سبز، حجم و رنگ پوست (زاویه رنگ)) و دیگری بر مبنای خصیصه‌های استخراجی از تصاویر و دارای ۳ ورودی (شامل درصد رنگ سبز، حجم (حاصل از تصویر) و رنگ پوست (زاویه رنگ)) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲) و دقت طبقه‌بندی هر کدام با طبقه‌بندی با کمک شاخص رسیدگی و جداسازی نمونه‌ها توسط کارشناس بررسی گردید (جدول ۱).

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد، طبقه‌بندی انجام شده توسط الگوریتم بر مبنای خصوصیات کیفی نسبت به الگوریتم بر مبنای خصیصه‌های حاصل از تصویر از دقت بالاتری برخوردار است که شاید دلیل آن تاثیر سفتی پوست و میزان مواد جامد محلول کل بر کیفیت نهایی لیمو شیرین باشد، به‌طوری‌که با افزایش زمان نگهداری میزان سفتی پوست به دلیل افزایش از دست دادن رطوبت، افزایش می‌یابد از طرف دیگر به سبب از دست دادن وزن و تغییرات هیدرولیتیکی

پلی‌ساکاریدها میزان مواد جامد محلول کل طی زمان نگهداری افزایش می‌یابد (Askari et al., 2019). با آن‌که دقت الگوریتم بر مبنای خصوصیات کیفی نسبت به الگوریتم بر مبنای خصیصه‌های حاصل از تصویر بالاتر است ولی با این حال این الگوریتم هم توانسته با دقت و صحت بالایی نمونه‌های لیمو شیرین را به درجه‌های کیفی مختلف جداسازی نماید. شاید علت این امر نقش مهم رنگ و خصوصیات ظاهری بر درجه‌بندی کیفی میوه و سبزی‌ها و نقش کم رنگ‌تر خصوصیات نظیر سفتی بافت و میزان مواد جامد محلول کل بر بازاریابی محصول است. نتایج طبقه‌بندی نشان داد که دقت هر دو الگوریتم طبقه‌بندی برای تیمارهای مختلف تفاوت معناداری ($p < 0.05$) نداشت و تیمارهای مختلف تاثیر بر دقت جداسازی نگذاشت.

جدول ۱- دقت دسته‌بندی الگوریتم‌های مختلف با انواع توابع عضویت در تیمارهای مختلف برای مجموعه‌ی آموزشی و آزمایشی.

مدل	تابع عضویت	حساسیت ^۱	تیمار ۱		تیمار ۲		تیمار ۳		تیمار ۴	
			آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون
بر مبنای خصوصیات کیفی	گاوسی	۰/۹۴۳	۰/۹۵۷	۰/۹۸۲	۰/۹۶۴	۰/۹۹۰	۰/۹۶۶	۰/۹۸۵	۰/۹۶۳	۰/۹۸۲
	مثلثی	۰/۹۰۱	۰/۹۲۱	۰/۹۵۴	۰/۹۱۵	۰/۹۳۲	۰/۹۱۴	۰/۹۲۸	۰/۹۲۰	۰/۹۴۱
	دوزنقه‌ای	۰/۹۲۱	۰/۹۴۹	۰/۹۷۲	۰/۹۵۱	۰/۹۶۵	۰/۹۴۵	۰/۹۷۳	۰/۹۵۱	۰/۹۶۷
بر مبنای خصیصه‌های استخراجی از تصاویر	گاوسی	۰/۹۳۲	۰/۹۲۹	۰/۹۵۴	۰/۹۳۲	۰/۹۶۹	۰/۹۳۶	۰/۹۷۳	۰/۹۴۲	۰/۹۶۹
	مثلثی	۰/۹۱۲	۰/۹۱۱	۰/۹۳۳	۰/۹۰۵	۰/۹۲۱	۰/۹۰۱	۰/۹۱۸	۹۰۳	۰/۹۲۲
	دوزنقه‌ای	۰/۹۲۰	۰/۹۱۹	۰/۹۵۱	۰/۹۲۱	۰/۹۴۲	۰/۹۳۱	۰/۹۵۸	۰/۹۱۶	۰/۹۵۲

نتایج و تجزیه و تحلیل ارزیابی کارشناسان و سیستم استنتاج فازی توسعه یافته نشان داد که میانگین دقت تیمارهای مختلف به معنی میانگین خطای مقادیر اولیه (تفاوت در مقادیر پیش‌بینی شده و اولیه کیفیت میوه) تولید شده توسط سیستم استنتاج فازی برای توابع عضویت گاوسی، مثلثی و دوزنقه‌ای به ترتیب ۰/۹۷۵، ۰/۹۳۱ و ۰/۹۶۰ می‌باشد. نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان می‌دهد که مدل طبقه‌بندی فازی طراحی شده از عملکرد قابل قبولی در طبقه‌بندی کیفی لیمو شیرین برخوردار است. ضمن آن‌که به دلیل استفاده از متغیرهای زبان شناختی در سیستم فازی، در صنعت به سادگی می‌توان از آن استفاده نمود. نکته مهم دیگر در نتایج فوق این بود که مدل بر مبنای خصیصه‌های استخراجی از تصویر نیز عملکرد بسیار خوبی داشت به‌طوری‌که میانگین دقت تیمارهای مختلف تولید شده توسط سیستم استنتاج فازی برای توابع عضویت گاوسی، مثلثی و دوزنقه‌ای به ترتیب ۰/۹۶۶، ۰/۹۲۳ و ۰/۹۵۱ بود. به‌منظور دستیابی به بهترین پیکربندی انفیس تعدادی آزمون انجام

و شبکه‌ای با کمترین میزان خطای آزمون میانگین انتخاب گردید. بهترین پیکربندی برای توابع عضویت گاوسی بود. با کمک ماتریس درهم‌ریختگی (جدول ۲) می‌توان درصد صحت طبقه‌بندی برای هر طبقه برای الگوریتمی با بهترین پیکربندی (گاوسی) مشخص گردد. در این ماتریس اعداد موجود در قطر مورب برای نمونه‌هایی است که به درستی طبقه بندی شده‌اند و اعداد خارج از قطر اصلی نیز نشان‌دهنده نمونه‌هایی است که به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند. در این جدول اعداد موجود در هر ستون نشان‌دهنده اعداد پیش‌بینی و اعداد موجود در هر ردیف نشان‌دهنده اعداد واقعی است. نتایج ارائه شده در ماتریس درهم‌ریختگی نشان‌دهنده توانایی مدل بر مبنای خصیصه‌های استخراج شده از تصاویر در طبقه‌بندی نتایج با صحت بالا همانند الگوریتم بر مبنای خصوصیات کیفی است. تاکنون پژوهشی به‌منظور طبقه‌بندی کیفی لیمو شیرین طی نگهداری انجام نشده است اما پژوهش‌هایی برای طبقه‌بندی کیفی گوجه‌فرنگی (GoelSehgal,

2015) و سیب (Papageorgiou et al., 2018) با کمک سیستم استنتاج فازی و انفیس و با تکیه بر خصوصیات استخراج شده از تصویر انجام پذیرفته است که نتایج آن همانند این پژوهش نشان داد که عملکرد این سیستم‌های هوشمند مطلوب است و این سیستم‌ها توانست با دقت و صحت بالایی طبقه‌بندی را انجام دهد.

جدول ۲- ماتریکس درهم ریختگی برای طبقه‌بندی و اعتبارسنجی نتایج.

مدل	درجه	۱	۲	۳	۴
خصوصیات کیفی	۱	۱۴۲	۱	۰	۰
	۲	۴	۱۴۸	۳	۰
	۳	۰	۳	۱۴۷	۴
	۴	۰	۰	۱	۱۳۵
صحت		۰/۹۷۳	۰/۹۷۴	۰/۹۷۴	۰/۹۷۱
خصیصه‌های استخراجی از تصاویر	۱	۱۴۰	۳	۰	۰
	۲	۶	۱۴۵	۳	۰
	۳	۰	۴	۱۴۳	۴
	۴	۰	۰	۵	۱۳۵
صحت		۰/۹۵۹	۰/۹۵۴	۰/۹۴۷	۰/۹۷۱

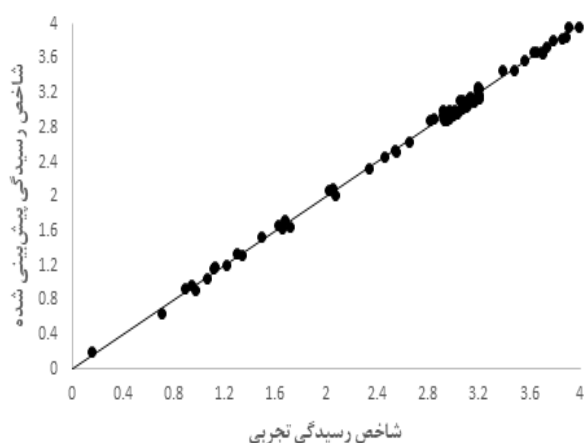
پیش‌بینی خصوصیات کیفی

و درجه عضویت مختلف انجام شد. به‌طور کلی، ۵۴ قانون اگر- سپس برای پیش‌بینی دو خصوصیت کیفی سفتی بافت و شاخص رسیدگی استفاده گردید.

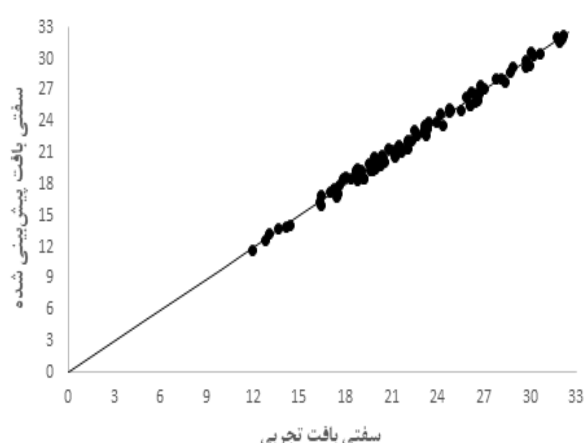
پیش‌بینی خصوصیات کیفی با بهره‌گیری از سیستم استنتاج مددانی در جعبه ابزار نرم‌افزار متلب تحت قواعد اگر- سپس با سه ورودی و با استفاده از توابع عضویت مختلف مثلثی، دوزنقه‌ای، زنگوله‌ای و گوسی

جدول ۳- برخی از بهترین پیکربندی سیستم استنتاج تطبیقی فازی- عصبی برای پیش‌بینی خصوصیات کیفی لیموشیرین.

ویژگی	تابع عضویت	تعداد توابع عضویت	آموزش			آزمون		
			R ²	RMSE	MAPE	R ²	RMSE	MAPE
شاخص رسیدگی	گاوسی	۳	۰/۹۷۶۳	۰/۰۱۲۳	۱۰/۱۲	۰/۹۹۸۵	۰/۰۰۸۹	۴/۰۵
		۲	۰/۹۶۷۱	۰/۰۱۶۷	۱۰/۸۹	۰/۹۹۷۶	۰/۰۰۹۴	۴/۶۸
	زنگوله‌ای	۲	۰/۹۷۹۹	۰/۰۱۰۹	۹/۹۶	۰/۹۹۹۱	۰/۰۰۷۶	۳/۹۷
		۴	۰/۹۷۰۵	۰/۰۱۴۱	۱۰/۴۳	۰/۹۹۸۰	۰/۰۰۹۴	۴/۱۱
	مثلثی	۲	۰/۹۸۰۱	۰/۰۰۹۱	۹/۸۷	۰/۹۹۹۳	۰/۰۰۴۳	۳/۹۰
		۳	۰/۹۷۶۵	۰/۰۱۲۹	۱۰/۱۹	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۸۲	۴/۰۱
	دوزنقه‌ای	۲	۰/۹۶۴۵	۰/۰۱۴۲	۱۰/۹۷	۰/۹۹۴۵	۰/۰۰۹۱	۴/۹۹
		۴	۰/۹۶۰۱	۰/۰۱۹۲	۱۱/۱۱	۰/۹۹۳۳	۰/۰۰۹۷	۵/۴۳
	گاوسی	۲	۰/۹۸۱۱	۰/۰۰۹۰	۹/۴۵	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۶۲	۳/۸۷
		۳	۰/۹۷۴۵	۰/۰۰۹۶	۱۰/۰۵	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۷۳	۴/۱۰
سفتی بافت	زنگوله‌ای	۳	۰/۹۷۱۴	۰/۰۱۱۱	۱۰/۳۶	۰/۹۹۸۸	۰/۰۰۹۱	۴/۳۳
		۴	۰/۹۶۹۳	۰/۰۱۵۴	۱۰/۶۷	۰/۹۹۸۱	۰/۰۰۹۷	۴/۵۴
	مثلثی	۲	۰/۹۶۸۳	۰/۰۱۵۹	۱۰/۷۹	۰/۹۹۸۰	۰/۰۰۹۵	۴/۶۰
		۴	۰/۹۶۲۰	۰/۰۱۷۴	۱۱/۰۵	۰/۹۹۷۴	۰/۰۱۰۱	۴/۸۶
	دوزنقه‌ای	۲	۰/۹۷۱۱	۰/۰۱۳۳	۱۰/۴۹	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۶۹	۳/۹۵
		۴	۰/۹۶۶۴	۰/۰۱۲۸	۱۰/۲۴	۰/۹۹۸۷	۰/۰۰۷۴	۴/۴۲



(ب)



(الف)

شکل ۷- داده‌های (الف) سفتی بافت، (ب) شاخص رسیدگی پیش‌بینی شده توسط مدل فازی نسبت به داده‌های تجربی.

نتیجه رسیدن که زمان خشک کردن بیشترین تاثیر را بر خروجی دارد (Kaveh et al., 2018)، که این به سبب مستقل بودن عامل زمان و تاثیر بر سایر عوامل می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاربرد سیستم استنتاج فازی برای طبقه‌بندی و پیش‌بینی خصوصیات کیفی لیموشیرین طی نگهداری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج طبقه‌بندی کیفی لیمو شیرین به ۴ درجه نشان داد که هر دو سیستم استنتاج فازی با الگوریتم‌های بر پایه خصوصیات کیفی و خصیصه‌های حاصل از تصویر قادرند تا طبقه‌بندی را با دقت و صحت بالایی انجام دهند. نکته مهم دیگر عملکرد بسیار خوب مدل بر مبنای خصیصه‌های استخراجی از تصویر می‌باشد، به‌طوری‌که دقت تیمارهای مختلف تولید شده توسط سیستم استنتاج فازی برای تابع عضویت گاوسی بالاتر از بقیه توابع عضویت بود. پیش‌بینی خصوصیات کیفی سفتی بافت و شاخص رسیدگی با موفقیت توسط سیستم استنتاج فازی انجام پذیرفت. همبستگی بالای بین مقادیر پاسخ تجربی و پاسخ پیش‌بینی شده توسط مدل فازی نشان‌دهنده دقت بالای این مدل بود. نتایج تجزیه و تحلیل میزان حساسیت نشان داد که زمان نگهداری بیشترین تاثیر در پیش‌بینی دارد. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که مدل طبقه‌بندی فازی طراحی شده از عملکرد قابل قبولی در طبقه‌بندی کیفی و پیش‌بینی کیفی لیموشیرین برخوردار است. ضمن آن‌که به دلیل استفاده از متغیرهای زبان شناختی در سیستم فازی، در صنعت به سادگی می‌توان از آن استفاده نمود.

نتایج حاصل از پیش‌بینی با توابع عضویت مختلف و بهترین درجه عضویت در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بهترین پیش‌بینی برای شاخص رسیدگی و سفتی بافت به‌ترتیب با مدل منطق فازی با توابع عضویت مثلثی (تعداد توابع عضویت ۲) و گوسی (تعداد توابع عضویت ۲) انجام پذیرفت. ضریب تبیین پیش‌بینی شاخص رسیدگی و سفتی بافت برای بهترین پیکربندی به‌ترتیب برابر ۰/۹۹۹۶ و ۰/۹۹۹۲ بود. مقایسه ضریب همبستگی بین مقادیر پاسخ تجربی و پاسخ پیش‌بینی شده توسط مدل فازی برای خروجی‌های سفتی بافت و شاخص رسیدگی در شکل ۷ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، همبستگی بالای این داده‌ها نشان‌دهنده دقت بالای مدل فازی انتخاب شده می‌باشد. تاکنون پژوهشی به‌منظور استفاده از سیستم‌های استنتاج فازی برای پیش‌بینی خصوصیات کیفی طی نگهداری میوه و سبزی‌ها انجام نشده است ولی گزارشات زیادی در زمینه استفاده از سیستم فازی ممدانی برای پیش‌بینی خشک کردن محصولات مختلف غذایی توسط محققان مختلف منتشر شده است (Abbaspour-Gilandeh et al., 2020; Banakar et al., 2017; Jafari et al., 2016; Nadian et al., 2017; Rad et al., 2018). نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل میزان حساسیت نشان داد که (جدول ۴) زمان نگهداری بیشترین تاثیر را هم بر شاخص رسیدگی و هم بر بافت سطحی لیمو شیرین دارد. به عبارت دیگر با تغییر زمان نگهداری شاخص رسیدگی و بافت بیشترین تغییر را می‌کند. شاید علت این امر این باشد که زمان نگهداری خود به‌عنوان ویژگی مستقل است که بر روی سایر ورودی‌ها شامل زاویه رنگ و حجم نیز تاثیر می‌گذارد. کاوه و همکاران نیز در مدل‌سازی خشک کردن سیر و موسیر نیز به این

جدول ۴- تجزیه و تحلیل میزان حساسیت خصوصیات مستقل غیرمستقیم برای پیش‌بینی خصوصیات کیفی لیمو شیرین.

ویژگی	ورودی	R^2	RMSE	MAPE
شاخص رسیدگی	همه خصوصیات	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۶۲	۴/۲۳
	بدون زمان نگهداری	۰/۹۹۶۵	۰/۰۰۹۴	۸/۱۱
	بدون زاویه رنگ	۰/۹۹۸۹	۰/۰۰۷۱	۷/۵۹
	بدون حجم	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۶۸	۷/۲۳
سفتی بافت	همه خصوصیات	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۶۹	۴/۸۷
	بدون زمان نگهداری	۰/۹۹۵۹	۰/۰۱۱۶	۸/۹۶
	بدون زاویه رنگ	۰/۹۹۸۳	۰/۰۰۸۴	۷/۸۹
	بدون حجم	۰/۹۹۸۱	۰/۰۰۹۳	۸/۰۳

تشکر و قدردانی

"بررسی اثر پوشش آلزینات سدیم به همراه عصاره برگ تربچه جهت نگهداری لیموشیرین در شرایط مختلف (با و بدون بسته بندی تحت خلا): بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بصری (تصویری)" می‌باشد.

مطالعه حاضر حاصل بخشی از طرح پژوهشی مصوب گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه زنجان (مورخ ۱۳۹۸/۰۲/۳۰) و سمینار دوره کارشناسی خانم‌ها نرگس نیکومنش و نگار مرادی با عنوان

منابع

- Abbaspour-Gilandeh, Y. and A. Jahanbakhshi and M. Kaveh. 2020. Prediction kinetic, energy and exergy of quince under hot air dryer using ANNs and ANFIS. *Food Science & Nutrition* 8: 594-611.
- Al-Mahasneh, M., M. Aljarrah, T. Rababah and M. Alu'datt. 2016. Application of hybrid neural fuzzy system (ANFIS) in food processing and technology. *Food Engineering Reviews* 8: 351-366.
- Askari, G. and A. Karaminia and M. Mousavi. 2019. Development of novel active coating from Sagez and Sagez-Zein to increase the shelf life of sweet lemon (*Citrus limetta*). *Journal of Food and Bioprocess Engineering* 3: 47-54.
- Bahram-Parvar, M. and F. Salehi and S. M. Razavi. 2017. Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) simulation for predicting overall acceptability of ice cream. *Engineering in Agriculture, Environment and Food* 10: 79-86.
- Banakar, A., H. Zareiforoush, M. Baigvand, M. Montazeri, J. Khodaei and N. Behrooz-Khazaei. 2017. Combined application of decision tree and fuzzy logic techniques for intelligent grading of dried figs. *Journal of food process Engineering* 40: e12456.
- Barreca, D., E. Bellocco, C. Caristi, U. Leuzzi and G. Gattuso. 2011. Flavonoid profile and radical-scavenging activity of Mediterranean sweet lemon (*Citrus limetta* Risso) juice. *Food Chemistry* 129: 417-422.
- Birle, S. and M. Hussein and T. Becker. 2013. Fuzzy logic control and soft sensing applications in food and beverage processes. *Food Control* 29: 254-269.
- Chen, H. and Z. Sun and H. Yang. 2019. Effect of carnauba wax-based coating containing glycerol monolaurate on the quality maintenance and shelf-life of Indian jujube (*Zizyphus mauritiana* Lamk.) fruit during storage. *Scientia horticulturae* 244: 157-164.
- Chung, D.-H., S.-H. Kim, N. Myung, K. J. Cho and M.-J. Chang. 2012. The antihypertensive effect of ethyl acetate extract of radish leaves in spontaneously hypertensive rats. *Nutrition Research and Practice* 6: 308-314.
- Fashi, M. and L. Naderloo and H. Javadikia. 2019. The relationship between the appearance of pomegranate fruit and color and size of arils based on image processing. *Postharvest Biology and Technology* 154: 52-57.
- Gavahian, M., A. Farahnaky, K. Javidnia and M. Majzoobi. 2013. A novel technology for extraction of essential oil from *Myrtus communis*: ohmic-assisted hydrodistillation. *Journal of Essential Oil Research* 25: 257-266.
- Gharibi, H., A. H. Mahvi, R. Nabizadeh, H. Arabalibeik, M. Yunesian and M. H. Sowlat. 2012. A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. *Journal of Environmental Management* 112: 87-95.
- Goel, N. and P. Sehgal. 2015. Fuzzy classification of pre-harvest tomatoes for ripeness estimation—An approach based on automatic rule learning using decision tree. *Applied Soft Computing* 36: 45-56.
- International, A. 2006. Official methods of analysis: AOAC Int Arlington, VA.
- Iraji, M. S. and A. Tosinia. 2011. Classification tomatoes on machine vision with fuzzy the mamdani inference, adaptive neuro fuzzy inference system based (anfis-sugeno). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5: 846-853.

- Jafari, S. M., M. Ganje, D. Dehnad and V. Ghanbari. 2016. Mathematical, fuzzy logic and artificial neural network modeling techniques to predict drying kinetics of onion. *Journal of Food Processing and Preservation* 40: 329-339.
- Kaveh, M., Y. Abbaspour-Gilandeh, R. Amiri Chayjan and R. Mohammadigol. 2018. Comparison of mathematical modeling, artificial neural networks and fuzzy logic in predicting the moisture ratio of garlic and shallot in a fluidized bed dryer (In Persian). *Journal of Agricultural Machinery*.
- Kingwascharapong, P., K. Arisa, S. Karnjanapratum, F. Tanaka and F. Tanaka. 2020. Effect of gelatin-based coating containing frog skin oil on the quality of persimmon and its characteristics. *Scientia Horticulturae* 260: 108864.
- Klangmuang, P. and R. Sothornvit. 2018. Active coating from hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite incorporated with Thai essential oils on mango (cv. *Namdokmai Sithong*). *Food Bioscience* 23: 9-15.
- Ligus, M. and P. Peternek. 2018. Determination of most suitable low-emission energy technologies development in Poland using integrated fuzzy AHP-TOPSIS method. *Energy Procedia* 153: 101-106.
- Maftoonazad, N. and H. S. Ramaswamy. 2019. Application and Evaluation of a Pectin-Based Edible Coating Process for Quality Change Kinetics and Shelf-Life Extension of Lime Fruit (*Citrus aurantifolium*). *Coatings* 9: 285-294.
- Morsy, N. E. and A. M. Rayan. 2019. Effect of different edible coatings on biochemical quality and shelf life of apricots (*Prunus armenica* L. cv Canino). *Journal of Food Measurement and Characterization* 13: 3173-3182.
- Nadian, M. H., M. H. Abbaspour-Fard, A. Martynenko and M. R. Golzarian. 2017. An intelligent integrated control of hybrid hot air-infrared dryer based on fuzzy logic and computer vision system. *Computers and Electronics in Agriculture* 137: 138-149.
- Papageorgiou, E. I., K. Aggelopoulou, T. A. Gemtos and G. Nanos. 2018. Development and evaluation of a fuzzy inference system and a neuro-fuzzy inference system for grading apple quality. *Applied Artificial Intelligence* 32: 253-280.
- Rad, S. J., M. Kaveh, V. R. Sharabiani and E. Taghinezhad. 2018. Fuzzy logic, artificial neural network and mathematical model for prediction of white mulberry drying kinetics. *Heat and Mass Transfer* 54: 3361-3374.
- Sabbaghi, H. and A. M. Ziaifar and M. Kashaninejad. 2019. Design of Fuzzy System for Sensory Evaluation of Dried Apple Slices Using Infrared Radiation. *Iranian journal of Biosystem Engineering* 50: 77-89.
- Sakthivel, G. and D. Saravanakumar and T. Muthuramalingam. 2018. Application of failure mode and effect analysis in manufacturing industry-an integrated approach with FAHP-fuzzy TOPSIS and FAHP-fuzzy VIKOR. *International Journal of Productivity and Quality Management* 24: 398-423.
- Sung, N.-Y., W.-Y. Park, Y.-E. Kim, E.-J. Cho, H. Song, H.-K. Jun, J.-N. Park, M.-H. Kim, G.-H. Ryu and E.-H. Byun. 2016. Increase in anti-oxidant components and reduction of off-flavors on radish leaf extracts by extrusion process. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 45: 1769-1775.
- Vélez-Rivera, N., J. Blasco, J. Chanona-Pérez, G. Calderón-Domínguez, M. de Jesús Perea-Flores, I. Arzate-Vázquez, S. Cubero and R. Farrera-Rebollo. 2014. Computer vision system applied to classification of "manila" mangoes during ripening process. *Food and Bioprocess Technology* 7: 1183-1194.
- Yan, J., Z. Luo, Z. Ban, H. Lu, D. Li, D. Yang, M. S. Aghdam and L. Li. 2019. The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology* 147: 29-38.
- Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy sets. *Information and control* 8: 338-353.



Application of fuzzy logic and neural-fuzzy inference system (ANFIS) for prediction of physicochemical changes and quality classification of coated sweet lemon during storage

M. Zandi^{1*}, A. Ganjloo², M. Bimakr², N. Nikoomanesh³, N. Moradi³

Received: 2020.06.10

Accepted: 2020.07.13

Introduction: The base of intelligent methods is using hidden knowledge in the experimental data, trying to extract the inherent relationships among them and generalizing results to other situations. Artificial neural networks are one of the most essential methods used in the field of artificial intelligence was inspired by how the human brain works, training takes place first, and then the information related to the data is stored in the form of the network's weights. Fuzzy logic is an important decision-making tool that has recently found some applications in food quality. Also, it is possible to find out the reasons for low and high ranking of products evaluated by the judges. The fuzzy model can be used to determine the importance of individual factors to the overall quality of a product. The ANFIS model is a combination of the artificial neural network (ANN) and a fuzzy inference system (FIS) in such a way that the neural networks are applied to determine the parameter of the fuzzy inference system. The fuzzy logic theory effectively addresses the uncertainty problems that solve the ambiguity. Sweet lemon (*Citrus limetta*) fruit is a popular agricultural product cultivated in tropical countries used to treat common colds, influenza and hypertension. Sweet lemon is quite perishable with postharvest losses such as weight loss, physiological deterioration, decay, and softening texture. The objective of the present study was to investigate grading of sweet lemon fruit based on quality and visual characteristics using fuzzy logic and ANFIS.

Material and Method: Ripe sweet lemon (*Citrus limetta*) fruits and radish (*Raphanus sativus* L.) leaves were purchased from the local market in Zanjan, Iran. For emulsion solution preparation, 50 ml alginate sodium solution, 1 ml glycerin and 0 or 10 g radish leaf extract were mixed, then the coating solution volume was made up to 100 ml using distilled water. Finally, the mixture was steered for 200 second. Sweet lemon fruits were dipped in coating solutions or distillate water (for control treatment) for 2 minutes at ambient temperature (25°C) and were then air-dried for 2 h using a fan. All treatments stored at 4°C for 50 days. Firmness, pH, titratable acidity (TA), total soluble solids content (TSS), color, and shape were measured at 10-day intervals. This paper introduces an adaptive neural-fuzzy inference system (ANFIS) model to classify sweet lemon based on the quality parameters and RGB intensity values. The ANFIS with different types of input membership functions (MFs) was developed. A study was performed using fuzzy logic and adaptive neural-fuzzy inference system (ANFIS) to predict the quality parameters of sweet lemon (firmness and ripening index).

Results & Discussion: Our results showed that 'triangle2mf' MF performs much better than other mentioned MFs for defect inspection. The classification accuracy of the ANFIS with 'triangle2mf' MF was 97.5% and 96.6% for quality input and visual input, respectively, and the total correct classification rate was 97.01%. Therefore, this study indicated the possibility of developing a potentially useful classification tool using the ANFIS technique based on quality parameters and RGB values for fruit classification during processing, storage and distribution. Comparing the results obtained from fuzzy logic with various membership function, showed that the RMSE in the fuzzy logic with 'guss2mf' MF was lower than other algorithms. The proposed approach focuses on three research motivations. First, to develop a fuzzy rule-based classification system that can detect all the four quality grades of the sweet lemon. Second, the system should be able to predict the quality parameters of sweet lemon. Fuzzy logic deserved high level of accuracy in classification of sweet lemon, indicating high correlation between the data obtained from Mamdani fuzzy rules and experimental ones during storage time.

Keywords: Fuzzy logic, Sweet lemon, Mamdani inference, ANFIS, Classification.

1, 2 and 3. Assistant Professor, Associate Professor and BSc. Student, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agricultural, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

(*Corresponding Author Email: Zandi@znu.ac.ir)

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد التوژل اتیل سلولز به عنوان جایگزین شورتینگ تجاری با هدف تولید کیک با محتوای اسید چرب اشباع پایین

احمد احتیاطی^{۱*} - معصومه مهربان سنگ آتش^۱ - رضا کاراژیان^۱ - زهرا نظری^۱ - فرزاد صادقی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۷

چکیده

در این پژوهش جانشینی شورتینگ تجاری در سطح‌های صفر تا ۱۰۰ درصد با التوژل بهینه شده بر پایه ترکیب اتیل سلولز / اسید استئاریک / استئاریل الکل / سوربیتان مونو استئارات و مخلوط روغن کانولا / سویا بر ویژگی‌های کیک روغنی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، از فرمولاسیون بهینه شده برای تولید التوژل با بیشترین مشابهت با ساختار فیزیکی شورتینگ استفاده گردید. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های رطوبت، فعالیت آبی و حجم مخصوص کیک تهیه شده با شورتینگ التوژل با کیک تهیه شده با شورتینگ تجاری مشاهده نمی‌شود. از جهت رنگ پوسته، در شاخص‌های روشنایی و قرمز- سبز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و تنها در شاخص زرد- آبی، سطح ۱۰۰ درصد جانشینی، مقدار کمتری نسبت به شاهد نشان داد. در شاخص تخلخل بافت، تفاوت معنی‌داری بین پنج نمونه مورد بررسی مشاهده نشد. بررسی بافت نمونه‌های کیک نشان داد که سختی بافت و شاخص فنریت با افزایش درصد جانشینی شورتینگ تجاری کاهش می‌یابد ولی شاخص پیوستگی تفاوت معنی‌داری پیدا نکرد. همچنین با افزایش درصد جانشینی شورتینگ تجاری، با نرم‌تر شدن بافت، انرژی جویدن نمونه نیز کاهش یافت. در نهایت، ارزیابی حسی نمونه‌های کیک، تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های طعم، بافت، ظاهر، رنگ و پذیرش کلی نشان نداد. به‌طور کلی استفاده از شورتینگ التوژل به جای شورتینگ تجاری در فرمولاسیون کیک، نه تنها در سطح ۵۰ درصد جانشینی، می‌تواند کیک با ویژگی‌های قابل قبول ای به همراه دارد، حتی تا سطح ۱۰۰ درصد نیز می‌تواند جایگزین شورتینگ تجاری گردد و تنها در شاخص بافت تا حدی بافت نرم‌تری را ایجاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اتیل سلولز، اسید چرب اشباع، کیک، التوژل

مقدمه

محیط هستند و در نتیجه باعث ایجاد ساختارهای الاستیک در چربی جامد می‌گردند. ترکیب نسبت مناسب چربی‌های جامد با روغن‌ها، باعث ایجاد چربی‌های پلاستیک با خواص ویژه رئولوژیکی می‌گردد (Wilderjans et al., 2013). علاوه بر چربی‌هایی که به‌طور طبیعی جامد هستند، فرایند هیدروژنه کردن نیز برای تبدیل چربی‌های مایع به جامد، به‌واسطه تبدیل اسیدهای چرب غیراشباع به اسیدهای چرب اشباع، مورد استفاده قرار دارد. از معایب ناگزیر در این فرایند، تشکیل اسیدهای چرب ترانس، در اثر هیدروژنه کردن جزئی روغن مایع است (Pehlivanoglu et al., 2018a). امروزه ارتباط مستقیم مصرف اسیدهای چرب ترانس و بیماری‌های قلبی عروقی اثبات شده است (Valoppi et al., 2017). شورتینگ‌ها دارای بیشتر از ۵۰ درصد اسیدهای چرب اشباع هستند (Ghotra et al., 2002). طی دهه اخیر، ایجاد ساختارهای چربی نیمه جامد بدون استفاده از چربی‌های اشباع مورد توجه محققان قرار گرفته است (Martins et al., 2018).

یکی از اجزای فرمولاسیون فراورده‌های غلات، به‌ویژه محصولات کیک در آن‌ها شبکه گلوتهنی آرد گندم توسعه کم‌تری پیدا کرده است، چربی‌ها هستند که با عنوان شورتینگ نامیده می‌شوند (Ghotra et al., 2002). چربی علاوه بر کمک به تشکیل حباب‌های ریز هوا در مرحله تشکیل خمیر، به‌عنوان یک غشا در اطراف سلول هوا قرار می‌گیرد و از تخریب آن طی پخت، جلوگیری می‌کند. چربی ذوب‌شده با افزایش دما طی پخت، اجازه می‌دهد که حباب بزرگ‌تر شود و بافت محصول را متخلخل کند. عملکرد دیگر چربی در کیک، پوشش دادن آرد، حفظ رطوبت و کمک به جذب آب گلوتهن است. با توجه به اهداف عملکردی موردنظر، حضور چربی جامد در کنار چربی مایع باعث عملکرد خاص شورتینگ می‌شود (Zhou et al., 2011). خواص عملکردی شورتینگ متأثر از حضور اسیدهای چرب اشباع است. اسیدهای چرب اشباع، مسئول ایجاد کریستال‌های چربی در دمای

* - نویسنده مسئول: (Email: mahvid@live.com)

۱- گروه پژوهشی کیفیت و ایمنی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

ساختارها که با عنوان الئوژل یا ارگانوژل شناخته می‌شوند، ساختار الئوژل شامل روغن با چربی اشباع خیلی کم و یک یا چندین ترکیب ژل‌ساز بر اساس ویژگی‌های مورد انتظار است. ژل‌سازهایی که قادرند شبکه تشکیل دهند، بر اساس وزن مولکولی، به دو گروه اصلی ژل‌سازهای با وزن مولکولی پایین و ژل‌سازهای با وزن مولکولی بالا تقسیم‌بندی می‌شوند (Co and Marangoni, 2012). در گروه ژل‌سازهای با وزن مولکولی پایین، مومها (مخلوط اسیدهای چرب و الکل‌های چرب)، فیتواسترول‌ها، مونوگلیسیریدها و سورفکتانت‌ها مثال‌هایی از این گروه ژل‌سازها هستند. گروه کمتر رایج، الئوژل‌های بر پایه ژل‌سازهای با وزن مولکولی بالا مانند پلیمرها هستند (Siraj et al., 2015). در بین پلیمرهای مختلف، تنها اتیل سلولز، توانایی ژل ساختن روغن مایع بدون نیاز به فرایندهای حد واسط مثل امولسیون‌سازی، کاهش اندازه ذره، تبخیر حلال و ... را دارد. با وجودی که اتیل سلولز توانایی بالایی در ایجاد الئوژل یا ساختارهای نیمه جامد دارد اما الاستیسته بالای ژل و شکننده بودن آن، کاربرد الئوژل اتیل سلولز را برای جانشینی شورتینگ که دارای ساختار ویسکوپلاستیک یا پخش‌پذیر است، محدود می‌کند. یکی از روش‌های تغییر خصوصیات فیزیکی الئوژل‌ها، استفاده از مولکول‌های کوچک با فعالیت سطحی است. افزودن این ترکیبات به ساختار ژل، افزایش قدرت ژل و ایجاد خاصیت رئولوژیکی تیکسوتروپی را به همراه دارد (Marangoni, 2012). از دیگر ترکیباتی که می‌تواند با حضور در ساختار الئوژل، پلاستیسته را بهبود بخشد، الکل‌های چرب هستند. الکل‌های چرب، ساختار اصلی تشکیل‌دهنده مومها مانند موم کارنوبا، موم سبوس برنج، موم کاندلیا، موم زنبورعسل و سایر ترکیبات مومی هستند. مومها ترکیباتی حاوی اسیدهای چرب و الکل‌های چرب عمدتاً بلند زنجیر هستند و به دلیل ساختار هیدروکربنی مشابه چربی، در ایجاد ساختار ویسکوپلاستیک موثر هستند (Mert and Demirkesen, 2016a).

از تکنیک الئوژل‌سازی با اتیل سلولز برای جایگزینی چربی‌های با درجه اشباع بالا، در محصولات غذایی مختلف استفاده شده است. Gómez-Estaca و همکاران (۲۰۱۹) الئوژل اتیل سلولز (۱۱ درصد) و سورفکتانت سوربیتان مونواستئارات (۳/۶۷ درصد) حاوی مخلوط روغن‌های زیتون، روغن دانه کتان و روغن ماهی را به‌عنوان جایگزین چربی حیوانی در تولید پاته با درصد چربی کاهش‌یافته مورد استفاده قرار دادند. استفاده از الئوژل، باعث افزایش محتوای امگا۳ و محتوای اسید چرب غیراشباع محصول گردید اما به لحاظ حسی امتیاز کمتری نسبت به نمونه شاهد کسب کرد. اگرچه به لحاظ پایداری امولسیون، پاته بر پایه الئوژل پایداری کمتری نشان داد ولی سفتی بافت این نمونه‌ها نسبت به نمونه کنترل بیشتر بود. Barbut و همکاران (۲۰۱۶) الئوژل‌های بر پایه اتیل سلولز - سوربیتان مونواستئارات و روغن کانولا را به‌عنوان جایگزین چربی گاو در سطوح صفر تا ۸۰ درصد در

فرمولاسیون سوسیس فرانکفورت‌تر مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از روغن کانولا بدون بهره‌گیری از تکنولوژی الئوژل‌سازی، باعث افزایش سفتی سوسیس و کاهش قابلیت جویدن گردید ولی با افزایش غلظت اتیل سلولز و سوربیتان مونواستئارات، بافت نرم‌تر گردید و قابلیت جویدن بهبود یافت.

پتانسیل تکنیک الئوژل‌سازی در محصولات پخت تاکنون در موارد مختلف مورد بحث قرار گرفته است. عمده این مطالعات مبتنی بر استفاده از ژل‌سازهای مومهای طبیعی به فرم فاز کاملاً چربی و امولسیونی بوده است (Jang et al., 2015, Mert and Demirkesen, 2016b, Patel et al., 2014). Adili و همکاران (۲۰۲۰) از تکنیک الئوژل‌سازی با اتیل سلولز و آدیپیک اسید برای تولید ژل جایگزین شورتینگ استفاده کردند. این محققان شاخص‌های بافتی، حسی و رنگ را مورد بررسی قرار داده و بیان کردند الئوژل، قابلیت جایگزینی شورتینگ را دارا است. بررسی منابع نشان می‌دهد تاکنون ظرفیت تکنیک الئوژل‌سازی با اتیل سلولز و هیبرید آن با سایر ژل‌سازها به‌ویژه الکل‌های چرب برای جایگزینی شورتینگ مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف از این پژوهش، بررسی پتانسیل و عملکرد شورتینگ طراحی شده بر اساس تکنیک الئوژل‌سازی با اتیل سلولز در ترکیب با ژل‌سازهای اسید چرب و الکل چرب و سورفکتانت سوربیتان مونواستئارات بر ویژگی‌های مختلف کیک روغنی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آرد گندم، شورتینگ، شکر، شیر خشک بدون چربی، بیکنینگ‌پودر و تخم‌مرغ، روغن کانولا و روغن سویا از فروشگاه‌های محلی خریداری شد. اتیل سلولز با ویسکوزیته ۲۰ سانتی‌پواز از نمایندگی شرکت Dow Chemical با نام تجاری Ethocel Standard 20 Premium خریداری شد. همچنین اسید استئاریک و استئاریل الکل درجه تجاری از شرکت مواد شیمیایی زیست آزما (مشهد، ایران) خریداری گردید. آنتی‌اکسیدان BHT درجه تجاری از کارخانه روغن سه گل تهیه شد.

آماده‌سازی الئوژل

برای تهیه الئوژل از فرمولاسیون بهینه‌شده بر اساس مطالعات مقدماتی و پیش تیمارهای انجام‌شده، (اتیل سلولز ۶/۴ درصد وزنی/ وزنی)، مخلوط اسید استئاریک/ استئاریل الکل با نسبت ۷۵:۳۰ (۷/۵ درصد وزنی/ وزنی) و سوربیتان مونواستئارات (۰/۱ درصد وزنی/ وزنی) و روغن کانولا/ سویا با نسبت ۲۵:۷۵ (۸۶ درصد وزنی/ وزنی) با روش حرارت‌دهی مخلوط روغن و ژل‌ساز استفاده شد. به جهت جلوگیری از واکنش‌های اکسیداسیون غیرقابل کنترل در شرایط آزمایشگاهی، ابتدا به مخلوط روغن، آنتی‌اکسیدان BHT با غلظت ۱۰۰ ppm اضافه گردید و پس از هم زدن، با استفاده از هات پلیت همزن مغناطیسی دمای

درصد، کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. پروفایل اسید چرب هر دو نمونه شورتینگ تجاری و شورتینگ الئول تولید شده با تکنیک کروماتوگرافی گازی تعیین گردید که نتایج در جدول ۱ ارایه شده است. در این جدول مشاهده می‌شود که محصول طراحی شده، یعنی شورتینگ الئول دارای ۱۰ درصد اسید های چرب اشباع و بدون اسید چرب ترانس است، در حالی که شورتینگ تجاری ۶۰ درصد اسید های چرب اشباع و ۲/۸ درصد اسید چرب ترانس دارد.

روغن تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرد. در این شرایط، ژل‌سازها به روغن اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه یکنواخت گردید تا زمانی که کاملاً شفاف و عاری از ذرات نامحلول باشد. محلول تهیه شده سپس در دمای محیط به مدت ۲۴ ساعت برای تشکیل ژل بدون هم‌زدن نگهداری گردید. محاسبات تئوری بر اساس محتوای تقریبی اسید چرب اشباع روغن کانولا (۷ درصد) و روغن سویا (۱۰ درصد) نشان می‌دهد که شورتینگ الئول دارای تقریباً ۸ درصد اسید چرب اشباع است که در مقایسه با شورتینگ تجاری با اسید چرب اشباع ۵۰

جدول ۱- پروفایل اسیدهای چرب نمونه شورتینگ تجاری و شورتینگ الئول بهینه شده

ردیف	نام یا گروه اسید چرب	اشباعیت	شورتینگ تجاری (%)	شورتینگ الئول (%)
۱	لوریک اسید	اشباع	۰/۱۲	صفر
۲	میرستیک اسید	اشباع	۰/۸۳	۰/۰۶
۳	پنتادکانوئیک اسید	اشباع	۰/۰۵	صفر
۴	پالمیتیک اسید	اشباع	۴۰/۳۵	۶/۴۳
۵	مارگاریک اسید	اشباع	۰/۱۱	۰/۰۸
۶	استئاریک اسید	اشباع	۱۸/۳۸	۳/۳۱
۷	آراشیدیک اسید	اشباع	۰/۱۲	۰/۴۵
۸	پالمیتوئیک اسید	غیر اشباع	۰/۱	۰/۱۵
۹	هپتا دسنوئیک اسید	غیر اشباع	۰/۰۲	۰/۱
۱۰	ترانس اولئیک اسید	غیر اشباع	۲/۷۲	صفر
۱۱	سیس اولئیک اسید	غیر اشباع	۲۸/۲۵	۵۰/۵۵
۱۲	سیس لینولئیک اسید	غیر اشباع	۸/۵۹	۳۲/۰۷
۱۳	ترانس لینولئیک اسید	غیر اشباع	۰/۰۵	صفر
۱۴	لینولنیک اسید	غیر اشباع	۰/۲۴	۶/۷۴
۱۵	اسید های چرب اشباع	اشباع	۵۹/۹۶	۱۰/۳۳
۱۶	اسید های چرب غیر اشباع	غیر اشباع	۳۹/۹۷	۸۹/۶۱
۱۷	اسید های چرب سیس	غیر اشباع	۳۷/۲	۸۹/۶۱
۱۸	اسید های چرب ترانس	غیر اشباع	۲/۷۷	صفر
۱۹	اولئیک اسید کل	غیر اشباع	۳۰/۹۷	۵۰/۵۵
۲۰	لینولئیک اسید کل	غیر اشباع	۸/۶۴	۳۲/۰۷

آماده‌سازی کیک

فرمولاسیون اجزاء تشکیل‌دهنده کیک شامل آرد گندم نول (۱۰۰ گرم)، تخم‌مرغ (۱۸ گرم)، شکر (۵۲ گرم)، شورتینگ (۱۸ گرم)، شیر خشک (۱۲ گرم)، آب (۴۷ گرم) و بیکنینگ پودر (۵ گرم) بود. برای تهیه خمیر کیک، ابتدا شورتینگ و شکر در دور تند همزن خانگی (BOSCH، آلمان) به مدت ۱ دقیقه هم زده شد، سپس تخم‌مرغ اضافه شده و به مدت ۳ دقیقه در دور تند مخلوط کردن انجام گردید. در مرحله بعد، آرد گندم، بیکنینگ پودر و شیر خشک بدون چربی (مخلوط و الک شده) به مخلوط اضافه شده و به مدت ۳۰ ثانیه در دور کند هم‌زدن

انجام گردید و بعد از جمع‌کردن خمیر مجدداً به مدت ۳۰ ثانیه هم‌زدن ادامه یافت. در نهایت آب به فرمول اضافه و به مدت ۱۰ ثانیه در دور کند هم زده شد و در انتها به مدت ۵۰ ثانیه در دور تند، مخلوط کردن کامل شد. خمیر تهیه شده در قالب ریخته شد و در آون (ONIX، ایتالیا) پیش حرارت دیده در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد. کیک‌ها در دمای اتاق به مدت ۱ ساعت سرد گردیده و سپس بسته‌بندی شده و برای انجام آزمون‌های مربوطه (پس از یک روز ماندگاری) نگهداری شد.

رطوبت

میزان رطوبت تیمارها طبق روش AACC 44-15 و بر پایه تغییرات وزنی نمونه طی خشک شدن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از آون (BINDER، آمریکا) اندازه‌گیری شد.

فعالیت آبی

پس از کالیبره کردن دستگاه سنجش فعالیت آبی (LabMaster، سوئیس)، نمونه‌هایی همگن شده از کیک را در سل مخصوص قرار داده و فعالیت آبی آن پس از متعادل شدن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید.

حجم مخصوص

اندازه‌گیری حجم کیک طبق روش AACC 10-50 و بر اساس روش جابه‌جایی دانه کلزا انجام گرفت. برای اندازه‌گیری حجم، از دانه‌های ارزن استفاده شد. ابتدا با اندازه‌گیری وزن مربوط به حجم مشخص دانه ارزن، چگالی دانه‌ها تعیین شد. در نتیجه با مشخص بودن چگالی دانه‌ها، حجم مخصوص نمونه تعیین شد.

رنگ‌سنجی پوسته کیک

بررسی رنگ پوسته نمونه‌های کیک با روش پردازش تصویر انجام گرفت. تصویرگری پوسته و مغز کیک در فاصله‌ی دو روز پس از تولید با استفاده از دوربین دیجیتال (Canon، ژاپن) انجام شد. برای تصویرگیری از اتاقک با دیواره مشکی مات استفاده شد تا بازتاب نور در محیط به حداقل برسد. برای ایجاد نور از لامپ فلورسنت استفاده شد. دوربین در فاصله ۲۰ سانتی‌متری نمونه‌ها و کاملاً موازی با آن روی پایه ثابت بود. جهت اندازه‌گیری شاخص‌های رنگی L^* ، a^* و b^* فضای رنگی تصاویر با استفاده از نرم‌افزار ImageJ نسخه ۱/۴۴ و افزونه Color_Space_Converter از RGB به Lab تبدیل شد و سپس میانگین مقادیر در هر کانال رنگی اندازه‌گیری شد (Khalilian et al., 2016).

تخلخل

به‌منظور ارزیابی میزان تخلخل، از تکنیک پردازش تصویر مغز کیک بر پایه آستانه‌گیری استفاده شد. تصاویر در نرم‌افزار ImageJ ابتدا به فضای رنگی خاکستری تبدیل گردید و پس از آستانه‌گیری با الگوریتم اتسوز، حفرات در تصویر جداسازی گردید و نهایتاً نسبت حفرات به سطح کل اندازه‌گیری شد (Khalilian et al., 2016).

بافت کیک

به‌منظور بررسی بافت کیک در فاصله زمانی یک روز پس از تولید با استفاده از دستگاه بافت‌سنج، پروب مسطح با قطر ۳۶ میلی‌متر و آزمون آنالیز پروفایل بافت اندازه‌گیری شد. برای این کار قطعه مکعبی به بعد ۲ سانتی‌متر از مغز کیک جدا شد. شرایط آزمون شامل حد آستانه^۲ ۱۰ گرم، سرعت پروب طی پیش آزمون، طی آزمون و طی پس از آزمون ۱ میلی‌متر بر ثانیه بود و درصد فشردگی ۵۰ درصد تعریف گردید. با استفاده از منحنی نیرو-فاصله، شاخص‌های سختی، پیوستگی، شاخص فنری و انرژی جویند محاسبه شد (Ronda et al., 2011).

ارزیابی حسی

برای ارزیابی ویژگی‌های حسی از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد. آزمون‌های حسی شامل رنگ، ظاهر، بافت، طعم و پذیرش کلی توسط ۱۰ نفر ارزیاب آموزش ندیده ترکیبی از ۵ خانم و ۵ آقا تعیین گردید. در ارزیابی حسی از روش هدونیک پنج نقطه‌ای که شماره ۱ نشان دهنده کمترین امتیاز و شماره ۵، بیشترین امتیاز برای صفت مورد ارزیابی می‌باشد، استفاده شد (Khalilian Movahhed et al., 2016).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

شورتینینگ تجاری در ۵ سطح شامل صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد با شورتینینگ التوژل جایگزین گردید. آنالیز نتایج حاصل از حداقل سه تکرار اندازه‌گیری، با روش آنالیز واریانس یک‌طرفه (درصد جانشینی شورتینینگ تجاری با شورتینینگ بر پایه التوژل) انجام شد. مقایسه میانگین با آزمون Fisher's least significant difference انجام گردید. انجام تجزیه آماری با نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۷ و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

رطوبت

نتیجه آنالیز واریانس رطوبت برای نمونه‌های کیک حاوی غلظت‌های مختلف شورتینینگ نشان داد که درصد جانشینی، اثر معنی‌داری بر این مشخصه داشت (نتایج جدول آنالیز واریانس برای کلیه پاسخ‌ها در متن ارائه نشده است). مقایسه میانگین مقادیر رطوبت در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سطوح ۱۰۰ درصد شورتینینگ تجاری و ۱۰۰ درصد شورتینینگ التوژل، درصد رطوبت بالاتری در مقایسه با سطوح ترکیبی دارند. احتمالاً در شرایط ترکیبی مخلوط شورتینینگ و التوژل، تعامل متفاوت چربی با گلوتن و نشاسته منجر به حفظ کمتر رطوبت در محصول شده است. Seyhun و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که افزایش محتوای چربی باعث

استاندارد ملی ایران به شماره ۲۵۵۳) قرار دارد و بر اساس این نتایج، جایگزینی شورتینگ تجاری حتی تا ۱۰۰ درصد، به لحاظ ویژگی رطوبت، محصولی قابل قبول از نظر ویژگی های استاندارد است. محققان دیگر کاهش و افزایش رطوبت محصول را با جایگزینی شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل در فرمولاسیون کلوچه برای به ترتیب التوژل موم زنبورعسل و التوژل مونو گلیسیریدی گزارش کردند (Goldstein and Seetharaman, 2011, Yilmaz and Ogutcu, 2015).

افزایش حفظ رطوبت کیک طی پخت می گردد، با این حال اثر امولسیفایر DATEM در غلظت های بالا و پایین چربی متفاوت بود. در غلظت بالای چربی، امولسیفایر باعث افزایش از دست دادن رطوبت شد ولی در غلظت پایین چربی، این اثر کاهشی بود. تفاوت در محتوا و فرمولاسیون چربی، با تغییر ساختار خمیر و کیک، حفظ رطوبت را تحت تاثیر قرار میدهد. با این حال، در همه نمونه ها، رطوبت محصول در محدوده قابل قبول برای محصول کیک (محدوده ۱۵ تا ۲۰ درصد در

جدول ۲- مقایسه میانگین ویژگی های فیزیکی نمونه های کیک حاوی سطوح مختلف شورتینگ التوژل جایگزین شورتینگ تجاری

درصد جانشینی	صفر	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
رطوبت (درصد)	۱۸/۵۷±۰/۰۹ ^a	۱۸/۲۱±۰/۰۴ ^b	۱۸/۱۶±۰/۰۳ ^b	۱۸/۱۸±۰/۰۶ ^b	۱۸/۶۹±۰/۰۱ ^a
فعالیت آبی	۰/۷۸±۰/۰۰۳ ^a	۰/۷۷±۰/۰۰۳ ^a	۰/۷۷±۰/۰۰۱ ^a	۰/۷۷±۰/۰۰۱ ^a	۰/۷۸±۰/۰۰۳ ^a
حجم مخصوص (cm ³ /g)	۲/۸۶±۰/۱۸ ^a	۲/۹۷±۰/۰۸ ^a	۳/۰۵±۰/۱۱ ^a	۳/۰۱±۰/۱۴ ^a	۳/۰۶±۰/۰۶ ^a
تخلخل (درصد)	۲۳/۲۷±۲/۴۴ ^a	۲۲/۲۲±۲/۵۳ ^a	۲۳/۹۰±۲/۰۱ ^a	۲۳/۱۳±۱/۷۴ ^a	۲۴/۳۳±۲/۷۷ ^a
شاخص رنگی LAB	L* ۴۰/۶۸±۰/۱۵ ^a	۴۲/۱۴±۱/۶۶ ^a	۴۳/۷۳±۲/۹۰ ^a	۴۲/۸۷±۲/۸۹ ^a	۴۱/۳۵±۳/۲۶ ^a
a*	۱۲/۰۶±۱/۷۵ ^a	۹/۵۱±۰/۹۱ ^a	۱۰/۲۴±۱/۳۱ ^a	۱۲/۷۳±۱/۸۵ ^a	۱۲/۴۹±۱/۳۶ ^a
پوسته کیک	b* ۳۶/۶۶±۲/۱۶ ^{abc}	۳۴/۵۰±۲/۱۰ ^{bc}	۳۷/۹۳±۱/۲۰ ^a	۳۷/۱۸±۰/۵۸ ^{ab}	۳۴/۴۸±۰/۸۱ ^c

فعالیت آبی

فعالیت آبی، از جمله شاخص های مهم در محصول کیک بوده و در ماندگاری محصول مانند رشد عوامل میکروبی تاثیر گذار است. داشتن فعالیت آبی کمتر از ۰/۸ در محصول کیک برای ماندگاری طولانی مدت لازم است. نتیجه آنالیز واریانس فعالیت آبی برای نمونه های کیک حاوی غلظت های مختلف شورتینگ نشان داد که درصد جانشینی، اثر معنی داری بر این مشخصه نداشت. مقادیر فعالیت آبی برای کیک های با درصد جانشینی مختلف شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به معنی دار نبودن آنالیز واریانس، میانگین ها، تفاوت معنی داری ندارند و همه در محدوده قابل قبول برای محصول کیک هستند. بر این اساس، جایگزینی شورتینگ تجاری با شورتینگ طراحی شده، تاثیر منفی به لحاظ فعالیت آبی ندارد. Yilmaz و Ogutcu (۲۰۱۵) گزارش کردند که استفاده از التوژل های موم گل آفتابگردان و موم زنبورعسل به جای شورتینگ تجاری در فرمولاسیون کلوچه باعث کاهش فعالیت آبی گردید. این محققان دلیل این امر را رطوبت کمتر فرمولاسیون حاوی التوژل دانستند.

جایگزینی با شورتینگ التوژل افزایش یافت، اما این افزایش معنی دار نبود. مقادیر حجم مخصوص برای کیک های با درصد جانشینی مختلف شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به معنی دار نبودن اثر درصد جانشینی، میانگین ها تفاوت معنی داری ندارند. این مسئله نشان می دهد، محدودیتی در استفاده از شورتینگ ژله ای به جهت تاثیر بر ایجاد حباب های هوا و حجم یافتن طی پخت وجود نداشته است. در مطالعه Pehlivanoglu و همکاران (Pehlivanoglu et al., 2018b) تاثیر پنج نوع التوژل شامل التوژل های امولسیون و التوژل های بر پایه موم کارنوبا بر ویژگی های کیک روغنی در مقایسه با شورتینگ تجاری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حجم کیک به طور معنی داری برای التوژل های بر پایه موم کاهش یافت. همچنین در پژوهشی دیگر، محققان با افزودن اتیل سلولز با ویسکوزیته بالا و افزودن تری گلیسرول مونواسترات به فرمولاسیون شورتینگ بر پایه پالم، مشاهده کردند که قابلیت هوادهی شورتینگ افزایش یافته و حجم مخصوص نان حاوی شورتینگ نسبت به شورتینگ شاهد، افزایش یافت (Ye et al., 2019).

رنگ سنجی پوسته

رنگ پوسته کیک متاثر از فرمولاسیون و شرایط پخت متغیر است و رنگ مناسب بر پذیرش مصرف کننده تاثیر مستقیم دارد. نتیجه آنالیز واریانس نشان داد که درصد جانشینی، اثر معنی داری بر ویژگی های رنگ پوسته کیک شامل شاخص های L*, a* نداشت ولی بر شاخص

حجم مخصوص

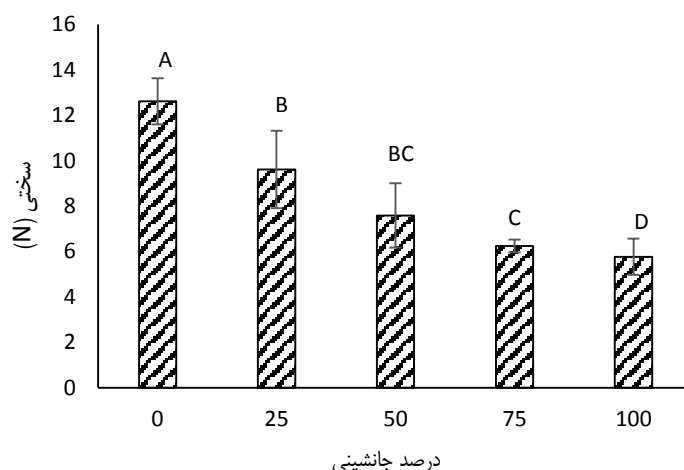
حجم مخصوص از جمله ویژگی های کیک است که به لحاظ بازده صنعتی و اقتصادی مورد توجه می باشد. نتیجه آنالیز واریانس حجم مخصوص برای نمونه های کیک حاوی غلظت های مختلف شورتینگ ژله ای نشان داد که اگرچه حجم مخصوص کیک با افزایش درصد

واریانس نشان داد که درصد جانشینی بر تخلخل یک اثر معنی‌داری ندارد. مقادیر تخلخل برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به معنی‌دار نبودن اثر درصد جانشینی، مقادیر میانگین‌ها تفاوت معنی‌داری ندارند. این مسئله نشان می‌دهد، نحوه عمل شورتینگ التوژل در پوشش‌دهی آرد، حبس و محافظت حباب هوا طی پخت قابل قبول بوده است. محققان بیان کردند که نوع التوژل بر ویژگی‌های خمیر، توزیع حباب هوا و تخلخل کیک تاثیرگذار است به‌طوری‌که بین سه ساختار التوژل بر پایه موم‌های سبوس برنج، زنبورعسل و کاندلیا با روغن گل آفتابگردان، تنها التوژل موم زنبورعسل، ساختار مغز کیک مشابه با شورتینگ تجاری ایجاد کرد، اگرچه این محققان بیان کردند که تخلخل کیک تهیه شده با شورتینگ‌های التوژل کمتر از نمونه شاهد بود (Oh et al., 2017)

بافت

سختی

سختی یا حداکثر نیروی لازم جهت فشرده کردن در فشردن اول نمونه، شاخصی از سفتی بافت اسفنجی کیک است (Bourne, 2002). این شاخصه تابعی از شرایط کیک حین تولید و به‌ویژه پدیده مهاجرت رطوبت و سخت شدن نشاسته طی رتروگراداسیون است که با زمان توسعه می‌یابد (Jongsutjarittam and Charoenrein, 2013). نتیجه آنالیز واریانس نشان داد که درصد جانشینی بر سختی بافت کیک اثر معنی‌داری دارد. مقادیر سختی بافت کیک برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- مقایسه سختی کیک حاوی درصدهای مختلف شورتینگ التوژل جایگزین شورتینگ تجاری

b^* تاثیر معنی‌دار داشت. این مساله احتمالا به دلیل نحوه اثر چربی بر واکنش‌های رنگ‌زا شامل واکنش‌های میلارد و کارامل شدن در پوسته کیک باشد. به‌طوری‌که ساختار رنگدانه‌های تشکیل شده، در چربی مخلوط در مقایسه با شورتینگ ژله‌ای، واکنش‌های رنگ‌زا بیشتری داشته است و رنگ زرد بیشتری تشکیل شده است. فرایند تشکیل رنگ نه تنها متأثر از فرمولاسیون است بلکه توزیع رطوبت، سرعت انتقال حرارت و جرم نیز تاثیر بسیار زیادی بر آن دارد. مقادیر شاخص‌های رنگی برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به عدم معنی‌داری آنالیز واریانس شاخص‌های a^* و L^* میانگین‌های این دو شاخص تفاوت معنی‌داری ندارند. در مورد شاخص b^* که معادل رنگ زرد در مقادیر مثبت و رنگ آبی در مقادیر منفی است، تنها در سطح ۱۰۰ درصد جانشینی به میزان دو واحد کمتر از سطح صفر درصد جانشینی و ۳ واحد کمتر از سطح ۵۰ درصد جانشینی است. با این حال، سطح‌های ۵۰ درصد جانشینی و ۷۵ درصد جانشینی تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد ندارند. Seetharaman و Goldstein (۲۰۱۱) در مطالعه خود گزارش کردند که کلوچه‌های تهیه شده با شورتینگ بر پایه امولسیون مونوگلیسرید، در مقایسه با کلوچه شورتینگ تجاری، روشنایی، قرمزی و زردی بیشتری داشت. این محققان این نتایج را مرتبط با تغییر خواص حرارتی خمیر مانند ضریب انتقال حرارت و ضریب انتقال جرم دانستند.

تخلخل

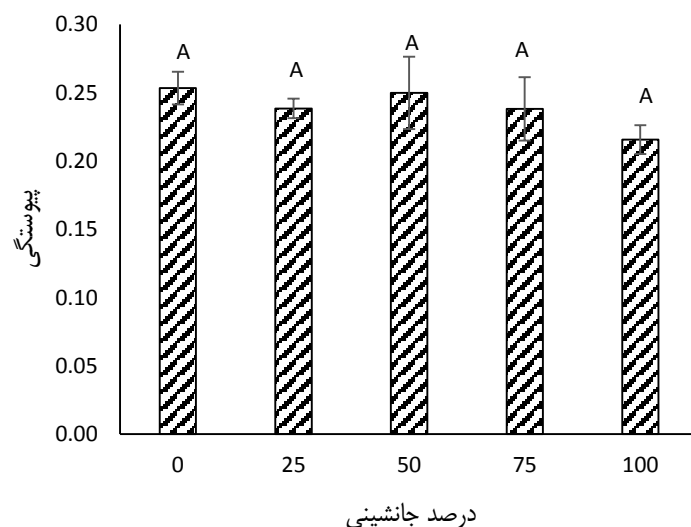
تخلخل ازجمله پارامترهای ظاهری کیک است که نشان‌دهنده نحوه عملکرد فرمولاسیون و فرایند در تولید حباب‌های هوا و حفظ آن است. تخلخل مناسب کیفیت احساس دهانی مطلوبی برای محصول فراهم می‌آورد و ظاهر مناسبی در محصول ایجاد می‌کند. نتیجه آنالیز

محققان بیان کردند که با افزایش غلظت موم از ۳ به ۶ درصد، سختی افزایش یافت. هم‌راستا با نتایج این تحقیق، محققان کاهش سختی بافت کیک حاوی الئوژل اتیل سلولز و اسید آدیپیک در مقایسه با کیک حاوی شورتینگ تجاری را گزارش کردند (Adili et al., 2020).

پیوستگی

شاخص پیوستگی معادل نسبت کار لازم جهت فشردگی نمونه در دور دوم فشردن به دور اول فشردن است (Bourne, 2002). این شاخص مرتبط با کیفیت شبکه گلوتهی و گرانول‌های نشاسته موجود در آن بوده و معرفی از حفظ ساختار طی فشردن است و به نوعی شاخصی از میزان بازیافت ساختار به قبل از فشردگی اول است. نتیجه آنالیز واریانس نشان داد که درصد جانشینی بر پیوستگی بافت کیک اثر معنی‌داری ندارد. مقادیر پیوستگی بافت برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتینگ تجاری با شورتینگ الئوژل در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌طور که بیان شد، تفاوت پیوستگی بافت نمونه‌های کیک حاوی سطوح مختلف شورتینگ الئوژل، معنی‌دار نیست. در مطالعه Kim و همکاران (۲۰۱۷) پیوستگی تا سطح ۷۵ درصد جانشینی تغییر معنی‌داری نداشت و در سطوح بالاتر کاهش یافت. Tanti و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که جایگزینی شورتینگ تجاری با الئوژل بر پایه هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، در سطح جانشینی ۵۰ درصد باعث افزایش پیوستگی بافتی کرم مغزی کلوچه گردید ولی در سطح ۱۰۰ درصد، جانشینی، مقدار پیوستگی تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت.

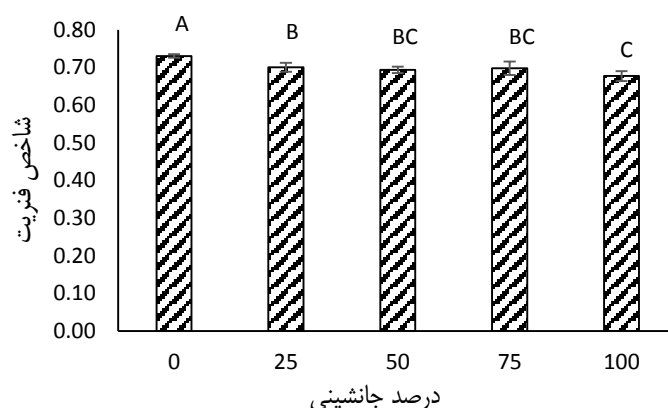
این نتایج نشان می‌دهد، با افزایش درصد جانشینی، سختی بافت کیک کاهش یافته و در ۱۰۰ درصد جانشینی، سختی بافت تا ۵۰ درصد نسبت به نمونه شاهد، کاهش یافته است. این میزان کاهش نشان‌دهنده نرم‌تر بودن بافت کیک تهیه شده با شورتینگ الئوژل در مقایسه با شورتینگ تجاری است. این مسئله می‌تواند به دو صورت شامل، اثرگذاری بیشتر شورتینگ الئوژل در پوشش ذرات آرد و نقش کوتاه‌کنندگی^۱ شبکه گلوتهی یا توسعه یافتگی کمتر شبکه گلوتهی (Ghotra et al., 2002) و همچنین مداخله در فرآیند از دست دادن آب نشاسته و کندسازی فرآیند رتروگراداسیون باشد. باید به این بحث توجه داشت که با توجه به نتایج بخش حجم و تخلخل، مشاهده شد که حجم کیک و تخلخل، تحت تاثیر جانشینی شورتینگ تجاری با شورتینگ الئوژل قرار نگرفت و با توجه سختی کمتر بافت کیک شورتینگ الئوژل، بافت کیک نرم‌تری ایجاد گردیده است. Kim و همکاران (۲۰۱۷) تاثیر جانشینی شورتینگ تجاری با الئوژل موم کارنوبا- روغن کانولا را بر بافت کیک مورد بررسی قرار دادند. سختی کیک با افزایش درصد جانشینی به‌طور قابل توجهی تا سه برابر افزایش یافت. این محققان همچنین افزایش دانسیته بافتی کیک را در حضور الئوژل مشاهده کردند و کاهش تخلخل بافتی را دلیلی بر افزایش سختی بافت دانستند. بر این اساس، در مطالعه حاضر، شورتینگ طراحی شده احتمالاً با کاهش تراکم رشته‌های گلوتهی، سختی بافت را تا کاهش داد. با این حال کاهش سختی کلوچه تهیه شده با الئوژل موم کانادیا در مقایسه با شورتینگ تجاری نیز گزارش شده است (Jang et al., 2015) که اثرگذاری متفاوت ساختارهای الئوژل را نشان می‌دهد. این



شکل ۲- مقایسه پیوستگی کیک حاوی درصدهای مختلف شورتینگ الئوژل جایگزین شورتینگ تجاری

شاخص فنریت

شاخص فنریت، معادل درصد میزان برگشت ارتفاع نمونه نسبت به ارتفاع اولیه است که به نوعی جزء الاستیک نمونه را نشان می‌دهد (Bourne, 2002). نتیجه آنالیز واریانس نشان داد که درصد جانشینی بر شاخص فنریت بافت کیک اثر معنی‌داری دارد. مقادیر شاخص فنریت بافت برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل در شکل ۳ ارائه شده است. بیشترین شاخص فنریت



شکل ۳- مقایسه شاخص فنریت کیک حاوی درصدهای مختلف شورتینگ التوژل جایگزین شورتینگ تجاری

انرژی جویدن

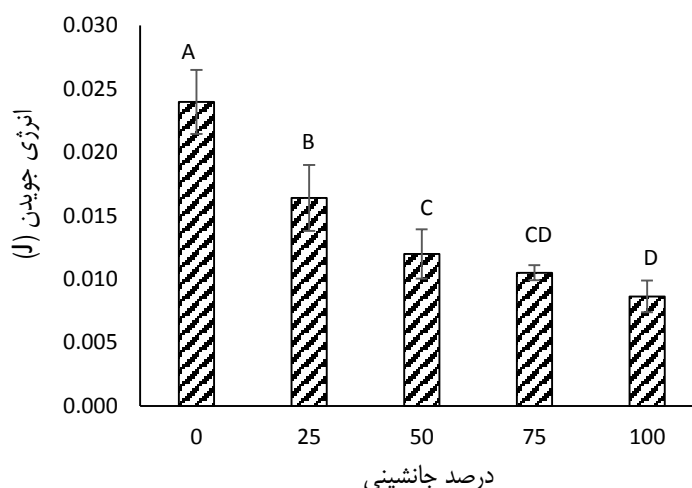
انرژی جویدن از محاسبات سختی × پیوستگی × شاخص فنریت تعیین می‌گردد و معادل مقدار انرژی لازم جهت جویدن است (Bourne, 2002). نتیجه آنالیز واریانس نشان داد که درصد جانشینی بر انرژی جویدن بافت کیک اثر معنی‌داری دارد. مقادیر شاخص فنریت بافت برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل در شکل ۴ ارائه شده است. بیشترین انرژی جویدن مربوط به نمونه کیک تهیه شده با شورتینگ تجاری بود. با افزایش درصد جانشینی شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل، انرژی جویدن کاهش می‌یابد. این مسئله نشان دهنده نرم‌تر شدن بافت و آسان‌تر شدن فرایند جویدن است. همان‌طور که بیان شد، احتمالاً شورتینگ التوژل با تأثیر بیشتر بر شبکه گلوتنی، انسجام گلوتن را بیشتر کاهش داده و جدا شدن رشته‌ها کاهش می‌یابد، با این حال، این شرایط تأثیر منفی بر حجم یافتن کیک و همچنین ارزیابی حسی که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد، نداشت. در مطالعه Kim و همکاران (۲۰۱۷)، انرژی جویدن کیک در حضور التوژل به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت که متناسب با سخت‌تر شدن بافت کیک بود.

ارزیابی حسی

شاخص‌های ارزیابی حسی شامل طعم، بافت داخلی، ظاهر، رنگ پوسته و پذیرش کلی کیک توسط داوران امتیازدهی شد. نتیجه آنالیز

مربوط به نمونه کیک تهیه شده با شورتینگ تجاری است و با افزایش درصد جانشینی، بین سطوح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد، تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود ولی نسبت به نمونه شاهد کمتر است. همچنین تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد وجود ندارد. احتمالاً تغییر در شدت عمل شورتینگ در پوشش‌دهی شبکه گلوتنی، به‌نوعی توسعه شبکه و ایجاد اتصالات بیشتر و در نتیجه شبکه فنری را کاهش داده است.

واریانس نشان داد که درصد جانشینی بر شاخص‌های ارزیابی حسی اثر معنی‌داری ندارد. نمودار راداری شاخص‌های ارزیابی حسی نمونه‌های کیک حاوی درصدهای مختلف شورتینگ التوژل جایگزین شورتینگ تجاری، در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به معنی‌دار نبودن آنالیز واریانس، برای میانگین‌های مربوط به هر پاسخ در ارزیابی حسی تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف جانشینی شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل مشاهده نمی‌شود. با نگاه به سایر ویژگی‌هایی که در ارتباط با محصول کیک مورد بررسی قرار گرفت و تفاوت قابل‌توجهی بین نمونه کیک تهیه شده با شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل مشاهده نشد، چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نبود. به‌ویژه در بحث طعم، با توجه به عدم داشتن طعم نامطلوب در شورتینگ التوژل، امتیازدهی داوران مشابه با کیک تهیه شده با شورتینگ تجاری بود. محققان دیگر نیز عدم تفاوت معنی‌دار در ویژگی‌های حسی بین کیک تهیه شده با شورتینگ التوژل و شورتینگ تجاری را گزارش کردند (Pehlivanoglu et al., 2018b). Adili و همکاران (۲۰۲۰) تفاوت معنی‌داری بین ویژگی‌های حسی کیک تهیه شده با التوژل ترکیبی اتیل سلولز-اسید آدیپیک در مقایسه با شورتینگ تجاری گزارش کردند. این محققان بیان کردند که التوژل بر پایه ۶ درصد اتیل سلولز منجر به کیک با امتیاز حسی کمتری در مقایسه با کیک حاوی التوژل اتیل سلولز و اسید آدیپیک گردید و هر دو نمونه، امتیاز حسی کمتری نسبت به کیک تولید شده با شورتینگ تجاری داشتند.



شکل ۴- مقایسه ویژگی انرژی جویدن کیک حاوی درصدهای مختلف شورتینگ التوژل جایگزین شورتینگ تجاری

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های حسی کیک حاوی درصدهای مختلف شورتینگ التوژل جایگزین شورتینگ تجاری

درصد جانشینی	طعم	بافت	ظاهر	رنگ	پذیرش کلی
صفر	۳±۰/۷۶ ^a	۳/۲۴±۰/۷۱ ^a	۳/۴۲±۰/۷۸ ^a	۳/۳۶±۰/۹۰ ^a	۳/۳۲±۰/۴۳ ^a
۲۵	۲/۷۱±۰/۶۱ ^a	۲/۵۲±۰/۹۲ ^a	۳±۰/۷۵ ^a	۳/۰۶±۱/۱ ^a	۲/۸±۰/۷۴ ^a
۵۰	۲/۹۴±۰/۸۶ ^a	۲/۸۵±۰/۵۵ ^a	۳/۱۲±۰/۵۹ ^a	۳/۳۱±۰/۷ ^a	۲/۹۵±۰/۶۸ ^a
۷۵	۲/۹۴±۰/۶۷ ^a	۲/۹۳±۰/۶۷ ^a	۳/۳۲±۰/۷۲ ^a	۳/۳۳±۰/۸ ^a	۳/۱۵±۰/۴۷ ^a
۱۰۰	۳/۱۹±۰/۶۵ ^a	۳/۲۲±۰/۳۶ ^a	۳/۳۵±۰/۵۱ ^a	۳/۴۴±۱/۰۰ ^a	۳/۱۶±۰/۳۹ ^a

نتیجه گیری

از سطوح جانشینی ایجاد نکرد. روشنایی پوسته و مولفه قرمزی- سبزی کیک متأثر از جایگزینی شورتینگ تجاری و التوژل نبود ولی رنگ زرد نمونه حاوی نسبت مساوی هر دو شورتینگ بیشترین بود. به لحاظ سختی، جایگزینی شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل باعث نرم تر شدن بافت و کاهش نیروی فشردن شد اما شاخص پیوستگی تغییر معنی داری نداشت. همچنین فنریت با افزایش درصد جانشینی کاهش یافت و انرژی جویدن کمتری برای کیک تولید شده با شورتینگ التوژل لازم بود. داوران ارزیابی حسی تفاوت معنی داری بین نمونه‌های مختلف کیک به لحاظ طعم، ظاهر، بافت، رنگ و پذیرش کلی مشاهده نکردند. به طور کلی، شورتینگ التوژل این قابلیت را دارد که جایگزین شورتینگ تجاری شود و البته محصول تولید شده، بافت نرم‌تری دارد.

در این تحقیق، برای بررسی عملکرد شورتینگ تهیه شده بر پایه التوژل ترکیبی اتیل سلولز، در سطوح صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد جایگزین شورتینگ تجاری در فرمولاسیون کیک روغنی گردید. در ادامه، ویژگی‌های مختلف کیک مورد ارزیابی قرار گرفت. جانشینی شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل در تمام سطوح، تأثیر معنی داری بر رطوبت کیک داشت. در هر یک از کیک‌های تهیه شده با شورتینگ تجاری یا شورتینگ التوژل، میزان رطوبت نهایی کیک، بیشتر از فرمولاسیون حاوی مخلوط شورتینگ تجاری و التوژل بود. در ارتباط با شاخص‌های فعالیت آبی، تخلخل و حجم مخصوص، جایگزینی شورتینگ تجاری با شورتینگ التوژل، تفاوت معنی داری در هیچ یک

منابع

- AACC. 2000. Approved methods of the American association of cereal chemists. 10th Edition. The Association, St, Paul, Minnesota.
- Adili, L., Roufegarinejad, L., Tabibiazar, M., Hamishehkar, H., Alizadeh, A. 2020. Development and characterization of reinforced ethyl cellulose based oleogel with adipic acid: Its application in cake and beef burger. *LWT- Food Science and Technology*, 126, online press.

- Barbut, S., Wood, J., Marangoni, A. G. 2016. Effects of Organogel Hardness and Formulation on Acceptance of Frankfurters. *Journal of Food Science*, 81, C2183-8.
- Bourne, M. 2002. Food texture and viscosity: concept and measurement, Elsevier.
- Co, E. D., Marangoni, A. G. 2012. Organogels: An Alternative Edible Oil-Structuring Method. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89, 749-780.
- Ghotra, B. S., Dyal, S. D., Narine, S. S. 2002. Lipid shortenings: A review. *Food Research International*, 35, 1015--1048.
- Gmez-Estaca, J., Herrero, A. M., Herranz, B., Lvarez, M. D., Jimnez-Colmenero, F., Cofrades, S. 2019. Characterization of ethyl cellulose and beeswax oleogels and their suitability as fat replacers in healthier lipid pâtés development. *Food Hydrocolloids*, 87, 960-969.
- Goldstein, A., Seetharaman, K. 2011. Effect of a novel monoglyceride stabilized oil in water emulsion shortening on cookie properties. *Food Research International*, 44, 1476-1481.
- Ghotra, B.S., Dyal, S.D., Narine, S.S. 2002. Lipid shortenings: a review. *Food Research International*, 3510, 1015-1048.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 2006. Cake—Specification and test methods. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 5772.
- Jang, A., Bae, W., Hwang, H. S., Lee, H. G., Lee, S. 2015. Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods. *Food Chemistry*, 187, 525-9.
- Jongsutjarittam, N., Charoenrein, S. 2013. Influence of waxy rice flour substitution for wheat flour on characteristics of batter and freeze-thawed cake. *Carbohydrate Polymers*, 97, 306-14.
- Khalilian Movahhed, M., Mohebbi, M., Koocheki, A., Milani, E. 2016. The effect of different emulsifiers on the eggless cake properties containing WPC. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 3894-3903.
- Kim, J. Y., Lim, J., Lee, J., Hwang, H. S., Lee, S. 2017. Utilization of oleogels as a replacement for solid fat in aerated baked goods: Physicochemical, rheological, and tomographic characterization. *Journal of Food Science*, 82, 445-452.
- Marangoni, A. G. 2012. Chocolate compositions containing ethylcellulose. US patent application:0183651A1.
- Martins, A. J., Vicente, A. A., Cunha, R. L., Cerqueira, M. A. 2018. Edible oleogels: an opportunity for fat replacement in foods. *Food Funct*, 9, 758-773.
- Mert, B., Demirkesen, I. 2016a. Evaluation of highly unsaturated oleogels as shortening replacer in a short dough product. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 477--484.
- Mert, B., Demirkesen, I. 2016b. Reducing saturated fat with oleogel/shortening blends in a baked product. *Food Chemistry*, 199, 809-16.
- Oh, I. K., Amoah, C., Lim, J., Jeong, S., Lee, S. 2017. Assessing the effectiveness of wax-based sunflower oil oleogels in cakes as a shortening replacer. *LWT*, 86, 430-437.
- Patel, A. R., Rajarethinam, P. S., Gredowska, A., Turhan, O., Lesaffer, A., De Vos, W. H., Van De Walle, D., Dewettinck, K. 2014. Edible applications of shellac oleogels: spreads, chocolate paste and cakes. *Food & Function*, 5, 645-52. doi:10.1039/c4fo00034j.
- Pehlivanoglu, H., Demirci, M., Toker, O. S., Konar, N., Karasu, S., Sagdic, O. 2018a. Oleogels, a promising structured oil for decreasing saturated fatty acid concentrations: Production and food-based applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58, 1330-1341.
- Pehlivanoglu, H., Ozulku, G., Yildirim, R. M., Demirci, M., Toker, O. S., Sagdic, O. 2018b. Investigating the usage of unsaturated fatty acid-rich and low-calorie oleogels as a shortening mimetics in cake. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42, 13621.
- Ronda, F., Oliete, B., Gómez, M., Caballero, P. A., Pando, V. 2011. Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 102, 272-277.
- Singh, A., Auzanneau, F. I., Rogers, M. A. 2017. Advances in edible oleogel technologies - A decade in review. *Food Research International*, 97, 307-317.
- Siraj, N., Shabbir, M. A., Ahmad, T., Sajjad, A., Khan, M. R., Khan, M. I., Butt, M. S. 2015. Organogelators as a Saturated Fat Replacer for Structuring Edible Oils. *International Journal of Food Properties*, 18, 1973-1989.
- Tanti, R., Barbut, S., Marangoni, A. G. 2016. Hydroxypropyl methylcellulose and methylcellulose structured oil as a replacement for shortening in sandwich cookie creams. *Food Hydrocolloids*, 61, 329-337.
- Valoppi, F., Calligaris, S., Marangoni, A. G. 2017. Structure and physical properties of oleogels containing peanut oil and saturated fatty alcohols. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119, 1600252.
- Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., Delcour, J. A. 2013. Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science and Technology*, 30, 6--15.
- Ye, X., Li, P., Lo, Y. M., Fu, H., Cao, Y. 2019. Development of Novel Shortenings Structured by Ethylcellulose Oleogels. *Journal of Food Science*, 84, 1456-1464.
- Yilmaz, E., Ogutcu, M. 2015. The texture, sensory properties and stability of cookies prepared with wax oleogels. *Food & Function*, 6, 1194-204.
- Zhou, J., Faubion, J. M., Walker, C. E. 2011. Evaluation of different types of fats for use in high-ratio layer cakes. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 1802-1808.



Evaluation of ethyl cellulose oleogel functionality as shortening substitute in the formulation of cake with low saturated fatty acid content

A. Ehtiati*, M. Mehraban Sang Atash, R. Karazhyan, Z. Nazari, F. Sadeghi

Received: 2020.04.21

Accepted: 2020.07.07

Introduction: Shortening is an important ingredient of bakery products, especially the ones with less developed gluten network like cakes and cookies. Shortening thermo-rheological properties are related to the presence of high levels of saturated fatty acids which have the capability of making crystals at room temperature which melt during baking. Consumption of high saturated fatty acids increases the risk of coronary disease. Moreover, hydrogenation is a usual technique for elevating the saturated fatty acid content of vegetable oils. Lowering the saturated fatty acid content of a shortening results in the shortening with less functionality. Transition of an oil physical properties to those of a semi-solid structure can be done using low- or non-digestible oil gelators called oleogelation. Ethyl cellulose is a polymer with oil gelation capabilities at low concentrations. However, its oleogels are firm and brittle, so some low-molecular-weight gelators can improve its texture and increase its plasticity to mimic commercial shortening functionality. In this study, the functionality of an oleogel based on ethyl cellulose, stearyl alcohol, stearic acid and sorbitan monostearate was evaluated as commercial shortening substitute in cake formulation.

Materials and Methods: Based on previous studies and preliminary experiments, an optimized oleogel formulation was prepared as shortening, composed of ethyl cellulose (6.4%), stearyl alcohol:stearic acid (70:30) (7.5%), sorbitan monostearate (0.1%) and canola/soy mixture oil (75:25 ratio) (86%). The gel was formed by heating up the mixture to 150 °C for the complete solvation of the gelator compounds and gradual cooling to room temperature. In the next step, commercial shortening was substituted with the oleogel shortening at 0, 25, 50, 75 and 100% in the cake formulation. Moisture content, water activity, specific volume, crust color, Lab color space indices based on image processing, porosity based on crumb image analysis, TPA parameters and sensory attributes were determined and compared using one-way analysis of variance and LSD mean comparison test.

Results & Discussion: The results showed that there was no significant difference in the moisture content, water activity and specific volume of the cakes prepared with the oleogel shortening with the one prepared with commercial shortening. This reveals that the oleogel shortening functionality was acceptable compared with commercial shortening. In terms of crust color, there was no significant difference in the lightness index (L^*) and red-green range (a^*) indicators between different samples and only in the yellow-blue range (b^*) index, the cake with 100% substitution showed a lower value than the control. For the porosity index, there was no significant difference between the five samples, proving the oleogel shortening can induce sufficient air bubbles generated during batter mixing and its preserving effect during baking. Examining the texture of the cake samples showed that the texture hardness and springiness indices decreased with a rise in the level of commercial shortening substitution, while the cohesiveness index did not differ significantly. The latter indicated that the oleogel shortening effectively shortened the gluten network; thus, it can be said that the same commercial shortening functionality is attainable using less oleogel shortening content. Furthermore, as the percentage of the commercial shortening substitutes increased, due to texture softening, the chewing energy of the samples decreased resulting in a better mouthfeel. Finally, sensory evaluation of the cake samples did not show a significant difference in taste, texture, appearance, color and overall acceptance based on scores obtained from ten untrained evaluators. In conclusion, the use of oleogel shortening instead of commercial shortening with high saturated fatty acid content in cake formulation not only can result in a cake with acceptable properties at 50% replacement level, but also can replace commercial shortening even up to 100%. The latter just lead to a softer texture. Optimization of the cake formulation based on the oleogel shortening would specifically result in a cake with better properties, while it has significantly lower saturated fatty acid content and nearly zero trans fatty acids.

Keywords: Cake, Ethyl cellulose, Oleogel, Saturated fatty acid

مقاله پژوهشی

تهیه سامانه امولسیون ژل سرد با استفاده از پیکرینگ های کمپلکس ایزوله پروتئین سویا- صمغ دانه ریحان به عنوان جایگزین چربی در خامه

سیما ناجی طبسی^۱ - الهام مهدیان^۲ - اکرم آریان فر^۲ - سارا ناجی طبسی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۸

چکیده

مصرف زیاد چربی خطر ابتلا به بیماری های مختلفی را افزایش می دهد. اما به دلیل نقش چندگانه چربی در فرآورده های غذایی، حذف یا کاهش آن منجر به ایجاد خصوصیات کیفی نامطلوب می گردد. بنابراین، در این تحقیق استفاده از ساختار امولسیون ژل سرد پایدار شده با استفاده از پیکرینگ های ایزوله پروتئین سویا (ISP) و کمپلکس ایزوله پروتئین سویا - صمغ دانه ریحان (ISP-BSG) به عنوان جایگزین چربی مورد مطالعه قرار گرفت. ذرات پیکرینگ ISP-BSG به ترتیب با نسبت های مختلف جرمی BSG:ISP، ۰:۱، ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳ تهیه و به ترتیب 1S:0B، 1S:1B، 2S:1B و 3S:1B نامگذاری شدند. بررسی ویژگی های امولسیون ژل نشان داد که پوشش دهی سطح قطرات امولسیون توسط نانوذرات جامد S:B یک پوسته سفت و سخت را تشکیل می دهد. با افزودن کلسیم کلرید به امولسیون، شبکه های امولسیون ژل از قطرات روغن تجمع یافته تشکیل شدند که این ساختار در نمونه های 1S:0B و 2S:1B قابل مشاهده تر بود. همچنین، نوع و ساختار پیکرینگ به کار رفته بر مقدار حفظ روغن در امولسیون ژل اثر گذار بود. حضور BSG در نسبت مناسب (2S:1B) با ISP باعث ایجاد امولسیون ژل با ثبات تر با استحکام مکانیکی (سختی و قوام) بالاتری شد. با توجه به پایداری و خصوصیات بافتی از بین نمونه های امولسیون ژل، دو فرمول 1S:0B و 2S:1B برای تولید خامه با چربی کاهش یافته (۵ و ۱۵٪) استفاده شد. استفاده از درصد های بیشتر از ۵ درصد جایگزینی با افزایش آب اندازی خامه همراه بود ($p < 0.05$). اما نوع امولسیون ژل بر میزان آب اندازی تاثیر معنی داری نداشت. بیشترین میزان پذیرش کلی با جایگزینی امولسیون ژل 2S:1B با کاهش ۵٪ چربی حاصل شد ($p > 0.05$).

واژه های کلیدی: امولسیون ژل، ایزوله پروتئین سویا، ذرات جامد، صمغ دانه ریحان، کمپلکس، جایگزینی چربی.

مقدمه

چربی ها در تغذیه انسان از جایگاه خاصی برخوردار هستند و نقش اصلی آن ها در بدن تأمین انرژی است. اما یافته های علمی، حاکی از ارتباط مصرف زیاد چربی و افزایش خطر ابتلا به برخی بیماری ها مثل سخت شدن دیواره رگ ها و بیماری های قلبی - عروقی هستند. در پی افزایش آگاهی مردم نسبت به ضرر های مصرف چربی، افزایش چشمگیری در تقاضای محصولات غذایی کم چرب به وجود آمده است. اما به دلیل چندگانه بودن نقش چربی در فرآورده های غذایی، حذف یا کاهش آن منجر به ایجاد خصوصیات کیفی نامطلوب می گردد. بنابراین، لازم است از ترکیباتی به عنوان جایگزین چربی استفاده شود تا ویژگی های رئولوژیکی، بافت و حسی محصول غذایی کم چرب حفظ

شود (کاواس و همکاران، ۲۰۰۴). ساختار های امولسیون ژل از روش های

تولید محصول کم چرب محسوب می شوند.

امولسیون ژل (امولژ) به ساختار هایی گفته می شود که می توانند به هر دو شکل امولسیون و ژل وجود داشته باشند. در ساختار امولسیون ژل ها، تجمع قطرات پراکنده روغن و یا تشکیل فاز پیوسته امولسیون، باعث تبدیل شدن امولسیون به ژل می شود. امولسیون ژل ها می توانند از طریق تجمع قطرات روغن و یا از طریق فاز آبی امولسیون روغن در آب تشکیل ژل دهند (دیکنسون، ۲۰۱۲). پایه امولسیون ژل ها عمدتاً پروتئینی است زیرا می توانند به عنوان امولسیفایر، پایدارکننده و عامل ایجاد ژل استفاده شود. علاوه بر استفاده از پروتئین در ساختمان امولسیون ژل ها، می توان هیدروکلوئیدها (صمغ ها) را جهت افزایش پایداری و ایجاد بافت در سیستم مورد استفاده قرار داد (دیکنسون،

(Email: s.najitabasi@rifst.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.86293

۱ و ۲- به ترتیب دکترا و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه

آزاد اسلامی، قوچان، ایران

۳- استادیار، گروه نانوفناوری مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی،

مشهد، ایران

میسسل دهند. با افزودن عوامل حل کننده و اتصال دهنده عرضی، مولکول‌های ISP جمع شده و تشکیل ساختارهای متنوعی مثل اجسام کروی کوچک، هیدروژل‌ها و مخلوط‌های پلیمری را می‌دهند (لوچاروانکالو همکاران، ۲۰۱۴).

صمغ دانه ریحان (BSG) دارای خصوصیات جذب سطحی است و قابلیت کاهش کشش سطحی آب خالص را دارند (ناجی طبسی و رضوی، ۲۰۱۶؛ آسانو و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین، کشش بین سطحی در سطح روغن/ آب به‌طور معنی‌داری توسط صمغ دانه ریحان کاهش می‌دهد و اندازه‌گیری کشش سطحی/ بین‌سطحی تأییدکننده جذب صمغ دانه ریحان در تداخلات روغن و آب است. (آسانو و همکاران، ۲۰۱۰). از سوی دیگر BSG قابلیت کاربرد برای تشکیل نانوذرات را داراست. ناجی و همکاران (۲۰۱۷) از این نانوذرات صمغ BSG جهت رسانش گلوکاتایون مورد استفاده قرار دادند.

به‌طور کلی هدف اولیه از انجام این پژوهش، تهیه سیستم‌های امولسیون‌ژل سرد برپایه امولسیون پیکرینگ‌های ایزوله پروتئین سویا و کمپلکس ایزوله پروتئین سویا-صمغ دانه ریحان در نسبت‌های مختلف جرمی پروتئین به پلی‌ساکارید (۰:۱، ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳) و بررسی ویژگی‌های (میزان پایداری، میزان پایداری پس از اعمال تیمارهای حرارتی، ساختار میکروسکوپی، ویژگی‌های بافتی و خصوصیات ویسکوالاستیک) این سیستم در حضور نانوذرات متفاوت است. هدف دوم استفاده از سیستم‌های امولسیون‌ژل با پایداری و خصوصیات مکانیکی مناسب به‌عنوان جایگزین چربی در خامه است.

مواد و روش‌ها

دانه‌های ریحان از یک عطاری در مشهد خریداری شد. اتانول ۹۶٪ از شرکت تقطیر خراسان، ایران تهیه شد. استخراج صمغ از دانه‌های ریحان براساس روش اصلاح شده مطالعات پیشین (ناجی و همکاران، ۲۰۱۶) انجام گرفت. روغن آفتاب‌گردان تجاری جهت تهیه امولسیون‌ها خریداری شد. ایزوله پروتئین سویا از شرکت Shandong Yuxin Bio-Tech Co (چین) (۹۱/۴۵ درصد پروتئین) تهیه شد. سدیم آزید (NaN₃) از شرکت اپلی چم آلمان تهیه گردیدند. سدیم دودسیل سولفات (SDS)، اسید کلریدریک، سدیم هیدروکسید کلسیم، کلسیم کلرید و سدیم کلرید از شرکت مرک آلمان خریداری شد.

تهیه امولسیون ژل

امولسیون اولیه به روش امولسیون پیکرینگ تهیه شد. محلول‌های ISP-BSG در pH ۶ به‌ترتیب با نسبت‌های مختلف جرمی پروتئین:

(۲۰۰۹). مطالعات متعددی جهت تهیه امولسیون‌ژل انجام شده است (چن و همکاران، ۲۰۰۰؛ گوارتنی و همکاران، ۲۰۰۴؛ گو و همکاران، ۲۰۱۳؛ گریشکومار و همکاران، ۲۰۱۷).

یکی از روش‌های جدید تشکیل امولسیون، امولسیون پیکرینگ^۱ است که در این مطالعه پایداری امولسیون‌ها توسط ذرات جامد (پیکرینگ‌ها) ایجاد شد. در این روش به جای استفاده از عوامل فعال‌کننده سطحی از ذرات جامد برای پایداری امولسیون استفاده می‌شود. مهمترین مزیت این روش پایداری بالای امولسیون نسبت به درهم‌آدغام‌شدن^۲ است. این ذرات در آب و روغن محلول نیستند و بین سطح قرار می‌گیرند. در نتیجه ذرات قادر هستند که امولسیون را از طریق مانع فیزیکی در برابر کوالسنس پایدار کند. برخلاف امولسیفایرهای با وزن ملکولی پایین، جذب ذرات به صورت برگشت‌ناپذیر است و پایداری بالاتری نسبت به امولسیون‌های معمولی دارند (لینک و دراش، ۲۰۱۸).

افزودن یون کلسیم به امولسیون پایدار شده، روشی مناسب برای بهبود شرایط ایجاد ژل است. در حقیقت ریزساختار و خصوصیات مکانیکی امولسیون ژل می‌تواند با تنظیم غلظت یون کلسیم کنترل شود (لاین و همکاران، ۲۰۰۵؛ نانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ یه و تیلور، ۲۰۰۹). از این‌رو در این پژوهش از نانوذرات ایزوله سویا و کمپلکس صمغ دانه ریحان- پودر ایزوله سویا برای تهیه امولسیون‌ژل به روش سرد استفاده خواهد شد.

سویا یکی از بیشترین گیاهان زراعی در جهان است که از نظر پروتئین (۴۰-۵۰٪)، چربی (۲۰-۳۰٪) و کربوهیدرات (۲۶-۳۰٪) غنی می‌باشد و در نتیجه مورد بحث تحقیقات علمی زیادی قرارگرفته‌است. دانه سویا مانند اغلب دانه‌های حبوبات دارای چندین پروتئین می‌باشد که اکثر آنها در سلامت‌بخشی و افزایش ارزش تغذیه‌ای غذاها مؤثر می‌باشد. اخیراً، علاقه به ترکیبات سویا و فرآورده‌های تخمیری آن افزایش یافته است که این امر به دلیل خواص ضدسرطانی و فواید سودمندی است که گزارش شده است (مسینا و همکاران، ۱۹۹۴). پروتئین‌های اصلی سویا (بیش از ۸۵٪) شامل گلایسینین و بتاکنانگلایسینین می‌باشد (لیو، ۱۹۹۷). ایزوله پروتئین سویا (ISP^۳) از مهم‌ترین منابع پروتئین تجاری است که استفاده از آن به دلیل ویژگی‌های عملکردی مطلوب در سیستم‌های غذایی، هضم راحت، هزینه پایین و ارزش تغذیه‌ای زیاد گسترش یافته است (علی‌بهایی و همکاران، ۲۰۰۶). ترکیب اصلی ISP شامل گلایسینین^۴ و است که در محیط آبی به شکل کروی می‌باشند که سطح آن هیدروفیلیک و هسته‌ی آن هیدروفوبیک است و می‌تواند تشکیل

4 Glycinin
5 Conglycinin
6 Sodium dodecyl sulphate

1 Pickering
2 Coalescence
3 Isolated soy protein

دمای محیط (25°C) انجام گردید. میزان نیروی تریگر نمونه ۳ گرم بود. پارامترهای بافتی سفتی، قوام و چسبندگی اندازه گیری و مورد بررسی قرار گرفتند (نوربهشت و همکاران، ۲۰۱۸).

بررسی ویژگی های ویسکوالاستیک

آزمون های رئولوژیکی دینامیکی امولسیون ژل ها با استفاده از رئومتر پارفیزیکا (آلمان) مجهز به هندسه مخروط- صفحه در حالت کنترل شده کرنش انجام گرفت. ابتدا ناحیه خطی ویسکوالاستیک (LVE)^۲ نمونه ها با انجام آزمون کرنش متغیر در دمای 25°C تعیین گردید. دمای نمونه با استفاده از پلتر کنترل شد و جهت حفظ یکنواختی دما در حالت فعال طی آزمون، نمونه ها با یک ژاکت محافظ (هود اختصاصی دستگاه) پوشیده شدند. پس از قرار دادن نمونه ها بر روی پلتر ۱۰ دقیقه زمان استراحت داده شد تا دمای نمونه به دمای 25°C برسد. آزمون کرنش متغیر در فرکانس ثابت ۱ هرتز و در دامنه کرنش ۰/۱ تا ۱۰۰ درصد به منظور تعیین ناحیه LVE انجام گرفت. با توجه به آزمون کرنش متغیر ناحیه خطی در کرنش ثابت ۰/۵ درصد برای تمامی نمونه انتخاب گردید. آزمون فرکانس متغیر در دامنه فرکانس زاویه ای ۱-۱۰۰ Hz، کرنش ثابت ۰/۵ درصد و دمای 25°C مورد بررسی قرار گرفت. مدول های ذخیره^۳، افت^۴ و زاویه فازی^۵ مورد بررسی قرار گرفتند. جهت برآورد پارامترهای خصوصیات ویسکوالاستیک از نرم افزار فیزیکا رئومتر دیتا آنالیز^۶ (Rheoplus/32 version V3.40) و متلب (۲۰۱۵a) استفاده گردید (ناجی و همکاران، ۲۰۱۷).

تهیه خامه با چربی کاهش یافته در سه سطح

پس از انتخاب نمونه های منتخب سیستم های امولسیون ژل از نظر پایداری، تولید خامه با جایگزینی درصدهای مختلف امولسیون ژل برای کاهش میزان ۵، ۱۰ و ۱۵٪ چربی انجام شد (اروجی و همکاران، ۲۰۱۷).

بررسی خصوصیات خامه

میزان آب اندازی

جهت بررسی میزان آب اندازی خامه، مقدار ۱۰ گرم از نمونه خامه در لوله آزمایشگاهی مدرج قرار داده شد و در دستگاه سانتریفوژ با سرعت ۳۴۶۷ g به مدت ۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد تحت سانتریفوژ قرار گرفت (اروجی و همکاران، ۲۰۱۷).

پلی ساکارید ۱:۰، ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳ مخلوط و به ترتیب 1S: 0B، 1S: 1B، 2S: 1B و 3S: 1B نامگذاری شدند. جهت تهیه پیکرینگ از ذرات جامد ISP و ISP-BSG استفاده شد که براساس روش ناجی طبسی و همکاران (۲۰۱۹) تولید شدند. برای تهیه امولسیون، روغن آفتابگردان (۶ میلی لیتر) به آرامی به محلول ذرات جامد (۲۰ میلی لیتر) تحت هموژنایزر (اولترا توراکس تی ۲۵، IKA، آلمان) با سرعت ۶۰۰ دور در دقیقه اضافه شد. بعد از این که اضافه کردن روغن کامل شد، همگن سازی در ۱۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه ادامه یافت. جهت تهیه امولسیون ژل سرد به تمام نمونه های امولسیون پیکرینگ تهیه شده نمک کلسیم کلرید (۱۰ mM) اضافه شد. سپس عمل همزدن با سرعت بالا برای پخش شدن کلسیم در سیستم امولسیون انجام شد (کوهن و همکاران، ۲۰۱۰). تهیه امولسیون ژل به روش سرد با افزودن نمک کلسیم کلرید انجام شد.

پایداری امولسیون ژل

ساختار امولسیون ژل پیکرینگ به مدت ۳۰ روز در دمای 25°C نگهداری شد و میزان روغن خارج شده از ساختار امولسیون ژل پیکرینگ به عنوان میزان نشت روغن گزارش شد (دی وریس و همکاران، ۲۰۱۵).

پایداری امولسیون ژل پس از اعمال تیمارهای حرارتی

ساختار امولسیون ژل پیکرینگ به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد نگهداری شدند و سپس با ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفوژ شد و پایداری امولسیون براساس محاسبه میزان روغن جدا شده محاسبه گردید (دی وریس و همکاران، ۲۰۱۵).

بررسی ساختار امولسیون ژل پیکرینگ

جهت بررسی ساختار امولسیون ژل پیکرینگ، نمونه ها بر روی لام قرار گرفته و توسط میکروسکوپ نوری دیجیتال (demobaL، آمریکا) از آنها عکس تهیه شد (وو و همکاران، ۲۰۱۱).

آنالیز پروفایل بافت

جهت بررسی خصوصیات بافتی نمونه امولسیون ژل پیکرینگ، آزمون اکستروژن پسر^۱ انجام گرفت. دستگاه آنالیز بافت (TA.XT plus، انگلستان) با پروب دیسکی شکل با قطر ۳۵ میلی متر با سرعت ۱/۵ میلی متر بر ثانیه و میزان فشردگی ۵۰ درصد ارتفاع نمونه برای بررسی خصوصیات بافتی امولسیون ژل استفاده و تمامی آزمون ها در

4 Loss modulus

5 Phase angle

6 Physica Rheometer Data Analysis

1 Back extrusion

2 Linear Viscoelasticity

3 Storage modulus

آزمون حسی

جهت بررسی ویژگی‌های حسی خامه از گروه داوران چشایی متشکل از ۹ نفر در بازه سنی ۲۵ تا ۳۵ سال (مذکر و مونث) و از دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته علوم و صنایع غذایی انتخاب شدند. برای این منظور نمونه‌ها در اختیار داوران چشایی قرار گرفت و از آنها خواسته شد در مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای نسبت به امتیازدهی خامه‌ها در خصوص پارامترهای رنگ، عطر، طعم، بافت و پذیرش کلی اعلام نظر نمایند. همچنین از داوران خواسته شد جهت از بین رفتن طعم ناشی از هر نمونه، در بین هر دو نمونه اندکی از آبی که در اختیار آنها قرار گرفته بود استفاده کنند (اروجی و همکاران، ۲۰۱۷).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

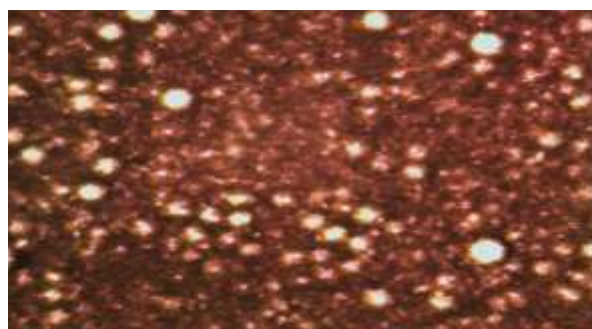
برای تجزیه تحلیل آماری نتایج از طرح کاملاً تصادفی ساده و فاکتوریل استفاده گردید. داده‌ها توسط آنالیز واریانس (ANOVA) و

اختلاف بین میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS۱۶ به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفتند.

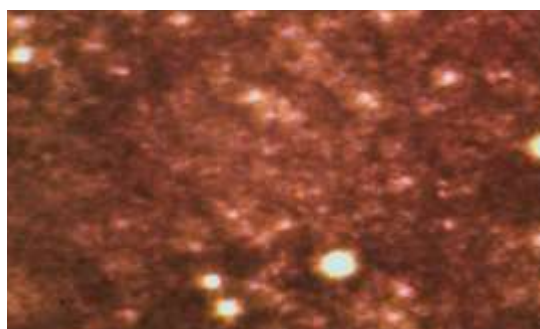
نتایج و بحث

ساختار امولسیون ژل‌ها

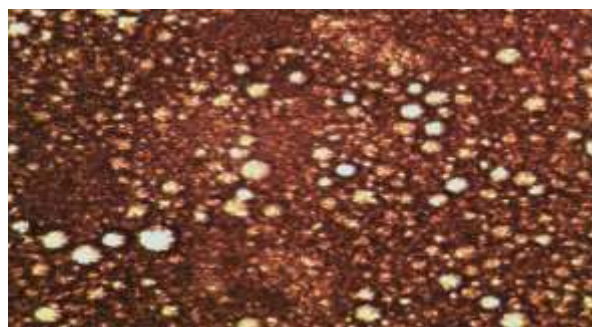
میکروساختار امولسیون ژل‌های تهیه شده به روش سرد (با افزودن ۱۰ mM نمک کلسیم کلرید) در شکل ۱ نمایش داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت در ساختار تمامی نمونه‌ها شبکه ژلی مشاهده شد. در تمامی نمونه‌ها ساختار ژل همگن بود، اما ساختار با توجه به نسبت پروتئین به پلی‌ساکارید متفاوت بود. شبکه‌های امولسیون ژل از قطرات روغن جمع شده تشکیل شده است. ساختار شبکه با قطرات روغن جمع شده در نمونه‌های 1S:0B و 2S:1B واضح‌تر بود (شکل ۱).



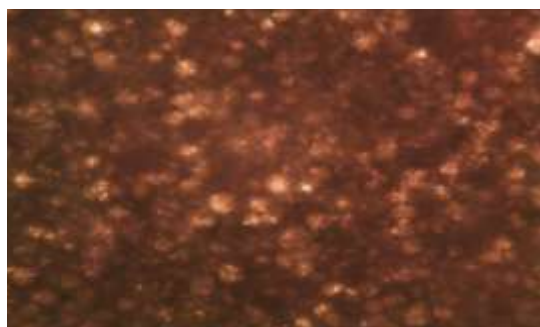
امولسیون ژل 1S:0R



امولسیون ژل 1S:1R



امولسیون ژل 2S:1R



امولسیون ژل 3S:1R

شکل ۱- تصاویر میکروسکوپی ساختار امولسیون ژل پیکرینگ پایدار شده با نانوذرات ISP و کمپلکس ISP-BSG با بزرگنمایی $\times 40$

تمایل به تشکیل چندلایه داشته باشند، و چندلایه با ویسکوالاستیک بالا ایجاد نمودند. نمک کلسیم کلرید باعث القای ژل شده و برهم کنش الکترواستاتیک نقش مهمی در تعیین تجمع ذرات پروتئینی با درجه حرارت کم در نوع ژل‌های سرد دارد (برایانت و مک کلمنتس، ۱۹۹۸).

استفاده از نانوذرات حاوی BSG به عنوان ذرات پیکرینگ باعث هموژن و فشرده‌تر شدن ساختار امولسیون ژل شده است. لایه‌های امولسیون ژل در نمونه‌های 1S:0B و 2S:1B ضخیم‌تر بود و این مسئله در نمونه 2S:1B مشهودتر بود. این احتمال وجود دارد نانوذرات 2S:1B

استفاده از روش ژل سرد امکان اتمام فرآیند دنا تورا سیون پروتئین را قبل از القای ژل ایجاد می کند که امکان استفاده کارآمدتر از پروتئین به عنوان واحد ساختمانی یک شبکه پروتئینی را فراهم می آورد (آلتینگ، ۲۰۰۳).

پایداری امولسیون ژل

براساس نتایج پایداری امولسیون، ذرات ISP توانایی جلوگیری از خامه ای شدن امولسیون ژل پیکرینگ را دارند (جدول ۱). اگرچه با توجه به ویژگی های ساختاری نانوذرات ISP و ISP-BSG به یک

میزان در جلوگیری از خامه ای شدن مؤثر نبودند. نتایج حاصل از پایداری سانتیفریوژی امولسیون ژل نشان داد که نمونه های 1S:0B و 2S:1B دارای بیشترین پایداری هستند (به ترتیب ۸۱/۳۶ و ۸۶/۴۱٪) (جدول ۱). پایداری امولسیون توسط نانوذرات 2S:1B افزایش یافت، و مانع در هم ادغام شدن قطرات روغن شد. در هم ادغام شدن^۱ یک فرایند برگشتناپذیر است که زمانی اتفاق می افتد که قطرات کوچک برای تشکیل قطرات بزرگتر با هم جمع می شوند، یا وقتی قطرات برای مدت طولانی با یکدیگر نزدیک هستند. این شامل پارگی لایه و سد ایجاد شده توسط نانوذرات است (کاستا و همکاران، ۲۰۱۹).

جدول ۱- پایداری امولسیون ژل پیکرینگ طی ۴ هفته نگهداری در دمای ۲۵°C*

نمونه ها	پایداری طی سانتیفریوژ	هفته ۱	هفته ۲	هفته ۳	هفته ۴
1S:0B	۸۱/۳۶±۱/۲۱ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a
1S:1B	۷۵/۰۰±۲/۳۳ ^c	۱۰۰±۰/۰۰ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a
2S:1B	۸۶/۴۱±۳/۳۷ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a
3S:1B	۷۸/۲۴±۱/۶۸ ^b	۱۰۰±۰/۰۰ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a	۱۰۰±۰/۰۰ ^a

*حروف مختلف نشان دهنده تفاوت معنی دار بین امولسیون ژل ها می باشد (آزمون دانکن، $P < 0.05$).

این افزایش پایداری می تواند مربوط به تشکیل یک لایه سطحی ضخیم تر در اطراف قطرات در حضور ذرات 2S:1B باشد. در شکل ۱ مشاهده شد که لایه های امولسیون 2S:1B ضخیم تر است. این احتمال وجود دارد نانوذرات 2S:1B تمایل به تشکیل چندلایه داشته باشند، و چندلایه با ویسکوالاستیک بالا ایجاد نمودند که این لایه های بسیار ویسکوالاستیک مانع از جمع شدن قطرات روغن می شود. در تحقیقات پیشین نیز به نقش لایه ویسکوالاستیک حاصل از نانوذرات در ایجاد پایداری اشاره داشته اند. هنگامی که ذرات پروتئین آب پنیر در تماس با روغن مایع (یعنی در امولسیون) هستند، لایه پروتئین ویسکوالاستیک آنها مانع فیزیکی و الکترواستاتیک کافی در برابر ناپایداری را فراهم می کند (پاولیک و همکاران، ۲۰۱۶). گزارش شده است که پل زدن قطرات^۲ می تواند ثبات مکانیکی مؤثرتری ایجاد و به ایجاد یک ساختار با ویژگی های رئولوژیکی شبه ژل در امولسیون های پیکرینگ کمک کند (لی و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به خصوصیات چسبندگی BSG ممکن است نیروهای چسبندگی بین قطره های مجزا را که دارای یک لایه ای از ذرات هستند، افزایش دهد و منجر به تشکیل ذرات با چند لایه نانوذرات شود (خوریه و همکاران، ۲۰۱۵).

آزمون سانتیفریوژ یک روش سریع برای بررسی پایداری امولسیون است، اما گاهی اوقات ممکن است رفتار واقعی امولسیون در طول نگهداری را منعکس نکند. بنابراین، ثبات امولسیون طی ۴ هفته نگهداری نیز مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). نتایج پایداری

امولسیون ها طی نگهداری مشابه با روش سانتیفریوژ مطابقت نداشت. طی این آزمون تمامی نمونه ها دارای پایداری ۱۰۰٪ بودند و هیچ جدا شدن فازی مشاهده نشد. نرخ تغییرات پایداری طی نگهداری توسط توزیع اندازه ذرات تحت تأثیر قرار می گیرد. براساس قانون استوک، سرعت حرکت قطره متناسب با مربع شعاع آنها است. پایداری امولسیون در برابر جدایی گرانشی می تواند با کاهش اندازه قطرات افزایش یابد (هوانگ و همکاران، ۲۰۰۱). اندازه قطرات روغن امولسیون ژل پیکرینگ ها یکسان و در حدود ۱ μm بود (داده ها گزارش نشده است) که باعث پایداری بیشتر این امولسیون ها طی نگهداری نسبت به سانتیفریوژ شد (هوانگ و همکاران، ۲۰۰۱).

آنالیز پروفایل بافت امولسیون ژل پیکرینگ

تاثیر استفاده از نانوذرات ISP و ISP-BSG به عنوان پایدارکننده پیکرینگ بر ویژگی های بافتی امولسیون ژل در شکل ۲ نمایش داده شده است. سفتی به منظور نشان دادن قدرت ساختار یک ماده تحت تاثیر نیروی فشاری اندازه گیری می شود. بسته به نوع سیستم غذایی، این پارامتر یک ویژگی بسیار مهم است (فیزمن، ۲۰۰۰؛ هویفلر، ۲۰۰۴؛ لو و همکاران، ۲۰۰۰). در آزمون اکستروژن پسر، میزان سفتی امولسیون ژل نمونه پایدارشده با نانوذرات ISP، ۶۷/۴۴ g بود که کمترین میزان سفتی را داشت (شکل ۲-الف). استفاده از نانوذرات کمپلکس ISP-BSG باعث افزایش معنی دار در سفتی امولسیون ژل

شد ($P < 0.05$). این نتیجه با تصاویر میکروساختار امولسیون ژل (شکل ۱) مطابقت داشت. فشرده شدن ساختار امولسیون ژل‌ها در حضور نانوذرات کمپلکس ISP-BSG در مقایسه با ISP را افزایش می‌دهد. تغییرات میزان سفتی با نسبت پروتئین به پلی ساکارید کمپلکس در ارتباط بود. امولسیون ژل 1S:1B، 2S:1B و 3S:1B به ترتیب دارای میزان سختی $83/29$ ، $113/71$ و $122/27$ g بود که تفاوت بین نمونه 2S:1B و 3S:1B معنی دار نبود ($P > 0.05$). حضور نسبت بالاتر ISP به BSG در نانوذرات منجر به ایجاد امولسیون ژل با بافت سفت تر گردید. به نظر می‌رسد وجود صمغ دانه ریحان در ساختار نانوذرات باعث شده که ایجاد اتصالات بین نانوذرات بیشتر شود و ژل قوی‌تری تشکیل گردد. از سوی دیگر صمغ دانه ریحان باعث ایجاد یک ساختار ژل مانند و یک لایه تثبیت‌کننده ضخیم‌تر در اطراف ذرات می‌شود (لیو و تانگ، ۲۰۱۶). بنابراین حضور BSG باعث تغییر در خصوصیات سطح نانوذرات ISP شده و نانوذرات ISP-BSG بهتر در سطح مشترک روغن و آب قرار می‌گیرد.

پارامتر چسبندگی به کار مورد احتیاج برای غلبه بر نیروهای جاذب بین سطح ماده غذایی و سطح موادی که در تماس با آن هستند؛ اشاره دارد (زیناک، ۱۹۷۵). با توجه به تاثیرگذاری چسبندگی بر خصوصیات کلی، ظاهر و مدت زمان نگهداری محصولات غذایی، میزان و پایداری آن یک پارامتر مهم باشد. همانطور که شکل ۲- ب مشاهده می‌شود، نمونه‌های پایدارشده با نانوذرات کمپلکس ISP-BSG (به جز 1S:1B) میزان چسبندگی بالاتری نسبت به نمونه‌های امولسیون پایدار شده توسط ISP داشتند. کمترین میزان چسبندگی متعلق به نمونه 1S:1B بود. چسبندگی به دو روش: چسبندگی به تجهیزات تولید یا چسبیدن به انگشتان دست و دهان قابل مشاهده است. ممکن است این خاصیت برای محصولاتی مانند سس سالاد، پودینگ، محصولات قنادی، محصولات نانویی مثبت باشد و برای محصولاتی مانند ماکارونی، پاستا، مغزنان، برخی از محصولات گوشتی یک ویژگی منفی تلقی شود. گاهی اوقات بسته به عوامل اجتماعی و فرهنگی این خاصیت تحت تأثیر قرار می‌گیرد (ویلیامز و همکاران، ۲۰۰۸). در نتیجه برای امولسیون‌هایی که در فرمولاسیون اسپردها و خامه استفاده خواهند شد وجود چسبندگی مزیت محسوب می‌شود.

میزان فنریت امولسیون ژل پایدارشده توسط پیکرینگ ISP در دمای 25°C ، $10/55$ mm مشاهده گردید. استفاده از پیکرینگ‌های کمپلکس BSG-ISP باعث افزایش میزان الاستیسته امولسیون ژل‌ها شد ($P < 0.05$) به غیر از امولسیون ژل 1S:1B که میزان فنریت نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت ($P > 0.05$). در نتیجه میزان الاستیسته و قابلیت حفظ شکل ژل با استفاده از پیکرینگ‌های 2S:1B و 3S:1B افزایش می‌یابد (شکل ۲-ج).

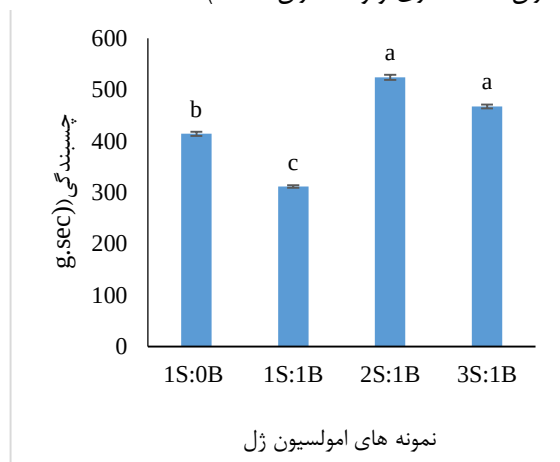
قوام امولسیون ژل دارای نانوذرات ISP در حدود $354/76$ g.s بود که تفاوت معنی‌داری با امولسیون ژل 1S:1B نداشت ($P > 0.05$). بیشترین تغییر معنی‌دار در نمونه 2S:1B مشاهده گردید که میزان قوام $817/39$ g.s مشاهده شد (شکل ۲-د). نتایج مجدداً گویای این مطلب است که قدرت شبکه ژلی با استفاده از پیکرینگ‌های 2S:1B و 3S:1B افزایش می‌یابد، در نتیجه نیروی لازم برای غلبه به نقاط اتصال به طور معنی‌دار افزایش یافت. این نتایج افزایش اتصال شبکه امولسیون ژل را با استفاده از پیکرینگ‌های کمپلکس در مقایسه با ISP نشان می‌دهد. افزایش ویسکوزیته شبکه ژل از برخورد قطرات جلوگیری می‌کند و باعث تقویت پایداری امولسیون می‌شود (آرکومانیس و همکاران، ۲۰۱۹). علت پایداری بیشتر در نمونه 2S:1B مربوط به قوام بالاتر آن نیز باشد.

بررسی ویژگی‌های ویسکوالاستیک امولسیون ژل

خواص رئولوژیکی امولسیون‌ها تأثیر قابل توجهی در فرایند و کاربرد امولسیون‌ها دارند. بنابراین، اثرات نانوذرات ISP و نانوذرات 2S:1B بر خواص رئولوژیکی امولسیون ژل پیکرینگ با استفاده از اندازه‌گیری رئولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا آزمون کرنش متغیر در فرکانس ثابت ۱ هرتز و در دامنه کرنش $0/1$ تا 100 درصد به منظور تعیین ناحیه خطی انجام گرفت که با توجه به نتایج ناحیه خطی در کرنش ثابت $0/5$ درصد برای تمامی نمونه انتخاب گردید. آزمون فرکانس متغیر امولسیون ژل پیکرینگ 1S:0B و 2S:1B به عنوان پایدارترین سیستم امولسیون ژل در کرنش ثابت $0/5$ Pa مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آزمون خواص رئولوژیکی دینامیک در شکل ۳- الف نمایش داده شده است و داده‌های حاصل از این آزمون در جدول ۲ خلاصه شده‌اند.

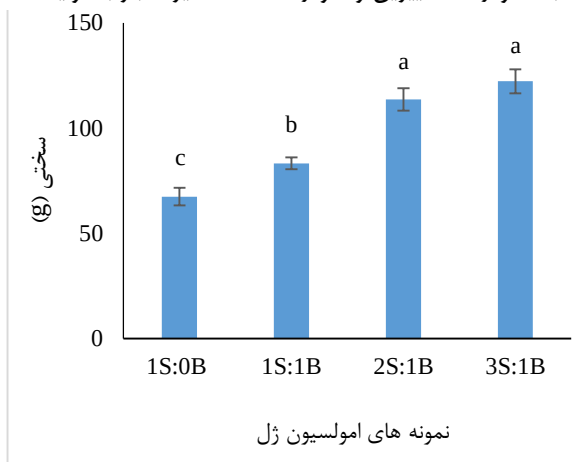
براساس نتایج آزمون فرکانس متغیر مقادیر مدول ذخیره (G') در تمام طیف فرکانس اعمال شده بیشتر از مدول اتلاف (G'') بود و نمودارهای G' و G'' کاملاً موازی و تقریباً مستقل از فرکانس بود و نقطه تقاطعی وجود نداشت. آزمون فرکانس متغیر می‌تواند سه نوع سیستم را شناسایی کند: محلول‌های رقیق، محلول‌های غلیظ و ژل‌ها. برای ژل‌ها، در محدوده فرکانس اعمال شده G' همواره بیشتر از G'' است. در محلول‌های رقیق در محدوده فرکانس مورد مطالعه G'' بزرگتر از G' است و مدول‌ها در فرکانس‌های بالاتر به هم نزدیک می‌شوند. اما در محلول‌های پلی‌ساکاریدی غلیظ، در فرکانس‌های پایین مقدار مدول G' کمتر از G'' است و در میانه محدوده فرکانس اعمالی یکدیگر را قطع می‌کنند (کیوتر، ۲۰۱۳). اگر چه کلارک و راس-مورفی (۱۹۸۷) برای سیالاتی که نمودارهای G' و G'' کاملاً موازی هستند لفظ ژل ضعیف یا مایعات ساختاری را استفاده می‌کنند که بیانگر وجود شبکه بهم تنیده در ساختار آنها است که حتی در فرکانس‌های بالا پایدار است. مقادیر بیشتر G' از G'' بیانگر رفتار ژل

امولسیون پیکرینگ با خصوصیات رئولوژیکی ژل مانند می شوند (جی) و همکاران، ۲۰۱۷؛ ژی آو و همکاران، ۲۰۱۷).

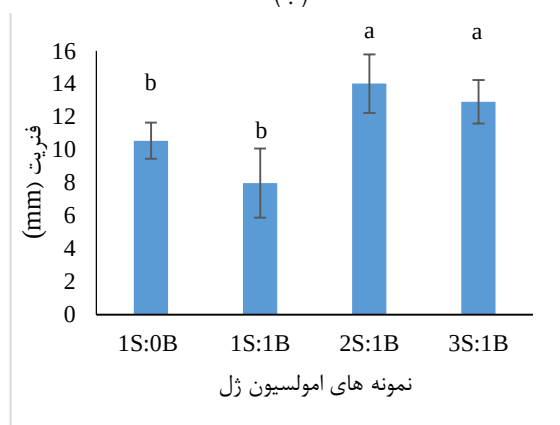


(ب)

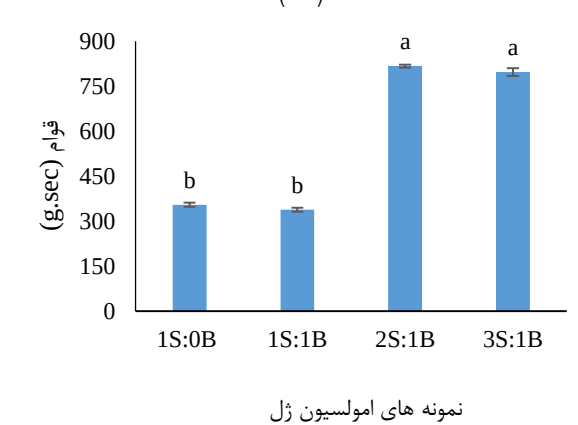
مانند (جامد گونه) در امولسیون ژل پیکرینگ های تهیه شده است. به طور مشابه، نانوذرات کافیرین و نانوذرات نشاسته نیز منجر به تولید



(الف)



(د)



(ج)

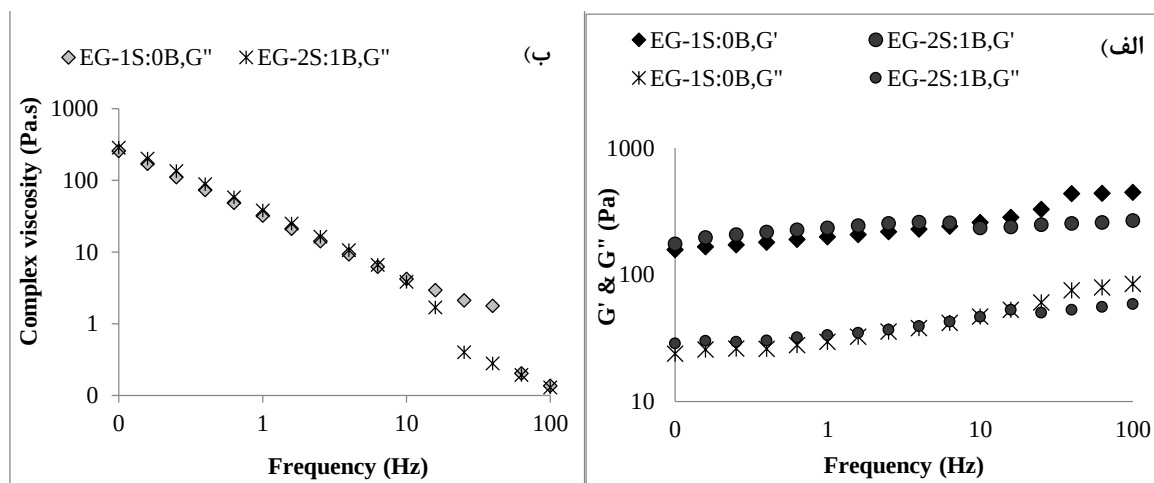
شکل ۲- ویژگی های بافتی (سختی (الف)، چسبندگی (ب)، قوام (ج) و فیریت (د)) امولسیون ژل پیکرینگ پایدار شده با نانوذرات ISP و کمپلکس ISP-BSG.

حروف مختلف روی هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار بین امولسیون ژل های مختلف صمغ می باشد ($P < 0.05$).

موثر هستند (لیو و تانگ، ۲۰۱۶b). در نتیجه حضور صمغ دانه ریحان به صورت کمپلکس در کنار ایزوله سویا، بار سطحی نانوذرات را دچار تغییر کرد (جدول ۲) که این مسئله جذب سطحی نانوذرات 2S:1B را بهبود داده است و بر ویژگی های الاستیک امولسیون ژل موثر بوده است.

بر اساس آزمون فرکانس متغیر، مقدار مدول ذخیره امولسیون ژل پیکرینگ 2S:1B NPs (۲۳۶/۰۰ Pa) بیش از 1S:0B NPs (۲۰۰/۰۰ Pa) بود (جدول ۲). مقدار مدول اتلاف امولسیون ژل پیکرینگ 2S:1B NPs (۳۳/۶۰ Pa) به طور قابل توجهی بیش از 1S:0B NPs (۲۹/۸۰ Pa) بود. مقادیر بالاتر G' و G'' بیانگر تشکیل شبکه قوی تر و ایجاد رفتار جامد گونه تر در امولسیون ژل پیکرینگ 2S:1B است.

علاوه بر این، یانگ و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که تشکیل شبکه امولسیون ژل پیکرینگ می تواند برخی از ویژگی های منحصر به فرد و مفید مانند رهاسازی بهتر دارو و پایداری بیشتر در امولسیون ایجاد کند. این امولسیون ژل ماندها بیشتر توسط پروتئین های غذایی ساخته شده اند که به عنوان امولسیفایر پیکرینگ تهیه شده اند مانند پروتئین نخود فرنگی (شائو و تانگ، ۲۰۱۶)، گالایسینین سویا (لو و همکاران، ۲۰۱۳؛ لیو و تانگ، ۲۰۱۶) ذرات نشاسته ای (راینر و همکاران، ۲۰۱۲). بر اساس مطالعات منشأ تشکیل امولسیون ژل ها، شامل بخش روغن، غلظت پروتئین و نحوه تهیه امولسیون است (لو و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین، گزارش شده است بار سطحی نانوذرات ایزوله پروتئین سویا در جذب سطحی اهمیت دارند و در نهایت بر ویژگی های امولسیون



شکل ۳- نمودار مدول ذخیره (G') و مدول اتلاف (G'') (الف) و ویسکوزیته کمپلکس (η^*) (ب) در برابر فرکانس امولسیون ژل در دمای 20°C کرنش ۰/۵ درصد.

توسط خاصیت الاستیسیته بین سطحی ایجاد می شود که حاصل از چسبندگی قوی (یا برهمکنش های جانبی قوی) بین ذرات جامدی است که بین آب-روغن جذب می شوند. در نتیجه نانوذرات 2S:1B منجر به برهمکنش های ملکولی و بهم پیوستگی زنجیره های ملکولی بیشتر شده که این باعث تقویت رفتار ویسکوالاستیک امولسیون ژل شده است.

نتایج نشان داد که نوع پیکرینگ مورد استفاده بر خواص رئولوژیکی امولسیون ها تأثیر قابل توجهی دارد. این نشان می دهد که ویسکوزیته امولسیون ژل پیکرینگ تحت تأثیر نوع پیکرینگ مورد استفاده جهت پایداری است. اردیتی و همکاران (۲۰۰۴) نیز بیان داشتند که تشکیل یک شبکه ژل مانند برای امولسیون های پایدار شده با ذرات جامد، عمدتاً

جدول ۲- مدول ذخیره (G')، مدول اتلاف (G'') و ویسکوزیته کمپلکس (η^*) امولسیون ژل در دمای 20°C کرنش ۰/۵ درصد و فرکانس ۱ Hz.

نمونه ها	G' (Pa)	G'' (Pa)	η^* (Pa.s)	$\tan \delta$	شیب η^*
EG-1S:0B	۲۰۰/۰۰	۲۹/۸۰	۳۲/۲۰	۰/۱۵	-۱/۱۶
EG-2S:1B	۲۳۶/۰۰	۳۳/۶۰	۳۸/۰۰	۰/۱۴	-۱/۰۲

وابستگی بین G' و G'' با فرکانس با استفاده از توابع قانون توان ($G' = a.\omega^b$ و $G'' = c.\omega^d$) تعیین شد که در آن فرکانس نوسانی است، b و d شاخص های قانون توان در مدول ذخیره و اتلاف می باشند برای ژل کووالانسی، $b = 0$ ، در حالیکه برای یک ژل فیزیکی $b > 0$ است. در مقادیر b نزدیک به ۱، سیستم به صورت یک ژل ویسکوز رفتار می کند. بنابراین در مقادیر b و d نزدیک به صفر، G' و G'' با فرکانس تغییر نمی کنند و الاستیسیته بالای ساختار را نشان می دهند (حصاری نژاد و همکاران، ۲۰۱۴). با توجه به مقادیر ضریب تبیین ($0.91-0.97$)، مدل قانون توان برای بیان رابطه بین مدول ذخیره و اتلاف با فرکانس مناسب است. با ملاحظه نتایج ارائه شده در جدول ۳ می توان دریافت که الاستیسیته بالاتری در امولسیون ژل 2S:1B وجود دارد که با نتایج آزمون مقادیر مدول الاستیک حاصل از آزمون فرکانس متغیر هم خوانی دارد. مقدار b در امولسیون ژل 1S:0B نشانگر عدم توانایی شکل گیری ژل قوی است و یک ژل ویسکوز را نشان می دهد.

مقدار $\tan \delta$ هر دو امولسیون ژل در محدوده ۰/۱۴ قرار داشت که وجود یک ساختار ژل ضعیف را در امولسیون ها نشان می دهد. برای محلول های رقیق مقادیر $\tan \delta$ بسیار بالا است، برای بیوپلیمرهای آمورف در محدوده ۰/۲ تا ۰/۳ است و برای پلیمرهای شیشه ای کریستالی و ژل ها در حدود ۰/۰۱ است (استف، ۱۹۹۹).

شکل ۳-ب نشان می دهد که ویسکوزیته کمپلکس (η^*) به صورت خطی با افزایش فرکانس کاهش می یابد که بیانگر رفتار نیوتنی تضعیف شونده با برش امولسیون ها است. مقادیر ویسکوزیته کمپلکس 1S:0B (۳۲/۲۰ Pa.s) و 2S:1B (۳۸/۰۰ Pa.s) بود (جدول ۲). هیچ گونه رفتاری از رسیدن ویسکوزیته کمپلکس به مقدار ثابت نیوتنی در محدوده دامنه فرکانس اعمال شده وجود نداشت. پارامتر دیگری که بیان کننده قدرت ژل است شیب منحنی ویسکوزیته کمپلکس در برابر فرکانس η^*-f است. لگاریتم ویسکوزیته کمپلکس با لگاریتم فرکانس در دامنه ۰/۰۱ تا ۱۰ Hz رابطه خطی نشان داد. شیب η^* برای 1S:0B و 2S:1B به ترتیب ۱/۱۶ و ۱/۰۲ بود که بیانگر وجود ژل قوی تر در امولسیون پیکرینگ پایدار شده با نانوذرات دارای صمغ دانه ریحان است.

جدول ۳- پارامترهای مدل توان برای مدول ذخیره، مدول اتلاف امولسیون ژل (دمای °C ۲۰، کرنش ۵٪)

G''=cω ^d		G'=aω ^b		فراکسیون ها
R ²	d	R ²	b	
۰/۹۴	۰/۲۱	۰/۸۷	۰/۱۷	EM-1S:0B
۰/۹۳	۰/۱۲	۰/۹۵	۰/۰۲	EM-2S:1B

می کند که به کاهش مقاومت مکانیکی شبکه پروتئینی مربوط است. غنی سازی با ماده خشک و همچنین افزودن هیدروکلوئیدها روش های متداول برای ممانعت از آب اندازی خامه کم چرب می باشند (ساهان و همکاران، ۲۰۰۸).

نتایج تحلیل آماری تاثیر جایگزینی امولسیون ژل های مختلف در درصدهای متفاوت بر میزان آب اندازی در جدول ۴ گزارش شده است. استفاده از درصدهای بالای جایگزینی با افزایش آب اندازی خامه همراه بود ($p < 0.05$). حداقل آب اندازی در حداقل میزان جایگزینی مشاهده شد. شبکه ژلی امولسیون ژل از خروج آب جلوگیری می کنند. نوع امولسیون ژل بر میزان آب اندازی تاثیر معنی داری نداشت ($p > 0.05$). کمترین میزان آب اندازی در نمونه ۵S:0B و ۵S:1B٪ مشاهده شد که در حدود ۱ درصد بود.

نتایج ویسکوالاستیک نشان داد که حضور صمغ دانه ریحان در ساختار نانوذرات پیکرینگ باعث افزایش الاستیسیته امولسیون ژل می گردد. صمغ دانه ریحان بر ویژگی های سطحی ذرات اثر می گذارد که باعث ایجاد ذرات ژل مانند می شود. در حالی که نانوذرات ISP یک ساختار ژل ضعیف تری را تشکیل داد. لی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش نمودند لایه های ویسکوالاستیک منجر به پایداری بالای امولسیون می شوند.

میزان آب اندازی خامه

یکی از مهمترین مسائل در تولید خامه، مقدار آب اندازی پس از تولید می باشد که پذیرش و قابلیت مصرف آن را پایین می آورد (غلامحسین پور و مظاهری تهرانی، ۱۳۹۰). براساس مطالعات پیشین با کاهش چربی در فرمولاسیون خامه، مقدار آب اندازی آن افزایش پیدا

جدول ۴- میزان آب اندازی (درصد) نمونه های خامه کم چرب

۱S:0B٪	۱S:0B٪	۱S:0B٪	۱S:0B٪	۱S:0B٪	۱S:0B٪
۰/۹۲±۰/۱۶ ^d	۱/۲۸±۰/۱۳ ^c	۲/۱۱±۰/۲۰ ^a	۰/۸۷±۰/۱۱ ^d	۱/۴۴±۰/۰۹ ^c	۲/۰۳±۰/۱۴ ^b

*حروف مختلف نشان دهنده تفاوت معنی دار بین امولسیون ژل ها می باشد ($P < 0.05$).

($p < 0.05$). این تحقیق نشان داد که میزان جایگزینی نسبت به نوع سیستم در امتیاز طعم نقش دارد. از سویی دیگر بیشترین امتیاز در نمونه های کم چرب مربوط به سطوح ۵ درصد جایگزینی بود. پروفایل رهایش طعم ها به طور معنی دار تابع غلظت چربی است و با کاهش غلظت چربی، شدت رهاسازی طعم زیاد می شود. به عبارت دیگر چربی به عنوان حامل ترکیبات مولد طعم عمل می کند. به همین دلیل ترکیبات آروما با قطبیت کمتر، غلظت آستانه طعم بیشتری در روغن در مقایسه با غلظت آستانه طعم در آب دارند. تغییر جزئی در میزان روغن، اثرات معنی داری بر فشار بخار ترکیبات مولد طعم محلول در چربی (لیمون و اتیل هیتانوات) داشت در حالی که فشار بخار ترکیبات هیدروفیل (دی استیل و پروپانول) به میزان کمی کاهش و یا حتی افزایش می یابد. پیراپرز و همکاران (۱۹۹۸) از طریق افزایش میزان لیپید در لبنیات منجر به حفظ ترکیبات طعم دهنده (آلدئیدها، متیل کتون ها، استرها و دی متیل دی سولفید) شدند، هرچند ساختار شیمیایی و میزان لیپوفیل بودن نیز موثر بود. جو و آهن (۱۹۹۹) نشان دادند آزادسازی طعم هیدروکربن ها، آلدئیدها، کتون ها و الکله با میزان چربی امولسیون رابطه

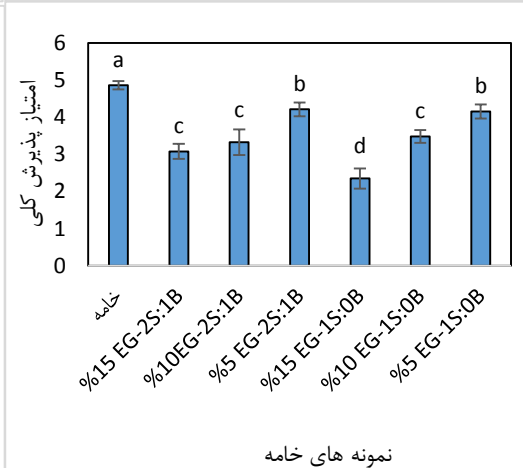
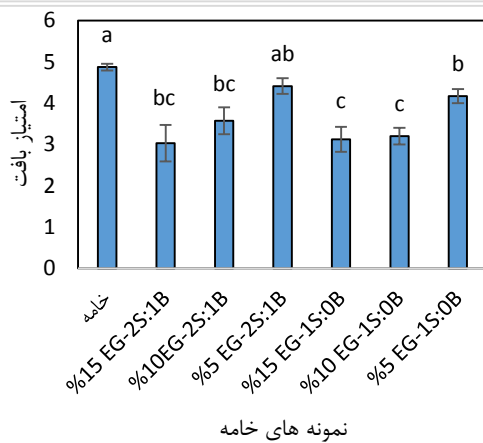
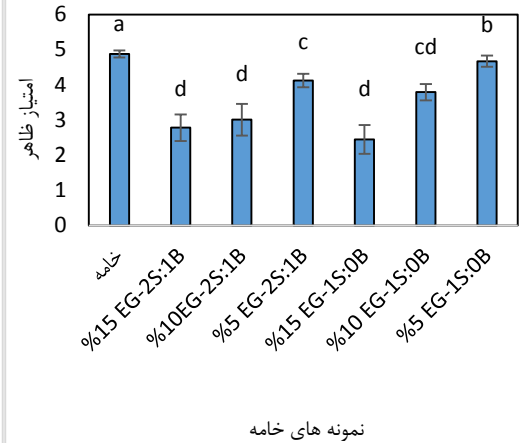
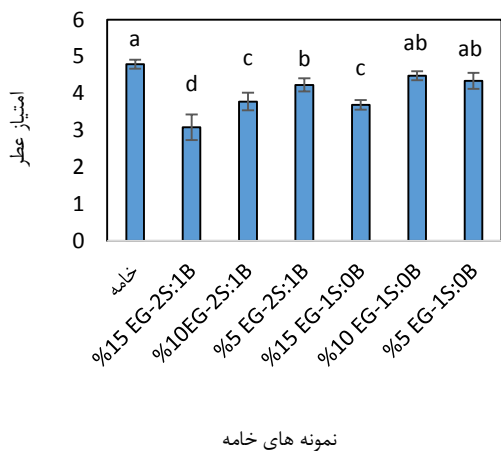
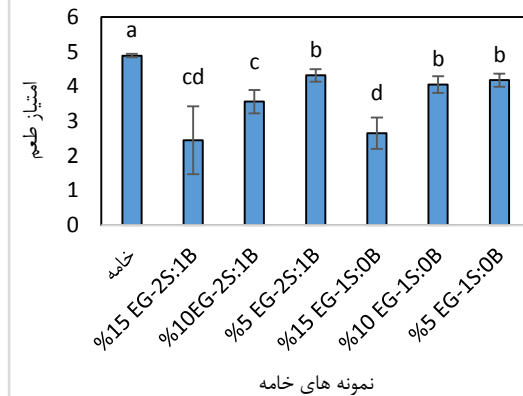
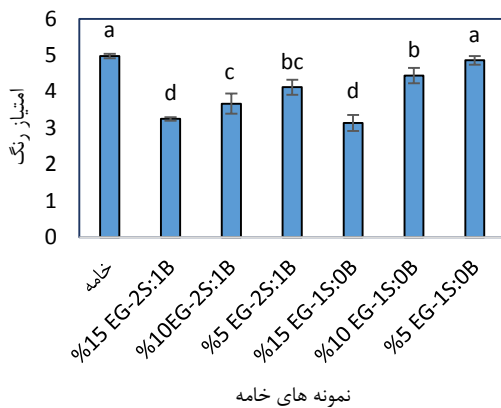
بررسی ویژگی های ارگانولپتیکی خامه

میزان چربی در محصولات غذایی بر احساس دهانی و خصوصیات حسی محصولات غذایی اثر گذار است. از این رو با توجه به اهمیت نقش اجزاء تشکیل دهنده مواد غذایی بر خصوصیات حسی، آزمون ویژگی های ارگانولپتیکی خامه های کم چرب در مقایسه با خامه ۳۰٪ چربی توسط آزمون هدونیک ۵ نقطه مورد بررسی قرار گرفت.

مقایسه رنگ نمونه ها نشان داد بیشترین میانگین نمره رنگ (از نظر مطلوبیت) در بین گروه شاهد و تیمارهای کم چرب مربوط به نمونه خامه کنترل و EG-1S:0B ۵٪ و کمترین میانگین نمره رنگ (رنگ تیره تر) مربوط به نمونه EG ۱۵٪ بود. با افزایش میزان جایگزینی چربی میزان امتیاز رنگ کاهش معنی دار داشت. اگرچه امتیاز بیشتر نمونه ها قابل قبول بود (شکل ۴).

در مشخصه کیفی طعم، نتایج نشان داد میزان طعم خامه به مقدار چربی وابسته است (شکل ۴). نتایج نشان داد که بیشترین میانگین نمره طعم مربوط به خامه کنترل بود (۴/۸۹) و کمترین میانگین نمره طعم مربوط به ۱۵٪ جایگزینی سیستم امولسیون ژل بود

خطی دارد. این اثر کتون‌ها و هیدروکربن‌های بزرگتر به دلیل تفاوت در حلالیت روغن مشخص‌تر بوده است.



شکل ۴- ارزیابی حسی خامه تهیه شده با جایگزینی درصدهای مختلف امولسیون ژل.

فاصل روغن و آب را بهبود می دهد. در تمامی نمونه ها ساختار ژل همگن بود، اما ساختار و رفتار امولسیون ژل در حضور BSG و با توجه به نسبت پروتئین به پلی ساکارید متفاوت بود. در حضور ذرات 2S:1B پایداری افزایش پیدا کرد که مربوط به تشکیل لایه سطحی ضخیم تر در اطراف قطرات روغن توسط این نانوذرات است. همچنین صمغ دانه ریحان به پل زدن قطرات کمک می کند و ثبات مکانیکی مؤثرتری ایجاد کرده و به رئولوژی شبه ژل در امولسیون های پیکرینگ کمک کند. نتایج بافت سنجی نیز تایید کرد وجود صمغ دانه ریحان در ساختار نانوذرات باعث شده که ایجاد اتصالات بین نانوذرات بیشتر شود و امولسیون ژل قوی تری تشکیل شد. بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک تشکیل ژل را در هر دو سیستم امولسیون ژل تایید کرد. مقدار مدول ذخیره و اتلاف امولسیون ژل پایداری شده توسط پیکرینگ 2S:1B NPs بیش از 1S:0B NPs بود. مقادیر بالاتر G' و G'' بیانگر تشکیل شبکه قوی تر و ایجاد رفتار جامد گونه تر در امولسیون ژل پیکرینگ 2S:1B است. با توجه به پایداری و خصوصیات بافتی از بین نمونه های امولسیون ژل، دو فرمول 1S:0B و 2S:1B جهت جایگزینی در خامه برای تولید خامه با چربی کاهش یافته استفاده شد. با استفاده از سیستم امولسیون ژل میزان آب اندازی در خامه با چربی کاهش یافته در محدوده ۱-۲ درصد بود که نشانگر کارایی این سیستم ها در کاهش آب اندازی در خامه است. شبکه ژلی امولسیون ژل از خروج آب جلوگیری می کنند. حداقل آب اندازی در حداقل میزان جایگزینی مشاهده شد. براساس نتایج آزمون حسی مشخص شد، مشخصه های کیفی نمونه های خامه بیشتر به میزان جایگزینی وابسته بودند تا نوع سیستم استفاده شده به عنوان جایگزین. حضور سیستم جایگزین چربی باعث حفظ کیفیت مطلوب در نمونه های خامه کم چرب شد و در تمامی نمونه ها امتیاز بالاتر از ۳ کسب شد. اکثر نمونه ها امتیاز بالاتر از ۳ کسب کردند که نشانگر مطلوبیت این نمونه ها از نظر داوران حسی است.

در هر حال در هیچ یک از نمونه های کم چرب طعم نامطبوع گزارش نشد. در تحقیقات پیشین گزارش شده است به کمک آنکپسولاسیون روغن در ذرات ژل (امولسیون های ریزساختار)، احتمال کنترل انتخابی ترکیبات لیپوفیل در محصولات کم چرب افزایش می یابد. این نوع امولسیون ها قادر به کنترل شدت ترکیبات مولد طعم لیپوفیل و بهبود تعادل طعم در مخلوط های حاوی چند نوع طعم دهنده می شوند (آید و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج آزمون عطر مشابه طعم تابعی از میزان چربی بود (شکل ۴) و با افزایش درصد جایگزینی از ۵ به ۱۵٪ میزان امتیاز عطر به طور معنی داری کاهش یافت ($p < 0.05$).

در مورد ویژگی بافتی (شکل ۴)، حضور سیستم جایگزین چربی باعث حفظ کیفیت مطلوب در نمونه های خامه کم چرب شد و در تمامی نمونه ها امتیاز بالاتر از ۳ کسب شد. نتایج حاکی از آن بود که بالاترین میانگین نمره، به ترتیب مربوط به نمونه های خامه کنترل و EG-2S:1B ۵٪ بود.

در بررسی نتایج قابلیت پذیرش توسط مصرف کننده (شکل ۴)، امتیاز نمونه EG ۵٪ و نمونه خامه شاهد نسبت به سایر نمونه ها بالاتر بود ($p < 0.05$). اگرچه اکثر نمونه ها امتیاز بالاتر از ۳ کسب کردند به جزء نمونه EG-1S:0B ۱۵٪ (۲/۳۵). میزان امتیاز پذیرش بیشتر تحت تاثیر درصد جایگزینی چربی بود تا نوع سیستم جایگزین چربی بود.

نتیجه گیری

با استفاده از ذرات جامد ISP و ISP-BSG به عنوان امولسیون پیکرینگ، ساختار امولسیون شکل گرفت که با استفاده از کلسیم کلرید امولسیون ژل تشکیل شد. بسته به نوع پیکرینگ میزان پایداری متفاوت بود. همچنین حضور صمغ دانه ریحان به خصوص در نسبت ۲:۱ پایداری امولسیون ژل را به طور معنی داری افزایش داد. حضور BSG باعث تغییر مورفولوژی و خصوصیات سطح نانوذرات می شود و جذب ذرات در حد

منابع

- Alting, A., C. (2003). Cold gelation of globular proteins. Thesis Wageningen University, The Netherlands.
- Arditty, S., V. Schmitt, J. Giermanska-Kahn and F. Leal-Calderon (2004). "Materials based on solid-stabilized emulsions." *Journal of Colloid and Interface Science* 275(2): 659-664.
- Arkoumanis, P. G., I. T. Norton and F. Spyropoulos (2019). "Pickering particle and emulsifier co-stabilised emulsions produced via rotating membrane emulsification." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 568: 481-492.
- Ayed, C., S. I. Martins, A. M. Williamson and E. Guichard (2018). "Understanding fat ,proteins and saliva impact on aroma release from flavoured ice creams." *Food chemistry* 267: 132-139.
- Brodellus, P. E., C. Funk and R. D. Shillito (1988). "Permeabilization of cultivated plant cells by electroporation for release of intracellularly stored secondary products." *Plant cell reports* 7(3): 186-188.
- Clark, A. H. and S. B. Ross-Murphy (1987). Structural and mechanical properties of biopolymer gels. *Biopolymers*, Springer: 57-192.

- Costa, C., Medronho, B., Filipe, A., Mira, I., Lindman, B., Edlund, H., & Norgren, M. (2019). Emulsion formation and stabilization by biomolecules: The leading role of cellulose. *Polymers*, 11(10), 1570.
- De Vries, A., J. Hendriks, E. Van Der Linden and E. Scholten (2015) "(Protein oleogels from protein hydrogels via a stepwise solvent exchange route." *Langmuir* 31(51): 13850-13859.
- Fiszman, S. and M. Damasio (2000). "Suitability of single-compression and TPA tests to determine adhesiveness in solid and semi-solid foods." *Journal of texture studies* 31(1): 55-68.
- Ge, S., L. Xiong, M. Li, J. Liu, J. Yang, R. Chang, C. Liang and Q. Sun (2017). "Characterizations of Pickering emulsions stabilized by starch nanoparticles: Influence of starch variety and particle size." *Food chemistry* 234: 339-347.
- Hesarinejad, M. A., S. M. Razavi and A. Koocheki (2015). "Alyssum homolocarpum seed gum: Dilute solution and some physicochemical properties." *International journal of biological macromolecules* 81: 418-426.
- Hoefler, A. (2001). Carrageenan: chemistry, functionality, and applications, Oxford PA. p.
- Jo, C. and D. U. Ahn (1999). "Fat reduces volatiles production in oil emulsion system analyzed by purge and trap dynamic headspace/gas chromatography." *Journal of Food Science and Technology* (Mysore) 64.4: 641-643.
- Katsiari, M., L. Voutsinas, E. Kondyli and E. Alichanidis (2002). "Flavour enhancement of low-fat Feta-type cheese using a commercial adjunct culture." *Food Chemistry* 79(2): 193-198.
- Kavas, G., G. Oysun, O. Kinik and H. Uysal (2004) "(Effect of some fat replacers on chemical, physical and sensory attributes of low-fat white pickled cheese." *Food chemistry* 88(3): 381-388.
- Khouryieh, H., G. Puli, K. Williams and F. Aramouni (2015). "Effects of xanthan-locust bean gum mixtures on the physicochemical properties and oxidative stability of whey protein stabilised oil-in-water emulsions." *Food chemistry* 167: 340-348.
- Kuhn, K. R., Â. L. F. Cavallieri and R. L. Da Cunha (2010). "Cold-set whey protein gels induced by calcium or sodium salt addition." *International journal of food science & technology* 45(2): 348-357.
- Lee, M. N., H. K. Chan and A. Mohraz (2011). "Characteristics of pickering emulsion gels formed by droplet bridging." *Langmuir* 28(6): 3085-3091.
- Li, C., Y. Li, P. Sun and C. Yang ,2013 .(Pickering emulsions stabilized by native starch granules." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 431: 142-149.
- Liu, F. and C.-H. Tang (2016). "Soy glycinin as food-grade Pickering stabilizers: Part. I. Structural characteristics, emulsifying properties and adsorption/arrangement at interface." *Food Hydrocolloids* 60: 606-619.
- Liu, F. and C.-H. Tang (2016). "Soy glycinin as food-grade Pickering stabilizers: Part. II. Improvement of emulsification and interfacial adsorption by electrostatic screening." *Food hydrocolloids* 60: 620-630.
- Lo, C. and L. Ramsden (2000). "Effects of xanthan and galactomannan on the freeze/thaw properties of starch gels." *Food/Nahrung* 44(3): 211-214.
- Naji-Tabasi, S., B. Emadzadeh and R. Kadkhodaei " (۲۰۱۹) Effects of pectin and xanthan gum on induced-flocculation phenomenon in an acidic model emulsion system." *Journal of Dispersion Science and Technology* 40(2): 256-263.
- Naji-Tabasi, S. and S. M. A. Razavi (2016). "New studies on basil (*Ocimum bacilicum* L.) seed gum: Part II—Emulsifying and foaming characterization." *Carbohydrate polymers* 149: 140-150.
- Naji-Tabasi, S., & Razavi, S. M. A. (2017). New studies on basil (*Ocimum bacilicum* L.) seed gum: Part III—Steady and dynamic shear rheology. *Food Hydrocolloids*, 67, 243-250.
- Naji-Tabasi, S., S. M. A. Razavi and H. Mehdiabadi (2017). "Fabrication of basil seed gum nanoparticles as a novel oral delivery system of glutathione." *Carbohydrate polymers* 157: 1703-1713.
- Naji-Tabasi, S., S. M. A. Razavi, M. Mohebbi and B. Malaekhe-Nikouei (2016). "New studies on basil (*Ocimum bacilicum* L.) seed gum: Part I-Fractionation, physicochemical and surface activity characterization." *Food Hydrocolloids* 52: 350-358.
- Nourbehesht, N., Shekarchizadeh, H., & Soltanizadeh, N. (2018). Investigation of stability, consistency, and oil oxidation of emulsion filled gel prepared by inulin and rice bran oil using ultrasonic radiation. *Ultrasonics sonochemistry*, 42: 585-593.
- Orouji, I., Dhanbarzadeh, B., and Danesh, E. (2017). Study of texture and sensory properties of prebiotic cream containing inulin and polydextrose by using response surface methodology. *Journal of food research*, 27(4), 193-207.

- Pawlik, A., D. Kurukji, I. Norton and F. Spyropoulos (2016). "Food-grade Pickering emulsions stabilised with solid lipid particles." *Food & function* 7(6): 2712-2721.
- Piraprez, G., Marie France Hérent and S. Collin (1998). "Determination of the lipophilicity of aroma compounds by RPHPLC." *Flavour and fragrance journal* 400-408.
- Rayner, M., A. Timgren, M. Sjöö and P. Dejmek (2012). "Quinoa starch granules: a candidate for stabilising food-grade Pickering emulsions." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92(9): 1841-1847.
- Sahan, N., K. Yasar and A. Hayaloglu (2008). "Physical, chemical and flavour quality of non-fat yogurt as affected by a β -glucan hydrocolloidal composite during storage." *Food Hydrocolloids* 22(7): 1291-1297.
- Shao, Y. and C.-H. Tang (2016). "Gel-like pea protein Pickering emulsions at pH 3.0 as a potential intestine-targeted and sustained-release delivery system for β -carotene." *Food research international* 79: 64-72.
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food process engineering*, Freeman press.
- Williams, P. D., L. N. Sadar and Y. Martin Lo (2009). "Texture stability of hydrogel complex containing curdlan gum over multiple freeze-thaw cycles." *Journal of Food Processing and Preservation* 33(1): 126-139.
- Wu, M., Xiong, Y. L., & Chen, J. (2011). Rheology and microstructure of myofibrillar protein-plant lipid composite gels: Effect of emulsion droplet size and membrane type. *Journal of food engineering*, 106(4), 318-324.
- Yang, Y., Z. Fang, X. Chen, W. Zhang, Y. Xie, Y. Chen, Z. Liu and W. Yuan (2017). "An overview of Pickering emulsions: solid-particle materials, classification, morphology, and applications." *Frontiers in pharmacology* 8: 287.



Preparation of cold gel emulsion system using isolated soy protein- Basil seed gum complex as a fat replacement in cream

S. Naji-Tabasi¹, E. Mahdian¹, A. Arianfar¹, Sara Naji-Tabasi^{2*}

Received: 2020.04.06

Accepted: 2020.07.18

Introduction: Fats have a special place in human nutrition and their main role is supplying energy for the body. But scientific findings approve an association between high fat intake and an increment risk of some diseases, such as atherosclerosis, heart disease, and Demand for low-fat foods has increased dramatically as people become more aware of fat consumption side effects. However, due to the multiple role of fats in food products, eliminating or decreasing fat lead to poor quality of products. Therefore, it is necessary to use a combination of fat substitutes to maintain the rheological, texture and sensory properties of the low fat food products. The use of emulsion gel structures are new methods for the production of low-fat product that has been studied in this investigation. The Pickering emulsion was used to produce the emulsion. In this method, instead of using surface-active agents, solid particles are used to stabilize the emulsion. The aim of this study was to prepare Pickering Emulsion from Isolated Soybean protein (ISP) and Basil Seed Gum (ISP-BSG) Complex. Finally, emulsion gel systems were applied as fat substitutes in cream.

Materials and Methods: Basil seeds were purchased from Mashhad market. Isolated soy protein was purchased from Shandong Yuxin Bio-Tech Co. (China). Sodium azide was purchased from Applichem Inc. (Dramstadt, Germany). Sodium dodecyl sulphate (SDS) was obtained from Merck, Germany. Pickering (solid particles) of soy protein isolate (SPI) and SPI-basil seed gum (ISP-BSG) complex used as emulsifier for stabilization of cold emulsion. ISP-BSG particles were prepared with different mass ratios of ISP: BSG, 1: 0, 1: 1, 2: 1 and 3: 1 and named 1S: 0B, 1S: 1B, 2S: 1B and 3S: 1B, respectively. These solid particles were used as Pickering for emulsion preparation. Cold Emulsion was prepared by adding calcium chloride. The oil leakage, oil leakage after thermal treatments, microscopic structure, textural properties and viscoelastic properties of emulsion gel were studied. Then, the best structures used as a fat substitute in cream (5, 10 and 15%).

Results & Discussion: Investigation of emulsion gel properties showed that coating the surface of emulsion droplets with solid nanoparticles formed a rigid shell that acted as a barrier against the deformation and transfer of materials from the interfacial surface. The use of ISP-BSG nanoparticles as picking particles caused more homogeneity and stiffness in emulsion gel structure. The rate of water loss in reduced fat cream was in the range of 1-2% by using the emulsion-gel system, which indicates the effectiveness of these systems in reducing dehydration in cream. The increasing replacement percentages led to increase water loss ($p < 0.05$). However, emulsion type had no significant effect on water loss content ($p > 0.05$). According to the results, ISP-BSG nanoparticles impart high potential to stabilize emulsion with small oil droplets. Based on the results of the sensory test, it was found that the characteristics of the cream samples depended more on the replacement rate than the type of system used as an alternative. The presence of a fat replacement system maintained the desired quality in low-fat cream samples. Most of the samples scored higher than 3, which indicate the high acceptance of low-fat samples.

Keywords: Basil seed gum, Complex, Emulsion gel, Fat replacement, Soy protein isolate, Solid particles.

1. Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.

2. Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST) PO Box, 91895-157.356, Mashhad, Iran

(*Corresponding Author Email: s.najitabasi@rifst.ac.ir)

مقاله پژوهشی

بررسی خواص فیزیکوشیمیایی موسیلاژ بامیه و مقایسه کارایی استخراج دو روش حلال و فوق بحرانی

فاطمه کرانی^۱ - جواد سرگلزایی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۸

چکیده

خواص درمانی بامیه از پلی ساکاریدهای موجود در غلاف می باشد که قسمت اعظم آن در بخش لزجی گیاه وجود دارد و موسیلاژ خوانده می شود. بخش اعظم موسیلاژ از کربوهیدرات ها تشکیل شده است و خاصیت اصلی آن در مواجهه شدن با مولکول های آب است که به صورت ژل در می آید و در صنایع مختلف کاربرد دارد. موسیلاژ در صنایع غذایی به عنوان پایدار کننده و امولسیفایر کاربرد دارد و در صنایع داروسازی برای کنترل آزادسازی قرص ها و تولید شربت استفاده می شود. هدف از این تحقیق بهینه سازی شرایط استخراج موسیلاژ از بامیه به دو روش حلال و روش فوق بحرانی جهت یافتن نقاط بهینه استخراج می باشد. به منظور به دست آوردن مدل ریاضی و یافتن بیشترین تاثیر پارامترها بر پاسخ از روش سطح پاسخ استفاده شده است. در روش استخراج با حلال متغیرهای دما، زمان و نسبت حلال به ماده جامد برای رسیدن به حداکثر میزان بازده، به ترتیب 60°C ، 224 min و 48 به دست آمدند و دما و نسبت حلال به ماده جامد به ترتیب بیشترین تاثیر را بر بازده استخراج داشت. در روش استخراج فوق بحرانی دما، فشار و زمان به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند و برای رسیدن به حداکثر بازده به ترتیب 50°C ، $25/5\text{ bar}$ و 135 min به دست آمد. میزان بازده موسیلاژ استخراجی در نقطه بهینه در روش استخراج با حلال $5/42$ و در روش فوق بحرانی $1/69$ درصد بود. درصد بازده استخراج موسیلاژ در روش فوق بحرانی کمتر از روش خیساندن شد اما میزان حلال مصرفی و زمان استخراج در روش خیساندن بیشتر از روش فوق بحرانی بود. عصاره حاصل از روش فوق بحرانی توسط GC-MS آنالیز شد و نتیجه حاکی از حضور پلی ساکاریدها در نمونه می باشد.

واژه های کلیدی: گیاه بامیه، بهینه سازی، حلال، فوق بحرانی، پلی ساکارید

مقدمه

برگ های بامیه ممکن است به عنوان سبزی مانند برگ های چغندر پخته شوند و همچنین به صورت خام در سالاد استفاده شوند (Tripathi *et al.*, 2011). میوه ها قسمت عمده خوراکی را تشکیل داده که به صورت پخته و سرخ شده استفاده می شود. در ترکیه غلاف جوان آن را خشک کرده و در زمستان از آن استفاده می کنند (Lamont, 1999). میوه ها را می توان به صورت ترشی نیز استفاده کرد (Tripathi *et al.*, 2011). بامیه که یکی از سبزیجاتی است که در طب سنتی چینی برای بیماری های مختلف مورد استفاده قرار می گرفته است. خصوصیات سلامتی بامیه به خاطر مقدار پلی ساکاریدهای آن است. اخیرا نتایجی به دست آمده که پکتین تاثیرات زیادی بر سلامتی دارد از جمله یک ضد دیابت و کاهنده کلسترول خون، ممانعت کننده برای لیپاز، آنتی اکسیدان و فعالیت های ایمنی بدن دارد (Zhanga *et al.*, 2018). بامیه به علت خاصیت آنتی اکسیدانی و ضد اشتعالی برای بهبود بخشیدن

بامیه با نام علمی *Abelmoschus esculentus* به خانواده پنبرک (Malvaceae) تعلق دارد (پیوست، ۱۳۸۸). گیاه بامیه بومی آفریقا و موطن اصلی آن اتیوپی است. سپس از آنجا به شمال آفریقا، شرق مدیترانه، کشورهای عربی و هند گسترش یافته است (Kalia *et al.*, 1962). پراکندگی بامیه در ایران بیشتر به مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری مربوط بوده و در استان های خوزستان، ایلام، کرمانشاه، جنوب فارس، بوشهر و هرمزگان دیده می شود (مظفریان، ۱۳۹۱). حاشیه برگ ها دارای لوب های کم عمق تا لوب های عمیق است. برگ های جوان بامیه اغلب به عنوان یک سبزی در برخی نقاط مثل غرب آفریقا و جنوب شرقی آسیا مصرف می شوند. شاخه های ترد و جوانه های گل اغلب همراه برگ ها خورده می شوند (Irvine, 1987).

و شکنندگی مورد ارزیابی قرار گرفت. بر طبق مشاهدات، غلظت‌های پایین موسیلاژ بامیه می‌تواند به‌عنوان جایگزین نشاسته در فرمولاسیون قرص، قرار گیرد و همچنین سطح‌های غلظتی بالای موسیلاژ بامیه می‌تواند در سیستم آزاد سازی داروها به‌عنوان یک ماده طبیعی مورد استفاده قرار گیرد. در مطالعه‌ای Mishra و همکاران (۲۰۰۸) موسیلاژ بامیه را به‌عنوان یک پیشنهاد جدید برای جایگزینی مواد پلیمری مورد استفاده در صنایع مختلف، معرفی کردند. در تحقیقی اثر موسیلاژ بامیه در آزادسازی هیدروکلئید پروپرانول در قرص‌ها مورد مطالعه قرار گرفت و مشاهده شد که بالاترین سختی و پایین‌ترین شکنندگی مربوط به قرص تولیدی از بامیه است (Zaharuddin et al., 2014).

در این تحقیق موسیلاژ بامیه از دو روش استخراج با حلال و استخراج با سیال فوق بحرانی انجام شده و بهینه‌سازی بازده هر دو روش و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی عصاره حاصل از هر دو روش مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این تحقیق انتخاب بهترین روش برای استخراج موسیلاژ از گیاه بامیه و پیدا کردن شرایط بهینه در روش استخراج می‌باشد.

مواد و روش‌ها

گیاه بامیه تازه از سوپر مارکت محلی تهیه شد، این گیاه در استان خوزستان رشد یافته است. مواد شیمیایی نظیر اتانول خالص، استون، کلروفرم، استونیتریل از شرکت‌های مرک آلمان و سیگما آلدردیج آمریکا و شیشه آلات و وسایل آزمایشگاهی نظیر بالون حجمی، بورت، پیپت، استوانه مدرج، کاغذ صافی، فالدون، بشر، دماسنج، قیف و ارلن خریداری شدند. بعد از انتقال میوه بامیه به آزمایشگاه آلودگی‌ها و کیفی به صورت دستی از گیاه پاک گردید و سپس با آب به دقت شستشو داده شدند. دانه‌های بامیه جدا شدند. سپس غلاف‌های بامیه در دمای حدود ۴۰ درجه سانتیگراد داخل دستگاه آون فن دار دیجیتال مدل 6882A خشک شدند. پس از آن به‌وسیله دستگاه آسیاب کن برقی ساخت کشور آلمان به‌صورت پودر در آمده و از الک ۳۰ مش عبور داده شد تا آماده استخراج شوند.

روش استخراج استخراج با حلال

برای استخراج موسیلاژ گیاه بامیه از روش رایج خیساندن استفاده شد. ابتدا مقداری از پودر بامیه را توسط ترازوی دیجیتال (GR-200، ژاپن) وزن کرده و به بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده شد. سپس داخل بشر با توجه به نسبت‌های مختلف حلال به ماده جامد که در طراحی آزمایش مشخص شده است آب مقطر ریخته و به‌طور مداوم به مدت ۱ تا ۵ ساعت هم‌زده می‌شود تا موسیلاژ به‌طور کامل در آب آزاد شود. سپس محلول صاف می‌شود و در مجاورت یک حلال آلی (در اینجا از اتانول و استون به نسبت مساوی استفاده گردید) قرار داده می‌شود.

تنگی نفس و آسم مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ivanice et al., 2013). لعاب و الیاف سلولزی موجود در جداره میوه، علاوه بر کمک در پاک کردن دستگاه گوارش، موجب هضم غذا در بدن می‌شود و کلسترول و قند خون را تنظیم می‌نماید. خاصیت لزجی گیاه بامیه به دلیل ماده غلیظ و لزجی است که در غلاف میوه وجود دارد و موسیلاژ نامیده می‌شود. موسیلاژ بامیه یکی از پلی‌ساکاریدهایی است که در حال حاضر در صنعت داروسازی به‌عنوان پلیمر آبدوست در روکش قرص‌ها استفاده می‌شود (Bakre et al., 2009).

بررسی آمار مصرف داروها نشان از استقبال چشمگیر از اشکال و مواد دارویی گیاهی دارد. دلیل آن احتمالاً وجود عوارض کمتر، ارزانی و قابلیت دسترسی آسان در مقایسه با داروهای شیمیایی می‌باشد. به‌علاوه می‌تواند راهبردی جدید در کاهش وابستگی ارزی و دارویی به مواد شیمیایی به‌عنوان یک جایگزین بومی نیز موثر باشد. موسیلاژها همچنین از جمله این مواد هستند که از دسته پلیمرهای بی‌شکل و نیمه شفاف بوده و جزء هیدروکلئیدها هستند. این مواد مولکول‌های هیدروفیل و آبدوستی هستند که با آب قابل استخراج بوده و تشکیل محلول‌های غلیظ یا ژلی را می‌دهند. ژل‌ها کاربردهای زیادی در صنایع غذایی و دارویی و غیردارویی دارند. از مهمترین کاربردهای دارویی معرفی آن برای خواص نرم‌کنندگی سلول‌های مجاری تنفسی و به‌خصوص تسکین سرفه می‌باشد (Jani et al., 2009). مطالعات بسیاری روی استخراج موسیلاژ گیاه بامیه و کاربردهای آن در صنایع دارویی و غذایی انجام شده است. مطالعه نشان داده است که عصاره بامیه پتانسیل یک امولسیفایر در محیط اسیدی را دارد که می‌تواند یک امولسیون رقیق با پایداری خوب را تشکیل دهد. چنین خاصیتی می‌تواند در جهت آزاد سازی داروهای آب‌گریز امولسیون شده و یا مواد مغذی در میان محیط اسیدی معده مورد بهره برداری قرار گیرد (Ghori et al., 2013).

Farooq و همکاران (۲۰۱۳) روی خواص ارگانولپتیک موسیلاژ گیاه بامیه کار کردند و به نتیجه رسیدند که موسیلاژ بامیه دارای خواص جریان‌پذیری خوب و حلالیت بالایی در آب است که می‌تواند به‌طور ایمن و بدون اثرات جانبی در داروها استفاده شود. Noorlaila و همکاران (۲۰۱۴) روی خاصیت امولسیون‌کنندگی موسیلاژ استخراجی از گیاه بامیه مطالعه کردند. Nazni و همکاران (۲۰۱۲) بر روی استخراج و ارزیابی خواص ارگانولپتیک موسیلاژ از بامیه و چند گیاه دیگر مطالعاتی انجام داده و از اتانول و استون برای خالص‌سازی موسیلاژ بهره بردند. در مطالعه‌ای دیگر روی خصوصیات پایه‌ای از جمله شاخص تورم، پایداری امولسیونی، ویسکوزیته و فعالیت آنتی‌اکسیدانی موسیلاژ گیاه بامیه بررسی‌هایی انجام شد (Fekadu Gememde et al., 2018).

در مطالعه‌ای در زمینه کاربرد موسیلاژ گیاه بامیه در داروسازی، Ameena و همکاران (۲۰۱۰) پس از استخراج موسیلاژ از بامیه و اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکوشیمیایی موسیلاژ، آن را در فرمولاسیون قرص به‌کار بردند و پارامترهایی نظیر قطر، ضخامت، تغییر وزن، سختی

استونیتریل و ۲۰۰ میکرولیتر بیس (تری متیل سیلیل) تری فلورو استامید^۱ مخلوط شد. سپس مخلوط در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت در یک آمپول شیشه‌ای حرارت داده شد. یک میکرولیتر از نمونه توسط نمونه بردار خودکار به دستگاه GC تزریق شد. آون با دمای اولیه ۵۰°C (زمان انتظار ۲ دقیقه) و دمای نهایی ۲۸۰°C و با نرخ افزایش ۱۰ oC/min برنامه‌ریزی شد و به مدت ۵ دقیقه در دمای نهایی نگه داشته شد و گاز هلیوم با نرخ ۱ ml/min به‌عنوان گاز حامل با جریان ثابت استفاده شد. درجه حرارت ورودی و رابط در دمای ۲۸۰°C نگه داشته شد.

تعیین بازده وزنی موسیلاژ استخراجی

برای دستیابی به بازده وزنی موسیلاژ (پلی‌ساکارید) برحسب گرم موسیلاژ استخراجی به گرم ماده خشک اولیه از رابطه زیر استفاده شد:

$$\text{بازده} = \frac{\text{گرم موسیلاژ استخراجی}}{\text{گرم ماده خشک اولیه}} \times 100 \quad (۱)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به‌منظور حداقل رساندن تعداد آزمایش‌ها در روش استخراج با حلال و استخراج با سیال فوق بحرانی از طرح آماری به روش سطح پاسخ و طراحی مرکب مرکزی^۲ (CCD) استفاده شد. جدول آماری آنالیز متغیرها بر روی داده‌های تجربی با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 7.0 انجام شد. طبق جدول ۱ سه عامل مقدار حلال به ماده جامد (میلی‌لیتر به گرم) و دما (درجه سانتی‌گراد) و زمان (ساعت) به‌عنوان سه متغیر مستقل و موثر بر عملکرد استخراج با حلال انتخاب شدند.

در روش استخراج با سیال فوق بحرانی دی اکسید کربن نیز طرح مرکب مرکزی با سه متغیر و شش تکرار در نقطه مرکزی طرح، جهت یافتن اثر متغیرهای شامل دما، فشار و زمان بر پاسخ بازده استخراجی مورد استفاده قرار گرفت که در جدول ۲ آمده است.

موسیلاژ در مجاورت حلال آلی رسوب کرده و به‌صورت لخته در می‌آید. پس از آن دوباره محلول صاف شده داخل پتری دیش ریخته می‌شود و روی بن ماری ۴۵ درجه سانتی‌گراد ساخت ایران قرار داده تا حلال باقیمانده داخل آن تبخیر شود. سپس ماده باقی مانده داخل پتری دیش را داخل آون فن‌دار ساخت شرکت ریحان طب ایران با ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک کرده و پودر می‌شود و تا زمان آنالیز در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و در فلاسک نگهداری می‌شود.

استخراج با سیال فوق بحرانی

تکنیک‌های نوین در جداسازی خاص برای این استخراج موجود هستند (مسکوک و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به زمان طولانی و حجم بالای حلال مصرفی در روش استخراج با حلال، روش‌های مدرن استخراج از جمله استخراج با سیال فوق بحرانی مورد توجه قرار گرفت (فرزانه مقدم و همکاران، ۱۳۹۸). استخراج موسیلاژ از گیاه بامیه توسط دستگاه استخراج با سیال فوق بحرانی که در آزمایشگاه دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد طراحی و ساخته شده، صورت گرفته است. حلال استخراج کربن دی اکسید بود که در درون سیلندر ۴۵ کیلوگرمی (خوراکیان، ایران) قرار داشت. در هر مرحله از آزمایش حدود پنج گرم از پودر غلاف گیاه بامیه با مش ۳۰ توسط ترازوی آزمایشگاهی دقیق (با دقت ۰/۰۰۰۱، کرنل، آلمان) توزین و داخل کاغذ صافی پیچیده و درون مخزنی که جهت استخراج تعبیه گردیده، قرار داده شد. جهت افزایش قطبیت دی اکسید کربن فوق بحرانی حدود ۵ میلی لیتر حلال اتانول ۸۰٪ به‌عنوان اصلاح‌گر به درون مخزن استخراج تزریق گردید تا دی اکسید کربن بتواند ترکیبات موسیلاژی را بهتر در خود حل کند.

تعیین مونوساکاریدهای سازنده توسط کروماتوگرافی گازی،

طیف‌سنج جرمی (GC-MS)

ابتدا مشتق تری متیل سیلیل از موسیلاژ تهیه شد. بدین منظور دو میلی گرم از نمونه موسیلاژ خالص و خشک شده با ۲۰۰ میکرولیتر

جدول ۱- متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آنها در روش استفاده از حلال

متغیر مستقل	نماد ریاضی	سطوح متغیر
		$-\alpha$ -۱ ۰ $+۱$ α
دما (oC)	A	۳۰ ۴۰ ۵۰ ۶۰ ۷۰
زمان (h)	B	۱ ۲ ۳ ۴ ۵
نسبت حلال به ماده جامد (ml/g)	C	۱۰ ۲۰ ۳۰ ۴۰ ۵۰

جدول ۲- متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آنها در روش فوق بحرانی

متغیر مستقل	نماد ریاضی	سطوح متغیر
		α $+1$ 0 -1 $-\alpha$
دما (oC)	A	۷۰ ۶۰ ۵۰ ۴۰ ۳۰
فشار (bar)	B	۳۰۰ ۲۵۰ ۲۰۰ ۱۵۰ ۱۰۰
زمان (min)	C	۱۵۰ ۱۲۰ ۹۰ ۶۰ ۳۰

نتایج و بحث

بهینه‌سازی استخراج موسیلاژ از گیاه بامیه به روش استخراج با حلال با استفاده از روش سطح پاسخ

در مطالعات بهینه‌سازی کلاسیک تنها به بررسی یک فاکتور می‌پرداختند و سایر فاکتورها ثابت نگهداشته می‌شد. از معایب این بهینه‌سازی می‌توان به زمان بر بودن آنالیز، تعداد زیاد مراحل آزمایش و هزینه بالا اشاره کرد. علاوه بر این برهمکنش پارامترها بر یکدیگر نیز نادیده گرفته می‌شد. بهینه‌سازی با

استفاده از روش پاسخ سطح می‌تواند بر این مشکلات غلبه کند (Haaland, 1989). در تحقیق حاضر از این روش برای بهینه‌سازی استخراج ترکیبات استفاده شده است. در این مطالعه با توجه پارامتر و سطوح مشخص شده، تعداد ۲۰ آزمایش توسط نرم‌افزار طرح آزمایش (Desig Expert) نسخه ۷ نتیجه شد. جدول ۳ شرایط عملیاتی در هر آزمایش را نشان می‌دهد. علاوه بر این پاسخ‌های متناظر با هر آزمایش نیز در این جدول آمده است.

جدول ۳- بهینه‌سازی استخراج موسیلاژ از گیاه بامیه با روش حلال

آزمایش	دما (°C)	زمان (h)	نسبت حلال به ماده جامد (ml/g)	متغیرهای وابسته (پاسخ)
۱	۵۰	۳	۳۰	بازده (%) ۴/۸۱
۲	۴۰	۴	۲۰	۴/۱۸
۳	۶۰	۲	۲۰	۴/۵۷
۴	۴۰	۴	۴۰	۴/۷۳
۵	۴۰	۲	۲۰	۳/۸۲
۶	۵۰	۳	۱۰	۳/۹۴
۷	۴۰	۲	۴۰	۴/۲۲
۸	۵۰	۱	۳۰	۴/۵۲
۹	۶۰	۲	۴۰	۵/۱۲
۱۰	۶۰	۴	۲۰	۴/۹۶
۱۱	۵۰	۳	۳۰	۴/۹۴
۱۲	۵۰	۳	۳۰	۴/۷۲
۱۳	۵۰	۳	۳۰	۴/۸۲
۱۴	۵۰	۵	۳۰	۵/۰۵
۱۵	۵۰	۳	۳۰	۴/۸۵
۱۶	۵۰	۳	۵۰	۵/۱۳
۱۷	۳۰	۳	۳۰	۳/۷۸
۱۸	۵۰	۳	۳۰	۴/۷۵
۱۹	۶۰	۴	۴۰	۵/۴
۲۰	۷۰	۳	۳۰	۵/۲

گزینش مدل مناسب در روش استخراج با حلال

برای این که مدل توانایی خوبی برای برازش اطلاعات داشته باشد لازم است که R^2 adjusted و R^2 predicted دارای بالاترین مقدار باشند. ضریب تبیین R^2 به عنوان نسبت تغییرات توصیف شده توسط مدل به تغییرات کل بیان می شود که معیاری از درجه تناسب برازش هست. بنابراین هرچه مقدار R^2 به یک نزدیک تر شود، قدرت مدل

برازش یافته در توصیف تغییرات پاسخ به عنوان تابعی از متغیرهای مستقل بیشتر هست. برای پاسخ بازده استخراج موسیلاژ از مدل درجه دو با کمترین مقدار احتمال p ، بهترین مدل برای بررسی اثر متغیرهای مستقل بر استخراج موسیلاژ از گیاه بامیه به روش حلال انتخاب گردید. در جدول ۴ آنالیز جدول واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ اصلاح شده آمده است.

جدول ۴- نتایج جدول واریانس مدل سطح پاسخ اصلاح شده درجه دوم برای بازده استخراج با حلال

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	احتمال p
مدل	۶	۴/۰۶	۰/۶۸	۱۱۱/۳۵	<۰/۰۰۰۱
A (دما)	۱	۲/۲۱	۲/۲۱	۳۶۲/۹۵	<۰/۰۰۰۱
B (زمان)	۱	۰/۴۲	۰/۴۲	۶۹/۵۴	<۰/۰۰۰۱
C (نسبت حلال به ماده جامد)	۱	۱/۱۷	۱/۱۷	۱۹۱/۹۷	<۰/۰۰۰۱
A ²	۱	۰/۱۸	۰/۱۸	۲۹/۲۶	۰/۰۰۰۱
B ²	۱	۲/۶۸۹E-۰۰۳	۲/۶۸۹E-۰۰۳	۰/۴۴	۰/۵۱۷۵
C ²	۱	۰/۱۳	۰/۱۳	۲۱/۹۶	۰/۰۰۰۴
باقی مانده	۱۳	۰/۰۷۹	۶/۰۷۶E-۰۰۳		
فقدان برازش	۸	۰/۰۴۹	۶/۱۰۵E-۰۰۳	۱/۰۱	۰/۵۱۹۴
خطای خالص	۵	۰/۰۳۰	۶/۰۳۰E-۰۰۳		
کل	۱۹	۴/۱۴			

آنالیز پاسخ سطح در روش استخراج با حلال

برای شهودی کردن رابطه متغیرهای مستقل و پاسخ همچنین اثر متقابل هر متغیر مستقلی بر سیستم، نمودارهای سه بعدی سطح پاسخ با دو متغیر مستقل در مقابل پاسخ رسم شده اند، در حالی که متغیر سوم ثابت در نظر گرفته شده است. مقادیر بهینه متغیرهای مستقل را می توان با استفاده از همین نمودارها استنباط کرد. تغییرات بازده استخراج موسیلاژ از گیاه بامیه براساس تغییرات دما و زمان، در نسبت حلال به ماده جامد ثابت ۳۰ در شکل (۲-الف) نشان داده شد. در نمودار سطح پاسخ بازده استخراج موسیلاژ مشاهده می شود که بازده استخراج با افزایش زمان از ۱ تا ۵ ساعت، افزایش می یابد. همچنین با افزایش دما از ۳۰ تا ۷۰ درجه سانتی گراد، افزایش محسوس تری در بازده استخراج مشاهده می شود. در سطح پایین زمان تغییرات بازده با تغییر دما از ۳۰ تا ۷۰ درجه سانتی گراد افزایش می یابد که به دلیل بالا رفتن توانایی حلال در دماهای بالا و نفوذ حلال به داخل ماتریکس جامد می باشد. با بالا رفتن دما انتقال جرم آب به پلی ساکاریدهای محلول از دیواره سلولی پودر گیاه سریع تر و آسان تر صورت می گیرد. در سطح بالای زمان، تغییرات دما تاثیر بیشتری بر بازده استخراج دارد. تحقیقات انجام شده توسط Oosterveld و همکاران (۱۹۹۶) و Zykowska و همکاران (۲۰۰۶) نیز افزایش عملکرد استخراج را با

مدل های ریاضی برای پاسخ با استفاده از روش رگرسیون چندگانه مورد ارزیابی قرار گرفت. تابع واکنش یک معادله چندجمله ای می باشد که با معادله زیر داده می شود.

$$y = b_0 + \sum b_{1i}x_i + \sum b_{2ii}x_i^2 + \sum b_{ij}x_i x_j \quad (2)$$

که b_0 و b_i و b_{ii} و b_{ij} ضرایب رگرسیونی برای به ترتیب عرض از مبدأ، خطی، درجه دوم و برهمکنش و x_i و x_j متغیرهای مستقل کدبندی شده هستند.

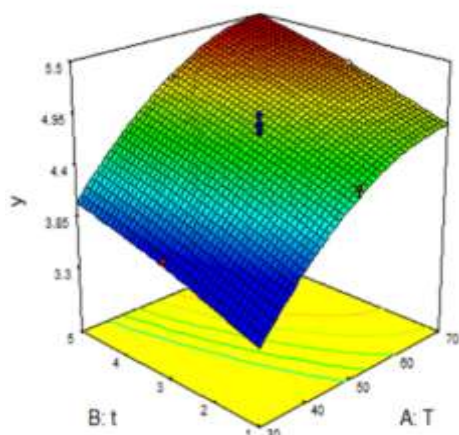
معادله های مدل برازش داده شده بر پاسخ ها به صورت زیر می باشد:

$$y = 4.81 + 0.37 \times A + 0.16 \times B + 0.27 \times C - 0.084 \times A^2 - 0.010 \times B^2 - 0.073 \times C^2 \quad (3)$$

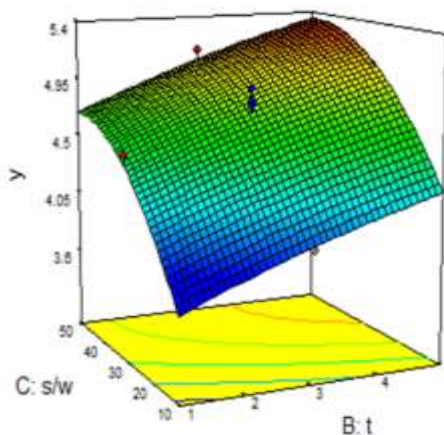
با توجه به نتایج حاصله در مورد بازده استخراج موسیلاژ از گیاه بامیه به روش حلال، اثر درجه اول دما، زمان و نسبت حلال به ماده جامد و اثرات درجه دوم دما و نسبت حلال به ماده جامد معنی دار شدند. همچنین نتایج نشان داد که دما و بعد از آن نسبت حلال به ماده جامد بیشترین تاثیر را در بازده استخراج موسیلاژ دارد.

جامد نسبت مستقیم دارد. از این رو مقدار آب غیرکافی و یا مقدار ماده خام بالا ممکن است بازده استخراج را کاهش دهد. تغییرات بازده استخراج موسیلاژ از گیاه بامیه براساس تغییرات دما و نسبت حلال به ماده جامد در زمان ثابت (۳ ساعت) در شکل (۲-ج) نشان داده شد. در دماهای بالاتر، محلول آبیکی غیرچسبناکتری حاصل می شود در نتیجه موسیلاژ می تواند به راحتی در آب آزاد شود و بازده را افزایش می دهد. در سطوح پایین دمای با افزایش نسبت حلال به ماده جامد، بازده موسیلاژ با شیب کمی افزایش می یابد اما در سطوح بالای دمای با افزایش نسبت حلال به ماده جامد، افزایش بازده استخراج موسیلاژ بسیار قابل توجه خواهد بود. Bendahou و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که بازده استخراج پلی ساکاریدها به طور مشخصی با افزایش نسبت حلال به ماده خام اولیه، افزایش می یابد که می تواند به علت افزایش نیرو محرکه برای انتقال جرم پلی ساکاریدها باشد.

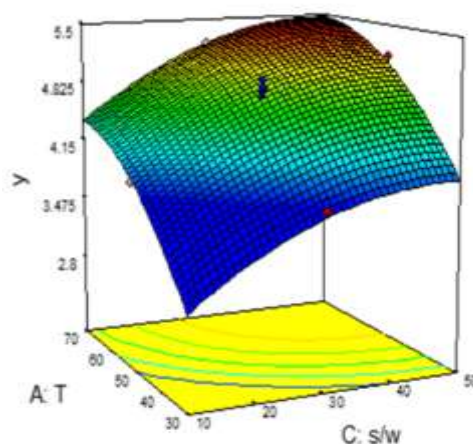
افزایش دما در دوره های زمانی ثابت را نتیجه می دهد. Liu و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند که در زمان طولانی تر پلی ساکارید بیشتری از گیاه استخراج می شود. تغییرات بازده استخراج موسیلاژ از گیاه بامیه براساس تغییرات نسبت حلال به ماده جامد اولیه و زمان، در دمای ثابت (۵۰°C) در شکل (۲-ب) نشان داده شد. بازده استخراج با افزایش نسبت آب به ماده خام از ۱۰ تا ۵۰، به سرعت افزایش می یابد. با افزایش زمان از ۱ تا ۵ ساعت بازده استخراج با شیب ملایم تری افزایش می یابد. در سطح پایین نسبت حلال به ماده جامد، بازده استخراج با افزایش زمان افزایش می یابد اما این افزایش بازده در سطح بالای نسبت حلال به ماده جامد محسوس تر است. این افزایش بازده به دلیل در دسترس بودن مقدار بالای مایع که منجر به افزایش نیرو محرکه برای خارج کردن موسیلاژ گیاهی از ماده خام می شود. Koocheki و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که افزایش بازده با افزایش نسبت آب به ماده



ب



الف



ج

شکل ۲- نمودارهای سطح پاسخ پارامترهای استخراج در روش حلال، بر پاسخ بازده

تعیین شرایط بهینه استخراج موسیلاژ از گیاه بامیه در روش

حلالی

به منظور بهینه سازی بازده استخراج موسیلاژ بامیه از تکنیک بهینه سازی عددی استفاده شد. شاخص ها و اهداف بهینه سازی برای هریک از متغیرها و پاسخ فرایند در (جدول ۵) آورده شده است. شرایط بهینه با توجه به شاخص های مورد نظر دما ۶۰ درجه سانتی گراد، زمان

۳/۴۴ ساعت و نسبت حلال به ماده جامد ۴۸ به دست آمد. با توجه به اینکه مقادیر پیش بینی شده توسط مدل و مقادیر واقعی به دست آمده فاقد اختلاف معنی دار بودند می توان نتیجه گرفت که مدل به دست آمده قابل قبول و مناسب می باشند. مقادیر واقعی گزارش شده در جدول ۶ میانگین دو تکرار می باشند.

جدول ۵- شاخص ها و اهداف بهینه سازی استخراج موسیلاژ بامیه به روش حلال

متغیرها-پاسخ	هدف	حد پایین	حد بالا	درجه اهمیت
دما	داخل محدوده	۳۰	۷۰	۳
زمان	داخل محدوده	۱	۵	۳
نسبت حلال به ماده جامد	داخل محدوده	۱۰	۵۰	۳
بازده استخراج موسیلاژ	بیشترین	۳/۷۸	۵/۴۲	۳

جدول ۶- مقادیر واقعی و پیش بینی شده بازده استخراج در شرایط بهینه

پاسخ	مقدار پیش بینی شده	مقدار واقعی
بازده موسیلاژ استخراجی (% وزنی)	۵/۴۲	۵/۱۲

جدول ۷- بهینه سازی استخراج موسیلاژ از گیاه بامیه با روش سیال فوق بحرانی

آزمایش	دما (°C)	فشار (bar)	زمان (min)	بازده (%)	متغیرهای وابسته (پاسخ)
۱	۶۰	۲۵۰	۱۲۰	۱/۴۹	
۲	۵۰	۲۰۰	۹۰	۱/۲۴	
۳	۶۰	۱۵۰	۱۲۰	۱/۲۱	
۴	۳۰	۲۰۰	۹۰	۰/۸۵	
۵	۶۰	۱۵۰	۶۰	۰/۸۴	
۶	۵۰	۲۰۰	۹۰	۱/۲۷	
۷	۵۰	۲۰۰	۳۰	۰/۸۳	
۸	۷۰	۲۰۰	۹۰	۰/۸۷	
۹	۵۰	۳۰۰	۹۰	۱/۸۳	
۱۰	۵۰	۱۰۰	۹۰	۱/۰۹	
۱۱	۵۰	۲۰۰	۹۰	۱/۲۴	
۱۲	۵۰	۲۰۰	۱۵۰	۱/۶۹	
۱۳	۴۰	۲۵۰	۶۰	۰/۸۸	
۱۴	۴۰	۲۵۰	۱۲۰	۱/۴۸	
۱۵	۴۰	۱۵۰	۶۰	۰/۸۲	
۱۶	۵۰	۲۰۰	۹۰	۱/۲۳	
۱۷	۶۰	۲۵۰	۶۰	۱/۱	
۱۸	۴۰	۱۵۰	۱۲۰	۱/۴۵	
۱۹	۵۰	۲۰۰	۹۰	۱/۲۵	
۲۰	۵۰	۲۰۰	۹۰	۱/۲۸	

بهینه‌سازی استخراج موسیلاژ (پلی ساکارید) از غلاف گیاه بامیه به روش سیال فوق بحرانی با استفاده از روش سطح پاسخ در این روش با داشتن پارامترها و محدوده‌های ذکر شده در جدول ۲، تعداد ۲۰ آزمایش توسط نرم افزار طراحی شد. فهرست آزمایش‌های طراحی شده با روش سیال فوق بحرانی و نقاط تعیین شده در هر آزمایش در جدول ۷ نشان داده شده است. ستون آخر جدول، پاسخ محاسبه شده هر آزمایش را پس از انجام نشان می‌دهد.

گزینش مدل مناسب در استخراج فوق بحرانی

در این تحقیق طبق مقادیر R^2 predicted و R^2 adjusted بهترین مدل برازش یافته در روش استخراج فوق بحرانی، برای پاسخ بازده مدل درجه دوم می‌باشد که نتایج آنالیز آماری و جدول آنالیز واریانس مدل اصلاح شده آن در ادامه آورده شده است.

جدول ۸- نتایج جدول آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ اصلاح شده درجه دوم برای بازده استخراج سیال فوق بحرانی

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	احتمال p
مدل	۶	۱/۲۶	۰/۲۱	۳۴۹/۱۷	<۰/۰۰۰۱
A (دما)	۱	۱/۵۶۳E-۰۰۴	۱/۵۶۳E-۰۰۴	۰/۲۶	۰/۶۱۹۰
B (فشار)	۱	۰/۰۹۲	۰/۰۹۲	۱۵۱/۹۷	<۰/۰۰۰۱
C (زمان)	۱	۰/۸۶	۰/۸۶	۱۴۲۸/۷۱	<۰/۰۰۰۱
AB	۱	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۴۲/۰۴	<۰/۰۰۰۱
AC	۱	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۴۵/۸۶	<۰/۰۰۰۱
A ²	۱	۰/۲۶	۰/۲۶	۴۲۶/۲۰	<۰/۰۰۰۱
باقی مانده	۱۳	۷/۸۲۸E-۰۰۳	۶/۰۲۱E-۰۰۴		
فقدان برازش	۸	۵/۹۴۴E-۰۰۳	۷/۴۳۰E-۰۰۴	۱/۹۷	۰/۲۳۵۶
خطای خالص	۵	۱/۸۸۳E-۰۰۳	۳/۷۶۷E-۰۰۴		
کل	۱۹	۱/۲۷			

معادله مدل برازش داده شده بر پاسخ با حذف پسخور به صورت زیر می‌باشد:

$$y = 1.25 + 0.076 \times B + 0.023 \times C - 0.065 \times (A \times B) - 0.059 \times (A \times C) + 0.097 \times A^2 \quad (4)$$

با توجه به نتایج حاصله در مورد بازده اثر درجه اول فشار و زمان، اثر درجه دوم دما و همچنین عبارات تاثیر متقابل دما- فشار و دما- زمان معنی‌دار بودند.

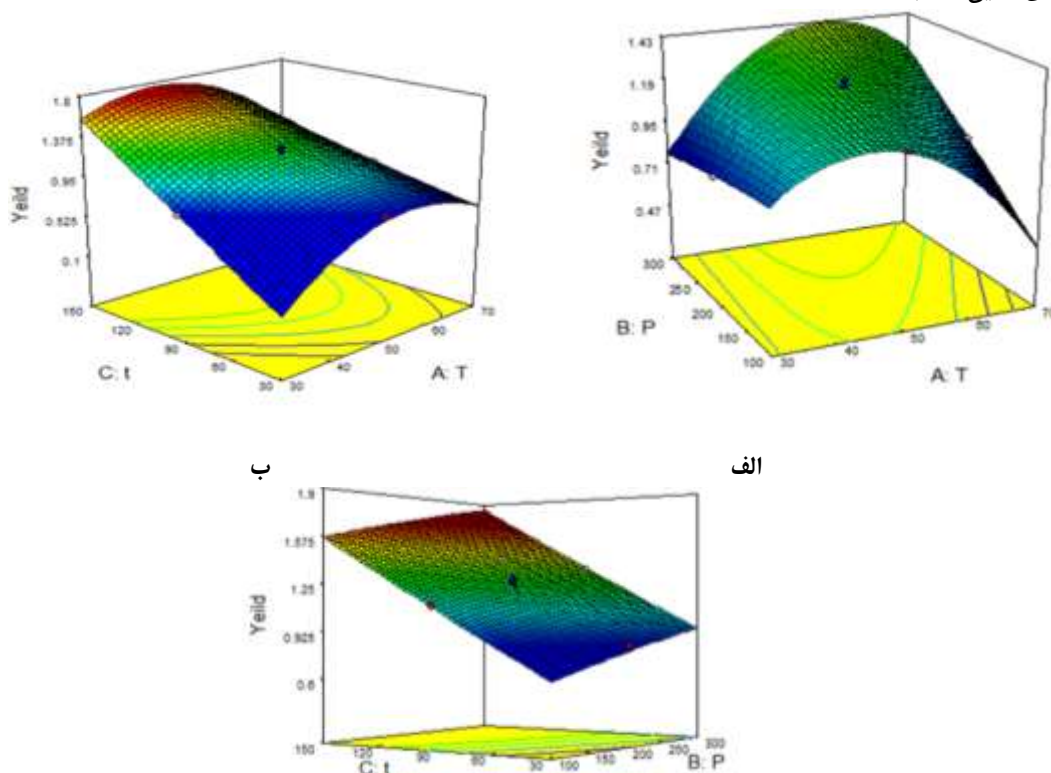
آنالیز پاسخ سطح در روش استخراج با سیال فوق بحرانی

تغییرات بازده استخراج موسیلاژ به روش سیال فوق بحرانی بر اساس تغییرات دما و فشار، در زمان ثابت (۹۰ دقیقه) در شکل (۳- الف) نشان داده شده است. در سطح پایین دمایی در اثر افزایش فشار، تغییری در بازده به چشم نمی‌خورد. اما با افزایش دما از ۴۵ درجه سانتی‌گراد به بعد، اثر افزایشی فشار بر بازده استخراج موسیلاژ نمایان است. که با توجه به معنی‌دار نشدن متغیر دما بر اساس جدول آنالیز واریانس اثرات مشاهده شده مربوط به فشار و اثر متقابل بین دما و فشار است. Xynos و همکاران (۲۰۱۷) نیز با افزایش فشار افزایش بازده را مشاهده کردند.

تغییرات بازده استخراج موسیلاژ به روش سیال فوق بحرانی بر اساس تغییرات دما و زمان، در فشار ثابت (۲۰۰ بار) در شکل (۳- ب) نشان داده شده است. با توجه به شکل در تمامی سطوح ثابت دمایی نمودار سطح پاسخ بازده استخراج موسیلاژ نسبت به افزایش زمان استخراج بازده روند افزایشی دارد. مطابق شکل افزایش دما اثر افزایشی و سپس کاهش خود را (هر چند اندک) در هر سطح ثابت زمان بر بازده استخراج مشابه نتایج سایر تحقیقات نشان می‌دهد. در تمامی سطوح ثابت زمانی با افزایش فشار، اثر افزایشی در بازده استخراج مشاهده می‌شود. در واقع به دلیل کاهش ناچیز دانسیته در فشارهای بالا اثر افزایش فشار بخار جز حل‌شونده بر آن غالب شده و موجب افزایش حلالیت و در نتیجه افزایش بازده می‌شود.

مطابق شکل (۳- ج) با افزایش زمان از ۳۰ تا ۱۵۰ دقیقه بازده استخراج با شیب تندی افزایش یافته است که حاکی از این است که با زمان دادن کافی به نمونه و اصلاحگر حلالیت ترکیبات قطبی افزایش یافته و بازده به مقدار قابل توجهی زیاد می‌شود. همچنین هیچ‌گونه پیچ خوردگی در نمودار سطح پاسخ دیده نمی‌شود که دلالت بر مهم نبودن اثر متقابل بین دما و فشار بر بازده استخراج موسیلاژ به این روش است.

که در جدول آنالیز واریانس نیز مقدار احتمال p بزرگتر از ۰/۰۵ برای این متغیر گویای همین مطلب است.



شکل ۳- نمودارهای سطح پاسخ پارامترهای استخراج در روش فوق بحرانی بر پاسخ

فاقد اختلاف معنی دار بودند میتوان نتیجه گرفت که مدل به دست آمده قابل قبول و مناسب می باشد. مقادیر واقعی گزارش شده در جدول ۱۰ میانگین دو تکرار می باشند.

بررسی فیزیکوشیمیایی موسیلاژ حاصل از هر دو روش استخراج با حلال و استخراج با سیال فوق بحرانی
 نتایج بررسی های فیزیکوشیمیایی موسیلاژ حاصل از روش استخراج با حلال و استخراج با سیال فوق بحرانی در جدول ۱۱ آمده است.

تعیین شرایط بهینه استخراج موسیلاژ از گیاه بامیه در روش فوق بحرانی

به منظور بهینه سازی بازده استخراج موسیلاژ بامیه از تکنیک بهینه سازی عددی استفاده شد. شاخص ها و اهداف بهینه سازی برای هر یک از متغیرها و پاسخ فرایند در جدول ۹ آورده شده است. شرایط بهینه با توجه به شاخص های مورد نظر دما ۴۸ درجه سانتی گراد، فشار ۲۵۵ بار و زمان ۱۳۵ دقیقه به دست آمد. همچنین مقدار پیش بینی شده شرایط بهینه توسط نرم افزار ۱/۶۹ می باشد. با توجه به اینکه مقادیر پیش بینی شده توسط مدل و مقادیر واقعی به دست آمده

جدول ۹- شاخص ها و اهداف بهینه سازی استخراج موسیلاژ بامیه به روش فوق بحرانی

متغیرها- پاسخ	هدف	حد پایین	حد بالا	درجه اهمیت
دما	داخل محدوده	۳۰	۷۰	۳
فشار	داخل محدوده	۱۰۰	۳۰۰	۳
زمان	داخل محدوده	۳۰	۱۵۰	۳
بازده استخراج موسیلاژ	بیشترین	۰/۸۲	۱/۶۹	۳

جدول ۱۰- مقادیر واقعی و پیش بینی شده بازده استخراج در شرایط بهینه

پاسخ	مقدار پیش بینی شده	مقدار واقعی
بازده موسیلاژ استخراجی (% وزنی)	۱/۶۹	۱/۵۸

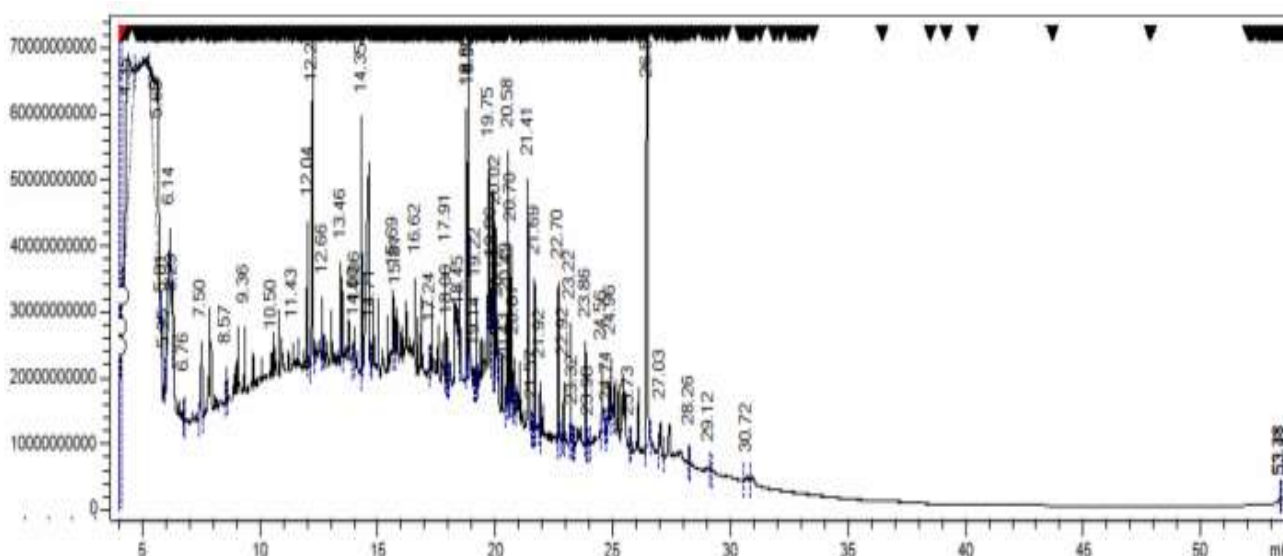
جدول ۱۱- نتایج بررسی های فیزیکی و شیمیایی پودر موسیلاژ بامیه

موضوع	نتایج حاصل از موسیلاژ با حلال	نتایج حاصل از موسیلاژ با فوق بحرانی
حلالیت	قابل حل در آب	قابل حل در آب
شاخص تورم	۲۸	۱۸
رطوبت	۱۰/۵۰	۹/۸۸
خاکستر کل	۳	۲/۳
خاکستر نامحلول در اسید	۰/۷	۰/۶
pH	۵/۱	۵/۶

آنالیز کروماتوگرافی گازی- طیف سنج جرمی

نتایج آنالیز کروماتوگرافی گازی- طیف سنجی جرمی برای مشتقات تری متیل سیلیل قندهای تشکیل دهنده موسیلاژ (پلی ساکارید) استخراجی از روش فوق بحرانی در کروماتوگرام شکل ۴ آمده است. طیف حاصل از GC-MS نشان می دهد که مونوساکاریدهای اصلی حاضر در موسیلاژ استخراجی از بامیه به روش فوق بحرانی بر اساس زمان ماند پیک ترکیبات جدا شده و مقایسه با استانداردهای مرجع از مشتقات قندی TMSI شامل آرابینوز (۱۶/۶۲ دقیقه)، رامنوز (۱۸/۴۵ دقیقه)، گالاکتوز (۱۹/۲۲ دقیقه)، گالاکتورونیک اسید (۲۰/۱۷ دقیقه) و گلوکز (۱۹/۷۵ دقیقه) می باشد. موسیلاژ حاصل از روش فوق بحرانی با

توجه به آنالیز از نظر وجود پلی ساکارید خالص تر بوده است زیرا ترکیبات ناشناخته کمتری مشاهده گردید. این بررسی نشان می دهد که عصاره استخراجی از روش فوق بحرانی پلی ساکارید مورد نظر در گیاه بامیه می باشد. جدول ۱۲ زمان بازداری مشتقات قندی را نشان می دهد. مطابق شکل ۴ مشتقات قندی در زمان های بازداری و نتایج حاصل از طیف سنجی جرمی در محدوده زمانی مورد نظر دیده شده است. به عنوان نمونه آرابینوز در زمان ۱۶/۶۲ دقیقه در طیف مشاهده شده و در مشتقات حاصل از TMSI نیز بیشترین پیک را داشته است که نشان از وجود ترکیب آرابینوز در موسیلاژ استخراج شده است.



شکل ۴- کروماتوگرام و زمان های بازداری مشتقات قندی مربوط به آنالیز GC-MS موسیلاژ حاصل از روش فوق بحرانی

جدول ۱۲- مونوساکاریدهای تشکیل دهنده موسیلاژ حاصل از استخراج فوق بحرانی		
واحد قندی	زمان بازداری (دقیقه)	زمان بازداری قند های استاندارد (دقیقه)
آرابینوز	۱۶/۶۲	۱۶/۴۹
رامنوز	۱۸/۴۵	۱۸/۴۵
فروکتوز	۱۸/۹	۱۸/۹۰
گالاکتوز	۱۹/۲۲	۱۹/۳۲
گلوکز	۱۹/۷۵	۱۹/۶۲
گالاکتورونیک اسید	۲۰/۱۷	۲۰/۲۱

نتیجه گیری

به طور کلی با توجه به نتایج حاصل از هر دو روش استخراج، بازده استخراجی موسیلاژ در نقطه بهینه در روش استخراج با حلال برابر ۵/۱۲ درصد و در روش فوق بحرانی برابر ۱۵/۵۸ درصد به دست آمد. با مقایسه مقادیر حاصله در نقطه بهینه هر دو روش، روش حلال از بازده کل بیشتری برخوردار بوده و موفق تر عمل کرده است. اما در روش سیال فوق بحرانی نسبت به روش خیساندن استفاده از حلال به مقدار قابل توجهی کاهش

یافته است. همچنین زمان استخراج در روش سیال فوق بحرانی حدود ۵۰ درصد کاهش یافته است. به دلیل استفاده کمتر از حلال های آلی در روش فوق بحرانی سازگاری این روش با محیط زیست بیشتر بوده که این نکته در تبدیل روش آزمایشگاهی به مقیاس پایلوت و یا صنعتی قابل توجه است. بررسی فیزیکی شیمیایی موسیلاژ حاصل از دو روش نشان می دهد که شاخص تورم، رطوبت و خاکستر موسیلاژ حاصل از روش خیساندن بیشتر از موسیلاژ حاصل از روش فوق بحرانی می باشد.

منابع

- پیوست، غ، ۱۳۸۸، سبزیکاری، چاپ پنجم، انتشارات دانش پذیر، تهران، صفحه ۲۷۷.
- فرزانه مقدم، ف.، سرگلزایی، ج.، بلوریان، ش.، ۱۳۹۸، استخراج ترکیبات فنولی میوه عناب با سیال فوق بحرانی کربن دیاکسید و بهینه سازی و اندازه گیری قدرت آنتی اکسیدانی آن، نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران، جلد ۱۵، شماره ۵، صفحات ۵۴۲-۵۲۹.
- مسکوکى، طباطبائی، ف، کریمی، م، محبی، م، و بلندی، ۱۳۸۹، صنایع غذایی نوین، انتشارات سخن گستر مشهد.
- مظفریان، م.، ۱۳۹۱، شناخت گیاهان دارویی و معطر ایران، انتشارات فرهنگ معاصر تهران.
- Irvine, F. R., 1971, West African Botany Agricultural origins, Oxford Univ Press, p. 203.
- Tripathi., K. K., Warriar, R., Govila, O. P., and Ahuja, V, 2011, Biology of *Abelmoschus esculentus* L (Okra), Dept. Biotechnol Minist. Sci. Technol. Gov. India, pp 1-21.
- Lamont, W, 1999, Okra a versatile vegetable crop., Hort. Technol., pp. 179-184.
- Bakre, L. G. and Jaiyeoba, K. T, 2009, Evaluation of a new tablet disintegrant from dried pods of *Abelmoschus esculentus* L (Okra), *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, pp 83-91.
- Zhang, T. Xiang, J. Zheng, G. Yana, R. Mina, X, 2018, Preliminary characterization and anti-hyperglycemic activity of a pectic, *Functional Foods*, Vol. 41, pp. 19-24.
- Ivanice, F, Ana, M.P, Uenderson, A, Barbosa, J. S, Lima, D.C, Geraldo, D.M, 2013, Multivariate analysis of the mineral content of raw and cooked, *Microchemical Journal*, Vol. 110, pp. 439-443.
- Jani, G.K., Shah, D., Prajapati, V.D., Jain, V.C., 2009, Gum and mucilage, *Asian Journal of Pharmaceutical sciences*, pp. 439-443.
- Kalia, H. R. and Padma, 1962, Inheritance of some fruit characters in okra, *Indian Journal of Genet. and Plant Breed*, pp. 57-68.
- Ghori, M.U., Alba, K., Smith, A.M., Conway, M.R., Kontogiorgos, V., 2013, okra extract of farmaceutical and food application, *Food Hydrocolloids*, Vol. 42, pp. 342-347.
- Farooq, U., Malviya, R., Sharma, P.K., 2013, Extraction and Characterization of Okra Muclage as Pharmaceutical Excipient, *Academic Journal of Plant Sciences*, Vol 6 (4), pp. 168-172.
- Noorlaila, A., Siti Aziah, A., Asmeda, R., Norizzah, A.R, 2015, Emulsifying properties of extracted Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) mucilage of different maturity index and its application in coconut milk emulsion, *International Food Research Journal*, Vol. 22(2), pp. 782-787.
- Nazni, P., Vigneshwar, P., 2014, Study on extration and orgaoleptic evaluation of Okra and hybiscu mucilage incorporated products, Department of Food Science and Nutrition, Vol. 3 (1), pp. 2320-7876.
- Fekadu Gememde, H., Haki, G., Beyene, F., Rakshit, S., 2018, Wold novel ingredient with functional and antioxidant

- properties, *Food science*, Vol. 6, pp. 563-571.
- Ameena, K., Dilip, C., Saraswathi, R., Krishnan, P.N. Sankar, C., Simi, S.P., 2010, Isolation of the mucilages from *Hibiscus rosasinensis* linn. and Okra (*Abelmoschus esculentus* linn.) and studies of the binding effects of the mucilages, *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, pp. 539-543.
- Mishra, A., Clark, J.H., Pal, S., 2008, Modification of Okra mucilage with acrylamide: Synthesis, characterization and swelling behavior, *Carbohydrate Polymers*, pp. 608-615.
- Zaharuddin, N.D., Noordin, M., Kadivar, A., 2014, The Use of Hibiscus esculentus (Okra) Gum in Sustaining the Release of Propranolol Hydrochloride in a Solid Oral Dosage Form, *Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International*, pp.1-8.
- Oosterveld, A., Beldman, G., Schols, H.A., Voragen, A.G.J., 1996, Arabinose and ferulic acid rich pectic polysaccharides extracted from sugar beet pulp, *Carbohydrate Research*, pp. 143-153.
- Zykwinska, A., Rondeau-Mouro, C., Garnier, C., Thibault, J. Ralet, M.C., 2006, Alkaline extractability of pectic arabinan and galactan and their mobility in sugar beet and potato cell walls, *Carbohydrate Polymers*, pp. 510-520.
- Liu, Z. D., Wei, G. H., Guo, Y. C., Kennedy, J.F., 2006, Image study of pectin extraction from orange skin assisted by microwave, *Carbohydrate Polymers*, pp. 548-552.
- Koocheki, A., Kadkhodae, R., Mortazavi, S.A., Shahidi, F., Taherian, A.R., 2009, Influence of Alyssum homolocarpum seed gum on the stability and flow properties of O/W emulsion prepared by high intensity ultrasonic, *Food Hydrocolloids*, Vol. 23, pp. 2416-2424.
- Bendahou, A., Dufresne, A., Kaddami, H., and Habibi, Y., 2007, Isolation and structural characterization of hemicelluloses from palm of Phoenix dactylifera L., *Carbohydrate Polymers*, Vol. 68, pp. 601-608.
- Xynos, N., Termentzi, A., Fokialakis, N., Skaltsounis, L.A., Aligiannis, N., 2017, Supercritical CO2 extraction of mastic gum and chemical characterization of bioactive fractions using LC-HRMS/MS and GC-MS, *The Journal of Supercritical Fluids*.



Evaluation of physicochemical properties of Mucilage and comparison of extraction efficiency of two solvent and supercritical methods

F. Karani, J. Sargolzaei*

Received: 2019.12.30

Accepted: 2020.07.18

Introduction: The Okra belongs to the family Malvaceae with the scientific name *Abelmoschus esculentus* (Peyvast, 2009). The viscous property of okra is due to the thick and viscous matter in the fruit pod, called mucilage. Okra mucilage is a polysaccharide currently used in pharmaceutical industry as a hydrophilic polymer in tablet coatings (Bakre et al, 2009). Mucilage collectively contains polysaccharides, proteins, and minerals found in a plants or seeds that are more widely used in various industries, including food industry, as a stiffener in dairy products. Mucilage composed of monosaccharide polymers, amorphous and semi-transparent, and are hydrocolloids. These materials are hydrophilic molecules that can be extracted with water and form a concentrated or gel solutions. Gels are widely used in the food, pharmaceutical and non-pharmaceutical industries. The cultivation of okra in Iran is mainly occurred in tropical and subtropical regions and is found in Khuzestan, Ilam, Kermanshah, South Fars, Bushehr and Hormozgan provinces (Mozafarian, 2012). Many studies have been done on the extraction of okra mucilage and its applications in the pharmaceutical and food industries. Farooq et al. worked on the organoleptic properties of okra mucilage and concluded that okra mucilage has good flow properties and high solubility in water that can be used safely without any side effects (Farooq et al, 2013). Noorlaila et al studied the emulsifying property of mucilage extracted from okra (Noorlaila et al, 2014). Nazni and Vigneshwar studied the extraction and evaluation of organoleptic properties of mucilage from okra and several other plants and used ethanol and acetone to purify mucilage (Nazni et al, 2012). A study was conducted in 2018 to study the basic properties such as swelling index, emulsion stability, viscosity and antioxidant activity of okra mucilage (Fekadu Gememde et al, 2018). In a study on the use of okra mucilage in pharmacy, Ameena et al after extracting mucilage from okra and measured the physicochemical properties of mucilage, applied it in tablet formulation and many parameters such as diameter, thickness, weight change, hardness and Fragility were assessed. According to observations, low concentrations of okra mucilage can be used as a substitute for starch in tablet formulation, and also high levels of okra mucilage can be used in the drug release system as a natural substance (Ameena et al, 2010). In a study, Mishra et al presented okra mucilage as a new proposal to replace polymer materials used in various industries (Mishra et al, 2008). In 2014, the effect of okra mucilage on the release of propranolol hydrocolloid in tablets was studied. The highest hardness and lowest brittleness were observed for okra tablets (Zaharuddin et al, 2014). In this research, extraction of okra mucilage was investigated by two methods of solvent and supercritical fluid extraction. Optimization the yield and physicochemical properties of the extract obtained from both methods was also investigated.

Materials and methods: Fresh okra obtained from local supermarket in Khuzestan province. Chemicals materials such as pure ethanol, acetone, chloroform, acetonitrile purchased from Merck and Sigma Aldrich. After transferring the okra fruit to the laboratory, the contaminants were removed from the plant and then rinsed thoroughly with water. The okra pods were dried at about 40 °C in a digital fan oven model 6882A. It was powdered by a German-made electric milling machine and then it passed through a 30-mesh sieve to be ready for extraction and it was weighted by laboratory scales (0.0001 precision manufactured by Cornell, Germany). In the solvent extraction process, the okra powder was weighed by a digital balanced (GR-200 model made in Japan) and transferred to 250 ml human. The solids stirred in distilled water and various amounts of solvent for 1 to 5 hours until the mucilage is completely released into the water. The solution was filtered and then adjacent to an organic solvent. Then, the filtrate was poured again into Petri dish and placed on a water bath at 45 °C to evaporate the residual solvent inside it. The residue inside the Petri dish was dried in a fan oven (Reyhan Teb Company) at 40 °C and powdered and kept at 20 °C until the day of analysis. In the supercritical extraction method, the supercritical fluid extraction machine which designed and manufactured in the laboratory of the Faculty of Engineering at Ferdowsi University of Mashhad was used. The carbon dioxide was supplied by Khakakan Co., Quchan Road, Iran in a 45 kg cylinder.

Results & Discussion: Generally, according to the results of both methods of solvent extraction and supercritical fluid extraction (SFE), the extraction efficiency of mucilage at the optimal point in the solvent extraction and in the supercritical methods was 5.12% and 1.58%, respectively. Due to the less use of organic solvents in the supercritical method, this method is more environmentally friendly, which is significant in converting the laboratory method to pilot or industrial scale. Physio-chemical analysis of mucilage obtained by two methods shows that the index of swelling, moisture and ash

(*Corresponding Author Email: sargolzaei@um.ac.ir)

of mucilage obtained by maceration is more than that of supercritical mucilage. By comparing the obtained values at the optimal point of both methods, the solvent method has a higher total efficiency and has been more successful. However, in the supercritical fluid method, the solvent utilization is significantly reduced. The extraction time in the supercritical fluid method is also reduced by about 50%.

Keywords: Okra, Mucilage, Optimization, Solvent, Supercritical, Polysaccharide

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی شرایط تولید ژله با استفاده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی و بررسی خواص بافتی، فیزیکوشیمیایی و حسی آن در مقایسه با پکتین‌های تجاری

علی کاشانی^۱ - مریم حسنی^۱ - لیلا ناطقی^{۲*} - محمد جواد اسدالله‌زاده^۱ - پروین کاشانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۲

چکیده

پکتین مخلوط پیچیده‌ای از پلی‌ساکاریدها است که به فراوانی در صنعت غذا به‌عنوان ژل‌کننده، ثبات‌دهنده و امولسیفایر مورد استفاده قرار می‌گیرد. پوست سیب‌زمینی منبع غنی از پکتین با درجه استریفیکاسیون پایین است که عموماً به‌عنوان ضایعات دور ریخته می‌شود. برای تشکیل ژل توسط پکتین‌های با درجه استری کم، غلظت پکتین، کلرور کلسیم و میزان pH بسیار موثر است. لذا هدف از این پژوهش بهینه‌سازی خواص بافتی ژله حاوی غلظت‌های مختلف پکتین (۰/۵ و ۱ درصد)، کلرور کلسیم (۱۵، ۳۰ و ۴۵) و pH (۲/۵ و ۴) و مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی ژله تولید شده در شرایط بهینه با ژله حاصل از پکتین تجاری مرکبات و سیب بود. مطابق با نتایج شرایط بهینه برای تولید ژله با استفاده از پکتین استخراج‌شده از پوست سیب‌زمینی با هدف دستیابی به بالاترین میزان سختی ژل (۳۰/۰۹۵۹ نیوتن) و نیروی لازم برای شکستن ژل (۲۷/۳۴۳۱ نیوتن) به‌صورت هم‌زمان با ۹۴/۳۳ درصد مطلوبیت در شرایط pH برابر با ۴، میزان کلرور کلسیم ۳۵/۲۲۸۶ میلی‌گرم/گرم پکتین و غلظت پکتین ۱ درصد مشاهده گردید. شرایط بهینه تولید ژله حاوی پکتین پوست سیب‌زمینی برای ژله‌های تجاری حاوی پکتین مرکبات و سیب اعمال گردید و خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی ژله‌ها با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و اورگانولپتیکی ژله‌های تهیه‌شده با پکتین پوست سیب‌زمینی با ژله‌های تجاری مرکبات و سیب مشاهده نگردید. نتایج تحقیق حاضر نشان داد با استفاده از بهینه‌سازی شرایط تولید می‌توان از پکتین پوست سیب‌زمینی در فرمولاسیون ژله استفاده نمود و ژله‌ای با خواص کیفی مطلوب و قابل مقایسه با پکتین‌های تجاری متداول تولید نمود.

واژه‌های کلیدی: ژله، پکتین، پوست سیب‌زمینی، خواص بافتی، فیزیکوشیمیایی، خواص حسی

مقدمه

می‌شود که باید در آب سرد و گرم مخلوط و در یخچال منعقد کرد (Gatefar et al., 2007).

در سال‌های اخیر یکی از مشکلات مطرح‌شده کاهش ضایعات کشور و بازیافت از ترکیبات ارزشمند به‌منظور کنترل هزینه‌های واردات، کاهش دور ریخت و جلوگیری از آلودگی محیط زیست می‌باشد. در تحقیق حاضر سعی شد که با به‌کارگیری ضایعات حاصل از پوست سیب‌زمینی نه‌تنها مشکل آلودگی محیط‌زیست و دور ریخت این فرآورده‌ی کشاورزی کاهش داده شود بلکه ترکیبی ارزشمند با نام پکتین که با داشتن خواص ویژه، جایگاه خود را در صنعت تولید انواع مربا و ژله در ایران یافته است، استخراج شود. یکی از این منابع ضایعاتی پوست سیب زمینی است. پوست سیب‌زمینی به‌طور طبیعی حاوی پکتین با درجه استریفیکاسیون پایین است که توانایی خوبی در تشکیل ژل و در حضور مقادیر کم شکر به‌ویژه در pH‌های خنثی دارد. از این رو سالانه تقریباً ۱۲۰۰۰۰۰ تن ضایعات جامد سیب زمینی در جهان تولید می‌شود (Sepelev and Galoburda, 2015).

ژله فرآورده‌ی نیمه جامد و شفاف است که طی فرآیند خاص با استفاده از شکر یا آب میوه یا دیگر مواد قنادی مجاز، به‌عنوان مواد شیرین‌کننده و از پکتین، ژلاتین یا آگار به‌عنوان عامل تشکیل ژل تهیه می‌شود و ممکن است ماده طعم‌دهنده و رنگی نیز به آن اضافه شود. در ژله‌های معمولی برای تشکیل ژل حضور مواد ژله‌کننده مانند پکتین پر استر، مقادیر بالای شکر (۶۰-۶۵ درصد) و pH کمتر از ۳/۵ ضروری است. در حال حاضر ژله بیشتر به‌صورت پودر ژله یافت

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

۲- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

۳- استادیار، طب اورژانس دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی.

(*) نویسنده مسئول: (Email: leylanateghi@yahoo.com)

پکتین‌های با درجه استری کم، غلظت کلرور کلسیم و میزان pH بسیار موثر است (Ridley et al., 2001). از این رو قاطع‌فر و همکاران (۱۳۸۶) تولید ژله کم کالری با پکتین استخراج شده از طبق آفتابگردان را بررسی نمودند. آنها گزارش کردند درصد پکتین و کلرور کلسیم دارای اثر معنی‌داری بر روی خواص بافتی و ارگانولپتیکی ژله‌ها است. ایاسه و همکاران (۱۳۸۴) قابلیت تشکیل ژل از پکتین استخراج شده از طبق گل آفتابگردان را مطالعه کردند. و گزارش کردند که پکتین استخراج شده توسط هگزامتا فسفات سدیم و اگزالات سدیم از خواص کاربردی خوبی در تشکیل ژل برخوردار بود. Khan و همکاران (۲۰۱۴) استخراج و شناسایی پکتین از گریپ فروت (رقم دانکن) و استفاده از آن را به‌عنوان عامل ژل‌ساز مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند پکتین گریپ فروت توانایی خوبی در تشکیل ژل دارد. Lozano و Iglesias (۲۰۰۴) ترکیب شیمیایی و خصوصیات رئولوژیکی از جمله درجه حرارت ژله‌ای شدن پکتین استخراج شده از آفتابگردان را بررسی نموده و گزارش نمودند که پکتین آفتابگردان در درجه حرارت‌های بالا و در حضور یون‌های کلسیم فوراً تشکیل ژل می‌دهد و می‌تواند در محصولات رژیمی مثل مرباهای کم کالری استفاده شود.

پکتین نیز کاربردهای وسیعی به‌عنوان پایدارکننده، غلیظ کننده، ژل کننده، اصلاح کننده، ایجادکننده بافت و جایگزین چربی در صنایع غذایی دارد. از طرفی بررسی منابع حاکی از این است که تاکنون مطالعه‌ای در خصوص تولید ژله با پکتین استخراجی از ضایعات پوست سیب‌زمینی انجام نشده است. لذا هدف از این پژوهش بهینه‌سازی خواص بافتی ژله حاوی غلظت‌های مختلف پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی، کلرور کلسیم در pHهای مختلف و مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی ژله تولید شده در شرایط بهینه با ژله حاصل از پکتین تجاری سیب و مرکبات بود.

مواد و روش‌ها

سیب‌زمینی واریته گرانولا، مورد استفاده از بازار محلی در اردبیل تهیه شد. مواد شیمیایی مورد استفاده برای آزمون‌ها شامل: اتانول، کلرور کلسیم، اسید سیتریک، فنل فتالین، هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال از شرکت مرک آلمان تهیه گردید.

روش استخراج پکتین از پوست سیب‌زمینی

پکتین مورد استفاده مطابق با روش Raji و همکاران (۲۰۱۷) از پوست سیب‌زمینی با درجه متوکسیل ۴۱/۸۲ درصد، راندمان ۱۵/۲۳ درصد و وزن مولکولی ۵۳/۴۶ کیلو دالتون با استفاده از اسیدسیتریک با بالاترین بازدهی استخراج گردید.

پکتین پلی‌ساکارید پیچیده‌ای است که در دیواره نخستین بافت‌های گیاهی و در لایه‌ی بین سلولی یافت می‌شود. پکتین در بردارنده گروهی از پلی‌ساکاریدهای غنی از واحدهای گالاتکتورونیک اسید به همراه مقدار کمتری از قندهای مختلف می‌باشد (Baiano, 2014). دو فرم تجاری از پکتین، در دسترس هستند: پکتین با درجه متوکسیل بالا و متوکسیل پایین (پکتین پراستر و کم استر) پکتین پر استر در محلول‌های حاوی مواد جامد محلول زیاد و سیستم اسیدی تشکیل ژل می‌دهند درحالی‌که پکتین‌های کم استر در pHهای گسترده‌تر و محدوده مواد جامد بیشتر تشکیل ژل می‌دهند اما به وجود کاتیون‌های دو ظرفیتی برای تشکیل ژل نیاز دارند (Kratchanova, 2012). پکتین همچنین در پرکننده‌ها، داروها، شیرینی‌جات، محصولات نانوائی، به‌عنوان تثبیت کننده در آمیوه‌ها و نوشیدنی‌های شیری و همچنین به‌عنوان فیبر رژیمی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sharma, 2006). همچنین افزایش استفاده از پکتین در نوشیدنی‌های سویا، شیر تخمیری و شیر اسیدی بوده است. با این حال هنوز بیشترین استفاده از پکتین در ژله‌ها و مرباها می‌باشد (Gullon, 2013). در حال حاضر تقریباً تمام پکتین‌های تجاری از پوست مرکبات و یا سیب که هر دو فرآورده جانبی تولید آمیوه هستند تولید می‌شوند (Thirugnanasambandham et al., 2014). امروزه سایر محققین از منابع ضایعاتی شامل کلاهدک بادمجان (ناطقی و همکاران، ۲۰۱۷)، پوست بادمجان (ناطقی و انصاری، ۲۰۱۷)، کدوی آجیلی (فتحی و همکاران، ۲۰۱۲)، پوست نارنج (حسینی و همکاران، ۲۰۱۶)، تفاله شاه توت (مسیبی و همکاران، ۲۰۱۷)، میوه گیاه دارایی (آزادبخت و همکاران، ۲۰۰۳)، کنسنتره آب پرتقال (کرامت و همکاران، ۲۰۰۲) پکتین استخراج نمودند.

نقش پکتین در مرباها و ژله‌ها برای تولید بافت ژله‌ای مهم است. در مرباها، پکتین باید سریعاً بعد از پرکردن به‌منظور اطمینان از توزیع یکنواخت قطعات میوه ببندد. در صورتی‌که در ژله‌ها، پکتین به دلیل خروج حباب‌های هوا می‌تواند دیرتر بسته شود. به این منظور برای کاهش pH از ۴/۱ به ۳/۵ در پکتین با درجه استری بالا، باید اسید اضافه شود. اسید باید به شکل محلول (۵۰ درصد وزنی-حجمی) اضافه شود، در غیر این صورت پیش ژلاسیون در هر جایی که کریستال‌های اسید وجود دارند در ژله اتفاق می‌افتد و ممکن است ژله حالت دانه‌ای پیدا کند (Yin et al., 2009). مرباها و ژله‌های کم شکر نمی‌توانند با پکتین‌هایی با درجه استری شدن بالا^۱ (HM) تهیه شوند و معمولاً با پکتین‌های LM آمیدی بهتر تهیه می‌شوند. پکتین‌هایی با درجه استری شدن کم^۲ (LM) پکتین‌هایی هستند که درجه استری شدن آنها کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد. برای تشکیل ژل

1 High Methoxyle Pectins

2 Low Methoxyle Pectins

۱۵ دقیقه از مایع جدا شد. مایع رویی را خارج کرده و رسوب باقی‌مانده جهت حذف ناخالصی‌ها با اتانول ۷۰ درصد و سپس با اتانول ۹۶ درصد شستشو داده شد. پس از هر مرحله شستشو با الکل، با سانتریفوژ کردن در ۴۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه، رسوب باقی‌مانده از مایع جدا شد. در پایان نمونه‌های پکتین به‌دست‌آمده به روش انجمادی، توسط خشک کن انجمادی (FD-5005-BT، سنا پرداز دنا، ایران) خشک شدند. پکتین خشک شده پس از توزین جهت اندازه‌گیری بازده استخراج، پودر شده و در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و در یخچال نگهداری شد.

روش تولید ژله

ژله‌ها مطابق با فرمولاسیون جدول ۱ و مطابق با روش حسینی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) با اندکی تغییر تهیه شدند. بدین ترتیب ابتدا مقادیر ۰/۵ و ۱ درصد پکتین استخراج‌شده با شرایط بهینه از پوست سیب‌زمینی با ۳۰ درصد وزنی شکر، ۰/۱۴ درصد رنگ مجاز خوراکی آلبالویی، ۰/۷۵ درصد اسانس آلبالو با هم مخلوط شدند. سپس ۱۰۰ سی‌سی آب جوش به این مخلوط اضافه گردید و به خوبی مخلوط شدند. پس از حل شدن کامل شکر مقادیر ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی گرم کلرور اسید سیتریک به ازاء هر گرم پکتین اضافه شد. pH نمونه‌ها بوسیله محلول اسید سیتریک روی ۲/۵ و ۴ تنظیم گردید. حرارت دادن نمونه‌ها ادامه پیدا نمود تا بریکس تیمارهای مورد آزمون روی ۴۲ تنظیم شود. نمونه‌های آماده شده به مدت نیم ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس تیمارها برای ۲ الی ۳ ساعت در یخچال قرار گرفتند تا فرآیند بستن ژله‌ها کامل گردد.

ابتدا سیب‌زمینی‌ها با آب شستشو داده شده، و پوست‌گیری شدند. در مرحله بعد در آون UF55/UN (Mommert، آلمان) با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت زمان ۱۶ ساعت خشک گردید تا به وزن ثابت برسد سپس با استفاده از آسیاب مدل ML-320P، شرکت پارس خزر (ایران) به‌صورت گرانول آردی شکل در آمد سپس به کمک مش ۶۰ الک گردید. پودر تولیدی برای مصارف بعدی در ظروف پلی‌اتیلنی و در جای خشک در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید.

در ادامه ابتدا ۳ گرم نمونه پودر خشک شده را در ارلن ریخته و با ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر اسیدی شده با اسید سیتریک در مرحله اول با pHهای مشخص (۱، ۲ و ۳) مخلوط کرده و در حمام آب گرم با دماهای (۳۵، ۶۵ و ۹۵) درجه سانتی‌گراد به مدت مشخص (۴۰، ۱۲۰ و ۲۰۰) دقیقه توسط همزن مغناطیسی (Genius، آلمان) هم‌زده و حرارت داده شد (دامنه آزمایش برای هر فاکتور بر اساس نتایج آزمایشات اولیه انتخاب گردیده است) برای طراحی تیمارهای مورد آزمون از روش سطح پاسخ (باکس بنکن) استفاده شد. پس از طی زمان لازم برای استخراج، نمونه‌ها از حمام آب گرم خارج و محلول دو مرتبه با پارچه متقال صاف گردید و برای جداسازی ذرات معلق باقی‌مانده، محلول حاصل در ۴۰۰۰ rpm به مدت ۲۰ دقیقه توسط سانتریفوژ مدل PIT320 R (Universal، آلمان) سانتریفوژ شد و فاز مایع رویی پس از سانتریفوژ از کاغذ صافی شماره ۴۱ عبور داده شد و عصاره حاوی پکتین در یخچال گذاشته شد. پس از رسیدن عصاره به دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، اتانول ۹۶ درصد با نسبت ۱ به ۲ (عصاره به الکل) جهت ترسیب پکتین به محلول اضافه گردید و یک شب در یخچال نگهداری شد تا کاملاً پکتین رسوب نماید و تعادل برقرار شود. سپس رسوب پکتین توسط سانتریفوژ در ۴۰۰۰ rpm به مدت

جدول ۱- فرمولاسیون ژله‌های تولیدی

تیمار	غلظت پکتین (%)	غلظت کلرور سدیم (میلی گرم/ گرم پکتین)	pH	شکر آب (%)	رنگ مجاز (%)	اسانس آلبالو (%)
۱	۰/۵	۱۵	۲/۵	۳۰	۶۸/۷۲۸	۰/۷۵
۲	۰/۵	۳۰	۲/۵	۳۰	۶۸/۷۲۱	۰/۷۵
۳	۰/۵	۴۵	۲/۵	۳۰	۶۸/۷۱۳	۰/۷۵
۴	۱	۱۵	۲/۵	۳۰	۶۸/۲۲۸	۰/۷۵
۵	۱	۳۰	۲/۵	۳۰	۶۸/۲۲۱	۰/۷۵
۶	۱	۴۵	۲/۵	۳۰	۶۸/۲۱۳	۰/۷۵
۷	۰/۵	۱۵	۴	۳۰	۶۸/۷۲۸	۰/۷۵
۸	۰/۵	۳۰	۴	۳۰	۶۸/۷۲۱	۰/۷۵
۹	۰/۵	۴۵	۴	۳۰	۶۸/۷۱۳	۰/۷۵
۱۰	۱	۱۵	۴	۳۰	۶۸/۲۲۸	۰/۷۵
۱۱	۱	۳۰	۴	۳۰	۶۸/۲۲۱	۰/۷۵
۱۲	۱	۴۵	۴	۳۰	۶۸/۲۱۳	۰/۷۵

آزمون ارزیابی خواص بافتی نمونه‌های مختلف ژله

جهت بررسی خواص بافتی نمونه‌های ژله از دستگاه Instron (مدل ۱۱۴۰، کشور آمریکا) با سرعت کراس هد^۱ ۲۵ سانتی‌متر در دقیقه و لودسل^۲ با ظرفیت حداکثر ۵۰ نیوتن استفاده شد. بلانچر مورد استفاده با قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱/۵ سانتی‌متر بود. ارتفاع نفوذ بلانچر به داخل ژل ۱/۱۵ سانتی‌متر تنظیم شد. جهت نگهداری و آزمایش نمونه‌های مختلف ژله توسط دستگاه اینستران ظروفی از پلی اتیلن فشرده به قطر داخلی ۵/۰۸ و ارتفاع ۱/۵ سانتی‌متر که یک انتهای آن به وسیله نوار پلاستیکی مسدود شده بود استفاده شد. برای ارزیابی سفتی و شکنندگی لایه سطحی، نمونه‌های ژله در داخل قالب پلی اتیلنی مذکور منتقل گردید و پس از کالیبراسیون دستگاه ارتفاع نفوذ بلانچر به داخل ژل روی ۱/۱۵ سانتی‌متر تنظیم شد و میزان انرژی لازم برای شکستن ژله بر حسب نیوتن محاسبه گردید (Chang and Miyamoto, 1992).

ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه ژله تهیه شده از پوست سیب زمینی با پکتین تجاری سیب و مرکبات اندازه‌گیری pH و اسیدیته

اندازه‌گیری pH و اسیدیته مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۸۲ انجام گردید. اندازه‌گیری pH، با استفاده از pH متر دیجیتالی (Horiba، ژاپن) و اندازه‌گیری اسیدیته مطابق با رابطه ۱، در حضور شناساگر فنل فتالین به روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH = ۸/۲-۸/۵ انجام شد (استاندارد ملی ایران، شماره ۲۶۸۲، ۱۳۸۸).
(۱) $(D) = (0.064 \times V \times N/W) \times 100$ اسیدیته

که در این معادله:

V: حجم محلول هیدروکسید سدیم مصرفی در تیتراسیون به میلی‌لیتر
N: نرمالیه محلول هیدروکسید سدیم مصرفی در تیتراسیون
W: وزن نمونه مورد آزمایش به گرم و یا حجم نمونه مورد آزمون به میلی‌لیتر

اندازه‌گیری بریکس

مواد جامد محلول (بریکس) با استفاده از رفراکتومتر رومیزی در دمای محیط مطابق با استاندارد ملی به شماره ۲۶۸۲ استفاده شد (استاندارد ملی شماره ۲۶۸۲، ۱۳۸۸).

اندازه‌گیری رطوبت

حدود ۵ گرم از نمونه در ظرف توزین حاوی شن شسته شده تمیز با دقت وزن و نمونه با حرکت‌های ملایم در ته ظرف پخش می‌شود.

ظرف حاوی نمونه در اتو با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و یا در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خلأ به مدت ۳ ساعت قرار گرفت. پس از آن، ظرف از آن خارج شده و در دسیکاتور سرد شد و سپس توزین گردید. عمل حرارت‌دهی و سرد کردن در دسیکاتور مجدداً تکرار شده تا هنگامی که اختلاف دو توزین پی در پی کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم باشد. مقدار رطوبت موجود در صد گرم نمونه با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (Salehi, 2017).

$$(2) \quad (W1 - W2/W) \times 100 = \text{رطوبت } (\%)$$

که در این فرمول:

W1: وزن ظرف حاوی نمونه و شن و میله قبل از خشک کردن به گرم
W2: وزن ظرف حاوی نمونه و شن و میله پس از خشک کردن به گرم
W: وزن آزمون به گرم

اندازه‌گیری آب اندازی (سینرزیس)

سینرزیس نمونه‌های ژله به‌عنوان یکی از فاکتورهای مهم فیزیکی در تولید ژله، ۲ ساعت پس از بستن ژله با استفاده از سانتریفوژ دور ۵۰۰۰ g در دمای محیط اندازه‌گیری می‌شود. مقدار مایع جدا شده از بافت ژله در ظروف مدرج اندازه‌گیری و درصد سینرزیس بر مبنای رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Sahan et al., 2008).

$$(3) \quad W_L/W_T \times 100 = \text{سینرزیس } (\%)$$

که در این معادله:

W_L: وزن کل مایع جدا شده
W_T: وزن کل ژله

ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی ژله تولید شده با پکتین بهینه استخراجی از پوست سیب زمینی و پکتین تجاری مطابق با روش حسینی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) تعیین گردید. جهت انجام آزمون ارزیابی حسی نمونه‌های ژله با استفاده از ۱۰ نفر ارزیاب نیمه آموزش دیده با روش هدونیک ۵ نقطه‌ای بر روی ویژگی‌های رنگ، طعم و قابلیت پذیرش کلی ارزیابی شد. ارزیابی حسی بر اساس روش رتبه‌بندی به صورت ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ به ترتیب برای بسیار خوب، خوب، متوسط، بد، بسیار بد انجام پذیرفت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

طراحی تیمارهای مختلف ژله تهیه شده توسط غلظت‌های مختلف پکتین، کلرور سدیم در pHهای مختلف و تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی نتایج آنها به روش طرح فاکتوریل کامل در نرم‌افزار

هر چقدر غلظت پکتین و کلرور کلسیم بالاتر باشد اتصالات عرضی بین زنجیره‌های گالاتکتورونیک اسید پکتین بیشتر می‌گردد و ژل پایدارتر می‌شود. میزان بهینه کلسیم برای ایجاد ژل توسط پکتین بستگی به pH و درجه استریفیکاسیون پکتین دارد. برای ایجاد ژل در pHهای پایین میزان کلسیم کمتری نسبت به pHهای بالا نیاز است. هر چقدر درجه استریفیکاسیون پایین‌تر باشد میزان کلسیم بیشتری برای تشکیل ژل مورد نیاز است. لازم به ذکر است توزیع گروه‌های کربوکسیل آزاد و استری شده نیز تأثیر عمیقی بر ظرفیت اتصال به کلسیم و استحکام ژل پکتینی دارد (Kaya et al., 2014; Kuuva et al., 2003).

در این راستا Kim و همکاران (۱۹۷۸) شرایط بهینه برای تشکیل ژل توسط پکتین‌های کم استر طبق آفتابگردان را استفاده از ۱ درصد پکتین آفتابگردان، ۳۰ درصد شکر، ۲۲/۵ میلی گرم یون کلسیم به ازاء هر گرم پکتین و pH برابر با ۴/۳ گزارش کردند.

Chang و Miyamoto (۱۹۹۲) به بررسی خصوصیات ژل حاصل از پکتین استخراج‌شده از ضایعات سر آفتابگردان پرداختند و گزارش کردند با افزایش غلظت پکتین سختی ژل حاصل افزایش یافته است که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت داشت.

شکنندگی ژله

شکنندگی ژل نیروی لازم برای شکستن لایه سطحی ژل تعریف می‌شود. هر چقدر مقدار این نیرو بیشتر باشد مقاومت مکانیکی ژل بیشتر خواهد بود (Chang and Miyamoto, 1992).

بررسی اثر pH، غلظت‌های مختلف پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی و کلرور کلسیم بر شکنندگی ژله در جدول ۲ گزارش شده است. میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل تیمارهای مورد آزمون با افزایش غلظت پکتین و میزان pH به صورت معنی‌داری ($p \leq 0.05$) افزایش یافت. با افزایش غلظت کلرور کلسیم از ۱۵ تا ۳۰ میلی گرم/گرم پکتین میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل افزایش یافت و با افزایش غلظت کلرور کلسیم از ۳۰ میلی گرم/گرم پکتین به ۴۵ میلی گرم/گرم پکتین میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل کاهش یافت. بالاترین میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل ۲۸/۴۳ نیوتن در تیمار حاوی ۱ درصد پکتین، ۳۰ میلی گرم/گرم پکتین و pH برابر با ۴ مشاهده گردید. پایین‌ترین میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل ۴/۷۸ نیوتن در تیمار حاوی ۰/۵ درصد پکتین، ۳۵ میلی گرم/گرم پکتین و pH برابر با ۲/۵ مشاهده گردید. افزودن کلرور کلسیم به ژل باعث افزایش اتصالات عرضی بین زنجیره‌های گالاتکتورونیک اسید پکتین و تولید ژل پایدارتر می‌شود ولی در صورت وجود کلسیم اضافی مناطق اتصال بیشتر می‌شوند و تمایل به نگهداری مایعات در شبکه ژلی کاهش می‌یابد که باعث کاهش در

مینی‌تب ۱۶ انجام گرفت. مقایسه نتایج خواص فیزیکو شیمیایی، بافتی و حسی ژله بهینه تهیه شده از پوست سیب زمینی با پکتین‌های تجاری به روش آنالیز واریانس یک‌طرفه (دانکن) در سطح احتمال ۵ درصد در نرم افزار مینی تب ۱۶ انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی خواص بافتی ژله

مطابق با نتایج پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی درجه استری ۴۱/۸۲۰ درصد، را نشان داد بنابراین جزء پکتین‌هایی با درجه استری شدن کم^۱ (LM) طبقه‌بندی گردید. برای تشکیل ژل پکتین‌های با درجه استری کم، غلظت کلرور کلسیم و میزان pH بسیار مؤثر است، بنابراین در این بخش غلظت پکتین، میزان کلرور کلسیم و pH مناسب بر سختی ژله و نیروی لازم برای شکنندگی ژله مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که اتصال زنجیره‌های پلی‌گالاتکتورونیک در ژل پکتین کم استر به وسیله پیوندهای یونی و الکترواستاتیک گروه‌های کربوکسیل حاصل می‌شود بنابراین ساکارز اثر معنی‌داری روی مقاومت مکانیکی ژل ندارد (قاطع فر و همکاران، ۱۳۸۶) و به عنوان یک متغیر در فرمولاسیون تولید ژله در نظر گرفته نشد. Zaidel و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند خصوصیات رئولوژیکی ژل‌های پکتینی حاوی کلسیم تا حدودی به غلظت پکتین بستگی دارد.

سختی ژل

سختی عبارت است از حداکثر نیروی لازم برای تغییر شکل در اولین فشار دستگاه سنجش بافت یا نیرویی که لازم است تا نمونه بین دندان‌های آسیا فشرده شود (Szczesniak et al., 2002). بررسی اثر pH، غلظت‌های مختلف پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی و کلرور کلسیم بر سختی ژل در جدول ۲ گزارش شده است. نتایج نشان داد با افزایش غلظت پکتین، میزان کلرور کلسیم و pH سختی ژل به صورت معنی‌داری ($p \leq 0.05$) افزایش یافت. به طوری که بالاترین میزان سختی ژل ۳۱/۷۸ نیوتن در تیمار حاوی ۱ درصد پکتین، ۳۵ میلی گرم/گرم پکتین و pH برابر با ۴ مشاهده گردید. پایین‌ترین میزان سختی ژل ۶/۱۵ نیوتن در تیمار حاوی ۰/۵ درصد پکتین، ۱۵ میلی گرم/گرم پکتین و pH برابر با ۲/۵ مشاهده گردید. در خصوص علت افزایش سختی ژله با افزودن یون کلسیم به ژله تهیه شده از پکتین کم استر می‌توان گفت که با افزودن یون دو ظرفیتی کلسیم و افزایش غلظت آن پل‌های عرضی بین زنجیره‌های پلی‌مری پکتین تشکیل می‌شود. بنابراین شبکه سه‌بعدی ژله بهتر شکل می‌گیرد و سختی ژله افزایش می‌یابد (Nawawi and Heikal, 1996)، بنابراین

نیروی لازم برای شکنندگی ژل می‌گردد (Zaidel et al., 2017). علت افزایش سختی ژله و نیروی لازم برای شکنندگی ژله با افزایش pH می‌تواند به دلیل افزایش گروه‌های کربوکسیل غیر یونیزه در زنجیره پلی گالاتورونیک باشد که باعث کاهش بار منفی و نیروی دافعه می‌شود (Nawawi and Heikal, 1996). در این راستا قاطع‌فر و همکاران (۱۳۸۶) اعلام نمودند غلظت ۵۰۰ میلی گرم کلرور کلسیم و ۱ درصد پکتین دارای بیشترین میزان نیروی شکنندگی بود.

Heikal and Nawawi (۱۹۹۶) به بررسی اثر غلظت کلسیم بر مقاومت مکانیکی ژل پکتین کم استر پرداختند و گزارش کردند با افزایش غلظت پکتین از ۰/۵ به ۱/۲ درصد مقاومت مکانیکی ژل حاصل نیز به صورت خطی افزایش یافت. آن‌ها گزارش کردند استفاده از مقادیر کم کلسیم میزان مقاومت مکانیکی ژل را به دلیل عدم وجود کلسیم کافی جهت تشکیل اتصالات عرضی در شبکه سه‌بعدی ژل کاهش می‌دهد.

جدول ۲- بررسی اثر pH، غلظت‌های کلرور کلسیم و پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی بر سختی و شکنندگی ژل

تیما	غلظت پکتین (%)	غلظت کلرور کلسیم (میلی گرم/گرم پکتین)	شکر (%)	pH	سختی ژل (نیوتن)	نیروی لازم برای شکنندگی ژل (نیوتن)
۱	۰/۵	۱۵	۳۰	۲/۵	۶/۱۵۰±۰/۳۱۱ ^e	۵/۵۸۰±۰/۲۲۶ ^{ef}
۲	۰/۵	۳۰	۳۰	۲/۵	۷/۱۹±۰/۵۳۷ ^{de}	۶/۴۲۰±۰/۲۵۵ ^{ef}
۳	۰/۵	۴۵	۳۰	۲/۵	۸/۸۵۰±۰/۶۶۵ ^{de}	۴/۷۸۰±۰/۳۳۹ ^f
۴	۱	۱۵	۳۰	۲/۵	۲۶/۷۳۰±۰/۲۶۹ ^c	۲۴/۳۴۰±۰/۳۱۱ ^{cd}
۵	۱	۳۰	۳۰	۲/۵	۲۸/۱۸۰±۰/۴۶۷ ^{bc}	۲۷/۱۱۰±۰/۶۷۹ ^{ab}
۶	۱	۴۵	۳۰	۲/۵	۳۰/۹۰۰±۰/۷۷۸ ^{ab}	۲۲/۵۸۰±۰/۴۸۱ ^d
۷	۰/۵	۱۵	۳۰	۴	۷/۳۴۰±۰/۲۲۶ ^{de}	۶/۱۹۰±۰/۱۹۸ ^{ef}
۸	۰/۵	۳۰	۳۰	۴	۸/۶۳۰±۰/۶۹۳ ^{de}	۷/۲۴۰±۰/۰۱۸ ^e
۹	۰/۵	۴۵	۳۰	۴	۹/۲۵۰±۰/۳۹۶ ^d	۵/۶۱۰±۰/۳۶۸ ^{ef}
۱۰	۱	۱۵	۳۰	۴	۲۷/۴۴۰±۰/۸۶۳ ^c	۲۵/۱۹۰±۰/۴۵۳ ^{bc}
۱۱	۱	۳۰	۳۰	۴	۲۹/۳۰۰±۰/۱۸۸ ^{abc}	۲۸/۴۳۰±۰/۷۳۵ ^a
۱۲	۱	۴۵	۳۰	۴	۳۱/۷۸۰±۰/۱۱۷ ^a	۲۴/۸۱۰±۰/۵۵۲ ^c

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.
حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در هر ستون می‌باشد.

مدل رگرسیونی

شکنندگی ژل به ترتیب $(R^2=99/7\%)$ و $(R^2=99/69\%)$ به دست آمد که نشان دهنده برازش خوب مدل به داده‌های آزمایشی است.

نتایج مدل رگرسیونی برای مقادیر پیش بینی شده سختی و شکنندگی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی در جدول ۳ نشان داده شده است. مقدار ضریب تبیین سختی ژل و

جدول ۳- مدل رگرسیونی برای مقادیر پیش بینی شده سختی و شکنندگی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی

منبع	مدل	R ²	R ² -adj
سختی ژل	$18/325 + 4783A + 1/64 B + 10/5767 C + 0/23B^2 - 0/0775 AB - 0/267AC + 0/4875 BC$	۹۹/۹۷	۹۹/۹۱
شکنندگی ژل	$17/3 + 0/555 A - 0/44 B + 9/72 C - 2/415B^2 + 0/2AB + 0/1783AC - 0/0950BC$	۹۹/۶۹	۹۹/۱۵

A: pH، B: کلرور کلسیم، C: غلظت پکتین

آنالیز واریانس سختی و شکنندگی ژل

کلسیم و غلظت پکتین بر تغییرات سختی ژل معنی‌دار نبودند ($p>0/05$).

بر طبق جدول ۴، اثرات خطی غلظت پکتین (C) و اثرات مربعی غلظت $CaCl_2$ بر میزان نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده با

بر طبق جدول ۴، اثرات خطی (A) pH، $CaCl_2$ (B) و غلظت پکتین (C) و اثرات متقابل غلظت پکتین $CaCl_2 \times$ بر تغییرات درجه سختی ژل معنی‌دار ($p \leq 0/05$) بود. ولی اثرات درجه دوم pH، کلرور

پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود و سختی ژل معنی‌دار نبودند ($p > 0.05$).
اثرات خطی (A) pH و CaCl_2 (B) و تمامی اثرات متقابل بر تغییرات

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ برای سختی و شکنندگی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی

منبع تغییرات		سختی ژل (%)		شکنندگی ژل (%)	
		P-value	F-value	P-value	F-value
رگرسیون		0.000*	1754/0.8	0.000*	185/30
اثرات خطی		0.000*	4086/58	0.000*	462/27
pH(A)		0.008*	24/63	0.111	4/15
CaCl_2 (B)		0.000*	193/0.2	0.258	1/74
غلظت پکتین (C)		0.000*	12042/0.8	0.000*	1272/91
اثرات درجه دوم		0.324	1/27	0.14*	17/46
$(\text{CaCl}_2 \times \text{B}^2)$		0.324	1/27	0.14*	17/46
اثر متقابل		0.060	5/85	0.832	0/29
$\text{CaCl}_2(\text{A} \times \text{B}) \times \text{pH}$		0.43	0/43	0.581	0/36
pH × غلظت پکتین ($\text{A} \times \text{C}$)		0.08	0/08	0.548	0/43
غلظت پکتین $\times \text{CaCl}_2 (\text{B} \times \text{C})$		0.14	17/06	0.790	0/08
باقی مانده خطا		-	-	-	-
کل		-	-	-	-

$\text{CaCl}_2 \times$ غلظت پکتین) بر سختی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در pH ثابت و برابر ۳/۲۵ را نشان می‌دهد. اثر متقابل ($\text{CaCl}_2 \times$ غلظت پکتین) بر تغییرات سختی ژل معنی‌دار بود. همان‌طور که مشخص است در صورتی که میزان pH ثابت و برابر ۳/۲۵ در نظر گرفته شود با افزایش مقدار کلرور کلسیم و غلظت پکتین میزان سختی ژل افزایش می‌یابد. به‌طوری که با استفاده از پکتین در غلظت‌های بالاتر از ۰/۹۴ درصد و کلرور کلسیم در محدوده ۱۵ تا ۴۵ میلی‌گرم/گرم پکتین میزان سختی ژل در مقادیر بالاتر از ۳۰ نیوتن مشاهده می‌گردد.

اثرات متقابل بر نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی

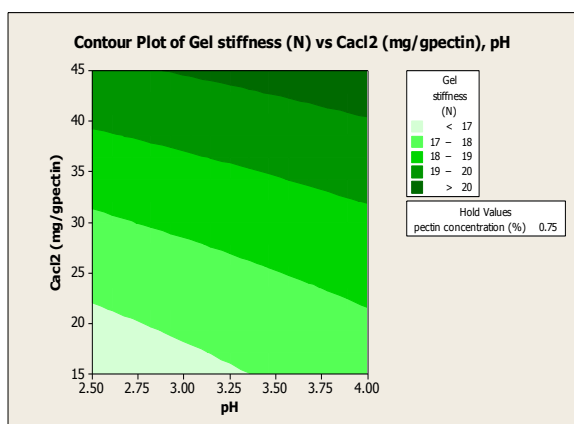
نتایج اثرات متقابل بر نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل a نتایج اثرات متقابل ($\text{pH} \times \text{CaCl}_2$) بر نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در غلظت پکتین ثابت و برابر ۰/۷۵ درصد را نشان می‌دهد. اثر متقابل ($\text{CaCl}_2 \times \text{pH}$) بر نیروی لازم برای شکنندگی ژل معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد در صورتی که میزان غلظت پکتین ثابت و برابر ۰/۷۵ درصد در نظر گرفته شود و میزان کلرور کلسیم در محدوده ۲۳ تا ۳۵

اثرات متقابل بر سختی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی

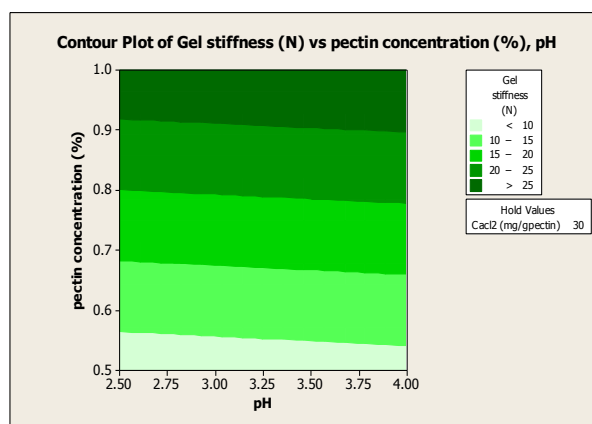
شکل a نتایج اثرات متقابل ($\text{pH} \times \text{CaCl}_2$) بر سختی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در غلظت پکتین ثابت و برابر ۰/۷۵ درصد را نشان می‌دهد. اثر متقابل ($\text{CaCl}_2 \times \text{pH}$) بر تغییرات سختی ژل معنی‌دار نبود. همان‌طور که مشخص است در صورتی که میزان غلظت پکتین ثابت و برابر ۰/۷۵ درصد در نظر گرفته شود با افزایش pH و غلظت کلرور کلسیم میزان سختی ژل افزایش داشته است. به‌طوری که کلرور کلسیم در غلظت‌های بالاتر از ۴۲ میلی‌گرم/گرم پکتین و pHهای ۳ و بالاتر از آن میزان سختی ژل در مقادیر بالاتر از ۲۰ نیوتن مشاهده گردید. شکل b نتایج اثرات متقابل ($\text{pH} \times$ غلظت پکتین) بر سختی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی غلظت CaCl_2 ثابت ۳۰ میلی‌گرم / گرم پکتین را نشان می‌دهد. اثر متقابل ($\text{pH} \times$ غلظت پکتین) بر تغییرات سختی ژل معنی‌دار نبود. همان‌طور که مشخص است در صورتی که میزان غلظت کلرور کلسیم ثابت و برابر ۳۰ میلی‌گرم/گرم پکتین در نظر گرفته شود با افزایش غلظت پکتین میزان سختی ژل افزایش می‌یابد. به‌طوری که پکتین در غلظت‌های بالاتر از ۰/۹۲ درصد و در محدوده pH ۲/۵ تا ۴ میزان سختی ژل در مقادیر بالاتر از ۲۵ نیوتن مشاهده گردید. شکل c نتایج اثرات متقابل

سیبزمینی در مقادیر بالاتر از ۱۷ نیوتن مشاهده می‌گردد.

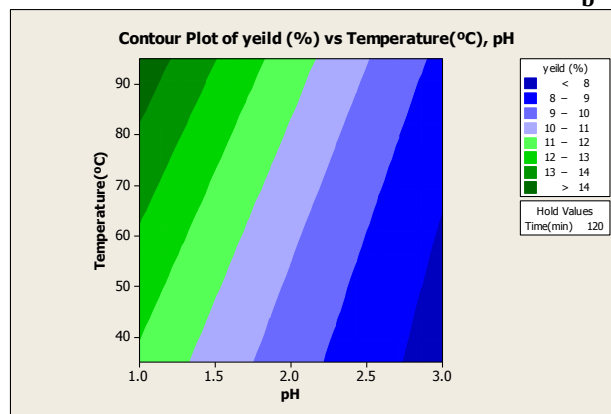
میلی گرم/گرم پکتین و pH ۲/۷۵ تا ۴ در نظر گرفته شود نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست



a



b



c

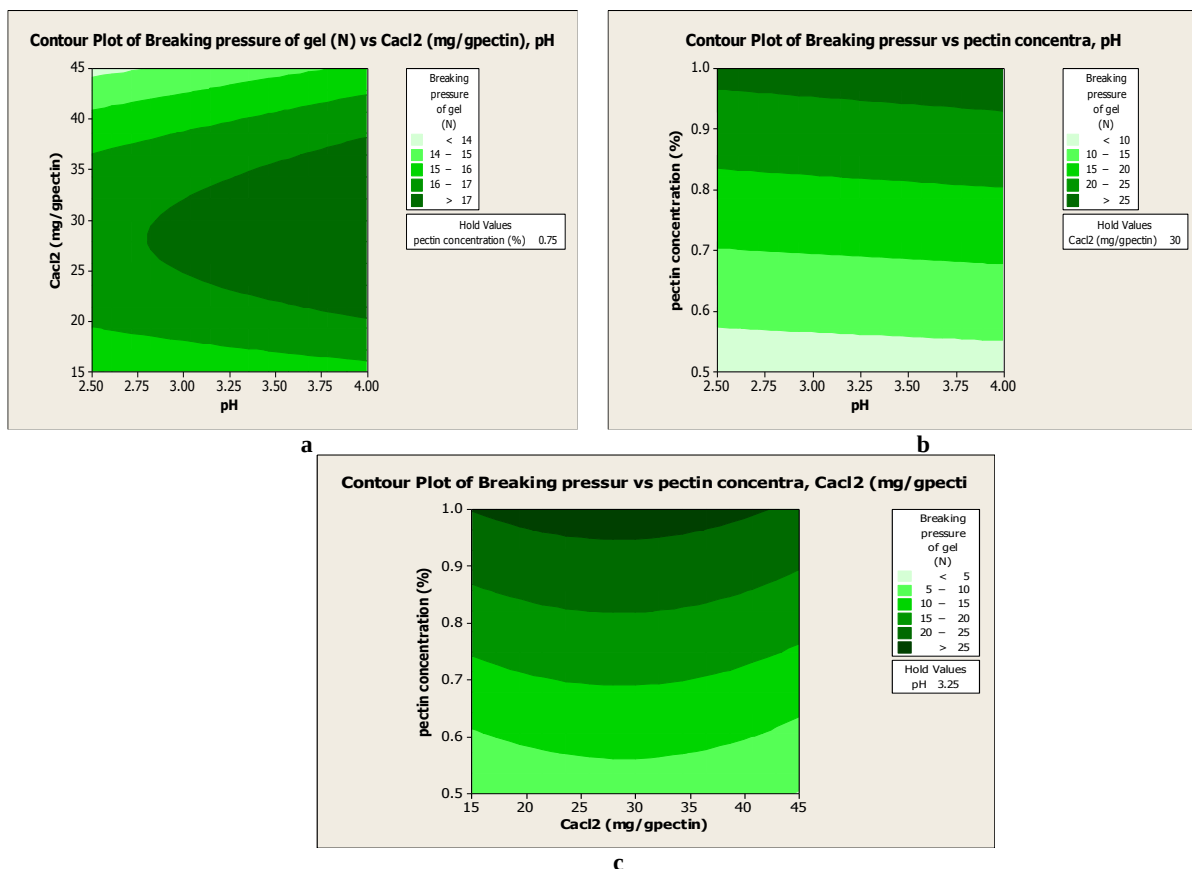
شکل ۱- اثرات متقابل، بر سختی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیبزمینی a: $\text{CaCl}_2 \times \text{pH}$ b: $\text{pH} \times \text{غلظت پکتین}$ c: $\text{CaCl}_2 \times \text{غلظت پکتین}$

($\text{CaCl}_2 \times \text{غلظت پکتین}$) بر نیروی لازم برای شکنندگی ژل معنی‌دار نبود. همان‌طور که مشخص است در صورتی که میزان pH ثابت و برابر ۳/۲۵ در نظر گرفته شود با افزایش غلظت پکتین نیروی لازم برای شکنندگی ژل افزایش می‌یابد. به‌طوری که با استفاده از پکتین در غلظت‌های بالاتر از ۰/۹۷ درصد و کلرور کلسیم در محدوده ۱۵ تا ۴۱ میلی‌گرم/گرم پکتین در فرمولاسیون ژل نیروی لازم برای شکنندگی ژل در مقادیر بالاتر از ۲۵ نیوتن مشاهده می‌گردد.

شرایط بهینه تهیه ژل حاوی پکتین استخراج شده از پوست سیبزمینی با بالاترین سختی ژل و نیروی لازم برای شکستن ژل

مطابق با شکل ۳ شرایط بهینه برای رسیدن به حداکثر میزان سختی ژل و نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیبزمینی پیش‌بینی شد.

شکل b نتایج اثرات متقابل ($\text{pH} \times \text{غلظت پکتین}$) بر نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیبزمینی در در غلظت کلرور کلسیم ثابت و برابر ۳۰ میلی‌گرم/گرم پکتین را نشان می‌دهد. اثر متقابل ($\text{pH} \times \text{غلظت پکتین}$) بر نیروی لازم برای شکنندگی ژل معنی‌دار نبود. همان‌طور که مشخص است در صورتی که میزان غلظت کلرور کلسیم ثابت و برابر ۳۰ میلی-گرم/گرم پکتین در نظر گرفته شود با افزایش غلظت پکتین میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل افزایش می‌یابد. به‌طوری که اگر در فرمولاسیون ژل، از پکتین در غلظت‌های بالاتر از ۰/۹۸ درصد تا ۱ درصد در محدوده pH ۲/۵ تا ۴ در نظر گرفته شود میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل مقادیر بالاتر از ۲۵ نیوتن مشاهده می‌گردد. شکل c نتایج اثرات متقابل ($\text{CaCl}_2 \times \text{غلظت پکتین}$) بر نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیبزمینی در pH ثابت و برابر ۳/۲۵ را نشان می‌دهد. اثر متقابل



شکل ۲- اثرات متقابل بر نیروی لازم برای شکندگی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی a: $\text{pH} \times \text{CaCl}_2$; b: $\text{pH} \times \text{غلظت پکتین}$; c: $\text{CaCl}_2 \times \text{غلظت پکتین}$

Optimal D	High	pH	Cacl2 (m	pectin c
0.94332	Cur	4.0	45.0	1.0
	Low	2.50	[35.2286]	[1.0]
			15.0	0.50
Composite Desirability 0.94332				
Breaking Maximum $y = 27.3431$ $d = 0.95243$				
stiffnes Maxim $y = 30.0959$ $d = 0.93429$				

شکل ۳- بهینه‌سازی همزمان شرایط تهیه ژل حاوی پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی با بالاترین میزان سختی ژل و نیروی لازم برای شکستن ژل

بهینه سختی ژل پیش بینی شده به صورت عملی در آزمایشگاه اعمال شد و سختی ژل ۳۱/۶۹ نیوتن به دست آمد که از نظر آماری اختلاف معنی داری مقادیر پیش بینی شده نداشت. و حداکثر نیروی لازم برای

حداکثر میزان سختی ژل ۳۱/۶۳۳۳ نیوتن با ۹۹/۴۲ درصد مطلوبیت در شرایط pH برابر با ۴، میزان کلرور کلسیم ۴۵ میلی گرم/گرم پکتین و غلظت پکتین ۱ درصد مشاهده گردید. شرایط

شکستن ژل ۲۷/۷۶۵۰ نیوتن با ۹۷/۰۸۹ درصد مطلوبیت در شرایط pH برابر با ۴، میزان کلرور کلسیم ۲۸/۹۶ میلی گرم/گرم پکتین و غلظت پکتین ۱ درصد مشاهده گردید. شرایط بهینه نیروی لازم برای شکستن ژل پیش بینی شده به صورت عملی در آزمایشگاه اعمال شد و نیروی لازم برای شکستن ژل ۲۷/۸۹ نیوتن بدست آمد که از نظر آماری اختلاف معنی داری با مقادیر پیش بینی شده نداشت.

مقایسه خصوصیات فیزیکوشیمیایی ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی با پکتین های تجاری

ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ژله تهیه شده با ۱ درصد پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی در شرایط بهینه و مقایسه آن با پکتین های تجاری ۱ درصد در جدول ۶ نشان داده شده است. از آنجایی که که بالاترین میزان سختی و شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی در شرایط بهینه در شرایط pH برابر با ۴، میزان کلرور کلسیم ۳۵/۲۲۸۶ میلی گرم/گرم پکتین و غلظت پکتین ۱ درصد مشاهده گردید بنابراین شرایط مذکور برای تهیه ژله های تجاری نیز اعمال گردید و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ژله تهیه شده با پکتین تجاری سیب و مرکبات مقایسه گردید. همانطور که مشاهده می شود میزان pH و اسیدیته، بریکس و رطوبت ژل تهیه شده توسط پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی اختلاف معنی داری با ژل تهیه شده از پکتین مرکبات و سیب نداشت ($p > 0.05$). با توجه به اینکه میزان pH ژله های تهیه شده توسط اسیدستریک ۱۰ درصد روی ۴ تنظیم شد بنابراین اختلاف معنی داری

بین میزان pH، اسیدیته بریکس و رطوبت ژله تهیه شده از پکتین پوست سیب زمینی و پکتین تجاری مرکبات و سیب مشاهده نگردید. همچنین میزان بریکس و رطوبت ژل تهیه شده توسط پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی اختلاف معنی داری با ژل تهیه شده از پکتین مرکبات و سیب نداشت ($p > 0.05$). از طرفی میزان آب اندازی ژل تهیه شده توسط پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی اختلاف معنی داری ($p \leq 0.05$) با ژل تهیه شده از پکتین مرکبات و سیب نداشت. پایین ترین میزان آب اندازی (۱/۴۸۸ درصد) در ژل حاوی پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی مشاهده شد و بالاترین میزان آب اندازی (۲/۳۵۱ درصد) در ژل حاوی پکتین سیب مشاهده گردید. در واقع درصد آب اندازی ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی به صورت معنی داری پایین تر از پکتین های تجاری مرکبات و سیب بود. علت آن می تواند مربوط به ایجاد شرایط بهینه تشکیل ژل برای پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی نسبت به پکتین های تجاری باشد. نتایج نشان داد اختلاف معنی داری بین میزان بریکس و درصد چربی ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی و پکتین مرکبات و سیب مشاهده نگردید. Yang و همکاران (۲۰۱۷) از پالپ سیب زمینی پکتین استخراج نمودند و گزارش کردند خواص امولسیفایری و پایداری امولسیون ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پالپ سیب زمینی از پکتین تجاری مرکبات و سیب بهتر بوده است و آن را به عنوان یک ترکیب مفید با خواص امولسیفایری مطلوب در محصولات غذایی پیشنهاد دادند.

جدول ۵- بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ژله تهیه شده با ۱ درصد پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی در شرایط بهینه و مقایسه آن با پکتین های تجاری ۱ درصد

نوع پکتین در فرمولاسیون ژله	pH	اسیدیته (%)	آب اندازی (%)	بریکس	رطوبت (%)
پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی	۴±۰/۰۰ ^a	۰/۹۴۰±۰/۰۵۶ ^a	۱/۴۸۸±۰/۱۲۷ ^b	۴۲/۴۱۰±۱/۴۸۵ ^a	۰/۳۲۰±۰/۰۲۸ ^a
پکتین مرکبات	۴±۰/۰۰ ^a	۰/۹۱±۰/۰۲۸ ^a	۱/۷۶۲±۰/۱۱۳ ^{ab}	۴۲/۱۶۰±۱/۱۸۸ ^a	۰/۲۱±۰/۰۱۴ ^a
پکتین سیب	۴±۰/۰۰ ^a	۰/۹۷±۰/۰۷۰ ^a	۲/۳۵۱±۰/۲۲۶ ^a	۴۲/۱۹۰±۱/۳۸۶ ^a	۰/۲۷۰±۰/۰۵۶ ^a

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است. حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی دار در هرستون می باشد.

مقایسه خصوصیات بافتی ژله تهیه شده با پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی با پکتین های تجاری

خصوصیات بافتی ژله تهیه شده با پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی در شرایط بهینه و مقایسه آن با خصوصیات بافتی ژله تهیه شده از پکتین های تجاری سیب و مرکبات در جدول ۶ نشان داده شده است. بررسی میزان سختی ژله تهیه شده از پکتین استخراج

شده از پوست سیب زمینی، پکتین مرکبات و پکتین سیب نشان داد، بالاترین میزان سختی (۳۰/۳۴ نیوتن) متعلق به ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی و پایین ترین میزان سختی متعلق به ژله تهیه شده از پکتین سیب (۲۸/۱۹ نیوتن) بود که از نظر آماری اختلاف معنی داری با یکدیگر و ژله تهیه شده از پکتین مرکبات نداشتند. بررسی نیروی لازم برای شکنندگی ژله تهیه شده از پکتین

زنجیره‌های مولکولی پکتین گسترش بیشتری پیدا می‌کنند و به علت دافعه الکترواستاتیک بین مولکولی ژله سخت‌تر می‌شود. Abang و Zaidel و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند خصوصیات رئولوژی ژل‌های پکتینی حاوی کلرور کلسیم تا حدودی به غلظت پکتین بستگی دارد. در مطالعه‌ی دیگری Yang و همکاران (۲۰۱۷) در نتیجه پژوهش خود گزارش کردند پکتین استخراج شده از پالپ سیب‌زمینی به روش اسیدی در گروه پکتین‌های با درجه متوکسیل پایین طبقه‌بندی گردیده است ولی درجه استیلاسیون آن بالاتر از ۸ درصد بود که به مراتب بالاتر از درجه استیلاسیون پکتین تجاری مرکبات (۱/۴ تا ۱/۶ درصد) و پکتین سیب (۵ درصد) بود و جزء پکتین‌های استیل بالا طبقه‌بندی گردید. درجه استیلاسیون می‌تواند حلالیت و ژلاتینه شدن پکتین را تحت تأثیر قرار دهد لازم به ذکر است افزایش گروه‌های استیل نقش مثبتی در خصوصیات امولسیفایری پکتین دارند (Willats, Alarcao-Silva et al., 2001) و همکاران (۱۹۹۶) گزارش کردند میزان سختی ژله کم‌کالری تولیدشده با پکتین طبق آفتابگردان نسبت به نمونه شاهد بیشتر بود.

استخراج شده از پوست سیب‌زمینی، پکتین مرکبات و پکتین سیب نشان داد، بالاترین نیروی لازم برای شکنندگی ژله‌ها (۲۸/۴۲ نیوتن) متعلق به ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی و پایین‌ترین نیروی لازم برای شکنندگی ژله در نمونه تهیه شده از پکتین سیب (۲۴/۷۲ نیوتن) بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و ژله تهیه شده از پکتین مرکبات نداشتند. در واقع اختلاف معنی‌داری بین میزان سختی و نیروی لازم برای شکنندگی ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی و پکتین مرکبات و سیب مشاهده نگردید. علت این نتیجه را می‌توان مربوط به بهینه‌سازی شرایط استخراج پکتین از پوست سیب زمینی و تولید ژله دانست که باعث فراهم نمودن شرایط لازم برای تشکیل ژل مناسب از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی گردیده است. مطالعات سایر محققین نشان داده است یکی از روش‌های تقویت خاصیت ایجاد ژل، pH بالا است. در pH‌های بالا گروه‌های کربوکسیل موجود در مولکول گالاکتورونیک اسید پکتین به صورت کامل یونیزه می‌شوند و شرایط بهتری برای تشکیل اتصالات بین رشته‌ای و تشکیل ژل ایجاد می‌گردد (مصباحی و جمالیان، ۱۳۸۱). در pH‌های بالا

جدول ۶- بررسی خصوصیات بافتی ژله تهیه شده با پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در شرایط بهینه و مقایسه آن با پکتین‌های تجاری

نوع پکتین	سختی (N)	نیروی لازم برای شکنندگی (N)
پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی	۳۰/۳۴۰±۰/۶۷۹ ^a	۲۸/۴۲۰±۰/۸۳۴ ^a
پکتین مرکبات	۲۹/۱۶۰±۰/۰۴۷ ^a	۲۵/۱۷۰±۰/۳۱۵ ^a
پکتین سیب	۲۸/۱۹۰±۰/۱۱۴۶ ^a	۲۴/۷۲۰±۰/۹۰۵ ^a

نتایج به صورت میانگین± انحراف معیار نشان داده شده است.

حروف یکسان نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در هر ستون می‌باشد.

استخراج شده از پوست سیب‌زمینی نداشتند. بررسی امتیاز طعم ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی، پکتین مرکبات و پکتین سیب نشان داد، بالاترین امتیاز طعم (۴/۳۸) متعلق به ژله تهیه شده از پکتین سیب و پایین‌ترین امتیاز طعم متعلق به ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی (۴/۲۴) بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از مرکبات نداشتند. بررسی امتیاز پذیرش کلی ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی، پکتین مرکبات و پکتین سیب نشان داد، بالاترین امتیاز پذیرش کلی (۴/۳۸) متعلق به ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی بود. مصباحی و جمالیان (۱۳۸۱) پکتین استخراج شده از تفاله چغندر قند را در سس مایونز استفاده نمودند و دریافتند که ویسکوزیته و قوام سس‌های حاصل قابل قبول بوده و نسبت به پکتین تجاری نیز قابل مقایسه بوده است. قاطع فر و همکاران (۱۳۸۶) از پکتین استخراج شده

مقایسه خصوصیات حسی ژله تهیه شده از پکتین

استخراج شده از پوست سیب‌زمینی با پکتین‌های تجاری

نتایج حاصل از ارزیابی خصوصیات حسی ژله تهیه شده با پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در شرایط بهینه و مقایسه آن با ژله‌های حاوی پکتین‌های تجاری سیب و مرکبات در جدول ۷ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف معنی‌داری بین امتیاز رنگ، طعم و قابلیت پذیرش کلی ژله‌های تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی و پکتین مرکبات و سیب مشاهده نگردید.

بررسی امتیاز رنگ ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی، پکتین مرکبات و پکتین سیب نشان داد، بالاترین امتیاز رنگ (۴/۷۸) متعلق به ژله تهیه شده از پکتین سیب و پایین‌ترین امتیاز رنگ متعلق به ژله تهیه شده از پکتین مرکبات (۴/۶۲) بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و ژله تهیه شده از پکتین

از طبق آفتابگردان در فرمولاسیون ژله کم کالری حاوی غلظت‌های مختلف شکر، pH و کلرور کلسیم استفاده نمودند و اختلاف معنی‌داری بین خواص حسی تیمارهای مورد آزمون مشاهده نکردند. Poiana و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند خواص حسی مرباهای تهیه شده با پکتین استخراج شده از پوست پرتقال، پوست لیمو و پکتین تجاری قابل قبول ارزیاب‌ها بود. آن‌ها پیشنهاد کردند برای تولید مربا از پکتین استخراج شده از میوه‌های بومی استفاده شود تا از

این محصولات ضایعاتی نیز استفاده مفید گردد. Alarcao-Silva و همکاران (۱۹۹۶) ژله کم کالری با استفاده از پکتین کم استر آفتابگردان و آب انگور درست نمودند و گزارش کردند خواص کیفی پکتین تجاری و پکتین کم استر طبق آفتابگردان بسیار مشابه بود. آن‌ها گزارش نمودند ژله‌های تولید شده از پکتین کم استر آفتابگردان سختی بیشتری داشتند ولی اندکی حباب کوچک هوا در آن‌ها مشاهده می‌شد و اندکی از نظر طعم و آروما در سطح پایین‌تر قرار داشتند.

جدول ۷- بررسی خصوصیات حسی ژله تهیه شده با پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در شرایط بهینه و مقایسه آن با پکتین‌های تجاری

نوع پکتین	رنگ	طعم (مزه و بو)	قابلیت پذیرش کلی
پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی	۴/۷۳۰.±۰/۲۱۲ ^a	۴/۲۴۰.±۰/۷۶۳ ^a	۴/۳۸۰.±۰/۵۰۹ ^a
پکتین مرکبات	۴/۶۲۰.±۰/۳۸۱ ^a	۴/۳۲۰.±۰/۶۰۸ ^a	۴/۲۳۰.±۰/۶۰۸ ^a
پکتین سیب	۴/۷۸۰.±۰/۲۵۴ ^a	۴/۳۸۰.±۰/۸۶۲ ^a	۴/۳۲۰.±۰/۵۳۷ ^a

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.
حروف یکسان نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در هرستون می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از پکتین استخراج شده از پوست‌زمینی با شرایط بهینه ژله تهیه شد. با توجه به اینکه پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی دارای درجه متوکسیل پایین بود بنابراین غلظت پکتین، pH و میزان کلرور کلسیم عوامل تأثیرگذار بر خصوصیات بافتی ژله بودند. مطابق با نتایج با افزایش غلظت پکتین، میزان کلرور کلسیم و pH، سختی ژله به صورت معنی‌داری ($p \leq 0.05$) افزایش یافت. میزان نیروی لازم برای شکندگی ژل تیمارهای مورد آزمون با افزایش غلظت پکتین، pH و غلظت کلرور کلسیم از ۱۵ تا ۳۰ میلی گرم/گرم پکتین افزایش یافت. بهینه سازی شرایط تهیه ژل حاوی پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی برای دستیابی به بالاترین میزان سختی ژل (۳۰/۰۹۵۹ نیوتن) و نیروی لازم برای شکستن ژل (۲۷/۳۴۳۱ نیوتن) به صورت هم زمان با ۹۴/۳۳ درصد مطلوبیت در شرایط pH برابر با ۴، میزان کلرور کلسیم ۳۵/۲۲۸۶ میلی گرم/گرم

پکتین و غلظت پکتین ۱ درصد مشاهده گردید. شرایط بهینه تولید ژله حاوی پکتین پوست سیب‌زمینی برای ژله‌های تجاری پکتین مرکبات و سیب اعمال گردید و خواص بافتی، فیزیکی‌شیمیایی و حسی آن‌ها با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین ژله‌های تهیه شده با پکتین پوست سیب‌زمینی با ژله‌های تجاری مرکبات و سیب مشاهده نگردید. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد با استفاده از بهینه‌سازی شرایط تولید می‌توان از پکتین پوست سیب‌زمینی در فرمولاسیون ژله استفاده نمود و ژله‌ای با خواص کیفی مطلوب و قابل مقایسه با پکتین‌های تجاری متداول تولید نمود. از آنجایی که پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی درجه استریفیکاسیون پایینی دارد، بنابراین در محدوده بیشتری از pH توانایی تشکیل ژل دارد و برای تشکیل ژل نیاز به شکر ندارد و می‌توان از آن در طیف وسیع‌تری از مواد غذایی به خصوص محصولات کم کالری و رژیمی استفاده نمود.

منابع

- Alarcao Silva, M.L., Azimheira, H.G., Januario, M.I.N., Leitao, M.C.A., & Curado, T.C. 1996. Production of hypocaloric jellies of grape juice with sunflower pectin. *Progress in Biotechnology*, 14, 931-939.
- Azadbakht, M., Tabaey, M.H., & Sabet Ahd Jahromi, A. 2003. The comparison of various methods for extraction and isolation of pectin from citrus decumana Murry. *Journal of pharmaceutical Sciences*, 1, 21-28 (In Persian).
- Ayase, A., Ahmadi Zenor, A., Hamdami, N., & Valizadeh, M. 2005. Extract pectin from sunflower and study its functional properties. *Agricultural Knowledge*, 4(15), 129-113 (In Persian)
- Abang Zaidel, D.N., Zainudin, N.N., Mohd Jusoh, Y.M., & Muhamad, I.I. 2015. Extraction and characterization of pectin from sweet potato (*Ipomoea Batatas*) pulp. *Journal of Engineering Science and Technology*, 3, 22-29.
- Baiano, A. 2014. Recovery of Biomolecules from Food Wastes- A Review. *Molecules*, 19(9), 14821-14842.
- Chang, K.C., & Miyamoto, A. 1992. Gelling characteristics of pectin from sunflower head residues. *Journal of food science*, 57, 1435-1438.

- Fathi, B., Maghsoudlou, Y., Ghorbani, M. & Khamiri, M. 2012. Effect of pH, temperature and time of acidic extraction on the yield and characterization of pectin obtained from pumpkin waste. *Journal of Food Industry Research*, 22(4), 465-475 (In Persian).
- Gatefar, R., Ahmadi Zenoz, A., Ghasemzadeh, H.R., Ayase, A., & Mohammadi, S.A. 2007. Produce low-calorie jelly apple juice using pectin extracted from sunflower. *Journal of Agricultural Knowledge*, 17(1), 109-118 (In Persian).
- Gullon, P. 2013. A review on the extraction of pectin from different raw Material. *Anhui agricultural science bulletin*, 3, 31-37.
- Hosseini Nezhad, M., Mohtashami, M., Kamali, S., & Elahi, M. 2015. Optimizing the formula of a low calorie fruit powder jelly using sucralose and isomalt. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 3(1), 65-74 (In Persian).
- Hosseini, S.S., Khodaiyan, F., & Barazande, S. 2017. Extraction and Comparison of the Physicochemical Properties of Pectin Extracted from Pineapple, Samsuri and Galia Melon Peels Assisted by Microwave. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 11(4), 71-80 (In Persian).
- Iglesias, M.T., & Lozano, J.E. 2004. Extraction and characterization of sunflower pectin. *Journal of food engineering*, 62(3), 215-223.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 2009. of measuring the amount of pH, acidity, birix methods. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 2682 (In Persian).
- Kim, W.J., Sosulski, F., & Campbell, S.J. 1978. Fomrulation and characteristics of low esters gels from sunflower pectin. *Journal of food Scinece*, 43(3), 746-7 49.
- Keramat, J., Kabir, G.M., & Ghenati, B. 2002. Qualitative and quantitative study of pectins extracted from the orange juice concentrate production process waste. *Agricultural science and technology and natural resources*, 6(4): 141-148 (In Persian).
- Kuuvu, T., Lantto, R., Reinikainen, T., Buchert, J., & Autio, K. 2003. Rheological properties of laccase-induced sugar beet pectin gels. *Food Hydrocoll*, 17 (5), 679-84.
- Kratchanova, M., Pavlova, E., Panchev, I., & Kratchanov, C. 2012. Influence of microwave Pretreatment of Fresh orange Peels on Pection extraction. *Progress in Biotechnology*, 14, 941-946.
- Khan, A.A., Butt, M.S., Randhawa, M.A., Karim, R., Sultan, M.T. & Ahmed, W. 2014. Extraction and characterization of pectin from grapefruit (Duncan cultivar) and its utilization as gelling agent. *International Food Research Journal*, 21(6), 2195-2199.
- Kaya, M., Sousa, A.G., Crépeau, M.J., SØrensen, S.O., & Ralet, M.C. 2014. Characterization of citrus pectin samples extracted under different conditions: influence of acid type and pH of extraction. *Annals of botany journal*, 114(6), 1319-1326.
- Mesbahi, G.R., & Jamalian, J. 2002. Investigation of pectin extracted from sugar beet pulp and its application in food products. *Agricultural Sciences and Technology and Natural Resources*, 6(2), 125-137 (In Persian).
- Mosayebi, V., Emam-Djomeh, Z. & Tabatabaei Yazdi, F. 2017. Optimization of extraction conditions of pectin by conventional method from black mulberry pomace. *Quarterly Journal of Food Science and Technology*, 62(14), 341-356 (In Persian).
- Nawawi, S.A., & Heikal, Y.A. 1996. Production of pectin pomace and recovery of leach liquids from orange peel. *Journal of food engineering*, 28(3-4), 341- 347.
- Nateghi, L., Ansari, S., Shahab Lavasani, A. R. 2017. Investigation of yield and physicochemical properties of pectin extracted from eggplant peel. *Food Science and Technology*, 73(14), 13- 30 (In Persian).
- Nateghi, L. & Ansari, S. 2017. Investigation of yield and physicochemical properties of pectin extracted from eggplant cap. *Journal of Modern Food Technologies*, 5(2), 219-239 (In Persian).
- Ptichkina, N.M., Markina, O.A., & Rumyantseva, G.N. 2008. Pectin extraction from pumpkin with the aid of microbial enzymes. *Food Hydrocolloids*, 22(1), 192-195.
- Poiana, M.A., Munteanu, M.F., Bordean, D.M., Gligor, R., & Alexa, E. 2013. Assessing the effects of different pectins addition on color quality and antioxidant properties of blackberry jam. *Chemical cent journal*, 7, 121.
- Ridley, B.L., O'Neill, M.A., & Mohnen, D. 2001. Pectins: structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. *Phytochemistry*, 57, 929-967.
- Raji, Z., Khodaiyan, F., Kiani, H., Hosseini, S.S., & Rezaei, K. 2017. Extraction optimization and physicochemical properties of pectin from melon peel. *International journal of biological macromolecules*, 98, 709-716.
- Szczesniak, A.S. 2002. Texture is a sensory property. *Food quality and preference*, 13(4), 215-225.
- Sharma, M.A. 2006. Effect of variety and acid washing method on extraction yield an quality of sunflower head pectin. *Food Chemistry*, 83(1), 43-47.
- Sahan, N., Yasar, K., & Hayaloglu, A.A. 2008. Physical, chemical and flavour quality of non-fat yogurt as affected by a β -glucan hydrocolloidal composite during storage. *Food Hydrocolloids*, 22(7), 1291-1297.
- Sepelev, I., & Galoburda, R. 2015. Industrial potato peel waste application in food production: A Review. Research for Rural Development, *Food Sciences*, 1, 130-136.

- Salehi, F. 2017. Rheological and physical properties and quality of the new formulation of apple cake with wild sage seed gum (*Salvia macrosiphon*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 2006-2012.
- Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V., & Prakash Maran, J. 2014. Process optimization and analysis of microwave assisted extraction of pectin from dragon fruit peel. *Journal of Carbohydrate Chemistry*, 112, 622-626.
- Willats, W.G., McCartney, L., Mackie, W., & Knox, J. P. 2001. Pectin: Cell biology and prospects for functional analysis. *Plant Molecular Biology*, 47(1-2), 9-27.
- Yapo, B., Robert, C., Etienne, I., Wathelet, B., & Paquot, M. 2007. Effect of extraction conditions on the efficiency, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts. *Food Chemistry*, 100, 1356-1364.
- Yin, Y.G., Fan, X.D., Liu, F.X & Yu, Q.U. 2009. Fast extraction of pectin from apple pomace by high intensity pulsed electric field. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 39(5), 1224-1228.
- Yang, J.S., Mu, T.H., & Ma, M.M. 2017. Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato pulp. *Food chemistry*, 244, 197-255.
- Zaidel, D.N.A., & Hamidon, N.H. 2017. Effect of extraction conditions on pectin yield extracted from sweet potato peels residues using hydrochloric acid. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 979-984.
- hokas, Mikko., Vålmaa, A.L., Lötjönen, Timo., Kankaala, A., Taskila, Sanna and Virtanen, Elina (2014). Resource assessment for potato biorefinery: Side stream potential in Northern Ostrobothnia. *Agronomy Research* 12: 695-704



Optimizing of production conditions of jelly using pectin extracted from potato peel and examining its texture, physicochemical and sensory properties comparison with commercial pectin's

A. Kashani¹, M. Hasani¹, L. Nateghi^{*2}, M. J. Asadollahzadeh¹, P. Kashani¹

Received: 2020.04.06

Accepted: 2020.07.18

Introduction: Nowadays, the demand for low calorie food based and keeping primary features including texture and taste is increasing. Jelly is one of low calorie products produced from fruits and other components, and its consumption is increasing for human health. Jelly is semi-solid and transparent product that prepared with the use of sugar or juice and pectin or gelatin and flavor and color may also be added. Potato peels contain valuable substances such as pectin. Using potato peels to produce pectin with appropriate properties can solve the environmental issue resulting from these wastes in addition to make value added product. Pectin is a complex polysaccharide that is found in the wall of early plant texture and in the intercellular layer. Pectin contains a group of rich polysaccharides of galacturonic acid units with lower amounts of different sugars (Baiano, 2014). Two commercial forms of pectin are available: high-methoxyl and low-methoxyl pectin (high ester and low ester pectin). High-ester pectin forms a gel in a solutions containing high soluble solids and acidic systems, whereas low-ester pectins form more gel at wider pH and range of solids content but they do require divalent cations to form the gel (Kratchanova et al., 2012). In the food industry, pectin is used as a jelly-making agent, especially in the production of jellies and jams. Pectin is also used in fillers, medicine, pastries, bakery products and also as a stabilizer in juices and beverages, as well as in dietary fiber (Sharma, 2006). Pectin also has therapeutic benefits such as lowering blood cholesterol levels, removing heavy metal ions from the body, stabilizing blood pressure and facilitating intestinal activity (Ptichkina et al., 2008). Temperature, pH, and acid extraction time are the most important factors affecting the extraction yield and quality of produced pectin (Yapo et al., 2007). Currently, almost all commercial pectins are produced from citrus or apple peels, both of which are juices by-products (Thirugnanasambandham et al., 2014). Therefore, the main objective of this study was to optimize the conditions of extraction of pectin from potato peel by response surface methodology and to compare the physicochemical properties of Jelly produced from potato peel under optimum conditions with Jelly produced from apple and citrus

Material and methods: Potato of Granola variety was purchased from the local market in Ardebil. The chemicals used for the tests include: citric acid, sodium hydroxide, phenolphthalein, and Calcium chloride were purchased from Merck Company (Germany). The method of Hoseeni et al (2017) was used for jelly production with slight modification as follows. In the First step, 0.5 and 1% pectin extracted from potato peelings, 30 % Sugar, 0.014 % Cherry edible color and 0.75 % Cherry essential oil were mixed then 100 CC Boiling water was added to the mixture and mixed again. After the sugar was completely dissolved, 15, 30, and 45 mg of calcium chloride was added per gram of pectin. The pH of the samples was regulated by citric acid solution on 2.5 and 4. The heating of the samples was continued until the brix of the treated treatments was set to 42. The prepared samples were kept at room temperature for half an hour. The treatments were then refrigerated for 2 to 3 hours to complete the jelly closing process. For this purpose some jelly characteristics such as texture properties, physico-chemical (pH, acidity, brix, moisture and Drainage) and sensory properties of samples were investigated using five point hedonic scale. A one-way analysis of variance and Duncan test ($P \leq 0.05$) in three replications were used to establish the significance of differences in the experimental data. The results were analyzed using the Minitab version 16.

Results & Discussion: Results showed that by increasing calcium chloride, pH and Pectin concentration had a significant effect on increasing the hardness of the gel and the strength needed to make the gel brittle ($P \leq 0.05$). The highest hardness of the gel in pectin emulsion extracted from potato peel was 30.0959 N and highest force required to break the gel was 27.3431 N in the most severe extraction conditions at Calcium chloride 35.2286 mg/g, Pectin concentration 1% and pH 4. Results of physico-chemical properties showed that there was no significant difference between pH, acidity, brix and moisture of jelly made from apple pectin and citrus and apple commercial pectin. The results of the syneresis showed that the syneresis by the jelly of potato pectin is not similar with jelly from apple pectin and citrus and apple commercial pectin significantly different. Also Results of sensory properties showed that it was no

1Department of food Science and Technology, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran

2. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

(*Corresponding author Email: leylanateghi@yahoo.com)

significant difference between jelly from apple pectin and citrus and apple commercial pectin. The results of this study showed that by optimizing the production conditions, potato pectin can be used in jelly formulation and jelly can be produced with desirable and comparable quality compared to the commercial pectins

Keyword: Jelly, Pectin, potato peel, Texture properties, physico-chemical properties, sensory properties



مقاله پژوهشی

ریزپوشانی پروتئین هیدرولیز شده ی گرده گل با کنستانتره پروتئین آب پنیر و فایبرزول و بررسی پایداری و ساختاری ریزکپسول‌ها

حسین محب‌الدینی^{۱*} - عاطفه مقصودلو^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۶

چکیده

ریزپوشانی پروتئین‌ها و پپتیدها در حفظ ساختار و ویژگی‌های عملکردی آنها تاثیرگذار است. در این پژوهش به منظور حفظ ساختار و پایداری پروتئین هیدرولیز شده گرده گل در مقابل عوامل تخریب کننده، ریزپوشانی پروتئین هیدرولیز شده توسط خشک کن پاششی با کنستانتره پروتئین آب پنیر (WPC) و فایبرزول و مخلوط آنها انجام شد. ترکیب دیواره و پودر پروتئین هیدرولیز شده با نسبت ۱۰ به ۱ وزنی - وزنی استفاده شدند. ترکیب مورد استفاده برای دیواره شامل WPC ۲ درصد، فایبرزول ۲ درصد، همچنین مخلوط WPC و فایبرزول با نسبت ۱ به ۳ بود. به منظور تسريع واكنش‌های اکسایشی، کپسول‌های حاصل به مدت ۴۸ ساعت در معرض اشعه UV قرار گرفتند. بیشترین میزان مهارکنندگی رادیکال (DPPH) در مدت در معرض قرار گیری اشعه UV مربوط به کپسول با دیواره مخلوط فایبرزول و WPC بود. نتایج طیف‌سنجی (FTIR) نشان داد دیواره ترکیبی فایبرزول و WPC بهترین عملکرد را در حفظ ساختار شیمیایی کپسول‌ها داشته است. تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی رومیزی (SEM) نشان داد ریزکپسول‌هایی که دارای دیواره مخلوط فایبرزول و WPC بودند، دیواره یکنواخت و صاف‌تری نسبت به ریزکپسول‌های با دیواره فایبرزولی بودند. در نهایت مخلوط WPC و فایبرزول به عنوان بهترین دیواره با قابلیت محافظتی مناسب به منظور ریزپوشانی پروتئین‌های هیدرولیز شده و محافظت از آنها در مقابل عوامل تخریب کننده انتخاب گردید.

واژه‌های کلیدی: پروتئین هیدرولیز شده گرده، ریزپوشانی، خشک کن پاششی، فایبرزول، کنستانتره پروتئین آب پنیر

مقدمه

می‌شود (Su *et al.*, 2011; Patsialas *et al.*, 2012). موادی که به عنوان دیواره یا پوشش در ریزپوشانی با خشک کن پاششی به کار می‌روند شامل صمغ عربی، مالتودکسترین، فایبرزول، نشاسته‌های تغییر یافته و مخلوط آنها، ایزوله‌ها و کنستانتره‌های پروتئینی مثل پروتئین آب پنیر و پروتئین سویا می‌باشند (Shen and Quek, 2014). فایبرزول نوعی فیبر رژیمی است که قابلیت استفاده در بسیاری از مواد غذایی و مکمل‌های غذایی را دارد. این ترکیب کربوهیدراتی در واقع مالتودکسترین مقاوم به هضم بوده و اخیراً در عملیات ریزپوشانی به عنوان ماده دیواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zhong *et al.*, 2015). به عنوان مثال Pudziuvelyte و همکاران (۲۰۱۹) فایبرزول را به عنوان یکی از ترکیبات دیواره‌ای در ریزپوشانی عصاره‌های فنلی توسط تکنیک خشک کردن پاششی مورد استفاده قرار دادند. آنها اعلام کردند که فایبرزول عملکرد خوبی در حفظ فعالیت آنتی‌اکسیدانی

اکثر ترکیبات پروتئینی مانند داروها و غذا داروها به دلیل حساسیت آنها به شرایط اسیدی معده و روده، دنا توره شده و اثربخشی خود را از دست می‌دهند (Kanbargi *et al.*, 2017). ریزپوشانی این ترکیبات در حفظ ساختار و ویژگی‌های عملکردی آنها تاثیرگذار است. گرده گل حاوی ۱۰ تا ۴۰ درصد پروتئین است. با توجه به ویژگی‌های عملکردی و سلامتی بخشی پروتئین‌های گرده گل، منبع پروتئینی ارزشمندی به شمار می‌آید. با انجام عمل هیدرولیز و تولید پپتیدهای زیست‌فعال، اثرات سلامتی بخشی و عملکردی آنها افزایش می‌یابد (Maqsoudlou *et al.*, 2018). تاکنون روش‌های گوناگونی به منظور ریزپوشانی ترکیبات پروتئینی و پپتیدی مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از خشک کن پاششی رایج‌ترین روش حفظ مواد فعال و حساس غذایی از جمله پروتئین‌ها و پپتیدها است که موجب افزایش پایداری این ترکیبات

*-نویسنده مسئول: (Email: h.mohebodini@uma.ac.ir)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.86412

۱- دکترای علوم دامی، گروه تغذیه زنبور عسل، عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

۲- دانش‌آموخته دکتری، گروه شیمی مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

آلژینات از طریق پیوند هیدروژنی بین مولکولی و نیروی الکتروستاتیک با یکدیگر ترکیب شده و ماتریکس بسیار مقاومی در دیواره ریزکپسول‌ها به وجود آوردند. ترکیب شدن پروتئین و کربوهیدرات باعث تغییر در محل و شدت باندهای مربوط به ساختارهای دوم پروتئین گردید.

Gómez-Mascaraque و López-Rubio (۲۰۱۶) ویژگی مرفولوژیکی ریزکپسول‌های حاصل از ریزپوشانی پروتئین آب پنیر هیدرولیز شده به روش خشک کردن پاششی با ژلاتین و کیتوزان را با استفاده از SEM مورد بررسی قرار دادند. ساختار ریزکپسول‌های حاصله تقریباً کروی بوده و از نظر میزان صاف بودن سطح، غیریکنواخت بودند. آنها بیان داشتند که این غیریکنواختی معمولاً در ذرات حل شده در محلول‌های آبی که با استفاده از خشک‌کن پاششی خشک شده‌اند معمول است.

علیرغم اینکه پژوهش‌های مختلفی در زمینه ریزپوشانی ترکیبات غذایی زیست‌فعال انجام شده است، مطالعات در مورد ریزپوشانی پروتئین‌های هیدرولیز شده و بررسی پایداری آنها در شرایط تسریع یافته کم است؛ از طرف دیگر محصولات جانبی زنبور عسل از جمله گرده در کشور ایران کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این مسئله ضرورت انجام این پژوهش را روشن می‌کند. بنابراین هدف از انجام این پژوهش ریزپوشانی پروتئین هیدرولیز شده گرده گل توسط خشک‌کن پاششی با فایبرزول و کنستانتره آب پنیر به منظور حفظ ساختار و پایداری ریزکپسول‌های حاصله در شرایط تسریع یافته می‌باشد. در این راستا بررسی پایداری ریزکپسول‌ها با استفاده از آزمون آنتی‌اکسیدانی، بررسی ساختار شیمیایی و برهم‌کنش‌های شیمیایی بین ماده دیواره‌ای و پروتئین هیدرولیز شده کپسوله شده با استفاده از FTIR و بررسی ساختار مرفولوژیکی ریزکپسول‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی پروتئین هیدرولیز شده

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در دانشگاه محقق اردبیلی و موسسه فناوری کشاورزی و مواد غذایی (IATA) شهر والنسیا در کشور اسپانیا انجام شد. گرده گل از مرکز پرورش زنبور عسل و خدمات گرده افشانی واقع در استان اردبیل تهیه شد. پودر گرده با استفاده از هگزان با نسبت ۱ به ۳ به مدت ۲۴ ساعت با استفاده از همزن مغناطیسی چربی‌زدایی شد (Maqsoudlou et al., 2018). به منظور هیدرولیز آنزیمی، گرده چربی‌زدایی شده (با ۱۴/۵ درصد پروتئین) در فسفات بافر ۰/۱ مولار (۸ pH) با نسبت ۱ به ۵ حل شد و با استفاده از هموژنایزر اولتراسونیک هموژن گردید. هیدرولیز آنزیمی گرده چربی‌زدایی شده با استفاده از آلکالاز (غلظت ۱/۵ درصد) در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۸ pH به مدت ۴ ساعت در انکوباتور شیکردار انجام شد. در نهایت واکنش آنزیمی

عصاره‌های فنی و همچنین افزایش بازدهی ریزپوشانی از خود نشان داد. در کار پژوهشی دیگر Pai و همکاران (۲۰۱۵) از فایبرزول به عنوان ماده دیواره‌ای در ریزپوشانی نارنجین استفاده کردند که باعث افزایش بازدهی ریزپوشانی و حفظ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ریزکپسول‌ها گردید. پژوهشگران از ترکیبات دیواره‌ای مختلفی به منظور ریزپوشانی پروتئین‌ها و پپتیدها استفاده کرده‌اند و پایداری و ویژگی‌های ساختاری آنها را مورد بررسی قرار داده‌اند. Molina و همکاران (۲۰۰۹) کازئین هیدرولیز شده را با استفاده از ایزوله پروتئینی سویا، به روش خشک کردن پاششی ریزپوشانی کردند. نتایج بررسی ساختار بیرونی کپسول‌ها توسط SEM نشان داد که ریزکپسول‌های تولید شده ساختاری کروی و فاقد خراش، ترک یا شکستگی داشتند و باعث محافظت مناسب مواد داخلی ریزکپسول‌ها گردید. Kanbargi و همکاران (۲۰۱۷) به منظور ریزپوشانی پروتئین هیدرولیز شده حاصل از *Ziziphus jujube* از سدیم آلژینات به عنوان ماده دیواره‌ای استفاده کردند. نتایج نشان داد با افزایش مدت زمان نگهداری، قدرت مهار رادیکال DPPH پروتئین هیدرولیز شده به شدت کاهش یافت، اما قدرت مهار رادیکال DPPH پروتئین هیدرولیز شده ریزپوشانی شده تقریباً ثابت ماند. نتایج طیف‌سنجی FTIR نشان داد که پیوندهای عرضی بین پپتیدها و سدیم آلژینات برقرار شده بود. نتایج بررسی مرفولوژیکی با استفاده از SEM نشان داد سطح ریزکپسول‌های تولید شده، صاف‌تر، کروی‌تر و یکنواخت‌تر بود.

Mohan و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از لیپوپروتئین سویا به ریزپوشانی وی پروتئین هیدرولیز شده پرداختند. مقایسه نتایج طیف‌سنجی FTIR نشان داد پپتیدهای آبگریز با بخش لیپیدی دیواره و پپتیدهای آبدوست با بخش پروتئینی و قطبی دیواره پیوند برقرار کردند. Torres-Giner و همکاران (۲۰۱۷) به منظور ریز پوشانی عصاره آلورا از کنستانتره وی پروتئین و مالتودکسترین استفاده کردند. آنها از اشعه UV به عنوان یک عامل تسریع‌کننده واکنش‌های اکسایشی و بررسی مقاومت ریزکپسول‌ها پرداختند. نتایج FTIR نشان داد الحاق پلی‌ساکارید و پروتئین باعث کاهش شدت جذب مربوط به باند کششی C-H گردید. از طرفی در ساختار شیمیایی کنستانتره پروتئین آب پنیر به تنهایی و همچنین عصاره ریزپوشانی شده با آن، با قرارگیری در معرض UV تغییر قابل توجهی حاصل نشد. نتایج بررسی مرفولوژیکی ریزکپسول‌ها نشان داد کپسول‌های تهیه شده با دیواره پروتئینی و ترکیب پروتئین و کربوهیدرات سطح صاف‌تر، بدون چروک‌تر و با استقامت تری داشتند. Su و همکاران (۲۰۱۱) از ترکیب آلژینات و کلاژن به عنوان ماده دیواره‌ای کپسول استفاده کردند. نتایج بررسی مرفولوژیکی ریزکپسول‌ها با استفاده از SEM نشان داد ساختار ریزکپسول‌ها کروی بود و با افزایش نسبت پروتئین به کربوهیدرات در دیواره، تعداد ترک‌های دیواره کاهش یافت و ساختار میکروذرات مقاوم‌تر گردید. نتایج طیف‌سنجی FTIR نشان داد کلاژن و سدیم

WPC مورد بررسی و شناسایی قرار گرفت. در این سیستم طیف‌های تکی و منفرد از مواد با میانگین ۲۰ اسکن با دقت 4 cm^{-1} در محدوده 400 cm^{-1} تا 4000 cm^{-1} جمع‌آوری شدند (Torres-Giner et al., 2017).

بررسی ویژگی ضد اکسایشی ریزکپسول‌ها

ویژگی ضد اکسایشی ریزکپسول‌ها و پروتئین هیدرولیز شده در طی قرارگیری در معرض اشعه UV در ساعت‌های صفر، یک، دو، سه، پنج، هفت، نه، یازده و چهل و هشت اندازه‌گیری و روند تغییرات آنها با یکدیگر مقایسه گردید (Torres-Giner et al., 2017). ویژگی ضد اکسایشی بر اساس اندازه‌گیری قدرت مهار رادیکال DPPH طبق روش Hmidet و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد.

بررسی ویژگی مرفولوژیکی ریزکپسول‌ها

مرفولوژی ریزکپسول‌های به‌دست آمده بر اساس روش Torres-Giner و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از SEM^۳ و توسط میکروسکوپ الکترونی مدل S-4800-Hitachi (Tokyo, Japan) مورد بررسی قرار گرفت.

اندازه‌گیری راندمان ریزپوشانی

راندمان ریزپوشانی بر اساس روش Muangrat و همکاران (۲۰۱۹) با کمی تغییرات انجام شد. ۱۰۰ میلی گرم از پودر ریزپوشانی شده با ۱ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم 0.1 M (pH ۸) مخلوط شد و با استفاده از وورتکس به مدت ۱۵ دقیق هم زده شد. به منظور اندازه‌گیری میزان پروتئین سطحی (SPC^۴) در پودر ریزپوشانی شده از روش بردفورد استفاده شد. اندازه گیری راندمان ریزپوشانی (EE%) از معالۀ (۱) استفاده گردید.

TPC^۵ در این معادلۀ میزان پروتئین کل در محلول پروتئینی قبل از فرایند ریزپوشانی را نشان می‌دهد (μg/mL).
SPC در این معادلۀ میزان پروتئین در سطح پودر بعد از فرایند ریزپوشانی را نشان می‌دهد (μg/mL).

$$(1) \quad \text{راندمان ریزپوشانی (EE\%)} = \frac{TPC - SPC}{TPC} \times 100$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمون آنتی‌اکسیدانی به صورت طرح کاملاً تصادفی برای پروتئین هیدرولیز شده، ترکیب فایبرزول و پروتئین هیدرولیز شده، ترکیب فایبرزول، WPC و پروتئین هیدرولیز

در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه متوقف گردید. به منظور حذف ترکیبات اضافی، سانتریفوژ با دور ۴۰۰۰ g به مدت ۳۰ دقیقه انجام شد. پس از جمع‌آوری سوپرناتانت، با استفاده از خشک‌کن انجمادی خشک گردید (Maqsoudlou et al., 2018).

تهیه مخلوط‌های پروتئینی هیدرولیز شده و مواد دیواره

محلول‌های فایبرزول ۲ درصد، WPC^۲ ۲ درصد، همچنین محلول حاوی مخلوط فایبرزول و WPC با نسبت ۳ به ۱، با غلظت کلی (ترکیب دیواره) ۲ درصد وزنی-وزنی در آب دیونیزه تهیه شدند. به این منظور ابتدا پودر پروتئین هیدرولیز شده با نسبت ۱ به ۱۰ وزنی-وزنی نسبت به ترکیب دیواره، به آب دیونیزه اضافه شد و با استفاده از همزن مغناطیسی به مدت ۲ ساعت هم زده شد. سپس مواد دیواره‌ای با نسبت‌های گفته شده به آرامی اضافه شدند و هم‌زدن به مدت ۴ تا ۵ ساعت تا رسیدن به محلولی یکنواخت ادامه یافت (Gómez-Rosenberg et al., Mascaraque and López-Rubio, 2016).

خشک کردن با خشک‌کن پاششی

مخلوط‌های پروتئینی هیدرولیز شده و مواد دیواره تهیه شده، با استفاده از یک خشک‌کن پاششی (Butchi, B90، سوئیس) با دمای ورودی ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و دمای خروجی ۵۳ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوای ۱۴۰ لیتر در دقیقه و فشار ۴ بار خشک شدند. پس از جمع‌آوری پودر ریزکپسول‌های حاصله، به منظور جلوگیری از جذب رطوبت، پودرهای حاصله تا زمان انجام آزمون‌های مورد نظر در داخل دسیکاتور و در دمای اتاق دور از نور مستقیم نگهداری شدند (Gómez-Mascaraque and López-Rubio, 2016).

قرار گیری در معرض اشعه UV

به منظور تسریع اکسایش پروتئین هیدرولیز شده و بررسی پایداری ریزکپسول‌ها در برابر عوامل تخریبی، براساس روش Torres-Giner و همکاران (۲۰۱۷)، از اشعه UV به عنوان یک عامل تسریع کننده اکسایش استفاده شد. بر اساس این روش ریزکپسول‌های تولید شده، ماده دیواره‌ای و هسته به‌طور جداگانه به مدت ۴۸ ساعت در معرض اشعه UV قرار گرفتند.

طیف‌سنجی

با استفاده از طیف‌سنجی FTIR انواع پیوندهای فیزیکوشیمیایی و برهم‌کنش‌های بین ترکیبات پروتئین هیدرولیز شده و فایبرزول و

4 Surface protein content

5 Total protein content

2 - Whey protein concentrate

3 Scanning Electron Microscopy

شده و ترکیب WPC و پروتئین هیدرولیز شده در هر زمان و همچنین در کل مدت زمان نگهداری برای هر تیمار، به صورت جداگانه انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن و در سطح معنی‌داری ۵ درصد صورت گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۵ استفاده شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل (۲۰۱۳) تهیه گردیدند.

نتایج و بحث

مهار رادیکال DPPH ریزکپسول‌ها

نمودار مقایسه میانگین فعالیت مهار رادیکال ریزکپسول‌های تولید شده و روند تغییرات آن در طول دوره در معرض قرار گیری اشعه UV به عنوان عامل مخرب در جدول ۱ نشان داده شده است. تقریباً در تمامی زمان‌ها کپسول با دیواره مخلوط فایبرزول و WPC به طور معنی‌داری بیشترین میزان مهارکنندگی رادیکال را داشت. بعد از آن کپسول با دیواره WPC با اختلاف معنی‌داری بیشترین مهارکنندگی رادیکال را از خود نشان داد ($P < 0.05$). این مسئله را می‌توان به قابلیت مهار رادیکال DPPH در WPC نسبت داد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری فعالیت مهارکنندگی ترکیب دیواره‌های مورد استفاده نشان داد هیچ یک از دیواره‌ها قابلیت مهار رادیکال DPPH را نداشتند به جز WPC که

میزان فعالیت مهار رادیکال DPPH آن ۲۱٪ بود. برخی از پژوهشگران که معتقد هستند عملیات خشک کردن در طی فرآیند ریزپوشانی ممکن است باعث تخریب ساختار پپتیدهای موجود در داخل کپسول و کاهش فعالیت ضداکسایشی آنها گردد. هرچه نسبت ماده دیواره به هسته بیشتر باشد، کارایی کپسول در حفظ مواد هسته بیشتر خواهد بود (Sonawane and Arya, 2015; Kanbargi et al., 2017). در پژوهش حاضر با به کارگیری نسبت ماده دیواره به هسته ۱۰ به ۱ امکان حفاظت مناسب هسته در مقابل عامل تخریبی اشعه UV فراهم گردید؛ به جز کپسول با دیواره فایبرزول که میزان فعالیت ضداکسایشی آنها در زمان صفر کمتر از پروتئین هیدرولیز شده بود، عملیات خشک کردن در فرایند ریزپوشانی، تأثیر سوئی بر فعالیت ضد اکسایشی پروتئین هیدرولیز شده موجود در هسته بقیه کپسول‌ها نداشت. در واقع بر اساس مشاهدات می‌توان گفت ترکیب WPC با فایبرزول باعث افزایش کارایی آن در محافظت از هسته شد. در پژوهش‌های پیشین نیز مشخص شده است که حضور پروتئین آب پنیر در ترکیب امولسیون دیواره و هسته به عنوان یک امولسیفایر عمل کرده و کپسول‌هایی با کارایی بالا و دارای قابلیت محافظتی مناسب در مقابل عوامل اکسیدکننده تولید می‌کند (Shen and Quek, 2014; Chen et al., 2013).

جدول ۱- مقایسه میانگین تغییرات DPPH ریز کپسول‌های در معرض UV در گذر زمان.

زمان (ساعت)	پروتئین هیدرولیز شده	ریزکپسول‌های با دیواره WPC	ریزکپسول‌های با دیواره ترکیب WPC و فایبرزول	ریزکپسول‌های با دیواره فایبرزول
صفر	۸۸/۲۹±۰/۰۶۲	۸۸/۱۲±۰/۰۳۲	۸۸/۶۷±۰/۰۳۹	۸۵/۰۹±۰/۰۱۷
۱	۸۰/۸۲±۰/۰۷۱	۸۵/۷۲±۰/۰۸۹	۸۷/۸۲±۰/۰۱۷	۸۲/۷۸±۰/۰۲۰۸
۲	۸۲/۳۳±۰/۰۲۳	۸۷/۶۷±۰/۰۹۲	۸۹/۶۱±۰/۰۳۵	۸۳/۶۹±۰/۰۰۷۸
۳	۸۰/۶۶±۰/۰۱۴۵	۸۷/۷۱±۰/۰۲۱	۸۸/۴۲±۰/۰۱۹	۸۲/۶۸±۰/۰۳۳۴
۵	۸۱/۵۳±۰/۰۱۷۱	۸۸/۴۵±۰/۰۹۳	۸۸/۵۶±۰/۰۰۷۸	۸۴/۸۶±۰/۰۱۵
۷	۸۰/۶۹±۰/۰۱۷	۸۷/۶۳±۰/۰۲۰۱	۸۹/۱۸±۰/۰۱۹	۸۳/۹۲±۰/۰۰۹۶
۹	۸۱/۶۹±۰/۰۰۷۶	۸۷/۰۲±۰/۰۱۲	۸۶/۱۷±۰/۰۱۸	۸۲/۱۴±۰/۰۲۲
۱۱	۷۷/۷۳±۰/۰۰۵۲	۸۵/۸۲±۰/۰۰۸۹	۸۸/۴۹±۰/۰۱۴	۸۳/۵۸±۰/۰۰۵۸
۴۸	۶۵/۶۲±۰/۰۲۱	۸۶/۰۶±۰/۰۱۷	۸۶/۲۰±۰/۰۰۷۸	۸۵/۴±۰/۰۰۶

میانگین‌های با حروف انگلیسی کوچک یکسان برای تیمارهای مختلف در یک زمان مشخص تفاوت معنی‌دار ندارند ($P < 0.05$)

میانگین‌های با حروف انگلیسی بزرگ یکسان برای یک تیمار مشخص در زمان‌های مختلف تفاوت معنی‌دار ندارند ($P < 0.05$)

فعالیت مهار رادیکال WPC و فایبرزول در زمان صفر (شروع)، به ترتیب ۲۱ درصد و صفر بود.

DPPH کپسول‌ها تغییری ایجاد نکرده است. اما در ساعت یازدهم و چهل و هشتم در معرض قرارگیری اشعه UV، کاهش واضح و معنی‌داری در فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH هیدرولیز شده‌های پروتئینی به تنهایی مشاهده شد. با مشاهده این تفاوت بین فعالیت

در طول دوره انجام این آزمون، BHT به عنوان کنترل مثبت در نظر گرفته شد و فعالیت مهارکنندگی آن همواره بالای ۹۰٪ اندازه‌گیری شد. با بررسی دقیق‌تر فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH کپسول‌ها در طول مدت زمان، معلوم شد که اشعه UV در فعالیت مهار رادیکال

متقارن CO_3^{2-} و ارتعاشات مربوط به حلقه که به ترتیب به اسیدهای آمینه آزاد والین، گلوتامیک اسید و فنیل آلانین نسبت داده شده اند، را می‌توان دلیل ایجاد این پیک در این ناحیه دانست (Pavia et al., 2002). به هر صورت حضور اسیدهای آمینه آزاد در هیدرولیز شده‌های پروتئینی دور از انتظار نبود.

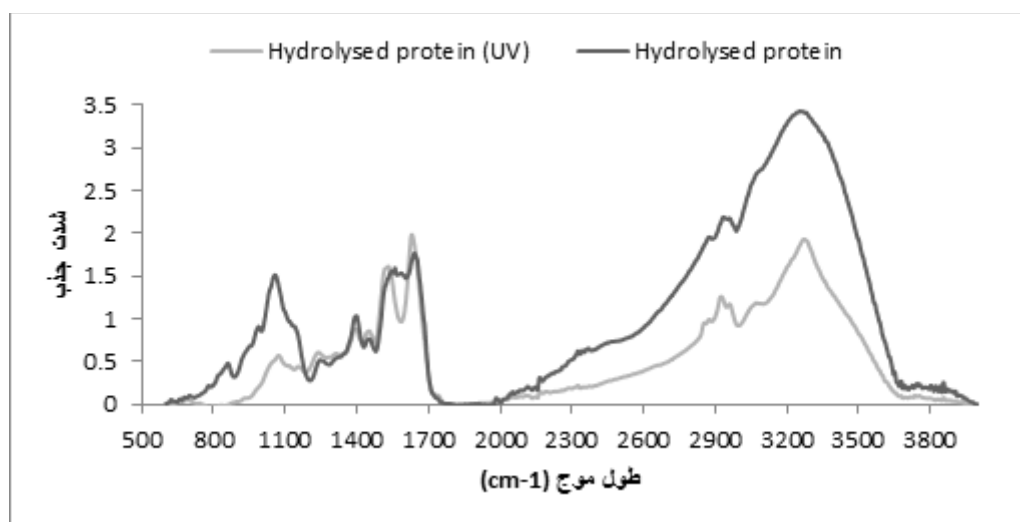
در محدوده $1700 - 1500 \text{ cm}^{-1}$ پیکی با جذب $1/5$ تا 2 مشاهده شد که می‌توان به گروه آمیدی نسبت داد. ارتعاش آمید I که مربوط به باند C=O می‌باشد، در محدوده $1700 - 1600 \text{ cm}^{-1}$ جذب دارد و ارتعاش آمید II که مربوط به باندهای N-H و C-N می‌باشد، در محدوده $1600 - 1500 \text{ cm}^{-1}$ جذب دارد (Van der Ven et al., 2002) که با نظر بسیاری از پژوهشگران مطابقت دارد (Wang et al., 2013؛ اسدپور و همکاران، ۲۰۱۶؛ Torres-Giner et al., 2017؛ Kanbargi et al., 2017؛ شیرازی و همکاران، ۱۳۸۴). Pavia و همکاران (۲۰۰۲) جذب در این ناحیه را بیان‌کننده ساختار صفحه‌ای بتا و ماریچ آلفا دانستند که ساختمان دوم پروتئین‌ها را نشان می‌دهند. پیک کوچکی با جذب $2/5$ در محدوده 2900 cm^{-1} مشاهده شد که بر اساس نظر Cabado و همکاران (۲۰۱۵) و Torres-Giner و همکاران (۲۰۱۷) مربوط به گروه کششی C-H است. گروه C-H یکی از بخش‌های اصلی ساختار آمینواسیدها است.

مهارکنندگی رادیکال DPPH هیدرولیز شده‌های پروتئینی کپسوله شده و کپسوله نشده، می‌توان به کارا بودن و نقش محافظتی دیواره‌ها به عنوان پوششی مناسب در حفظ ساختار هیدرولیز شده‌های پروتئینی و در نتیجه حفظ ویژگی عملکردی آنها پی برد. این نتایج با آنچه Kanbargi و همکاران (۲۰۱۷)، مظفری و همکاران (۲۰۰۶) و Zavareze و همکاران (۲۰۱۴) در این زمینه بیان کردند مطابقت داشت.

بررسی ساختاری کپسول‌ها با استفاده از FTIR

ارزیابی ساختار شیمیایی پروتئین هیدرولیز شده و ریزکپسول‌های تولید شده با استفاده از طیف‌سنجی FTIR صورت پذیرفت. شکل ۱ نمودار FTIR پروتئین هیدرولیز شده در شرایط قبل و بعد از قرارگیری آن در معرض اشعه UV را نشان می‌دهد. در محدوده 850 cm^{-1} پیک کوچکی با میزان جذب $0/5$ مشاهده شد که احتمالاً مربوط به باندهای آمیدی از جمله N-H ، C-N و C=O است. زیرا ثابت شده است که باندهای مربوط به گروه آمیدی در ناحیه $1800 - 800 \text{ cm}^{-1}$ تشکیل می‌شود (Van der Ven et al., 2002)، بنابراین پیکی که در محدوده $1050 - 1000 \text{ cm}^{-1}$ با جذب حدود $1/5$ مشاهده شد را می‌توان به گروه‌های آمیدی نسبت داد.

در محدوده $1450 - 1400 \text{ cm}^{-1}$ پیکی با جذب حدود ۱ مشاهده شد. حضور احتمالی یکی از سه باند خمشی نامتقارن CH_3 ، کشش



شکل ۱- نمودار FTIR پروتئین هیدرولیز شده در شرایط قبل و بعد از قرارگیری آن در معرض اشعه UV.

اشعه UV به عنوان عامل تخریب‌کننده، تغییر قابل توجهی در نمودار طیف‌سنجی FTIR آن به وجود آمد. این تغییرات در شکل ۲ قابل مشاهده است. پیک‌های کوچکی که در محدوده های 850 cm^{-1} و 1000 cm^{-1} دیده می‌شد، پس از قرارگیری در معرض UV کاملاً حذف شد. شدت جذب در ناحیه 1050 cm^{-1} کاهش یافت و پیک حاصله بسیار

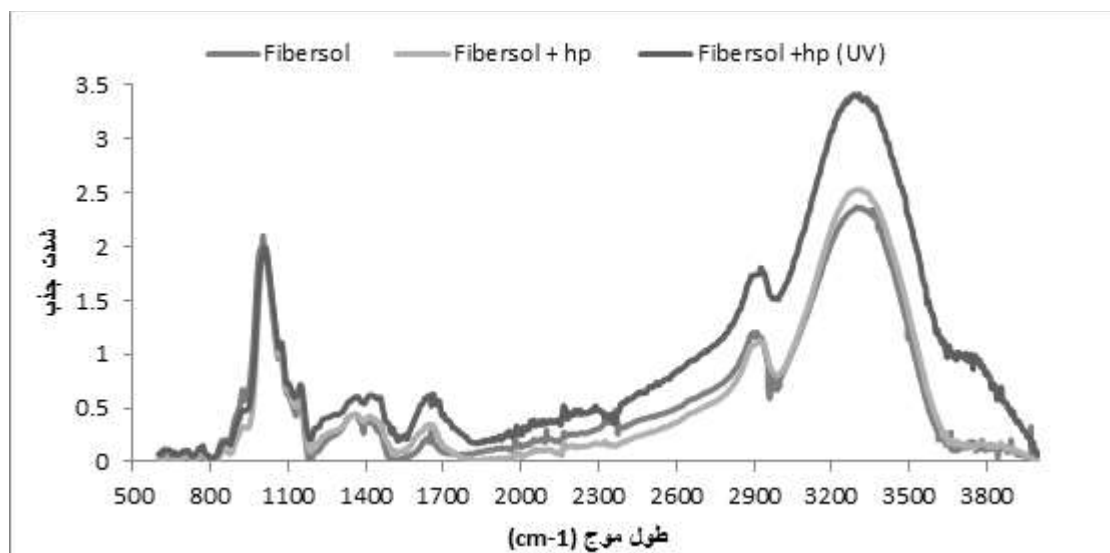
پیک بزرگ و پهنی با جذب $3/5$ در محدوده $3500 - 3000 \text{ cm}^{-1}$ مشاهده شد. در منابع پژوهشی متعددی این محدوده به باند هیدروژنی در گروه کششی N-H و گروه خمشی C-H نسبت داده شده است (Pavia؛ Torres-Giner et al., 2017؛ Kanbargi et al., 2017؛ et al., 2002). پس از قرارگیری پروتئین هیدرولیز شده در معرض

بزرگ و پهنی با شدت جذب ۲/۵ در ناحیه $3500-3000\text{ cm}^{-1}$ مشاهده شد که بر اساس نظر پژوهشگران به گروه O-H نسبت دارد (Cabado *et al.*, 2015؛ اسدپور و همکاران، ۲۰۱۶).

مقایسه نمودار کپسول‌های حاوی پروتئین هیدرولیز شده با نمودار فایبرزول در شکل ۲ نشان می‌دهد که پیک‌های موجود در محدوده $1700-850\text{ cm}^{-1}$ تقریباً بدون تغییر باقی مانده‌اند. اما پیکی که شروع آن از ناحیه 2000 cm^{-1} بود و تا ناحیه 3000 cm^{-1} ادامه یافته بود، کمی شدت جذب آن در نمودار کپسول‌ها کاهش یافت. این کاهش را می‌توان به دلیل تشکیل کمپلکس بین ترکیب پلی‌ساکاریدی دیواره و ترکیب پروتئینی هسته نسبت داد که با نتایج Torres-Giner و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت داشت. آنها اعلام کردند الحاق پلی‌ساکارید و پروتئین باعث کاهش شدت جذب مربوط به باند کششی C-H گردید. برعکس شدت جذب بزرگترین پیک در ناحیه $3500-3000\text{ cm}^{-1}$ در مقایسه با نمودار فایبرزول، مقداری افزایش یافت. حضور گروه O-H مربوط به پلی‌ساکارید فایبرزول موجود در دیواره و همچنین حضور باندهای کششی N-H و خمشی C-H که مربوط به گروه‌های آمیدی موجود در پروتئین هیدرولیز شده هستند، باعث افزایش شدت جذب در ناحیه مذکور شده است. Lagaron و López-Rubio (۲۰۱۲) نیز اعلام کردند حضور همزمان گروه‌های OH، NH و CH موجود در ترکیبات پروتئینی و پلی‌ساکاریدی باعث افزایش باندهای هیدروژنی درون مولکولی و بین مولکولی شده و شدت جذب را در ناحیه $3360-3340\text{ cm}^{-1}$ افزایش داد.

کوچکتر شد. دلیل این امر را می‌توان به تخریب شدن باندهای گروه آمیدی و یا اکسایش برخی ترکیبات نسبت داد (Alp Erbay *et al.*, 2017). در ناحیه $1700-1500\text{ cm}^{-1}$ در مرکز پیک پروتئین هیدرولیز شده کاهش شدت جذب ایجاد شده و می‌توان دو پیک مجزای کوچک در آن ناحیه مشاهده کرد. از بین رفتن باندهای هیدروژنی در ساختار دوم پروتئین‌ها از جمله باز شدن مارپیچ آلفا یا جدا شدن دو رشته پلی‌پپتیدی و از بین رفتن ساختار صفحه‌ای بتا را به عنوان دلایل احتمالی این کاهش شدت جذب می‌توان ذکر کرد (Sullivan *et al.*, 2014). همانطور که در شکل ۱ مشخص است بزرگترین پیک که در ناحیه $3500-2900\text{ cm}^{-1}$ قرار داشت، پس از قرارگیری در معرض UV کاهش چشمگیری پیدا کرد. این کاهش در شدت جذب در این ناحیه را می‌توان به شکسته شدن و تخریب باندهای هیدروژنی موجود در گروه‌های آمیدی از جمله گروه کششی N-H و گروه خمشی C-H نسبت داد (Torres-Giner *et al.*, 2017).

در شکل ۲ نمودار FTIR فایبرزول و پروتئین‌های هیدرولیز شده ریزپوشانی شده در فایبرزول و همچنین پس از قرارگیری آن در معرض اشعه UV نشان داده شده است. اولین پیک که در ناحیه $1170-850\text{ cm}^{-1}$ شدت جذبی در حدود ۲ را نشان داد که مربوط به ارتعاشات کششی انهیدروگلوز بود. ارتعاشات کششی بین واحدهای گلوکز اتصال یافته، در ناحیه کمتر از 1000 cm^{-1} جذب نشان می‌دهند (Cabado *et al.*, 2015). در ناحیه $3000-2850\text{ cm}^{-1}$ پیک با شدت جذب ۱ مشاهده شد که به تغییر شکل گروه C-H نسبت داده شده است (Cabado *et al.*, 2015؛ Torres-Giner *et al.*, 2017). پیک



شکل ۲- نمودار FTIR فایبرزول و پروتئین‌های هیدرولیز شده ریزپوشانی شده در فایبرزول و پس از قرارگیری آن در معرض اشعه UV.

جذب به ویژه در نواحی $3500-1500\text{ cm}^{-1}$ اتفاق افتاد. بر اساس نظر Khandal و همکاران (۲۰۱۳) قرارگیری فایبرزول در معرض تابش

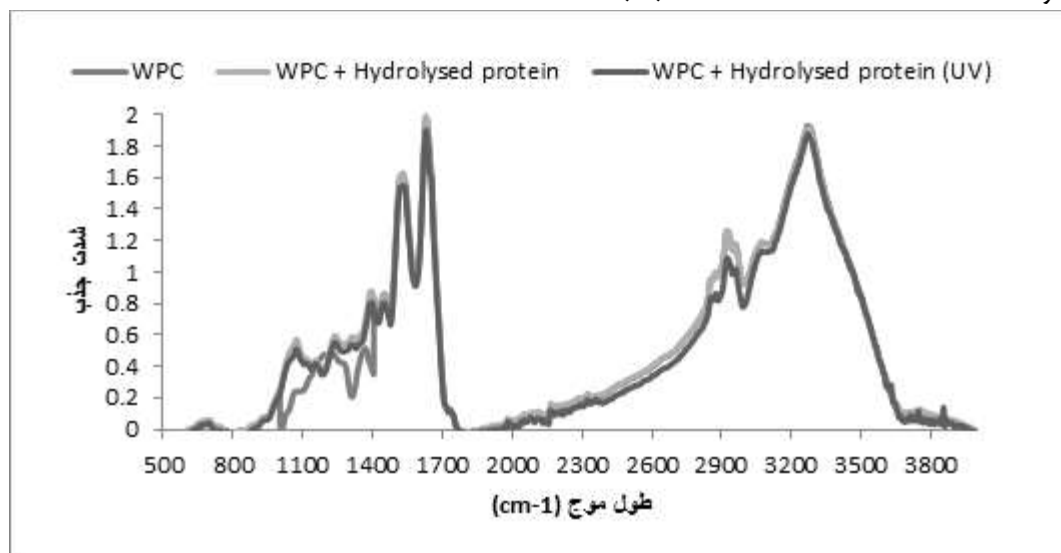
در شکل ۲ مشخص است که بعد از قرارگیری پروتئین هیدرولیز شده ریزپوشانی شده با فایبرزول در معرض اشعه UV، افزایش شدت

هیدروژنی در گروه کششی N-H و گروه خمشی C-H نسبت دارد (López-Torres-Giner et al., 2017; Kanbargi et al., 2017; Rubio and Lagaron, 2012).

نمودار FTIR مربوط پروتئین‌های هیدرولیز شده ریزپوشانی شده در WPC در شکل ۳ مشخص است. با توجه به اینکه در این کپسول دیواره و هسته هر دو از جنس پروتئین هستند، پیک‌های موجود در این نمودار تفاوت چندانی با نمودار FTIR مربوط به WPC نداشت. این نتیجه با آنچه Gómez-Mascaraque و López-Rubio (۲۰۱۶) اعلام کردند کاملاً مطابقت داشت. آنها به‌منظور ریزپوشانی پروتئین هیدرولیز شده از ژلاتین استفاده کردند. نتایج نشان داد که نمودار FTIR پروتئین هیدرولیز شده ریزپوشانی شده در ژلاتین، اختلاف معنی‌داری با نمودار FTIR ژلاتین نداشت.

در نمودار FTIR مربوط پروتئین‌های هیدرولیز شده ریزپوشانی شده در WPC بعد از قرارگیری در معرض UV (شکل ۳)، به جز یک کاهش جزئی شدت جذب در ناحیه $3000 - 2800 \text{ cm}^{-1}$ پس از قرارگیری در معرض UV، تفاوت قابل ملاحظه‌ای با قبل از قرارگیری ریزکپسول‌ها در معرض UV مشاهده نشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت WPC، زیست پلیمر مناسبی برای ریزپوشانی هیدرولیز شده‌های پروتئینی و محافظت از آنها در مقابل عوامل تخریب کننده است. این نتیجه با نتایج Torres-Giner و همکاران (۲۰۱۷) و López-Rubio و Lagaron (۲۰۱۲) مطابقت داشت.

اشعه باعث تحریک تشکیل اتصالات عرضی در فایبرزول می‌گردد. افزایش پیوندهای تشکیل شده در بین زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی احتمالاً باعث ایجاد شبکه‌هایی برای احاطه‌ی بیشتر مولکول‌های پروتئینی و الحاق بیشتر آنها به مولکول‌های پلی‌ساکارید گشته است. در نتیجه احتمالاً افزایش پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی باعث افزایش شدت جذب گردیده است. نمودار FTIR مربوط به WPC و پروتئین‌های هیدرولیز شده ریزپوشانی شده در WPC و پس از قرار گیری آن در معرض اشعه UV در شکل ۳ نشان داده شده است. در نمودار WPC پیک‌هایی با شدت جذب‌های مختلف در ناحیه $1700 - 850 \text{ cm}^{-1}$ مشاهده شد که مربوط به باندهای مربوط به گروه آمیدی از جمله گروه خمشی N-H، C-N و C=O است (Van der Ven et al., 2002؛ شیرازی و همکاران، ۱۳۸۴). همچنین ممکن است برخی از پیک‌های ریز تر در این محدوده مربوط به گروه‌های موجود در زنجیره جانبی برخی اسیدهای آمینه باشد. دو پیک شاخص در ناحیه $1600 - 1500 \text{ cm}^{-1}$ و $1700 - 1600 \text{ cm}^{-1}$ ناشی از ارتعاش آمید II و ارتعاش I می‌باشد که به ترتیب مربوط به باندهای N-H و C-N و باند C=O می‌باشد. در واقع جذب در این ناحیه بیان کننده ساختمان دوم پروتئین‌ها می‌باشد که مهم‌ترین آن ساختار صفحه‌ای بتا و مارپیچ آلفا هستند (Wang et al., 2013؛ لویز روبو و ماگارون، ۲۰۱۲؛ اسدپور و همکاران، ۲۰۱۶). پیک نسبتاً کوچکی در محدوده $3000 - 2800 \text{ cm}^{-1}$ مشاهده شد که مربوط به گروه کششی C-H است. پیک نسبتاً بزرگ و پهنی در محدوده $3500 - 3000 \text{ cm}^{-1}$ مشاهده شد که به باند



شکل ۳- نمودار FTIR مربوط به WPC و پروتئین‌های هیدرولیز شده ریزپوشانی شده در WPC و پس از قرارگیری آن در معرض اشعه UV.

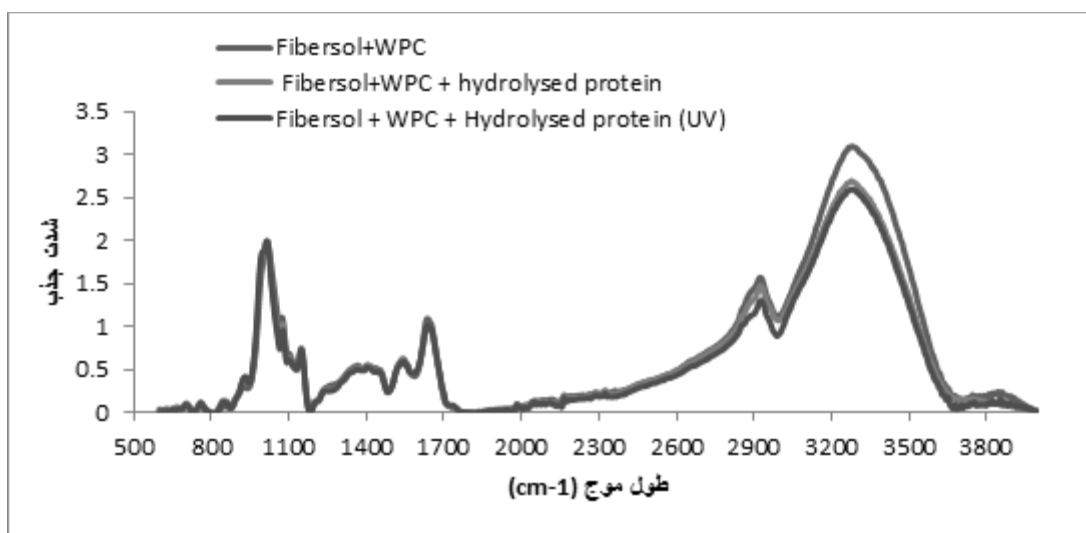
مجزا با ارتفاع نزدیک به ۱ مشاهده شد. پیک‌ها شدت جذبی بیشتر از فایبرزول و کمتر از WPC از خود نشان دادند. در ناحیه $3000 - 2850 \text{ cm}^{-1}$ پیک مشاهده شد که نسبت به پیک‌های فایبرزول و WPC در همین ناحیه افزایش جزئی شدت جذب داشت. در ناحیه

همانطور که در نمودار FTIR ترکیب WPC و فایبرزول (شکل ۴) قابل مشاهده است، در ناحیه $1170 - 850 \text{ cm}^{-1}$ شدت جذب حدود ۲ دیده شد که در مقایسه با فایبرزول، کمی کاهش جزئی و نسبت به WPC افزایش وجود داشت. در ناحیه $1700 - 1500 \text{ cm}^{-1}$ دو پیک

ساختارهای مارپیچ آلفا، صفحه‌ای بتا و چرخشی بتا و مارپیچ تصادفی می‌گردد.

همچنین در نمودار FTIR پروتئین‌های هیدرولیز شده ریزپوشانی شده در ترکیب WPC و فایبرزول پس از قرارگیری در معرض اشعه UV (شکل ۴) تغییری حاصل نشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت ترکیب WPC و فایبرزول، زیست پلیمر ترکیبی مناسبی برای ریزپوشانی هیدرولیز شده‌های پروتئینی و محافظت از آنها در مقابل عوامل تخریب کننده است. این نتیجه با نتایج Rosenberg و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت داشت. Rosenberg و همکاران (۲۰۱۶) اعلام کردند کمپلکس پروتئین و فایبرزول ترکیب مناسبی به منظور استفاده در دیواره ریزکپسول‌ها بوده و باعث بهبود ویژگی‌های محافظتی دیواره می‌گردد.

$3500-3000$ cm^{-1} پیک با شدت جذب حدود ۳ مشاهده شد که نسبت به پیک‌های فایبرزول و WPC در همین ناحیه افزایش مشاهده شد. همانطور که مشخص است پیک‌های موجود در نمودار طیف‌سنجی FTIR ترکیب فایبرزول و WPC برآیندی از پیک‌های فایبرزول و WPC بود. همچنین تغییرات جزئی در محل ظاهر شدن پیک‌ها در نمودار طیف‌سنجی FTIR ترکیب فایبرزول و WPC مشاهده شد که به دلیل برقراری پیوندهای هیدروژنی و نیروی الکتروستاتیک در بین پلی ساکارید فایبرزول و WPC بوده است. این باندهای هیدروژنی و پیوندهای الکتروستاتیک باعث تغییر فرکانس باندهای N-H، O-H، C-H و C=N، C=O می‌گردد (Su et al., 2011). همچنین در این رابطه Liu و همکاران (۲۰۱۴) و Wang و همکاران (۲۰۱۳) اعلام کردند که گلاکاسیون^۱ وی پروتئین باعث افزایش یا کاهش



شکل ۴- نمودار FTIR مربوط به WPC و فایبرزول و پروتئین‌های هیدرولیز شده ریزپوشانی شده در آن، قبل و پس از قرارگیری آن در معرض اشعه UV.

پژوهش حاضر به کارگیری نسبت ۹۰ به ۱۰ دیواره به هسته، بزرگتر بودن سایز میکروذرات به دست آمده را توجیه می‌کند. جنتی و همکاران (۱۳۹۲) اعلام کردند نوع ماده به کار رفته در دیواره نیز بر اندازه ریزکپسول‌ها موثر است. به کارگیری ترکیباتی مانند انواع کربوهیدرات‌ها که باعث افزایش ویسکوزیته امولسیون اولیه می‌گردند، منجر به تولید ریزکپسول‌های ریزتر می‌گردد. تصاویر به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی در این پژوهش نیز نشان داد که اندازه ذرات ریزتر مربوط به ریزکپسول‌های دارای دیواره فایبرزولی بودند. همچنین ریزکپسول‌های با دیواره WPC بزرگترین اندازه ذرات را داشتند.

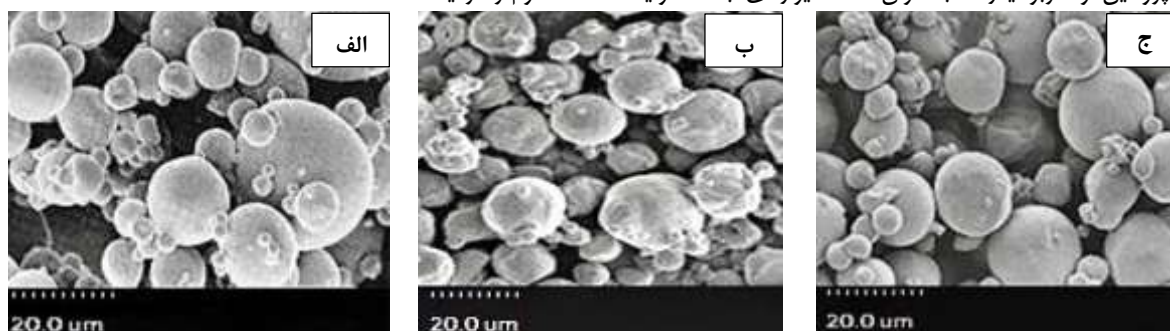
بر اساس شکل ۵، ریزکپسول‌های تهیه شده با دیواره فایبرزول تقریباً کروی شکل بوده و برخی از آنها دارای تورفتگی و چروک در

بررسی ساختار ریزکپسول‌ها با استفاده از SEM

در شکل ۵ تصاویر به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی نشان داده شده است. قطر همه ریزکپسول‌های تهیه شده با دیواره‌های مختلف در این پژوهش با کمک میکروسکوپ الکترونی بین $1/53$ تا $5/63$ میکرومتر اندازه‌گیری شد. نسبت ماده دیواره به هسته از عوامل موثر بر اندازه ذرات ریزکپسول‌ها می‌باشد. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) و Frascareli و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند هرچه غلظت دیواره بیشتر شود امولسیون حاصل دارای اندازه ذرات کوچکتر و ریزکپسول حاصل اندازه ذره بزرگتری دارد. در این حالت با حداکثر توانایی، محافظت از قطرات در برابر تجمع و بهم چسبیدن را در طی فرآیند ریزپوشانی اعمال می‌گردد (Jafari et al., 2007).

کپسول‌هایی با مقاومت مکانیکی بالا در مقابل عوامل تخریبی می‌گردد. در چنین سامانه‌هایی، پروتئین به‌عنوان عامل امولسیون‌کننده و تشکیل‌دهنده لایه و کربوهیدرات‌ها از جمله فایبرزول و مالتودکسترین یا شربت ذرت به‌عنوان ماده تشکیل‌دهنده شبکه ایفای نقش می‌کنند (Rosenberg *et al.*, 1996).

در پژوهش حاضر نیز ریزکپسول‌های تهیه شده با دیواره ترکیبی فایبرزول و WPC، نسبت به ریزکپسول‌های با دیواره فایبرزول تنها، دیواره صاف‌تر و کم‌چروک‌تری داشتند. همچنین رضوی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) از مخلوط پروتئین آب پنیر و کربوهیدرات‌ها از جمله فایبرزول و مالتودکسترین به‌عنوان ماده دیواره ای در فرآیند ریزپوشانی روغن سیوس برنج با روش خشک‌کن پاششی استفاده کردند. تصاویر SEM ریزکپسول‌ها نشان داد میکرو کپسول‌هایی که دارای دیواره مخلوط پروتئین آب پنیر و کربوهیدرات بودن، دیواره صاف و یکنواخت‌تری نسبت به ریزکپسول‌های با دیواره کربوهیدرات تنها بودند. رضوی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) اعلام کردند که در فرآیند از دست دادن آب، ساختار کروی، بدون چروک و یکنواخت ریزکپسول‌ها مولکول‌های به دام افتاده در مرکز کپسول یا همان هسته، در برابر عواملی مانند اکسیژن و دما محافظت می‌شوند. از طرفی مشخص شده است که بکارگیری ترکیبی کربوهیدرات و پروتئین در ساختار دیواره، به دلیل افزایش مقاومت گرمایی پروتئین‌ها و کاهش میزان دنا توره شدن آنها باعث افزایش کارایی کپسول‌ها و حفظ بیشتر ساختار ظاهری آنها می‌گردد (Avadi *et al.*, 2010). در این زمینه Su و همکاران (۲۰۱۱) نیز اعلام کردند که با افزایش نسبت پروتئین به کربوهیدرات در دیواره، اندازه و تعداد ترک‌های دیواره کاهش یافت و ساختار میکروذرات مقاوم‌تر گردید.



شکل ۵- تصاویر SEM مربوط به ریزکپسول‌های تولید شده.

الف: ریزکپسول‌های حاوی پروتئین هیدرولیز شده

ب: ریزکپسول‌های فایبرزول حاوی پروتئین هیدرولیز شده

ج: ریزکپسول‌های ترکیب فایبرزول و WPC حاوی پروتئین هیدرولیز شده

راندمان ریزپوشانی

فایبرزول به‌ترتیب $81/70 \pm 1/5$ ، $77/31 \pm 2/2$ و $66/76 \pm 3/1$ درصد بود. کپسول‌های با دیواره‌های مختلف راندمان ریزپوشانی متفاوتی نشان دادند. به‌طوری که ریزکپسول‌های با دیواره مخلوط فایبرزول و WPC

سطح می‌باشند. یکی از عوامل تورفتگی یا چروکیدگی در سطح ریزکپسول‌ها، به دمای بالای ورودی خشک‌کن و تبخیر سطحی آن نسبت داده شد است (Drusch and Berg, 2008). ایجاد چنین حفره‌هایی جزء ویژگی‌های ریزکپسول‌های تهیه شده با روش خشک‌کن پاششی و به‌ویژه تهیه شده با دیواره کربوهیدراتی ذکر شده است که به دلیل افزایش دمای ذره و افزایش فشار بخار ایجاد می‌گردد (Nijdam and langrish, 2006 ; Rosenberg *et al.*, 2016).

تجمع میکرو ذرات پودر شده در ریزکپسول‌های با دیواره فایبرزول بیشتر از دو دیواره دیگر بود که با نتایج Mok و Park (۲۰۰۸) مطابقت دارد. آنها اعلام کردند ریزکپسول‌هایی که در دیواره آنها کربوهیدرات استفاده شده باشد، در طی فرآیند خشک کردن پاششی ممکن است ذوب شدن دیواره رخ بدهد و تجمع پودرهای خشک شده را به علت چسبیدن آنها به یکدیگر شاهد باشیم.

بر خلاف ریزکپسول‌های تهیه شده با دیواره فایبرزول، ریزکپسول‌های تهیه شده با پروتئین آب پنیر ساختار صاف و بدون چروک و بدون ترک داشتند که با نتایج Molina و همکاران (۲۰۰۹)، Rosenberg و همکاران (۲۰۱۶) و Assadpour و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت داشت. Molina و همکاران (۲۰۰۹) به‌منظور ریزپوشانی کازئین هیدرولیز شده، از یک ماده پروتئینی (پروتئین سویا) استفاده کردند. آنها اعلام کردند ریزکپسول‌ها سطحی کاملاً صاف و بدون فرسایش و ترک بودند. این ویژگی‌ها باعث جلوگیری از نفوذ گازها و رطوبت به داخل ریزکپسول شده و قابلیت حفاظت بالای آن را در مقابل عوامل تخریبی تایید می‌کند. Oliveira و همکاران (۲۰۰۷) و Rosenberg و همکاران (۲۰۱۶) اعلام کردند استفاده از پروتئین و ترکیب پروتئین و کربوهیدرات به‌عنوان ماده دیواره‌ای باعث تولید

راندمان ریزپوشانی اندازه‌گیری شده برای میکروکپسول‌های آماده شده با مواد دیواره‌ای حاوی مخلوط فایبرزول و WPC، WPC و

ریزپوشانی می‌توان نتیجه گرفت که در میان WPC، فایبرول و مخلوط WPC و فایبرزول، مخلوط WPC و فایبرزول بهترین ترکیب دیواره با قابلیت محافظت‌کنندگی مناسب برای ریزپوشانی پروتئین‌های هیدرولیز شده بوده در مقابل اشعه UV بود. این ریزپوشان‌ها پایداری قابل قبول و حداقل تخریب را از خود نشان داده و در طول در معرض قرارگیری با UV فعالیت آنتی‌اکسیدانی خود را حفظ کردند. از این رو می‌توان گفت عملکرد بیولوژیکی پروتئین هیدرولیز شده بوده نیز می‌تواند با استفاده از این روش حفظ گردد.

بررسی گسترده‌تر ریزپوشانی پیتیدها یا هیدرولیز شده‌ها از منابع مختلف پروتئینی و به‌کارگیری میکروکپسول‌های تولید شده در فرمولاسیون‌های مختلف مواد غذایی از جمله پیشنهادات حاصل از این پژوهش می‌باشد. همچنین توجه و بررسی بیشتر محصولات جانبی دیگر زنبور عسل و به‌کارگیری آنها در فرمولاسیون‌های غذایی پیشنهاد می‌گردد.

بیشترین میزان راندمان ریزپوشانی و ریزکپسول‌های با دیواره فایبرزولی کمترین میزان راندمان ریزپوشانی را نشان دادند. میزان کم SPC در سطح ذرات با دیواره مخلوط فایبرزول و WPC و WPC در افزایش پایداری و انبارمانی پروتئین هیدرولیز شده ریزپوشانی شده بسیار مهم است (Muangrat et al., 2019). این مسئله با نتایج آنتی‌اکسیدانی به‌دست آمده در این پژوهش نیز مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر ریزپوشانی پروتئین هیدرولیز شده بوده زنبورعسل مقاومت آن را در برابر اشعه UV، به‌عنوان عامل تخریب کننده، افزایش داد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از ارزیابی فعالیت مهار رادیکال DPPH، تصاویر SEM و اسپکتروسکوپی FTIR ریزکپسول‌ها در طول مدت زمان در معرض قرارگیری اشعه UV، و همچنین راندمان

منابع

- شیرازی، س. ف.، فرهادی، ا.، وکیلی، ن. ۱۳۸۴. مروری بر طیف سنجی مادون قرمز و کاربرد آن در علوم پزشکی. مجله پژوهشی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی. دوره ۲۹، شماره ۴، ص ۳۷۹-۳۸۶.
- حجتی، م.، رضوی، ه.، رضایی، ک.، گیلانی، ک. ۱۳۹۲. اثر ترکیب دیواره بر ویژگی‌های کانتاگزانتین طبیعی ریزپوشانی‌شده به روش خشک کن پاششی. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، دوره ۸، شماره ۳، ص ۵۴-۴۵.
- حسین‌زاده، س.، حداد خداپرست، م. ح.، بستان، آ.، محبی، م. ۱۳۹۴. ریزپوشانی روغن نعناع به روش خشک کردن پاششی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی ایران، جلد ۱۲، شماره ۴، ص ۵۱۱-۴۹۹.
- رضوی زاده، ب.، خان محمدی، ف.، عزیزی، س. ن. ۱۳۹۳. مقایسه ریزکپسول‌های روغن سیبوس برنج تهیه شده با خشک‌کن پاششی و خشک‌کن انجمادی. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی. جلد ۳، شماره ۲، ص ۹۷-۱۱۴.
- Alp Erbay, E., Dağtekin, B. B. G., Türe, M., Yeşilsu, A. F., Torres-Giner, S. 2017. Quality improvement of rainbow trout fillets by whey protein isolate coatings containing electrospun poly (ϵ -caprolactone) nanofibers with *Urtica dioica* L. extract during storage. *LWT-Food Science Technology*, 78, 340-351.
- Assadpour, E., Jafari, S. M., Maghsoudlou, Y. 2016. Evaluation of folic acid release from spray dried powder particles of pectinwhey protein nano-capsules, *International Journal of Biological Macromolecules*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.023>.
- Avadi, M. R., Mir Mohammad Sadeghi, A., Mohammadpour, N., Abedin, S., Atyabi, F., Dinarvand, R., & Rafiee-Tehrani, M. 2010. Preparation and characterization of insulin nanoparticles using chitosan and arabic gum with ionic gelation method. *Nanomedicine Nanotechnology, Biology and Medicine*, 6 (1), 58-63.
- Cabado, M. C., Parra-Ruiz, F. J., Casado, A. L., Román, S. 2015. Thermal Crosslinking of Maltodextrin and Citric Acid. Methodology to Control the Polycondensation Reaction under Processing Conditions. *Polymers & Polymer Composites*, 24, 8, 643- 654.
- Chen, Q., McGillivray, D., Wen, J., Zhong, F., Quek, S.Y. 2013. Co-encapsulation of fish oil with phytosterol ester and limonen by milk proteins. *Journal of Food Engineering*, 117, 4, 505-512.
- Drusch, S., Berg, S. 2008. Extractable oil in microcapsules prepared by spray-drying, determination and impact on oxidative stability. *Food Chemistry*, 109, 17-24.
- Frascareli, E., Silvaa, V., Tonona. R., Hubingera, M. 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and Bioprocess Processing*, 90: 413-424.
- Gómez-Mascaraque, L. G., López-Rubio, A. 2016. Protein-based emulsion electrosprayed micro- and submicroparticles for the encapsulation and stabilization of thermosensitive hydrophobic bioactives. *Journal of Colloid Interface Science*, 465, 259-270.
- Hmidet, N., Balti, R., Nasri, R., Sila, A., Bougatef, A., Nasri, M. 2011. Improvement of functional properties and antioxidant activities of cuttlefish (*Sepia officinalis*) muscle proteins hydrolyzed by *Bacillus mojavensis* A21 proteases. *Food Research International*, 44, 2703-2711.

- Jafari, S.M., He, T., Bhandari, B. 2007. Encapsulation of nanoparticles of D-limonene by spray drying: Role of emulsifiers and emulsifying techniques. *Drying Technology*, 25, 1079–1089.
- Kanbargi, K.D, Sachin, K., Sonawane, S., Shalini, S., Arya, A. 2017. Encapsulation Characteristics of Protein Hydrolysate Extracted from Ziziphus jujube seed, *International Journal of Food Properties*, DOI: 10.1080/10942912.2017.1282516.
- Khandal, D., Mikus, P. Y., Dole, P., Coqueret, X. 2013. Radiation processing of thermoplastic starch by blending aromatic additives: Effect of blend composition and radiation parameters. *Radiation Physics and Chemistry*, 84, 218–222.
- Liu, R., Zheng, W., Li, J., Wang, L., Wu, H., Wang, X., Shi, L. 2014. Rapid identification of bioactive peptides with antioxidant activity from the enzymatic hydrolysate of *Mactra veneriformis* by UHPLC–Q-TOF mass spectrometry. *Food Chemistry*, 167, 484–489.
- López-Rubio, A., Lagaron, J. M. 2012. Whey protein capsules obtained through electrospraying for the encapsulation of bioactives. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 13, 200–206.
- Maqsoodlou, A., Sadeghi Mahoonak, A., Mora, L., Mohebodini, H., Toldra, F., Ghorbani, M. 2018. Peptide identification in alcalase hydrolysed pollen and comparison of its bioactivity with royal jelly. *Food Research International*, 116, 905–915.
- Mohan, A., McClements, D. J., Udenigwe, C. C. 2016. Encapsulation of bioactive whey peptides in soy lecithin-derived nanoliposomes: Influence of peptide molecular weight. *Food Chemistry*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.075>.
- Mok, H. and Park, T. G. 2008. Water-free microencapsulation of proteins within PLGA microparticles by spray drying using PEG-assisted protein solubilization technique in organic solvent. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 70, 137–144.
- Molina Ortiz, S. E., Mauri, A., Monterrey-Quintero, S. E., Trindade, M. A., Santana, A. S., Favaro-Trindade, S. C. 2009. Production and properties of casein hydrolysate microencapsulated by spray drying with soybean protein isolate. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 919–923.
- Mozafari, M. R., Flanagan, J., Matia-Merino, L., Awati, A., Omri, A., Suntres, Z. E., & Singh, H. 2006. Review: Recent trends in the lipid-based nanoencapsulation of antioxidants and their role in foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 2038–2045.
- Muangrat, R., Ravichai, K., Jirattananang, W. 2019. Encapsulation of polyphenols from fermented wastewater of Miang processing by freeze drying using a maltodextrin/gum Arabic mixture as coating material. *J. Food Process. Preserv.*
- Nijdam, J. J., langrish, T.A. 2006. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. *Journal of Food Engineering*, 77, 4, 919–925.
- Oliveira, A. C., Moretti, T. S., Boschini, C., Baliero, J. C. C., Freitas, L. A. P., Freitas, O., & Favaro-Trindade, C. S. 2007. Microencapsulation of *B. lactis* (BI 01) and *L. acidophilus* (LAC 4) by complex coacervation followed by spouted-bed drying. *Drying Technology*, 25, 10, 1687–1693.
- Pai, D. A., Vangala, V. R., WeiNg, J., KiongNg, W., & Tanac, R. B. H. 2015. Resistant maltodextrin as a shell material for encapsulation of naringin: Production and physicochemical characterization. *Journal of Food Engineering*, 161, 68–74.
- Patsialas, K., Papaioannou, E. H., Liakopoulou-Kyriakides, M. 2012. Encapsulation of the peptide Ac–Glu–Thr–Lys–Thr–Tyr–Phe–Trp–Lys–NH₂ into polyvinyl alcohol biodegradable formulations—Effect of calcium alginate. *Carbohydrate Polymers*, 87, 1112–1118.
- Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., Vyvyan, J. A. 2002. Introduction to Spectroscopy. 3th Edition, Books/ Colne. 579p.
- Pudziulyte, L., Marksa, M., Jakstas, V., Ivanauskas, L., Kopustinskiene, D. M., and Bernatoniene, J. 2019. Microencapsulation of *Elsholtzia ciliata* Herb Ethanol Extract by Spray-Drying: Impact of Resistant-Maltodextrin Complemented with Sodium Caseinate, Skim Milk, and Beta-Cyclodextrin on the Quality of Spray-Dried Powders. *Molecules*, 24, 1461. doi:10.3390/molecules24081461
- Rosenberg, M., Rosenberg, Y and Frenkel, F. 2016. Microencapsulation of model oil in wall matrices consisting of SPI and maltodextrins. *AIMS Agriculture and Food*, 1, 1, 33–51.
- Rosenberg, M., & Sheu, T.Y. 1996. Microencapsulation of volatiles by spray-drying in whey protein-based wall systems. *International Dairy Journal*, 6, 273–284.
- Dehkordi, S.S., Alemzadeh, I., Vaziri, A.S., Vossoughi, A. 2020. Optimization of Alginate-Whey Protein Isolate Microcapsules for Survivability and Release Behavior of Probiotic Bacteria. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 190, 182–196. <https://doi.org/10.1007/s12010-019-03071-5>.
- Shen, Q. and Quek, S. Y. 2014. Microencapsulation of astaxanthin with blends of milk protein and fiber by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 123, 165–171.
- Sonawane, S. K., Arya S. S. 2015. Effect of drying and storage on bioactive components of jambhul and wood apple. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 2833–2841.

- Su, R., Zhu, X., Fan, D., Mia, Y., Yang, C. Y., Jia, X. 2011. Encapsulation of probiotic *Bifidobacterium longum* BIOMA 5920 with alginate-human-like collagen and evaluation of survival in simulated gastrointestinal. *International Journal of Biological Macromolecules*, 49, 979-984.
- Sullivan, S. T., Tang, C., Kennedy, A., Talwar, S., Khan, S. A. 2014. Electrospinning and heat treatment of whey protein nanofibers, *Food Hydrocolloids*, 35, 36-50.
- Torres-Giner, S., Wilkanowicz, S., Melendez-Rodriguez, B., Lagaron, J. M. 2017. Nanoencapsulation of Aloe vera in Synthetic and Naturally Occurring Polymers by Electrohydrodynamic Processing of Interest in Food Technology and Bioactive Packaging, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 65, 4439- 4448.
- Van der Ven, C. Muresan, S., Gruppen, H., Bont, D., Merck, K. B., Voragen, A. G. J. 2002. FTIR Spectra of Whey and Casein Hydrolysates in Relation to Their Functional Properties. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 24, 6943-6950.
- Wang, J., Su, Y., Jia, F., Jin, H. 2013. Characterization of casein hydrolysates derived from enzymatic hydrolysis. *Chemistry Central Journal*, 7, 62, 212- 220.
- Zavareze, E., Campello Telles, A., Lisie, S., Rocha, M. D., Colussi, R., Marques de Assis, L., Suita de Castro, L. A., Guerra Dias, A. R., Prentice-Hernández, C. 2014. Production and characterization of encapsulated antioxidative protein hydrolysates from Whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) muscle and byproduct. *LWT - Food Science and Technology*. doi: 10.1016/j.lwt.2014.05.013.
- Zhong, Y., Visalakshi, A., Esther, H., Patricia, W., and Suzanne, H. 2015. Soluble dietary fiber (Fibersol-2) decreased hunger and increased satiety hormones in humans when ingested with a meal. *Nutrition Research*, 35,5, 393-400.



Microencapsulation of bee pollen protein hydrolysate by whey protein concentrate and fibersol and evaluation of stability and structure of microcapsules

H. Mohebodini^{1*}, A. Maqsoudlou²

Received: 2020.05.30

Accepted: 2020.07.27

Introduction: Microencapsulation is the most commonly used method of preserving proteins and peptides, which increases the stability in different conditions. Bee pollen with 10–40% protein, is a valuable source of protein that has functional and nutraceutical properties. By hydrolysis and producing bioactive peptides, their functional and health effects will be improved. Fibersol is a dietary fiber that can be used in many foods and supplements. This carbohydrate compound is actually non-digestible maltodextrin and has recently been used as a wall material in encapsulation. Few studies have conducted on the microencapsulation of hydrolysed proteins and their stability during accelerated conditions. On the other hand, by-products of honey bees such as pollen have been less noticed; therefore the aim of this study was the microencapsulation of bioactive bee pollen protein hydrolysate by fibersol and WPC and to study the changes of structure and stability of resulted microcapsules during the exposure to UV radiation.

Material and Methods: Bee pollen was hydrolysed by Alcalase (1.5%) for 4 h in shaking incubator. The protein hydrolysate was microencapsulated using WPC, fibersol, and their combination by spray drying. The wall materials and hydrolysed protein were used in ratio of 10:1 (w/w). WPC 2%, fibersol 2%, as well as WPC and fibersol mixtures with 1:3 ratio, were the wall materials. For accelerating the oxidation reactions, the obtained capsules were exposed to UV radiation for 48 h. During the exposure to UV radiation, the DPPH radical scavenging activity of microcapsules and hydrolysed protein was measured. Interactions between hydrolysed protein compounds, WPC and fibersol were identified by the FTIR spectroscopy. The SEM was used to investigate the morphology of the microcapsules.

Results & Discussions: Almost at all experimental time, the highest DPPH radical scavenging during exposure to UV radiation was related to the capsules prepared using fibersol and WPC mixture and after that the capsule with WPC as wall material. The FTIR spectroscopy of the hydrolysed protein was changed significantly when it was exposed to UV radiation. This change caused by losing the hydrogen bonds in the secondary structure of proteins, including the separation of two polypeptide chains or the opening of the α helix and loss of β -sheet structure. The FTIR profile of capsulated hydrolysed protein by fibersol showed that the adhesion of protein and polysaccharide changed the absorbance of C–H bending and N–H stretching bands of amide groups in the hydrolysed protein in 3000–3500 cm^{-1} and the stretching band of C–H and O–H group in the region of 2000–3000 cm^{-1} for fibersol in the wall. After exposure to UV, because of cross-linking in fibersol and more involving the molecules of fibersol to protein, the absorbance was increased in the region of 1500–3500 cm^{-1} . The number of peaks and absorbance in the FTIR spectra of hydrolysed proteins microencapsulated in WPC were more than number of peaks and absorbance in the FTIR spectra of WPC. There was no significant difference in the FTIR spectra of hydrolysed protein encapsulated with WPC before and after exposure to UV. The peaks in FTIR spectra of hydrolysed protein microencapsulated with the mixture of WPC and fibersol, showed higher absorbance level than the peaks of fibersol and lower than peaks of WPC. None of the peaks of microcapsules with the wall of mixture of WPC and fibersol, were changed after exposure to UV radiation. Results of SEM showed that the microcapsules prepared with mix of fibersol and WPC had a uniform and smoother wall than microcapsules prepared with only fibersol. Finally, the mix of WPC and fibersol was selected as the best wall with a proper protective ability for the microencapsulation of hydrolysed proteins and protection against UV radiation.

Keyword: Pollen protein hydrolysate, Microencapsulation, Spray drying, Fibersol, Whey protein concentrate

Department of Animal Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Department of Food Science and Technology, Gorgan university of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(*Corresponding Author Email: h.mohebodini@uma.ac.ir)

Contents

Optimization of foam production in foam mat drying of celery juice and evaluation of its powder properties	230
M. Kamali Sarvestani, M. Moebbi, M. Taghizadeh	
Evaluation of probiotic and antibacterial properties of <i>Lactobacillus fermentum</i> SL163-4	242
S. Momenzadeh, H. Jooyandeh, B. Alizadeh Behbahani, H. Barzegar	
The Effect of Wheat Germ Protein Isolate on Physical, Rheological, textural and sensorial properties of Ice Cream	259
H. Mahpour, T. Mostaghim, Sh. Shahriari	
Determination of the structure, chemical composition, antioxidant activity and the cytotoxic effect of Turmeric essential oil	271
B. Majdi, M. A. Mehrnia, H. Barzegar, B. Alizadeh Behbahani	
Optimization of Vanilla Ice Cream Formula by Replacement of Skim Milk Powder with Quinoa Flour by Response Surface Methodology (RSM)	284
D. Hami, M. Goli	
Preparation of biodegradable carboxymethyl cellulose-Arabic gum composite film and evaluation of the physical, mechanical and thermal properties	297
A. Rezaei, M. Rezaei, M. Alboofetileh	
Optimizing mechanical and optical properties of nanocomposite films based on polyvinyl alcohol for food packaging	313
M. Zamanian, H. Sadrnia, M. Khojastehpour, F. Hosseini, J. Thibault	
Improving postharvest quality of button mushroom (<i>Agaricus bisporus</i>) using polyethylene-clay nanocomposite packing and <i>Echinophora cinerea</i> essential oil coating	227
S. Hamzeh-kalkenari, H. Bodaghi, Z. Ghasimi Hagh	
Effect of ultrasound and enzyme treatment on wheat and corn starches for making porous starches and iron ion absorption capacity	338
S. Ghandehari, M. Alami, Y. Maghsoudlou, A. R. Sadeghi	
Application of fuzzy logic and neural-fuzzy inference system (ANFIS) for prediction of physicochemical changes and quality classification of coated sweet lemon during storage	351
M. Zandi, A. Ganjloo, M. Bimakr, N. Nikoomanesh, N. Moradi	
Evaluation of Ethyl Cellulose oleogel Functionality as Shortening Substitute in the Formulation of Cake with Low Saturated Fatty Acid Content	363
A. Ehtiati, M. Mehraban Sang Atash, R. Karazhyan, Z. Nazari, F. Sadeghi	
Preparation of cold gel emulsion system using isolated soy protein- Basil seed gum complex as a fat replacement in cream	378
S. Naji-Tabasi, E. Mahdian, A. Arianfar, Sara Naji-Tabasi	
Evaluation of physicochemical properties of Mucilage and comparison of extraction efficiency of two solvent and supercritical methods	391
F. Karani, J. Sargolzaei	
Optimizing of production conditions of jelly using pectin extracted from potato peel and examining its texture, physicochemical and sensory properties comparison with commercial pectin's	407
A. Kashani, M. Hasani, L. Nateghi, M. J. Asadollahzadeh, P. Kashani	
Microencapsulation of bee pollen protein hydrolysate by whey protein concentrate and fibersol and evaluation of stability and structure of	421
H. Mohebodini, A. Maqsoudlou	

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Vol. 17

No. 2

2021

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Executive Manager: Shahnoushi, N.

Editor-in-Chief: Tabatabaei yazdi, F

Editorial Board:

Mortazavi, Seyed A.	Prof. in Food Microbiology and
Shahidi, F.	Prof. in Food Microbiology
Habibi najafi, M.	Prof. in Food Microbiology
Razavi, Seyed M. A.	Prof. in Food Engineering
Kashaninejad, M.	Prof. in Food Engineering
Khomeiri, M.	Assoc. Prof. in Food Microbiology
Farhoosh, R.	Prof. in Food Chemistry
Fazli Bazzaz, S.	Prof. in Food Microbiology
Koocheki, A.	Prof. in Food Technology
Mohebbi, M.	Prof. in Food Engineering
Ghanbarzadeh, B.	Prof. in Food Engineering
Alemzadeh, I.	Prof. in Food Biotechnology
Rajabzadeh, GH.	Assoc. Prof. in Nanotechnology
Heydarpour, M.	Assoc. Prof. in Food Microbiology
Ghoddusi, H. B.	Assoc. Prof. in Food Microbiology
Khosravidarani, K.	Prof. in Food Biotechnology
Abbaszadegan, M.	Prof. in Food Microbiology
Mohammadifar, M. A.	Assoc. Prof. in Food Engineering
Vosoughi, M.	Prof. in Food Biotechnology

Printed by: Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran.

Address: The Iranian Food Science & Technology Research Journal, Scientific Publication Office, Food Science and Technology Department, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

P.O.BOX: 91775- 1163

Phone: (98)511-8795618-20(321)

Fax: (98)511-8787430

E-Mail: ifstrj@um.ac.ir

Web Site: http://jm.um.ac.ir/index.php/food_tech/index

This journal is indexed in ISC, SID, and MAGIRAN.



Vol.17

No.2

2021

Iranian Food Science and Technology Research Journal



ISSN:1735-4161

Contents

- Optimization of foam production in foam mat drying of celery juice and evaluation of its powder properties230**
M. Kamali Sarvestani, M. Moebbi, M. Taghizadeh
- Evaluation of probiotic and antibacterial properties of *Lactobacillus fermentum* SL163-4.....242**
S. Momenzadeh, H. Jooyandeh, B. Alizadeh Behbahani, H. Barzegar
- The Effect of Wheat Germ Protein Isolate on Physical, Rheological, textural and sensorial properties of Ice Cream.....259**
H. Mahpour, T. Mostaghim, Sh. Shahriari
- Determination of the structure, chemical composition, antioxidant activity and the cytotoxic effect of Turmeric essential oil271**
B. Majdi, M. A. Mehrnia, H. Barzegar, B. Alizadeh Behbahani
- Optimization of Vanilla Ice Cream Formula by Replacement of Skim Milk Powder with Quinoa Flour by Response Surface Methodology (RSM)284**
D. Hami, M. Goli
- Preparation of biodegradable carboxymethyl cellulose-Arabic gum composite film and evaluation of the physical, mechanical and thermal properties297**
A. Rezaei, M. Rezaei, M. Alboofetileh
- Optimizing mechanical and optical properties of nanocomposite films based on polyvinyl alcohol for food packaging313**
M. Zamanian, H. Sadrnia, M. Khojastehpour, F. Hosseini, J. Thibault
- Improving postharvest quality of button mushroom (*Agaricus bisporus*) using polyethylene-clay nanocomposite packing and *Echinophora cinerea* essential oil coating227**
S. Hamzeh-kalkenari, H. Bodaghi, Z. Ghasimi Hagh
- Effect of ultrasound and enzyme treatment on wheat and corn starches for making porous starches and iron ion absorption capacity338**
S. Ghandehari, M. Alami, Y. Maghsoudlou, A. R. Sadeghi
- Application of fuzzy logic and neural-fuzzy inference system (ANFIS) for prediction of physicochemical changes and quality classification of coated sweet lemon during storage351**
M. Zandi, A. Ganjloo, M. Bimakr, N. Nikoomanesh, N. Moradi
- Evaluation of Ethyl Cellulose oleogel Functionality as Shortening Substitute in the Formulation of Cake with Low Saturated Fatty Acid Content363**
A. Ehtiati, M. Mehraban Sang Atash, R. Karazhyan, Z. Nazari, F. Sadeghi

Continue Content in cover