

عنوان مقالات

- ۲۱۴..... نوشیدنی لیموترش فراسودمند و رژیمی، پایداری سازی و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی
مینا کارگزاری - لیلا باقری - علیرضا محمدی
- تأثیر پیش فرآیند مایکروویو بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی دونات حاوی منابع فیبر خوراکی صمغ فارسی و پودر
تفاله هویج ۲۲۷
مهران نوری - بهزاد ناصحی - وحید سماواتی - سامان آبدانان مهدی زاده
- بررسی اثر انجماد سریع و کند بر ویژگی های عملکردی (ویژگی های رئولوژیکی، پایداری امولسیون و کف) صمغ
دانه قدومه شهری ۲۴۰
مریم محفوظی - آرش کوچکی - سید محمد علی رضوی
- تشخیص تازگی گوشت گوساله به کمک پردازش تصویر و سطح پاسخ ۲۵۱
حسین جواد کی - مهدی قاسمی ورنامخواستی - سجاد سبزی
- بررسی غیرمخرب فاکتورهای کیفی آبمیوه مرکبات در خلال انبارمانی با کمک پردازش تصویر ۲۶۲
سامان آبدانان مهدی زاده - مهران نوری - مریم سلطانی کاظمی - سمیه امرایی
- مقایسه تأثیر زمان و روش استخراج بر مقدار ترکیبات فنلی و خواص آنتی اکسیدانی پوست سبز گردوی مناطق
مختلف شمال ایران ۲۷۳
محمد دولت آبادی - زینب رفتی امیری - رضا اسماعیل زاده کناری
- بهینه سازی تولید پنیر فرآپالایش کم چرب با استفاده از تلفیق پروتئین های آب پنیر و تیمار آنزیمی به روش
سطح پاسخ ۲۸۲
عرفان دانش - حسین جوینده - وحید سماواتی - مصطفی گودرزی
- بررسی ویژگی های فیزیکوشیمیایی کیک اسفنجی فاقد گلوتن ۲۹۵
علی مهربان شندی - مهران اعلی - شبنم مختاری
- تأثیر هیدروکلونید دانه های اسفرزه و ریحان بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و حسی سس کچاپ ۳۰۷
سمیرا شکبیا - مرتضی خمیری - زید احمدی - سید سهیل امیری عقدایی
- استخراج و ویژگی های ژلاتین پای مرغ و کاربرد آن در ژله طالبی ۳۲۲
عاطفه رضایی زاده - زینب رفتی امیری
- پیش بینی ضرایب انتقال حرارت سطحی و کینتیک های انتقال جرم نمونه های بادمجان طی فرایند سرخ کردن
عمیق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) ۳۳۳
صفیه خلیلیان - امان محمد ضیائی فر - علی اصغری - مهدی کاشانی نژاد - محبت محبی

نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران

با شماره پروانه ۱۲۴/۸۴۷ و درجه علمی - پژوهشی شماره ۳/۱۱/۸۱۰ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
۸۸/۵/۱۰

خرداد- تیر ۱۳۹۶

شماره ۲

جلد ۱۳

درجه علمی - پژوهشی این نشریه طی نامه ۳/۱۱/۴۷۶۷۳ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تا سال ۱۳۹۳ تمدید شده است.
۹۰/۴/۱۴

صاحب امتیاز:

گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

دکتر هاشم پورآذرنگ

استاد، شیمی مواد غذایی (دانشگاه فردوسی مشهد)

سر دبیر:

دکتر سید محمد علی رضوی

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

کارشناس امور اجرایی:

دکتر مسعود تقی زاده

استادیار، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیات تحریریه:

دکتر محمدرضا احسانی

استاد، تکنولوژی لبنیات، دانشگاه تهران

دکتر هاشم پورآذرنگ

استاد، شیمی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر محمدباقر حبیبی نجفی

استاد، میکروبیولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر اصغر خسروشاهی

استاد، تکنولوژی لبنیات، دانشگاه ارومیه

دکتر مرتضی خمیری

دانشیار، میکروبیولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دکتر سید محمد علی رضوی

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

دکتر محمد علی سحری

استاد، شیمی مواد غذایی، دانشگاه تربیت مدرس

دکتر فخری شهیدی

استاد، میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر ناصر صداقت

دانشیار، بسته بندی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر عسگر فرحناکی

دانشیار، مهندسی و خواص بیوفیزیک مواد غذایی، دانشگاه شیراز

دکتر رضا فرهوش

استاد، شیمی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر بی بی صدیقه فضلی بزاز

استاد، میکروبیولوژی، دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مشهد

دکتر مهدی کاشانی نژاد

دانشیار، مهندسی و خواص بیوفیزیک مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دکتر مهدی کدیور

دانشیار، شیمی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان

دکتر سید علی مرتضوی

استاد، میکروبیولوژی و بیوتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر محمدجواد وریدی

دانشیار، تکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

ناشر: گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد چاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: ۲۵۰ نسخه قیمت: ۵۰۰۰ ریال (دانشجویان ۲۵۰۰ ریال)

نشانی: مشهد - کد پستی ۹۱۷۷۵ صندوق پستی ۱۱۶۳

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

تلفن: ۲۰-۸۷۹۵۶۱۸ داخلی ۳۲۱ نمابر: ۸۷۸۷۴۳۰

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

- ۲۱۴ نوشیدنی لیموترش فراسودمند و رژیمی، پایدارسازی و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی
مینا کارگزاری- لیلا باقری- علیرضا محمدی
- ۲۲۷ تاثیر پیش‌فرآیند مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دونات حاوی منابع فیبر خوراکی صمغ فارسی و پودر تفاله هویج
مهران نوری- بهزاد ناصحی- وحید سماواتی- سامان آبدانان مهدی زاده
- ۲۴۰ بررسی اثر انجماد سریع و کند بر ویژگی‌های عملکردی (ویژگی‌های رئولوژیکی، پایداری امولسیون و کف) صمغ دانه قدومه شهری
مریم محفوظی- آرش کوچکی- سید محمد علی رضوی
- ۲۵۱ تشخیص تازگی گوشت گوساله به کمک پردازش تصویر و سطح پاسخ
حسین جوادی‌کیا- مهدی قاسمی ورنامخواستی- سجاد سبزی
- ۲۶۲ بررسی غیرمخرب فاکتورهای کیفی آبمیوه مرکبات در خلال انبارمانی با کمک پردازش تصویر
سامان آبدانان مهدی‌زاده- مهران نوری- مریم سلطانی کاظمی- سمیه امرایی
- ۲۷۳ مقایسه تاثیر زمان و روش استخراج بر مقدار ترکیبات فنلی و خواص آنتی‌اکسیدانی پوست سبز گردوی مناطق مختلف شمال ایران
محمد دولت‌آبادی- زینب رفتی‌امیری- رضا اسماعیل‌زاده کناری
- ۲۸۲ بهینه‌سازی تولید پنیر فرالایش کم‌چرب با استفاده از تلفیق پروتئین‌های آب پنیر و تیمار آنزیمی به روش سطح پاسخ
عرفان دانش- حسین جوینده- وحید سمواتی- مصطفی گودرزی
- ۲۹۵ بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کیک اسفنجی فاقد گلوتن
علی مهربان شندی- مهران اعلی- شبنم مختاری
- ۳۰۷ تأثیر هیدروکلونید دانه‌های اسفرزه و ریحان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی سس کچاپ
سمیرا شکبیا- مرتضی خمیری- زید احمدی- سید سهیل امیری عقدایی
- ۳۲۲ استخراج و ویژگی‌های ژلاتین پای مرغ و کاربرد آن در ژله طالبی
عاطفه رضایی‌زاده- زینب رفتی‌امیری
- ۳۳۳ پیش‌بینی ضرایب انتقال حرارت سطحی و کینتیک‌های انتقال جرم نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN)
صفیه خلیلیان- امان محمد ضیائی‌فر- علی اصغری- مهدی کاشانی‌نژاد- محبت محبی
- ۳۴۶ بررسی تاثیر آنتی‌اکسیدانی اسانس بخش‌های هوایی مریم‌گلی کبیر (*Salvia sclarea*) و ریحان (*Ocimum basilicum*) در پنیر سفید ایرانی
فهیمه توریان- مریم عزیزخانی
- ۳۶۳ تاثیر بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده و پوشش خوراکی کیتوزان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی خیار گلخانه‌ای رویال طی دوره نگهداری
علی شهدادی ساردو، ناصر صداقت، مسعود تقی‌زاده، الناز میلانی

۳۷۹	آنالیز انتقال حرارت و جرم طی فرآیند سرخ کردن خلال سیب زمینی حسن صباغی - امان محمد ضیائی فر - مهدی کاشانی نژاد
۳۹۳	بررسی ویژگی های ساختاری، ریخت شناسی، ساختمانی و حرارتی نشاسته سورگوم سفید احمد احتیاطی - فخری شهیدی - آرش کوچکی - سید محمد علی رضوی - مهسا مجذوبی
۴۰۵	تأثیر فرآیند صمغ گیری بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پایداری اکسایشی روغن دانه مورینکا (گز روغنی) افسانه صادقی - احمد غضنفری مقدم - حسن هاشمی پور رفسنجانی - حمیدرضا اخوان
۴۱۵	تولید و بررسی خصوصیات کیک اسفنجی تولید شده با شیر انگور بهاره شهیدی - مریم کلاتری - ساره بوستانی
۴۲۶	مقاله کوتاه پژوهشی بررسی اثر حلال های مختلف بر استخراج کاروتنوئیدهای دارای فعالیت آنتی اکسیدانی از کدو حلوایی جواد مهدی زاده مقدم - سمیه رحیمی



نوشیدنی لیموترش فراسودمند و رژیمی، پایدارسازی و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی

مینا کارگزاری^{۱*} - لایلا باقری^۲ - علیرضا محمدی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۰۲

چکیده

نوشیدنی لیموترش با فرمولاسیون‌های مختلف حاوی شکر (۰، ۶ و ۱۲ درصد)، استویا (۰، ۰/۰۲ و ۰/۰۴ درصد) و زانتان (۰، ۰/۱۸ و ۰/۲۶ درصد) تهیه گردید. همچنین به منظور پوشاندن پس طعم تلخ استویا، ترکیب فراسودمند اینولین به میزان ۰/۵ درصد به فرمولاسیون اضافه شد. در این تحقیق، جهت معلق کردن ذرات جامد پالپ و رسیدن به پایداری مطلوب از روش ژل مایع استفاده شد. ساختار ژل مایع، با افزودن محلول داغ هیدروکلونید زانتان حین هم زنی به محلول نیمه رقیق شده نوشیدنی لیموترش تهیه شد. رفتار جریان و توزیع اندازه‌ی ذرات مورد آزمون قرار گرفت. تنش تسلیم پویای نمونه‌ها محاسبه گردید و پایداری ذرات پالپ در نوشیدنی لیموترش با استفاده از تعیین نیروهای وارده بر ذره پیش‌بینی شد. زانتان با تأثیر قابل توجه بر رفتار جریان و نوشیدنی لیموترش در نرخ‌های برش پایین و اسکوزیته‌ی ظاهری بالایی ایجاد نمود. در نمونه‌های حاوی زانتان، تنش تسلیم مشاهده شد و با روش برون‌یابی بر اساس مدل هرشل بالکلی مقدار آن اندازه‌گیری شد. محاسبات معلق‌سازی بر پایه‌ی تنش تسلیم انجام شد که با نتایج مشاهده شده‌ی پایداری همخوانی داشت. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (pH، اسیدیته، خاکستر، بریکس و چگالی)، حسی (ظاهر و طعم) و میکروبی نوشیدنی رژیمی لیموترش مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به ویژگی‌های رئولوژیکی، خواص فیزیکوشیمیایی و حسی نوشیدنی لیموترش، نمونه‌ی حاوی ۶ درصد شکر، ۰/۰۲ درصد استویا و ۰/۱۸ زانتان به عنوان بهترین فرمولاسیون انتخاب گردید.

واژه‌های کلیدی: نوشیدنی لیموترش، استویا، اینولین، ذرات پالپ معلق، ژل سیال، رئولوژی

مقدمه

متابولیسم ندارند، پس می‌توان گفت که این گیاه بدون کالری است (Geuns, 2003). جدیدترین تحقیقات پزشکی در مورد استویا حاکی از تأثیرات ضدویروسی، جلوگیری از افزایش فشار و قند خون و خاصیت درمانی بر رماتیسم و آسم بوده‌اند (Carino-Cortes et al., 2007). استویا کاربردهای وسیعی در فرآورده‌های خوراکی داشته و می‌تواند به عنوان منبع شیرینی در محصولات و همچون فراورده‌های قنادی و نانوائی، آبمیوه، مربا، شکلات، بیسکویت و دیگر مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد (حمزه‌لویی و همکاران، ۱۳۸۸؛ شوریده و همکاران، ۱۳۸۹؛ یوسفی اصل و همکاران، ۱۳۹۱). قندهای استویا بر خلاف قندهای الکلی، در درجه حرارت‌های بالا و همچنین درجه حرارت پاستوریزاسیون آبمیوه پایدار هستند و خاصیت شیرین‌کنندگی خود را از دست نمی‌دهند، پس می‌توان آنها را جایگزین مناسبی برای شکر به کار رفته در فرمولاسیون آبمیوه معرفی نمود. همچنین به دلیل پایین بودن pH در نوشیدنی لیموترش برای تنظیم طعم شیرینی و بریکس استاندارد بایستی از ساکارز بیشتری نسبت به سایر آبمیوها استفاده کرد. مطابق استاندارد ملی ۲۸۳۷، استفاده از شیرین‌کننده‌های مصنوعی در نوشیدنی میوه‌ای غیرمجاز است. این موارد اهمیت

طی سال‌های اخیر در صنعت غذا شیرین‌کننده‌های مصنوعی متنوعی مانند سیکلامات، ساخارین و آسپارتام با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. علاوه بر این قندهای الکلی مانند سوربیتول و مانیتول به عنوان جایگزین شکر، حجم‌دهنده و بافت‌دهنده به غذاها افزوده می‌شوند و تا حدودی می‌توانند ویژگی‌های ساکارز را تأمین کنند (نورمحمدی و همکاران، ۲۰۱۱). استویا (*Stevia rebaudiana*)، گیاهی علفی و حساس به سرما می‌باشد. گلیکوزیدهای استویا قابلیت

۱- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سراسرستان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه علوم و تحقیقات واحد مازندران، ساری

(*) - نویسنده مسئول: (Email: mina.kargozari666@gmail.com)

DOI:10.22067/iftstrj.v1395i0.46440

مواد و روش‌ها

مواد

صمغ زانتان توسط CP Kelco (آتلانتا، GA، USA) تأمین گردید. پودر استوای تجاری با خلوص ۹۵-۸۵ درصد از شرکت اصفهان شکلات خریداری شد. همچنین ساکارز تجاری، پالپ لیموترش (pH=۳؛ ۱۲=بریکس؛ بهنوش، تهران، ایران)، کنسانتره آب لیموترش (pH=۲/۳؛ ۶۵=بریکس؛ بهنوش، تهران، ایران) و اینولین IQ Frutafit از شرکت Cosun-sensus هلند، به منظور تهیه نوشیدنی لیموترش پالپ‌دار استفاده شدند.

تهیه نوشیدنی لیموترش

به منظور تهیه نمونه‌ی شاهد ابتدا کنسانتره‌ی لیموترش (۲٪ وزنی/حجمی)، شکر (۱۲٪ وزنی/حجمی)، پالپ (۳٪ وزنی/حجمی) و اینولین (۵٪ وزنی/حجمی) مخلوط شده و مابقی با آب به حجم رسانیده شد. در ادامه با غلظت‌های مختلف شکر، استوای و زانتان تعداد ۱۰ فرمولاسیون آمیوه تهیه شد (جدول ۱). پاستوریزاسیون نمونه‌ها در بن‌ماری (مدل WNB-10، شرکت Memmert، آلمان) به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۸۰°C انجام شد.

جدول ۱- شماره‌ی نمونه‌ها و سطوح متغیرهای مستقل

شماره نمونه	شکر (g/۱۰۰cc)	استوای (g/۱۰۰cc)	زانتان (g/۱۰۰cc)
۱ (شاهد)	۱۲	۰	۰
۲	۱۲	۰	۰/۱
۳	۶	۰/۰۲	۰/۱
۴	۰	۰/۰۴	۰/۱
۵	۱۲	۰	۰/۱۸
۶	۶	۰/۰۲	۰/۱۸
۷	۰	۰/۰۴	۰/۱۸
۸	۱۲	۰	۰/۲۶
۹	۶	۰/۰۲	۰/۲۶
۱۰	۰	۰/۰۴	۰/۲۶

بررسی رفتار رئولوژیک

اندازه‌گیری ویسکوزیته: جهت انجام آزمون‌های رئولوژیک (ویسکومتری و نوسانی) از دستگاه رئومتر مدل بوهلین جیمی^۱ Drive II از شرکت مالورن انگلستان با ژئومتری استوانه‌ای هم‌مرکز ۲ در دمای ۱۰°C استفاده به عمل آمد. برای اندازه‌گیری تنش برشی و گرانشی به صورت تابعی از سرعت برشی و تعیین رفتار جریان

استفاده از یک شیرین‌کننده‌ی طبیعی مانند استوای را بیان می‌سازد. استوای دارای پس طعم تلخی است که برای پوشاندن آن می‌توان از ترکیبات بهبوددهنده‌ی طعم مانند نئوهسپریدین یا اینولین که یک فروکتوالیگوساکارید است استفاده کرد (جعفری، ۱۳۹۱). Ranji et al. (2014)، پایداری آبجوی لیمویی حاوی استوای و ایزومالت در دوره‌ی نگهداری را بررسی کردند. اینولین ماده‌ای است که باعث بهبود ویژگی‌های تکنولوژیکی و بالا بردن ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی می‌شود و همچنین دارای خاصیت هم‌افزایی با شیرین‌کننده‌ها از جمله استوای می‌باشد و خود نیز شیرینی معادل ۳۰٪ ساکاروز را دارد. از نظر متخصصین تغذیه اینولین جزء فیبرهای غذایی محلول در آب طبقه بندی شده است اما تحقیقات حکایت از خواص پری بیوتیکی و بیفیدوژنیکی این ماده دارد که این سبب شده تا از آن بعنوان یک ماده فراسودمند نام برده شود. از سوی دیگر بعلت وجود منابع قابل دسترس اینولین در جهان به نظر می‌رسد این دسته از فروکتان‌ها بتوانند به عنوان مواد اولیه در تولید انواع فراورده‌های غذایی و نوشیدنی‌های فراویژه در مقیاس صنعتی بکار روند (اخوان طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۵). دلشادیان و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر جایگزین کردن اینولین و استوای در فرمولاسیون شیر کاکائو را بر اندیس پراکسید فراورده ارزیابی نمودند. طبق نتایج به‌دست آمده، شیرین‌کننده‌ی استوای باعث کاهش عدد پراکسید شیر کاکائو شد.

صمغ زانتان پلی‌ساکاریدی با وزن مولکولی بالا می‌باشد که در تولید چاشنی‌های سالادی، دسرهای، محصولات نانوائی و برخی نوشیدنی‌ها استفاده می‌شود. پایداری فراورده تحت تأثیر تغییرات pH پایین (۳/۵ در اغلب چاشنی‌ها) و روش‌های حرارتی قرار نمی‌گیرد (یارمند و همکاران، ۱۳۸۷؛ رحمتی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Mazorra and Casas, 2000). بنابراین در این مطالعه از صمغ زانتان برای پایداری ذرات پالپ در نوشیدنی لیموترش استفاده شد. Yu-ying et al. (2009) اثر پایداری سه نوع CMC و سه کلئید زانتان، آلزینات و صمغ آگار بر پایداری نوشیدنی پالپ‌دار زالزالک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که پایدارترین نوشیدنی پالپ‌دار زالزالک با استفاده از مخلوط نوعی CMC (۰/۳ درصد) و سدیم آلزینات (۰/۰۳ درصد) به‌دست آمد و پس از آن بیشترین پایداری در اثر استفاده از مخلوط CMC و صمغ زانتان حاصل گردید.

هدف از این تحقیق بررسی امکان تولید محصول ویژه‌ای بر پایه-ی آب لیموترش فراسودمند و رژیمی با ذرات معلق پالپ است. بدین منظور فاکتورهای ویسکوزیته و کاهش اختلاف دانسیته‌ی فاز پیوسته و پراکنده به منظور پایداری بررسی شد و همچنین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی و میکروبی فراورده‌ی نهایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

1- Bohlin Gemini

2-Concentric Cylinder Geometry

نمونه‌ها در یک فاصله‌ی زمانی ۱۰ دقیقه سرعت برشی $0.1/s$ تا ۱۰۰۰ افزایش یافت. تنش برشی و گرانیروی در هر ۶ ثانیه یکبار اندازه‌گیری گردید.

اندازه‌گیری توزیع اندازه‌ی ذرات

با استفاده از روش پراکنش نور دینامیک، توزیع و قطر متوسط ذرات کلئیدی در تیمارهای مختلف توسط دستگاه مسترسایزر^۱ ساخت شرکت مالورن^۲ انگلستان 2000S تعیین گردید. اندازه‌گیری بر اساس اصل فرانیهوفر انجام شد (Bagheri et al., 2014). آزمون‌ها پس از گذشت حداقل ۲۴ ساعت از زمان تولید نمونه‌ها انجام شد تا حالت ثابت در نمونه‌ها حاصل شده باشد. جهت اطمینان بیشتر، پس از خارج شدن از یخچال دمای نمونه‌ها به دمای اتاق رسانده شد.

اندازه‌گیری چگالی فاز پیوسته

اندازه‌گیری وزن مخصوص نوشیدنی لیموترش پس از حذف پالپ با استفاده از پیکنومتر ۵۰ میلی‌لیتر در دمای $20^{\circ}C$ و طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۸۵ انجام شد.

تعیین دانسیته و ابعاد پالپ

جهت تعیین دانسیته، وزن پالپ اضافه شده به آب به ازای افزایش حجم به مقدار مشخص با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت 0.001 گرم بدست آمد. با تعیین نسبت حجم به وزن، دانسیته‌ی پالپ تخمین زده شد. جهت حصول اطمینان سه تکرار انجام گردید. به‌منظور محاسبه‌ی ابعاد پالپ، ذرات پالپ لیموترش به شکل صفحات استوانه‌ای تقریب زده شدند. پالپ دارای دو فاکتور ظاهری قطر و ارتفاع می‌باشد که با استفاده از یک کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شدند. قطر و ارتفاع پالپ به ترتیب 0.2 ± 1.39 و 0.5 ± 13.95 میلی‌متر؛ و دانسیته‌ی پالپ 0.001 ± 1.0253 g/cm³ بود.

آزمون معلق شدن پالپ

پالپ به نمونه‌های پایدار نوشیدنی لیموترش اضافه شد و معلق-سازی مشاهده گردید (Bagheri et al., 2014).

بررسی معادلات پایدارسازی ذرات فاز جامد

فرض بر این است که یک صفحه دارای شکل هندسی استوانه-ای، درون یک سیال قرار گرفته است و هدف محاسبه‌ی برآیند نیروها و پیش‌بینی سکون و یا حرکت ذره می‌باشد. به یک ذره‌ی شناور در یک سیال چهار نیرو اعمال می‌شود که عبارتند از نیروی وزن ذره،

نیروی ارشمیدس، نیروی هیدرودینامیکی و نیروی بین مولکولی. نیروی هیدرودینامیکی در مورد ذرات یا سیال در حال حرکت صادق بوده و با گرانیروی و سرعت نسبی بین ذره و سیال مرتبط است، بنابراین در حالت ایستا که در بحث معلق سازی مطرح است اهمیت کمتری می‌یابد. به‌جای آن نیروی حاصل از تنش تسلیم قابل مطرح شدن است که در واقع مشابه و معادل آن است اما در حالت ایستا می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. یعنی نیرویی که لازم است تا شبکه یا بافت موجود در محصول را از هم گسیخته و ایجاد حرکت نماید. برآیند نیروی وزن و ارشمیدس در لحظه‌ی صفر یعنی زمانی که ذره ثابت است مقداری مثبت و یا منفی است که باعث شروع صعود و یا ته‌نشین شدن ذره می‌شود که البته با شروع حرکت نیروی هیدرودینامیکی هم وارد خواهد شد. تنش تسلیم از شروع این حرکت جلوگیری کرده و در واقع نیروی حاصل از آن باید از برآیند این دو بیشتر باشد. از نیروی بین مولکولی نیز صرف نظر می‌شود چون ذرات، درشت و خنثی می‌باشند. بنابراین سه نیروی اصلی باید محاسبه شوند که عبارتند از نیروی وزن ذره، نیروی ارشمیدس و نیروی متناسب با تنش تسلیم سیال. به عنوان یک مثال، ذرات پالپ در نوشیدنی لیموترش مورد بحث قرار می‌گیرند. نیروها عبارتند از:

نیروی وزن ذره

$$F^g = \rho_p V_g \quad (1)$$

نیروی شناوری

$$F^b = \rho_m V_g \quad (2)$$

نیروی مربوط به تنش تسلیم: فشاری که به یک طرف ذره‌ی مسطح وارد می‌شود این نیرو را ایجاد می‌نماید. این نیرو برای یکی از نمونه‌های نوشیدنی لیموترش که حاوی 0.18 درصد زانتان و 0.04 درصد استویا می‌باشد محاسبه می‌شود.

$$F^{\sigma_0} = \sigma_0 A \quad (3)$$

بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نوشیدنی لیموترش

اندازه‌گیری خاکستر و بریکس

برای تعیین درصد خاکستر، نمونه‌های موجود در بوتله‌ی چینی به مدت ۶ تا ۸ ساعت در کوره‌ی $500^{\circ}C$ قرار داده شدند. سپس درصد خاکستر حاصل محاسبه شد. میزان بریکس نوشیدنی لیموترش توسط دستگاه ضریب شکست‌سنج (رفراکتومتر) (ATAGO DR-A1 مدل AD-13، ژاپن) اندازه‌گیری شد و پس از اعمال اصلاحات مربوط به دما، اعداد بریکس به‌دست آمد.

اندازه‌گیری pH و اسیدیته

اندازه‌گیری pH نمونه‌های نوشیدنی لیموترش توسط pH متر (PH meter 3510، انگلستان) انجام شد. اسیدیته‌ی

1- Mastersizer

2- Malvern

نوشیدنی لیموترش نشان داده شده است. زانتان رفتار جریان‌ی نوشیدنی لیموترش را تغییر و آن را به سمت رفتار غیرنیوتنی رقیق‌شونده سوق داد. در نرخ‌های برش پایین، ویسکوزیته‌ی ظاهری بالاتر بود اما با افزایش نرخ برش، ویسکوزیته به شدت کاهش یافت. بالا بودن ویسکوزیته‌ی ظاهری در نرخ‌های برشی پایین تأییدکننده‌ی ایجاد شبکه‌ی سه‌بعدی در حضور زانتان می‌باشد. این شبکه توسط نیروهای ضعیف مانند پیوندهای هیدروژنی، پایدار گردیده است. در حالت ایستا این شبکه‌ی سه‌بعدی عامل بالا بودن قوام محلول حاوی زانتان می‌باشد. اما با اعمال نیروی برشی متناسب این قوام کاهش یافته و ویسکوزیته‌ی ظاهری تا حد زیادی کاهش می‌یابد. این رفتار موجب حفظ ویژگی نوشیدنی بودن محصول می‌گردد.

افزایش غلظت زانتان نیز موجب تغییر رفتار جریان‌ی نوشیدنی لیموترش گردید به نحوی که رفتار رقیق‌شوندگی محلول تشدید شد و قوام محلول افزایش یافت، از طرفی افزایش غلظت زانتان در نرخ برشی بالاتر از ۱۰ تأثیر شدیدی بر ویسکوزیته‌ی ظاهری نمونه‌ها نداشته است در حالی که در نرخ‌های برش پایین تفاوت بارزی بین نمونه‌ها ایجاد گردید. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که زانتان موجب ایجاد تنش تسلیم شده است و همانطور که پیش‌بینی شد رفتار مربوط به ژل مایع در نمونه‌های حاوی زانتان مشاهده شد. از لحاظ گرافیکی تأثیر حضور زانتان را می‌توان چنین تفسیر نمود که در قسمت تقریباً خطی، شیب نمودارها تفاوت چندانی با هم ندارد و در نتیجه ویسکوزیته‌ی محلول تا حدودی مشابه می‌باشد، اما همانطور که در نمودارها قابل مشاهده است افزایش غلظت زانتان موجب بالاتر رفتن نمودار گردیده است. به عبارت دیگر می‌شود چنین نتیجه گرفت که بالاتر رفتن نمودارها نشانگر عرض از مبدأ ایجاد شده توسط تنش تسلیم می‌باشد.

به عبارت دیگر، همانطور که در شکل ۲ قابل مشاهده است ویسکوزیته‌ی نمونه‌های نوشیدنی حاوی زانتان تا افزایش نرخ برشی به مقدار معینی، ثابت است که نشانگر مقاومت نمونه‌های نوشیدنی حاوی زانتان برای سیال شدن است. در نرخ‌های برشی کم، ژل‌های سیال همانند ژل رفتار می‌کنند بدان معنی که میزان تخریب ساختار ژل سیال در اثر تنش وارد شده با شکل‌گیری توده‌های جدید در حال تعادل است (Bagheri *et al.*, 2014). بنابراین، تغییر محسوسی در ویسکوزیته‌ی نمونه‌ها ایجاد نمی‌شود. این منطقه، ناحیه‌ی پلاتوی نیوتنی نامیده می‌شود که در آن ویسکوزیته‌ی نمونه‌ها ثابت است. در نرخ‌های برشی بالاتر، میزان تخریب ساختار ژل سیال بسیار بیشتر از شکل‌گیری آن است (Bagheri *et al.*, 2014) و مولکول‌های زانتان در مسیر برش قرار گرفته و با افزایش نرخ برشی، ویسکوزیته کاهش می‌یابد.

نمونه‌های نوشیدنی لیموترش با روش تیتراسیون با محلول سود ۰/۱ مولار تا ظهور رنگ صورتی پایدار و بر اساس اسید سیتریک محاسبه گردید.

بررسی ویژگی‌های حسی نوشیدنی لیموترش

برای ارزیابی حسی نمونه‌های نوشیدنی از روش امتیازدهی ساده^۱ استفاده شد. برای این منظور فرم‌های ارزیابی حسی تهیه شد و تیمارهای نوشیدنی‌های لیموترش در اختیار ۲۰ ارزیاب آموزش‌دیده قرار داده شد. برای هر تیمار یک کد سه رقمی در نظر گرفته شد. بیشترین امتیاز ۷ و کمترین امتیاز ۱ در نظر گرفته شد. سپس از هر ارزیاب خواسته شد که به بهترین نمونه (از نظر پذیرش کلی مصرف‌کننده) امتیاز ۷ و به ضعیف‌ترین نمونه امتیاز ۱ را بدهد و بقیه نمونه‌ها را نیز بر این اساس امتیازبندی کند. از ارزیاب‌ها خواسته شد تا پس از خوردن هر نمونه، آب بنوشند تا نمونه‌ی قبلی تأثیری بر ارزیابی آنها نسبت به نمونه‌ی جدید نداشته باشد. نمونه‌ها به هر ارزیاب به صورت جداگانه ارائه شد تا نظرات ارزیاب‌ها بر یکدیگر تأثیرگذار نباشد (رئوسی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Azarikia *et al.*, 2010).

بررسی ویژگی‌های میکروبی نوشیدنی لیموترش

بررسی کیفیت میکروبی نمونه‌ها از نظر باکتری‌های اسیدوست و شمار کپک و مخمر مطابق استانداردهای ملی ۲۸۳۷، ۳۴۱۴ و ۱۲۵۰ انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

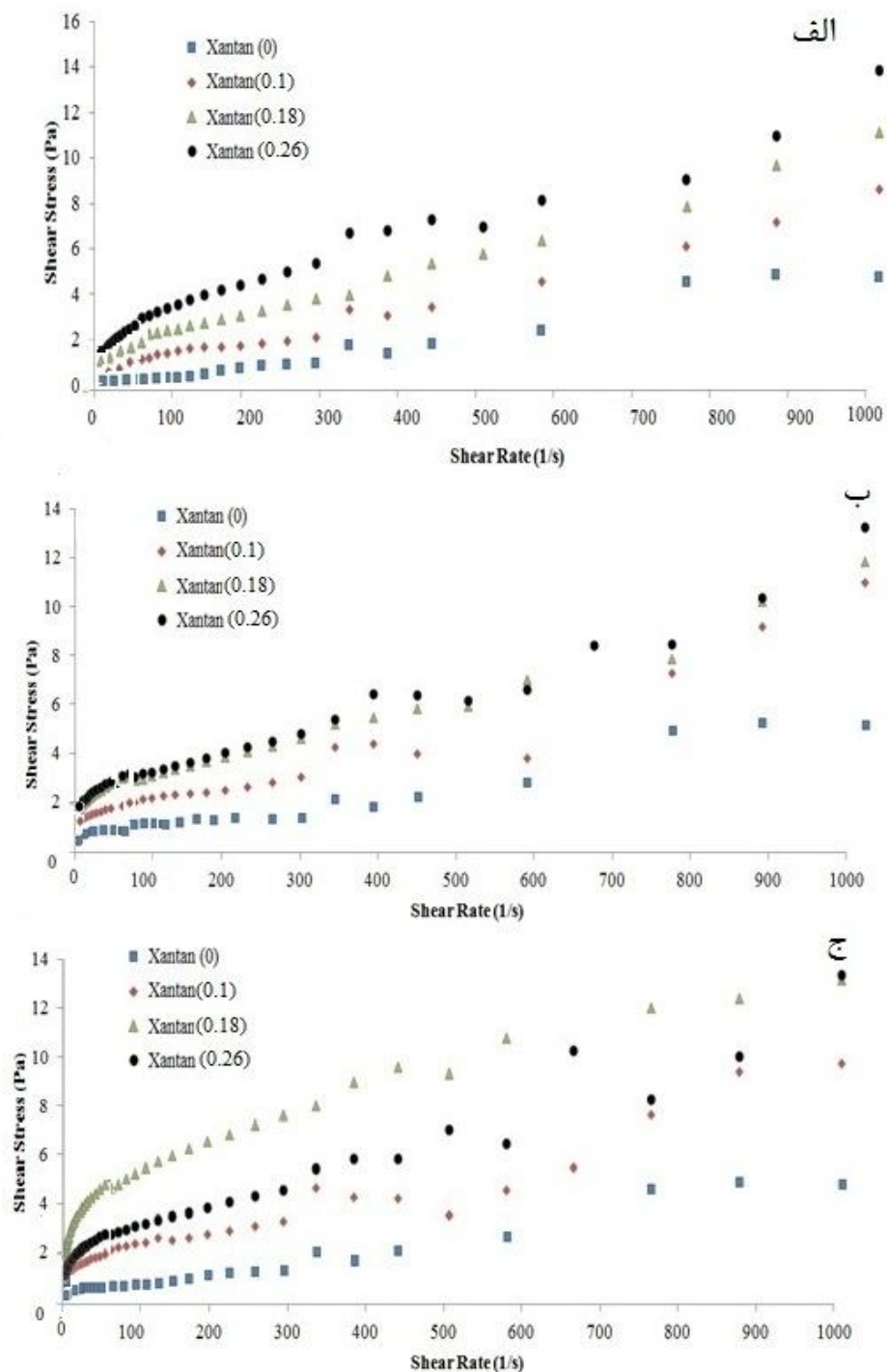
برای ارزیابی آماری داده‌ها از نرم‌افزار Statgraphics 15.2.11 centurion استفاده شد. به منظور بررسی معنی‌دار بودن اختلاف موجود بین میانگین‌ها در آزمون‌های دستگاهی از روش ANOVA و جهت تعیین اختلافات از روش مقایسه‌ی چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. رسم نمودارها با کمک نرم‌افزار Excel انجام گرفت. اطلاعات به دست آمده از آزمایش‌های رئولوژیکی با استفاده از نرم‌افزار Excel به منظور تعیین مدل ریاضی مناسب مورد برازش قرار گرفت. در این راستا از رگرسیون‌های خطی و غیرخطی استفاده شد.

نتایج و بحث

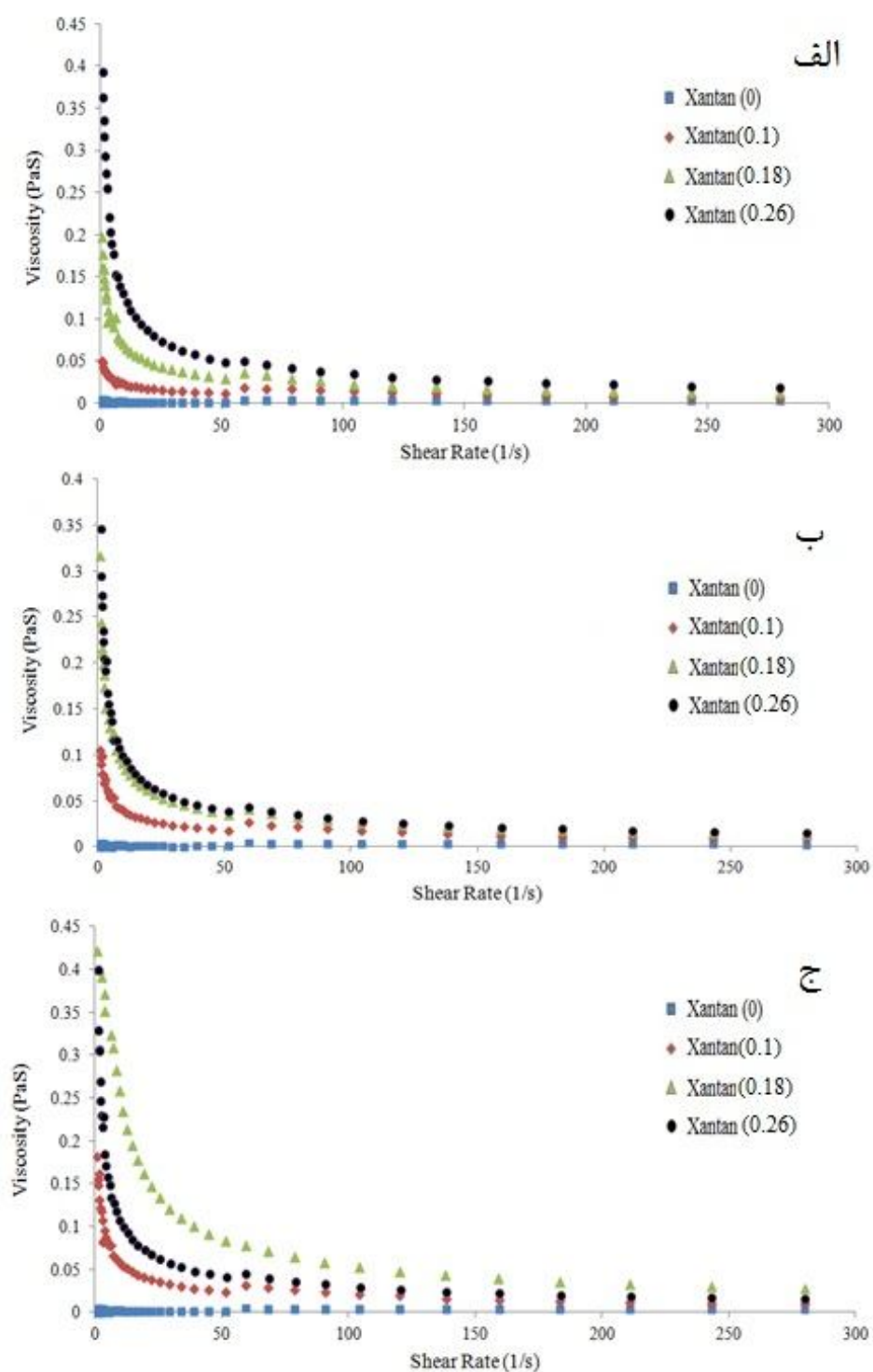
ویژگی‌های رئولوژیکی

تأثیر افزودن هیدروکلوئیدها بر خواص جریان‌ی نوشیدنی لیموترش

در شکل ۱ و ۲ به ترتیب نمودار جریان و ویسکوزیته‌ی نمونه‌های



شکل ۱- نمودار جریان نمونه‌ی شاهد و نمونه‌های حاوی: الف) ۱۲٪ شکر، فاقد استویا و غلظت‌های مختلف زانتان، ب) ۶٪ شکر، ۰/۰۲٪ استویا و غلظت‌های مختلف زانتان، ج) ۰٪ شکر، ۰/۰۴٪ استویا و غلظت‌های مختلف زانتان



شکل ۲- نمودار ویسکوزیته‌ی نمونه‌ی شاهد و نمونه‌های حاوی: الف) ۱۲٪ شکر، فاقد استویا و غلظت‌های مختلف زانتان، ب) ۶٪ شکر، ۰/۰۲٪ استویا و غلظت‌های مختلف زانتان، ج) ۰٪ شکر، ۰/۰۴٪ استویا و غلظت‌های مختلف زانتان

به ترتیب اندیس جریان و اندیس قوام گردید. در نمونه‌های حاوی غلظت ۰/۲۶٪ زانتان، اندیس قوام نمونه‌ها با افزایش غلظت استویا تا ۰/۰۴٪ به طور معناداری کاهش یافت. با افزایش غلظت زانتان مقدار تنش تسلیم نمونه‌ها افزایش یافت. در غلظت یکسان زانتان، با افزایش غلظت استویا مقدار تنش تسلیم نمونه‌ها به طور معناداری افزایش یافت. به عبارت دیگر، کاهش درصد شکر و افزایش درصد استویا با افزایش غلظت زانتان دارای اثر متقابل معناداری بر افزایش مقدار تنش تسلیم نمونه‌ها بود.

روابط مربوط به نرخ برش و تنش برشی با مدل هرشل بالکلی برازش شد که نتایج آن‌ها در جدول ۲ آمده است. با افزایش غلظت زانتان رفتار رقیق‌شوندگی محلول تشدید شد و قوام محلول افزایش یافت. در نمونه‌های حاوی غلظت ۰/۱٪ زانتان، افزایش غلظت استویا تا ۰/۰۲٪ اثر معناداری بر افزایش رفتار رقیق‌شوندگی داشت. اندیس قوام در این نمونه‌ها با افزایش غلظت استویا تا ۰/۰۴٪ به طور معناداری افزایش یافت. در نمونه‌های حاوی غلظت ۰/۱۸٪ زانتان، افزایش غلظت استویا تا ۰/۰۴٪ منجر به کاهش و افزایش معنادار

جدول ۲- پارامترهای محاسبه شده مربوط به مدل هرشل بالکلی برای نمونه‌های نوشیدنی لیمو ترش شامل شاخص رفتار جریان، اندیس قوام و

تنش تسلیم

شماره نمونه	شاخص رفتار جریان (n)	ضریب قوام (mPa.s) (K)	تنش تسلیم (mPa)	ضریب همبستگی
۱ (شاهد)	۰/۸۷	۶	۰	۰/۶۷۱
۲	۰/۶۴	۶۶۲	۹۰۰/۲۳	۰/۸۴۸۷
۳	۰/۵۶	۱۲۴	۱۰۰۲/۷۱	۰/۸۶۴۵
۴	۰/۵۵	۱۶۶/۷	۱۱۰۲/۱	۰/۹۶۸۴
۵	۰/۵۳	۲۰۲/۴	۱۲۳۴/۴۳	۰/۹۷۵۴
۶	۰/۴۸	۳۰۹/۹	۱۹۳۲/۸۹	۰/۹۲۸۵
۷	۰/۳۶	۹۲۶/۷	۲۱۶۲/۴	۰/۹۹۸۹
۸	۰/۴۵	۴۵۵/۷	۱۷۱۵/۹۸	۰/۹۸۹۹
۹	۰/۴۹	۳۱۸	۲۰۰۴/۰۱	۰/۹۹۸۹
۱۰	۰/۴۸	۳۵۳/۷	۱۸۹۲/۶	۰/۹۹۷۶

توزیع اندازه‌ی ذرات

در شکل ۳ توزیع اندازه‌ی ذرات بر حسب درصد حجمی ذرات با قطرهای مختلف نشان داده شده است. نتایج به دست آمده از آزمون توزیع اندازه‌ی ذرات نشان داد که زانتان به طور معناداری باعث افزایش اندازه‌ی ذرات می‌شود. این امر به این معنی است که هیدروکلوئید آنیونی زانتان و کلوئیدهای نوشیدنی لیموترش با هم واکنش داده و بنابراین دامنه وسیع‌تری از اندازه‌ی ذرات را ایجاد نموده‌اند (Bagheri et al., 2014). افزایش غلظت زانتان این اثر را تشدید نمود. کاهش غلظت شکر و افزایش غلظت استویا در ترکیب با زانتان باعث کاهش اندازه ذرات شد.

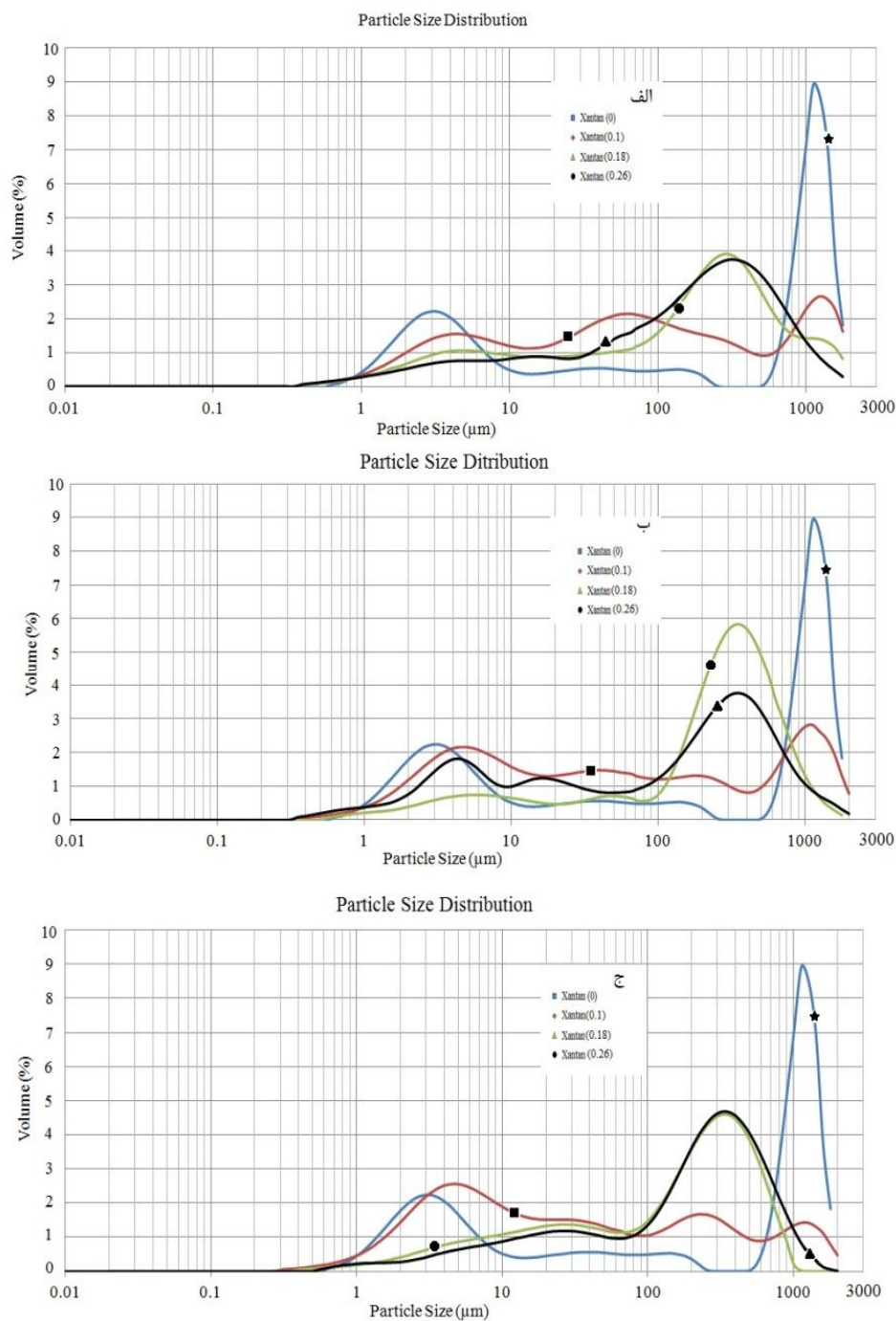
معلق‌سازی

در نمونه‌ی استاندارد که فاقد زانتان بود پالپ‌ها به علت چگالی بالای سیال در سطح تجمع کردند. در نمونه‌های حاوی ۰/۱۰٪ زانتان به علت عدم قدرت کافی بافت برای تشکیل ساختار سه‌بعدی و نگهداری پالپ‌ها، ذرات پالپ به حالت روشناور باقی ماندند و به دلیل چگالی بالای سیال و اختلاف چگالی فاز پیوسته و پراکنده بر طبق

قانون استوک^۱ پالپ‌ها در سطح تجمع یافتند. در نمونه‌های حاوی زانتان کمتر از ۰/۱۷٪ به علت کم بودن چگالی سیال، پالپ‌ها ته‌نشین شدند. نمونه‌های حاوی ۰/۱۷٪ زانتان پایدار بودند اما پس از گذشت ۳-۴ ساعت، ته‌نشینی ذرات پالپ در آنها روی داد. در نمونه‌های حاوی ۰/۲۰-۰/۱۸٪ زانتان به علت تشکیل ساختار سه‌بعدی مناسب و قدرت کافی جهت نگهداری ذرات پالپ معلق‌سازی صورت گرفت. بنابراین در بحث محاسبات پایداری این نمونه مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های حاوی زانتان بالا (بالا تر از ۰/۲۰٪) به علت ویسکوز بودن بیش از حد که بازارپسندی محصول را کاهش می‌دهد مورد قبول نبوده و صرفاً جنبه‌ی بحث و مقایسه داشتند. در این مطالعه مقادیر ویسکوزیته‌ی به دست آمده در مورد نوشیدنی لیموترش بیشتر از مقادیر لحاظ شده برای نوشیدنی پرتقال پایدار شده توسط ژلان (Bagheri et al., 2014) بود که این موضوع را می‌توان به اختلاف مقادیر مصرفی هیدروکلوئید، تفاوت در قدرت تشکیل ژل آنها و همچنین به کارگیری اینولین در فرمولاسیون نوشیدنی لیموترش نسبت داد؛ زیرا بکاربردن مقدار پایین اینولین به همراه سایر پلی-ساکاریدها و صمغ‌ها مثل زانتان به علت واکنش‌های هم‌افزایی سبب

1- Stoke's law

افزایش قابل توجه ویسکوزیته می شود (اخوان طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۵).



شکل ۳- منحنی توزیع اندازه ذرات نمونه شاهد و نمونه های حاوی: الف) ۱۲٪ شکر، فاقد استویا و غلظت های مختلف زانتان، ب) ۶٪ شکر، ۰/۰۲٪ استویا و غلظت های مختلف زانتان، ج) ۰٪ شکر، ۰/۰۴٪ استویا و غلظت های مختلف زانتان

معادلات مربوط به پایداری

بر اساس قطر و ارتفاع پالپ مساحت و حجم ذرات پالپ به ترتیب $m^2 \times 10^{-5}$ و $m^3 \times 10^{-8}$ و $7/289$ محاسبه شد. وجود تنش تسلیم از نتایج مربوط به رفتار جریانی قابل استنتاج است. برای یکی از نمونه‌های نوشیدنی لیموترش که حاوی ۰/۱۸ درصد زانتان و ۰/۰۴ درصد استویا می باشد ما داریم:

$$\rho_m = 1003.9 \text{ kg m}^{-3} \text{ and } \sigma_0 = 2.1624 \text{ Pa}$$

پس مطابق با معادلات ۱-۳ داریم:

$$F^g = \rho_p V_p g = 7.324 \times 10^{-4} \text{ N} \quad (۴)$$

$$NF^b = \rho_m V_m g = 7.171 \times 10^{-4} \quad (۵)$$

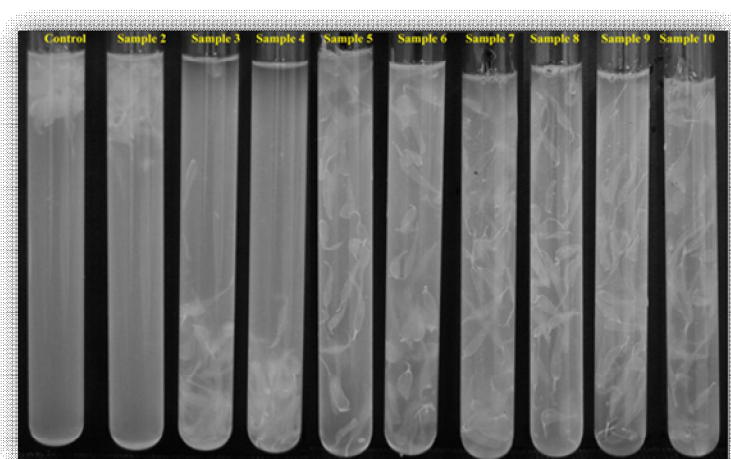
$$NF^{\sigma_0} = 2.6697 \quad (۶)$$

همانطور که اشاره شد در حالت ایستا نیروهای وزن و شناوری به

ذره وارد شده و تمایل به ایجاد حرکت در ذره را دارند. بنابراین برآیند این دو نیرو باید محاسبه شود:

$$F^{\sigma_0} \geq |F^g - F^b| \geq (7.324 \times 10^{-4}) - (7.171 \times 10^{-4}) \geq 1.53 \times 10^{-5} \text{ N} \quad (۷)$$

چنانچه تنش تسلیم، نیروی برابر یا بزرگتر از این مقدار باشد، ذره پالپ پایدار خواهد شد. با توجه به اینکه نیروی تنش تسلیم در مورد ذره‌ی محاسبه شده بزرگتر از برآیند این دو نیرو می باشد ذرات پالپ به خوبی در محلول نمونه پایدار شد. در آزمایشات پایداری نیز این نمونه پایدار بود (شکل ۴) که محاسبات را تأیید نمود (Bagheri et al., 2014).



شکل ۴- نمونه های نوشیدنی لیموترش حاوی ذرات پالپ

($P < 0.05$)

از نقطه نظر ویژگی های حسی، ظاهر و طعم نمونه ها توسط ارزیاب ها مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). با اینکه هیدروکلوئیدها قادر به پایداری سازی سیستم های غذایی دوفاز می باشند ولی در عین حال می توانند تأثیرات منفی بر خواص حسی فراورده ی نهایی داشت باشند (Azarikia et al., 2010). به طور کلی غلظت حدود ۰/۱۸٪ زانتان موجب معلق سازی مناسب ذرات پالپ و دریافت امتیازات بالاتر توسط ارزیاب ها گردید. از طرفی بر اساس مطالعات انجام شده، بکارگیری اینولین در نوشیدنی ها و آبمیوه ها و شکلات ها به همراه شیرین کننده های کم کالری قوی مثل آسپارتام و آسسولفام سبب پوشانده شدن پس مزه نامناسب این شیرین کننده ها و ایجاد بافت و احساس دهانی شبیه نمونه های تولید شده با شکر می شود (Dahl et al., 2005). بنابراین داوران چشایی به نمونه های حاوی شکر یا

خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی

در جدول ۳ خصوصیات کیفی فرمولاسیون های مختلف نوشیدنی لیموترش مشاهده می گردد. بر اساس نتایج به دست آمده pH نمونه ها ۲/۹۰-۲/۸۵ و میزان اسیدیته بر حسب اسید سیتریک ۰/۵۲-۰/۴۷ گزارش شد که با استاندارد ویژگی های فیزیکوشیمیایی نوشیدنی میوه ای بدون گاز (استاندارد ملی ۲۸۳۷) مطابقت داشت. برای سایر ویژگی ها مانند مواد جامد محلول در آب (بریکس) و چگالی به دلیل موجود نبودن استاندارد برای آبمیوه های رژیمی مقایسه ای انجام نگرفت و نیاز به تدوین استاندارد ملی در این زمینه احساس می شود. بررسی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی تیمارهای مختلف نوشیدنی لیموترش بیانگر این است که مقادیر اسیدیته و pH تفاوت معنی داری در میان نمونه های نوشیدنی نداشتند و نمونه های حاوی شکر، زانتان و استویای بالاتر دارای بریکس، خاکستر و چگالی بالاتری بودند

استویا- بدون احساس پس مزه‌ی تلخ- که طعم شیرینی مطلوبی داشتند امتیاز بالاتری دادند.

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و نتایج ارزیابی حسی نوشیدنی لیموترش

شماره نمونه	اسیدیته	pH	بریکس	خاکستر	چگالی	ظاهر	طعم
۱ (شاهد)	۰/۵۰ ^a ±۰/۰۲	۲/۸۶ ^a ±۰/۰۲	۱۲/۵۵ ^f ±۰/۷۸	۰/۱۴۳ ^b ±۰/۰۰۶	۱/۰۰۶ ^{bc} ±۰/۰۰۱	۲/۵۰ ^a ±۰/۷۱	۶/۰۰ ^d ±۱/۴۱
۲	۰/۴۹ ^a ±۰/۰۳	۲/۸۳ ^a ±۰/۰۷	۱۲/۲۰ ^f ±۰/۱۴	۰/۱۷۹ ^{de} ±۰/۰۰۲	۱/۰۰۶ ^c ±۰/۰۰۱	۵/۵۰ ^{cd} ±۰/۷۱	۵/۰۰ ^{cd} ±۱/۴۱
۳	۰/۴۸ ^a ±۰/۰۴	۲/۷۴ ^a ±۰/۰۸	۷/۴۰ ^c ±۰/۱۴	۰/۱۵۶ ^c ±۰/۰۰۵	۱/۰۰۳ ^a ±۰/۰۰۱	۴/۵۰ ^{bc} ±۰/۷۱	۳/۵۰ ^{abc} ±۰/۷۱
۴	۰/۴۹ ^a ±۰/۰۴	۲/۷۶ ^a ±۰/۱۱	۲/۱۵ ^a ±۰/۴۹	۰/۱۳۰ ^a ±۰/۰۰۳	۱/۰۰۵ ^{abc} ±۰/۰۰۱	۳/۵۰ ^{ab} ±۰/۷۱	۱/۵۰ ^a ±۰/۷۱
۵	۰/۴۸ ^a ±۰/۰۳	۲/۸۲ ^a ±۰/۰۸	۱۲/۲۵ ^f ±۰/۲۱	۰/۲۱۴ ^f ±۰/۰۰۷	۱/۰۲۹ ^d ±۰/۰۰۱	۶/۵۰ ^d ±۰/۷۱	۵/۵۰ ^{cd} ±۰/۷۱
۶	۰/۴۹ ^a ±۰/۰۴	۲/۸۲ ^a ±۰/۰۵	۷/۵۰ ^c ±۰/۷۱	۰/۱۸۸ ^e ±۰/۰۰۳	۱/۰۰۵ ^c ±۰/۰۰۱	۶/۰۰ ^{cd} ±۰/۰۰	۶/۰۰ ^d ±۰/۰۰
۷	۰/۴۸ ^a ±۰/۰۲	۲/۷۷ ^a ±۰/۰۲	۳/۰۵ ^b ±۰/۰۷	۰/۱۵۲ ^{bc} ±۰/۰۰۷	۱/۰۰۴ ^{abc} ±۰/۰۰۱	۶/۵۰ ^d ±۰/۷۱	۲/۰۰ ^{ab} ±۱/۴۱
۸	۰/۴۹ ^a ±۰/۰۴	۲/۸۳ ^a ±۰/۰۸	۸/۳۵ ^d ±۰/۷۱	۰/۲۳۷ ^g ±۰/۰۰۶	۱/۰۱۹ ^d ±۰/۰۰۱	۴/۵۰ ^{bc} ±۰/۷۱	۵/۵۰ ^{cd} ±۰/۷۱
۹	۰/۵۰ ^a ±۰/۰۲	۲/۸۴ ^a ±۰/۰۶	۹/۱۰ ^e ±۰/۱۴	۰/۲۱۸ ^f ±۰/۰۰۶	۱/۰۵۲ ^f ±۰/۰۰۱	۶/۰۰ ^{cd} ±۱/۴۱	۵/۵۰ ^{cd} ±۰/۷۱
۱۰	۰/۴۹ ^a ±۰/۰۲	۲/۸۲ ^a ±۰/۰۸	۲/۶۰ ^{ab} ±۰/۱۴	۰/۱۶۸ ^d ±۰/۰۰۵	۱/۰۰۴ ^{ab} ±۰/۰۰۱	۳/۰۰ ^{ab} ±۰/۰۰	۴/۰۰ ^{bcd} ±۱/۴۱

حروف مختلف در هر ستون به معنی وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵٪ است.

ویژگی‌های میکروبی

پائین بودن pH آبمیوه‌ها و بالا بودن غلظت قندهای قابل تخمیر، باعث انتخابی شدن محیط آن‌ها برای رشد گروه خاصی از میکروارگانیسم‌های مقاوم به اسید شده است. مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های عامل فساد آب میوه‌ها، مخمرها مانند کاندیدا و توروپسیس هستند. مخمرها با تجزیه‌ی اسیدهای آلی و تخمیر مواد قندی تولید استالدئید، الکل، دی‌اکسیدکربن و مواد دیگری می‌کنند که باعث ایجاد طعم نامناسب در فراورده می‌شود. باکتری‌های اسید لاکتیک مانند لاکتو باسیلوس برویس نیز از دیگر عوامل فساد آب میوه‌ها هستند. باکتری‌های اسید استیک مانند گلوکونوباکتر نیز در موارد نقص در بسته‌بندی فراورده و افزایش اکسیژن محلول می‌توانند سبب فساد آبمیوه‌ها شوند: باکتری‌های اسید لاکتیک و استیک نسبت به حرارت پاستوریزاسیون حساس هست. در مورد نمونه‌های نوشیدنی لیموترش، شمار باکتری‌های مقاوم به اسید و کپک و مخمر مطابق استاندارد ۳۴۱۴ بوده و حداکثر مجاز در یک میلی‌لیتر آبمیوه منفی گزارش شد.

نتیجه‌گیری

زانتان باعث ایجاد رفتار غیرنیوتنی و تنش تسلیم در نوشیدنی

می‌شود و از ته‌نشینی ذرات معلق در حالت ایستا جلوگیری می‌نماید. ایجاد تنش تسلیم به علت وجود شبکه‌ی سه بعدی بازگشت پذیر است. از آنجایی که این شبکه به راحتی با اعمال تنش برشی از بین می‌رود امکان استفاده از این خاصیت در نوشیدنی‌ها وجود دارد. ذرات پالپ به‌عنوان مثالی از ذرات جامد به نوشیدنی لیموترش افزوده شدند. این ذرات به علت وجود تنش تسلیم یا ایجاد حالت ژل مایع، با وجود داشتن دانسیته بیشتر از نوشیدنی لیموترش، معلق ماندند. در مورد ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مانند بریکس و چگالی نیاز به تدوین استاندارد و امکان مقایسه‌ی نتایج با استاندارد نوشیدنی رژیمی لیموترش وجود دارد. در مجموع با در نظر گرفتن تمامی فاکتورهای پایدارسازی و خواص فیزیکوشیمیایی و حسی نوشیدنی رژیمی فراسودمند لیموترش، نمونه‌ی ۶ حاوی ۶ درصد شکر، ۰/۰۲ درصد استویا و ۰/۱۸ زانتان بهترین فرمولاسیون بود.

تشکر و قدردانی

نگارندگان به این وسیله مراتب سپاس خود را از مسئولان سازمان اتکا و کارخانه‌ی زمزم به جهت تأمین برخی مواد و تجهیزات مورد نیاز جهت انجام این پژوهش اعلام می‌دارند.

منابع

- Akhavan Tabatabaee, H., & Zandi, P., 2006, Evaluation of nutritional value and technological characteristics of inulin and its application in food industry. *16th National Food Congress*, Gorgan, Iran.
- Azarikia, F., & Abbasi, S., 2010, on the stabilization mechanism of Doogh (Iranian yoghurt drink) by gum tragacanth. *Food Hydrocolloids* 24, 358–363.
- Bagheri, L., Mousavi, M. E., & Madadlou, A., 2014, Stability and Rheological Properties of Suspended Pulp Particles

- Containing Orange Juice Stabilized by Gellan Gum. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 0, 1-8.
- Carino-Cortes, R., Hernandez-Ceruelos, A., Torres-Valencia, J. M., Gonzalez-Avila, M., Arriaga-Alba, M. & Madrigal-Bujaidar, E., 2007, Anti-mutagenicity of *Stevia pilosa* and *Stevia eupatoria* evaluated with the Ames test. *Toxicology in Vitro*, 6, 691-697.
- Dahl, W. J., Whiting, S. J., Isaac, T. M., Weeks, S. J., & Arnold, C. J., 2005, Effects of thickened beverages fortified with inulin on beverage acceptance, gastrointestinal function, and bone resorption in institutionalized adults. *Journal of Nutrition*, 21 (3), 308-311.
- Delshadian Z., Mohammadi, R., Rouhi M., Homayouni Rad A., & Mortazavian, A. M., 2013, Effect of using stevia sweetener on peroxide value of chocolate milk. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 7(5), 107-113.
- Geuns, J. M. C., 2003, Molecules of Interest Stevioside. *Phytochemistry*, 64, 913-921.
- Hamzeliuie, M., Mirzayi, H., & Ghorbani, M., 2009, Evaluation effects of evaluation of sugar replace by glycosidic sweeteners of stevia on the peroxide index in biscuit. *Iranian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16, 291-298.
- Ja'fari, M., 2012, Production of a functional cocoa-milk drink. MSc. Thesis, Islamic Azad University of Shahre-Qods.
- Mazorra, V. E. S., & Casas, J., 2000, Xanthan gum: production, recovery and properties. *Biotechnology advances*, 18, 549-579.
- Nourmohammadi, E., Peighambaroust, S. H., Olad Ghaffari, A., Azadmard-Damirchi, S., & Hesari, J., 2011, Effect of sucrose replacement with polyols and aspartame on the characteristics of sponge cake. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 21, 155-165.
- Rahmati, N. F., Mazaheri Tehrani, M., & Koocheki, A., 2014, Modeling and optimization of textural properties of low calorie mayonnaise containing xanthan, guar and pre gel corn starch as fat replace. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 42, 43-54.
- Raiesi, F., Razavi, H., Hojjatoleslami, M., & Keramat, J., 2013, Production of a functional orange drink using rice-bran extract. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 7 (4), 45-53.
- Ranji, R., Hashemiravan, R. M., & Asadolahi, S., 2014, Stability of lemon beer containing stevia and isomalt sweeteners during storage period. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 3, 145-150.
- Shourideh, M., Taslimi, A., Azizi, M., Mohammadifar, M., & Mashayekh, M., 2010, Effects of D-Tagatose, inulin and stevia as sugar substitutes on the physical, chemical, rheological and sensory properties of dark chocolate. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 5(3), 29-38.
- Standard No. 1250, carbonated soft drink-Specifications, Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 4th Ed., 1998.
- Standard No. 2837, Fruit base drink (non-carbonated) -Specifications, *Institute of Standards and Industrial Research of Iran*, 2nd Ed., 2007.
- Standard No. 3414, Soft drinks – Fruit juice and fruit juice products – Microbiological specification and test methods, *Institute of Standards and Industrial Research of Iran*, 1st Ed., 2006.
- Standard No. 6094, Xanthan gum specified for food industry, specifications and test methods, *Institute of Standards and Industrial Research of Iran*, 1st Ed., 2002.
- Yarmand, S. & Hamshehi-Ravan, M., 2008, the application of hydrocolloids in food industry and other industries, *Marze-Danesh press*, 27-35.
- Yousefi asli, M., Goli, S. A. H., & Kadivar, M., 2012, Optimization of low-calorie quince jam production with Stevioside sweetener. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 22, 136-163.
- Yu-ying, C., & Xue-song, Z., & Wei-li, S., 2009, Effect of mixtures of CMC and Several Colloids on the Stability of Hawthorn Pulpy Juice Drink. *Modern Food Science and Technology*, 9, 127-133.

Functional and dietary lemon beverage, stabilization and evaluation of physicochemical and sensory characteristics

M. Kargozari^{1*}, L. Bagheri², A. R. Mohammadi³

Received: 2015.05.02

Accepted: 2015.08.24

Introduction: In recent years, sugar-free or reduced-sugar foods and beverages are becoming very popular among the consumers. At the same time, consumers are increasingly concerned about the quality and safety of many products present in the diet, in particular, low-calorie synthetic or natural sweeteners. Sugar adds viscosity and provides body in drinks and semi-liquid foods like syrups and fruit juices. In order to achieve the same quality, taste and texture profile, reducing or removing sugar from a product often requires replacement with a number of alternative ingredients such as hydrocolloids. Hydrocolloids are widely used in many food formulations to improve quality attributes as thickening and gelling agents. Xanthan gum is a polysaccharide used as a food additive and rheology modifier, commonly used as a food thickening agent and a stabilizer, to prevent ingredients from separating. Stevia is an attractive natural sweetener and sugar substitute extracted from the leaves of the plant species *Stevia rebaudiana*. Inulin is a starchy substance found in a wide variety of fruits, vegetables, and herbs, which improves the technological properties and enhance the nutritional value of food and also has synergistic sweetening effect with sweeteners including stevia. Dietitians suggest that inulin belong to a class of water-soluble dietary fibers known as fructans, but research suggests prebiotic and bifidogenic properties of this compound that has caused it to be also regarded as a functional compound.

Materials and methods: Lemon drink with different formulations containing sugar (0, 6, 12 %), stevia (0, 0.02, 0.04 %) and xanthan (0, 0.18, 0.26 %) were prepared. To mask the bitter taste of stevia, inulin which has functional properties, was added to the formulation at the level of 0.5 %. In this study, liquid-gel method was used to suspend the solid particles of pulp and reach the desired consistency. Liquid gel structure was built by adding hot xanthan solution to the half diluted lemon drink while being stirred. Flow behavior and particle size distribution were examined. The dynamic yield stress of the samples was calculated and the stability of pulp particles in lemon drink was predicted by determination of the forces acting on the particle. Specific gravity measurement of lemon beverage was performed after removing the pulp using 50 ml pycnometer at 20°C according to the Iranian National Standard No. 2685. Mean diameter and size distribution of cloud-forming substances in pulp-free beverages were measured with a static light scattering laser diffraction-based particle size analyzer Malvern Master Sizer. Physicochemical (pH, acidity, ash, brix and density), sensory (taste and appearance) and microbial properties of lemon diet drinks were also examined.

Results and discussion: Xanthan, having considerable effect on flow behavior of lemon drink samples, created high amounts of apparent viscosity at low shear rates. In samples containing xanthan, yield stress was observed and its value was measured by extrapolation based on the Herschel-Bulkley model. The calculations of pulp suspension were conducted based on the yield stress, which were consistent with the results of stability observed. The results of the particle size distribution test showed that xanthan significantly increases the particle size of the lemon beverage. This means that the anionic hydrocolloid xanthan also react with lemon drink colloids and broader range of particle size was created. Higher xanthan concentration had led to increased particle size range. Lower sugar and stevia concentration in combination with xanthan reduced the particle size. Based on the results obtained, pH of samples ranged from 2.85 – 2.90 and acidity expressed as citric acid ranged from 0.47 – 0.52 that was in accordance with the standard related to the physicochemical properties of non-carbonated drinks and beverages (Iranian National Standard No. 2837). Other properties such as water-soluble solids value and density were not discussed due to the lack of standards for low-sugar beverages and the need for a national standard in this field was felt. The results concerned to the physical and chemical characteristics of

2- Department of Food Science, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

2- Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Sarvestan Branch, Sarvestan, Shiraz, Iran

3- Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Mazandaran, Iran and Researcher of Centre for Research and Development of ETKA Organization

(*Corresponding Author Email: mina_kargozari@ut.ac.ir)

different treatments indicated that lemon beverage acidity and pH values did not show significant differences among the samples and the samples containing higher amounts of sugar, xanthan and stevia had higher brix, ash and density values ($P<0.05$). Generally a concentration of about 0.18 % xanthan caused suitable suspended pulp particles and consequently received scores by panelists were higher. Regarding the results of the rheological, physicochemical and sensory properties of lemon drinks, samples containing 6% sugar, 0.02% stevia and 0.18% xanthan were chosen as the best formulation.

Keywords: Lemon drink, Stevia, Inulin, Suspended pulp particles, Fluid gel, Rheology

تاثیر پیش‌فرآیند مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دونات حاوی منابع فیبر خوراکی صمغ فارسی و پودر تفاله هویج

مهران نوری^۱ - بهزاد ناصحی^{۲*} - وحید سماواتی^۲ - سامان آبدانان مهدی زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۲۹

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر پیش‌فرآیند مایکروویو بر محتوی رطوبت و چربی، حجم مخصوص، ویژگی‌های بافتی (سفتی و ارتجاعیت) و خصوصیات ساختار مغز (تعداد سلول‌های گاز و تخلخل) دونات غنی شده با منابع مختلف فیبر خوراکی (حاوی صمغ فارسی و پودر تفاله هویج) انجام شد. همچنین شرایط فرآیند با استفاده از روش سطح پاسخ و یک طرح باکس-بنکن با ۳ فاکتور بهینه‌سازی شد. فاکتورهای مورد استفاده در این پژوهش شامل توان مایکروویو (۹۰۰-۳۰۰ وات)، مدت زمان پیش‌فرآیند مایکروویو (۹۰-۳۰ ثانیه) و مدت زمان سرخ کردن (۱۳۰-۷۰ ثانیه) بود. نتایج نشان داد با افزایش سطح هر یک از فاکتورها، محتوی رطوبت کاهش ولی محتوی چربی، سفتی مغز و ارتجاعیت، تعداد سلول‌ها و تخلخل دونات حاوی فیبر خوراکی افزایش می‌یابد. شرایط بهینه فرآیند شامل پیش‌فرآیند در توان ۴۰۰ وات به مدت ۶۰ ثانیه و سپس سرخ کردن به مدت ۱۰۸ ثانیه بود. در این شرایط، محتوی چربی دونات سرخ شده کمتر از دونات‌های سرخ شده در شرایط معمول بود.

واژه‌های کلیدی: دونات، مایکروویو، فیبر خوراکی، روش سطح پاسخ

(*al.*, 2001).

مقدمه

طی سال‌های اخیر، روش‌های مختلفی از جمله پیش‌فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی شامل پیش خشک کردن و پیش پخت نمودن، بهینه‌سازی شرایط فرآیند و بهبود فرمولاسیون ماده غذایی به‌منظور کاهش جذب روغن طی سرخ کردن توسعه یافته است (Adedji *et al.*, 2009). به‌طور مثال، کاهش درآشامی روغن در فرآورده‌های سرخ شده توسط پس‌فرآیندهای فروسرخ گزاری شده است (Melito & Farkas, 2012). همچنین استفاده از فناوری مایکروویو در تهیه فرآورده‌های غذایی سرخ شده در مطالعات پیشین نشان داده شده است (Oztop *et al.*, 2007). امروزه آون مایکروویو، به یک وسیله خانگی رایج برای پخت و پز تبدیل شده است. در مقایسه با روش‌های رایج، گرمادهی مایکروویو مزیت‌های زیادی از جمله صرفه‌جویی در انرژی، کوتاه نمودن مدت‌زمان پخت یا گرم نمودن غذا و بهبود یکنواختی و ریزساختار محصول را فراهم می‌کند (Ngadi *et al.*, 2009).

دونات‌ها، همچون سایر فرآورده‌های آماده که طی سال‌های اخیر محبوبیت بالایی نزد مصرف‌کنندگان پیدا نموده‌اند به دلیل استفاده از آردهای تصفیه شده در فرمولاسیون آن‌ها، مواد تغذیه‌ای لازم مانند فیبرهای خوراکی را برای فرد مصرف‌کننده فراهم نمی‌کنند (Yildiz *et al.*, 2013). بنابراین بهبود خواص تغذیه‌ای غذاها از دیگر

سرخ کردن یکی از قدیمی‌ترین و محبوب‌ترین فرآیندهای تهیه غذا طی بیش از ۳۰۰۰ سال است. غذاهای سرخ‌شده به دلیل ویژگی‌های طعمی و بافتی عالی، نزد مصرف‌کنندگان از مطلوبیت بالایی برخوردار هستند. دونات^۴، از جمله فرآورده‌هایی است که به روش سرخ کردن عمیق^۵ تولید می‌شود. این فرآورده علیرغم مطلوبیت بالا، همانند سایر غذاهای سرخ‌شده مقدار قابل توجهی روغن طی سرخ کردن به‌خود جذب می‌کنند. بنابراین طی سال‌های اخیر، توسعه دونات‌هایی با محتوی چربی کاهش‌یافته بدون افت خصوصیات مطلوب حسی، چالشی برای فناوران مواد غذایی بوده است (Shih *et al.*, 2001).

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

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

4Donuts (Doughnuts)

5 Deep-fat frying

DOI: 10.22067/iffstrj.v1395i0.49210

(۱۰۰ درصد)، آب (۳۸ درصد)، تخم‌مرغ (۱۳ درصد)، آب برای تهیه سوسپانسیون مخمر (۱۳ درصد)، شورتینگ (بهشهر، تهران، ایران) (۹ درصد)، شکر (۶/۳ درصد) پودر شیر خشک بدون چربی (شرکت پگاه، خوزستان، ایران) (۶/۳ درصد)، مخمر خشک فعال (شرکت ناب مایه، خوزستان، ایران) (۳ درصد)، عصاره وانیل (شرکت رنگ و اسانس آبیاز شیمی، تهران، ایران) (۱/۶ درصد)، بیکنگ‌پودر (سهیل پودر، تهران، ایران) (۱/۶ درصد) و نمک (۱/۶ درصد) بود. درصدها بر اساس نسبت وزنی-وزنی آرد بود.

تهیه صمغ فارسی و پودر تفاله هویج

صمغ فارسی از درختان بادام کوهی واقع در شهرستان نورآباد لرستان در شهریور ۱۳۹۳ جمع‌آوری و توسط اتانول (۹۶ درصد) شسته شد. صمغ‌های یکرنگ (سفید شفاف) توسط آسیاب آشپزخانه‌ای (Moulinex, model 320, Spain) پودر و با الک شماره ۳۵ (۵۰۰ μm) الک شد. پودر الک شده در بسته‌های پلی‌اتیلن بسته‌بندی و در دمای ۴۰ °C نگهداری شد. به‌منظور تهیه پودر تفاله هویج، پس از فرآیند آب‌میوه‌گیری توسط یک دستگاه آب‌میوه‌گیر (پارس خزر، مدل Heraeus, model JC-700P، تهران، ایران) تفاله هویج توسط آون (Heraeus, model UT 5042, Germany) (۶۰ °C به مدت ۱۲ ساعت) خشک شد. تفاله خشک‌شده توسط دستگاه آسیاب آشپزخانه‌ای (Moulinex, model 320, Spain) پودر و با الک شماره ۳۵ (۵۰۰ μm) الک شد. سپس پودر تفاله هویج در بسته‌های پلی‌اتیلن بسته‌بندی و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

تهیه دونات

برای تهیه خمیر دونات، در ابتدا شکر، پودر شیر خشک بدون چربی، نمک و شورتینگ در یک کاسه جدا با هم مخلوط و سپس تخم‌مرغ به این مخلوط اضافه شد. سپس آب و پس از آن عصاره وانیل به مخلوط اضافه شد. با مخلوط مخمر و آب مخصوص آن (۳۵ در یک ظرف جداگانه، سوسپانسیون مخمر تهیه و به مدت ۵ دقیقه نگه‌داشته شد. مخلوط آرد گندم و منابع فیبری در یک کاسه جداگانه با بیکنگ‌پودر مخلوط و به سایر اجزاء اضافه شد. سپس سوسپانسیون مخمر به مخلوط افزوده و این مخلوط تا تشکیل یک خمیر مناسب ورز داده شد. در انتها، خمیر به قطعاتی یک‌شکل به وزن تقریباً ۵۰ گرم بریده شد قطعات خمیر پس از طی فرآیند تخمیر (۳۷ °C به مدت ۳۰ دقیقه) تحت پیش‌فرآیند مایکروویو در توان‌ها و زمان‌های مختلف (طبق طرح آزمایشات) قرار گرفت. سپس نمونه‌های پیش‌فرآیند شده در یک سرخ‌کن (Moulinex, model F18-RA, France) حاوی روغن مخصوص سرخ‌کردنی (مخلوطی از روغن‌های آفتابگردان، پالم و سویا) (بهار، شرکت صنعتی بهشهر، تهران، ایران)

چالش‌های پیش روی پژوهشگران عرصه مواد غذایی است. فرآورده‌های آماده از جمله دونات‌ها، در سال‌های اخیر مصرف‌کنندگان مواد غذایی به سمت غذاهای آماده گرایش پیدا کرده‌اند. شده در این فیبرهای خوراکی دسته‌ای از ترکیبات مفید تغذیه‌ای شامل مخلوطی از پلیمرهای کربوهیدراتی گیاهی اولیگوساکاریدی و پلی‌ساکاریدی از جمله سلولز، همی‌سلولز، مواد پکتیکی، صمغ‌ها، نشاسته مقاوم و اینولین می‌باشند که ممکن است با لیگنین و یا سایر ترکیبات غیر کربوهیدراتی همراه باشند (Fuentes -Zaragoza et al., 2010). فیبرهای غیرمحلول با تنظیم فعالیت‌های روده در ارتباط می‌باشند و فیبرهای محلول سبب کاهش سطح کلسترول و جذب روده‌ای گلوکز می‌شوند (Raymundo et al., 2014). صمغ فارسی^۱ (PG) که منبعی ارزان برای فیبرهای محلول است، زیست‌پلیمری شفاف تا نیمه شفاف است که دارای بویی شبیه محصولات قنادی است (Abbasi & Mohammadi, 2013). طی سال‌های اخیر پژوهش‌هایی با هدف استفاده از صمغ فارسی در فرآورده‌های غذایی از جمله در مخلوط شیر-پرتقال (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹)، در پاستیل میوه‌ای (عباسی و همکاران، ۱۳۹۰) و در ماست کم‌چرب (Ghasempour et al., 2012) انجام گرفته است. یکی از مهم‌ترین منابع فیبر غیرمحلول هویج است که پس از عملیات آب‌میوه‌گیری مقدار قابل توجهی از ترکیبات مفید هویج و فیبرهای خوراکی آن از طریق تفاله هدر می‌رود. بنابراین استفاده از تفاله هویج به‌عنوان یک محصول جانبی^۲ می‌تواند کمک شایانی به افزایش ارزش افزوده و حفظ محیط‌زیست نماید (Baljeet et al., 2014). طی سال‌های اخیر از پودر تفاله هویج^۳ (CPP) به‌منظور غنی‌سازی فرآورده‌های غلات از جمله در نان (Tanska et al., 2007)، در بیسکویت (Kumari et al., 2007) و در فرآورده‌های اکستروژ شده (Upadhyay et al., 2010) به‌خوبی استفاده شده است.

بنابراین هدف این پژوهش استفاده از روش سطح پاسخ به‌منظور بهینه‌سازی فرآیند تولید دونات حاوی منابع فیبری صمغ فارسی و پودر تفاله هویج با به‌کارگیری پیش‌فرآیند مایکروویو به‌منظور کاهش محتوی روغن فرآورده بود.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه و فرمولاسیون دونات

نمونه‌های دونات بر اساس فرمولاسیون و دستور پخت Melito و Farkas (۲۰۱۲) با اندکی تغییرات تهیه شدند. این فرمولاسیون شامل آرد گندم (۹ درصد پروتئین) (شرکت آرد جنوب، خوزستان، ایران)

- 1 Persian gum
- 2 Byproduct
- 3 Carrot pomace powder

Goldalming, UK) تجهیز شده با یک سلول بار^۱ پنج کیلوگرمی و پروپ استوانه‌ای (قطر ۳۶ میلی‌متری) اندازه‌گیری شد. از مغز هر نمونه قطعه به ضخامت ۲۰ میلی‌متر برای این آزمون انتخاب شد. طی اندازه‌گیری، پروپ دستگاه نمونه را با سرعت آزمون ۱/۷ میلی‌متر بر ثانیه تا ۴۰ درصد می‌فشرده و سپس ۳۲ ثانیه در این موقعیت باقی می‌ماند. سپس سفتی و ارتجاعیت نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Stable Microsystems, Texture Exponent 5.1.1.0 (Godalming, UK) محاسبه شد. سفتی تحت عنوان بیشینه نیروی مورد نیاز بر حسب نیوتن برای فشرده‌سازی نمونه تا ۴۰ درصد تغییر شکل تعریف شد. همچنین ارتجاعیت بر حسب درصد، از تقسیم نیروی فشرده‌سازی پس از ۳۰ ثانیه نگهداری پروپ در موقعیت، بر بیشینه نیروی فشرده‌سازی ضرب در ۱۰۰ بدست آمد (Springiness $= (F30/Fmax) \times 100$). اندازه‌گیری‌ها در ۶ تکرار انجام شد.

ساختار مغز دونات

به‌منظور بررسی ساختار مغز دونات از هر تیمار ۱۰ تصویر رنگی (RGB) (۲۴ بیتی) از مغز نمونه‌ها با استفاده از یک سیستم آنالیز تصویر شامل یک دوربین تصویربرداری دیجیتال (Canon PowerShot SX60 HS, Japan) و یک کامپیوتر شخصی (Pentium(R) Dual-Core processor and Windows 7 Ultimate) گرفته شد. تنظیمات دوربین شامل فلاش خاموش، زوم خاموش، ایزو ۱۰۰، سرعت شاتر ۱/۲۰ ثانیه بود. تصویربرداری در یک فاصله ثابت ۳۰ سانتی‌متری از نمونه‌های قرار گرفته در یک جعبه سیاه (با ابعاد تقریبی $100 \times 100 \times 100$ cm^۳ و با نورپردازی با زاویه ۴۵ درجه توسط لامپ‌های فلورئورسنتی) انجام شد تصاویر پس از انتقال به محیط MATLAB نسخه R2014a (The MathWorks Inc., Natick, Mass, USA)، توسط نرم‌افزار به فرم خاکستری (۸ بیتی) تبدیل شد. عملیات بخش‌بندی^۲ پس از بهبود تباین تصاویر بر روی یک ناحیه 3×3 cm^۲ از مرکز هر تصویر، با استفاده از الگوریتم اتسو صورت پذیرفت (Otsu, 1979). در این پژوهش از دو شاخص تعداد سلول‌های گاز و تخلخل (نسبت مساحت سلول‌های گاز به مساحت کل تصویر) به‌منظور مطالعه ساختار مغز نمونه‌های دونات استفاده شد.

آزمون پذیرش مصرف‌کننده

دونات کنترل معمولی، دونات کنترل حاوی فیبر خوراکی و دونات بهینه حاوی فیبر خوراکی از نظر ظاهر، رنگ پوسته، رنگ مغز، آروما، بافت، مزه و پذیرش کلی بر اساس یک مقیاس هدونیک نه نقطه‌ای

در دمای $20 \pm 180^\circ\text{C}$ و برای مدت زمان‌های مختلف (طبق طرح آزمایشات) سرخ شد. دونات‌ها پس از خنک شدن در دمای اتاق و بر روی دستمال‌های کاغذی در بسته‌های پلی‌اتیلنی کدگذاری شده بسته‌بندی شدند.

به‌منظور تهیه دونات حاوی فیبر خوراکی، ۷/۶۵ درصد از آرد با منابع فیبری صمغ فارسی (۱/۲۰ درصد) و پودر تفاله هویج (۶/۴۵ درصد) جایگزین شد. همچنین آب فرمولاسیون به ۴۸/۱۶ درصد افزایش پیدا کرد. به‌منظور دستیابی به سطوح بهینه پودر تفاله هویج، صمغ فارسی و آب، فرمولاسیون دونات طی یک مرحله اولیه با استفاده از روش سطح پاسخ و یک طرح گردش‌پذیر مرکب مرکزی بهینه‌سازی شد. در این مرحله، سه متغیر مستقل شامل پودر تفاله هویج (۱۵-۰ درصد)، صمغ فارسی (۱/۵-۰ درصد) و آب (۵۳-۳۸ درصد) در نظر گرفته شد. سپس عملیات بهینه‌سازی با استفاده از ابزار بهینه‌سازی نرم‌افزار دیزاین اکسپرت و با در نظر گرفتن حداکثر سطح پودر تفاله هویج (متغیر مستقل)، حداقل محتوی چربی و سفتی (متغیر وابسته) و حداکثر حجم مخصوص و تعداد سلول‌ها (متغیر وابسته) انجام شد. نتایج بهینه‌سازی در این مرحله نشان داد فرمولاسیونی با ۴۸/۴۵ درصد پودر تفاله هویج و ۱/۲۰ درصد صمغ فارسی و ۴۸/۱۶ درصد آب فرمولاسیون بهینه می‌باشد.

محتوی رطوبت و چربی

محتوی رطوبت نمونه‌های دونات توسط آون (Heraeus, model UT 5042, Germany) در دمای 105°C و به مدت ۳/۵ ساعت تعیین شد (Kim et al., 2015). محتوی چربی نمونه‌های دونات، پس از رطوبت‌زدایی با استفاده از روش استخراج سوکسه توسط پترولیوم اتر به مدت استخراج ۵ ساعت تعیین شد (Melito & Farkas, 2012). اندازه‌گیری‌ها در ۳ تکرار انجام شد.

حجم مخصوص

حجم نمونه‌های دونات با استفاده از روش جابجایی دانه، روش استاندارد شماره ۱۰-۰۵ ولی با استفاده از دانه ارزن محاسبه شد (AACC, 2000). وزن نمونه‌ها توسط یک ترازوی دیجیتال (A&D, model GF-200, Japan) تعیین و سپس حجم مخصوص نمونه‌های دونات با تقسیم حجم بر وزن آن‌ها تعیین شد. اندازه‌گیری‌ها در ۳ تکرار انجام شد.

ویژگی‌های بافتی

سفتی و ارتجاعیت بافت مغز نمونه‌ها به کمک روش مورد استفاده توسط Purhagen و همکاران (۲۰۱۱) با اندکی تغییرات و با استفاده از دستگاه بافت‌سنج TA.XT2i (Stable Micro Systems,)

1 Load cell

2 Segmentation

(نمره ۹ دوست داشتن شدید و نمره ۱ دوست نداشتن شدید) توسط یک گروه ۱۵ نفره از دانشجویان و کارمندان گروه صنایع غذایی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

جدول ۱- دامنه و سطوح هر یک از متغیرهای مستقل در طرح باکس-بنکن

سطوح فاکتور			نماد فاکتور	متغیر مستقل (فاکتور)
-۱	۰	۱		
۳۰۰	۶۰۰	۹۰۰	X ₁	توان مایکروویو (وات)
۳۰	۶۰	۹۰	X ₂	زمان مایکروویو (ثانیه)
۷۰	۱۰۰	۱۳۰	X ₃	زمان سرخ کردن (ثانیه)

(Minneapolis, MN, USA) انجام شد.

بهینه‌سازی فرمولاسیون و اعتبارسنجی مدل

یک روش مفید برای بهینه‌سازی پاسخ‌های چندگانه استفاده از تکنیک بهینه‌سازی همزمان و توابع مطلوبیت^۶ است (Derringer & Suich, 1980). بنابراین با استفاده از ابزار بهینه‌سازی نرم‌افزار دیزاین اکسپرت، به منظور دستیابی به سطوح بهینه هر یک از متغیرهای مستقل، پاسخ‌های محتوی چربی و سفتی مغز مینیمم و حجم مخصوص و تعداد سلول‌های گاز ماکزیمم در نظر گرفته شد. سپس شرایط فرآیندی با بالاترین مقدار مطلوبیت به عنوان شرایط بهینه انتخاب شد. به منظور اعتبار سنجی مدل، دانات‌های با شرایط فرآیند بهینه تهیه و پس انجام آزمایشات مقادیر تجربی به دست آمده با مقادیر برآورد شده، توسط آزمون *t-test* در سطح احتمال ۵ درصد توسط نرم‌افزار SAS 9.1 (SAS Institute, Cary, NC) با یکدیگر مقایسه شد.

نتایج و بحث

برازش مدل

مقادیر پاسخ‌های هر یک تیمارهای دونات حاوی فیبر خوراکی در جدول ۲ گزارش شده است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد مدل درجه دوم برازش شده برای هر یک از پاسخ‌ها معنی‌دار ($P < 0.001$) و شاخص عدم برازش برای این مدل‌ها غیر معنی‌دار ($P > 0.05$) بود. همچنین ضریب تعیین، ضریب تغییرات و کفایت دقت هر یک از مدل‌ها که نشان‌دهنده کارایی بالای مدل در برآورد تغییرات جدید بود، در محدوده قابل قبول قرار داشت (جدول ۳).

محتوی رطوبت و چربی

نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد همه متغیرهای مستقل تأثیر خطی منفی معنی‌داری ($P < 0.05$) بر محتوی رطوبت و تأثیر خطی

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای طراحی آزمایشات به منظور تولید دانات‌هایی با محتوی چربی پایین و ویژگی‌های فیزیکی موردپذیرش مصرف‌کننده از شیوه سطح پاسخ (RSM) و یک طرح باکس-بنکن^۱ استفاده شد (Montgomery, 2013). متغیرهای مستقل (فاکتورها) شامل توان مایکروویو (MP) (وات)، مدت‌زمان پیش‌فرآیند مایکروویو (MT) (ثانیه) و مدت‌زمان سرخ کردن (ثانیه) بود. طبق آزمایشات مقدماتی دامنه هریک از متغیرهای مستقل تعیین (جدول ۱) و پس از آن، ۱۷ آزمون توسط نرم‌افزار ارائه شد. همچنین دونات کنترل معمولی (کنترل ۱) و دونات کنترل حاوی فیبر خوراکی (بدون پیش‌فرآیند) (کنترل ۲) جدا از طرح آزمایشات تهیه شدند (جدول‌های ۲).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

در این رابطه $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ به ترتیب پاسخ، ثابت معادله (عرض از مبدأ)، ضریب اثرات خطی، ضریب اثرات درجه دوم و ضریب اثرات متقابل می‌باشند. همچنین X_i و X_j سطوح متغیرهای غیروابسته می‌باشند. با استفاده از آنالیز واریانس^۲ و بر اساس شاخص *p-value*، معنی‌داری مدل‌ها و عبارات معادله مورد بررسی و فاکتورهای غیرمعنی‌دار مشخص شد. همچنین شاخص‌های عدم تناسب^۳، ضریب تعیین (R^2)، ضریب تعیین تعدیل شده ($adj-R^2$)، ضریب تغییرات^۴ (CV)، شاخص دقت کفایت^۵ به منظور بررسی کفایت مدل محاسبه شد (Homayoonfal et al., 2015). طراحی و آنالیز آزمایشات توسط نرم‌افزار Design Expert 7.0.0 (Stat-Ease Inc.,)

1 Box-Behnken design

2 ANOVA

3 Lack-of-fit

4 Coefficient of variation

5 Adequate precision

6 Desirability functions

مثبت معنی‌داری ($P < 0.01$) بر محتوی چربی نمونه‌های دونات داشتند. همچنین اثرات درجه دوم توان مایکروویو و مدت‌زمان سرخ کردن بر این پاسخ‌ها معنی‌دار بود ($P < 0.05$) (جدول ۳). نمودارهای سطح پاسخ اثر متغیرهای مستقل بر محتوی رطوبت و چربی دونات حاوی فیبر خوراکی در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طوری که در شکل قابل مشاهده است نرخ افت رطوبت و درآشامی روغن در توان‌های بالاتر مایکروویو و زمان‌های بیشتر سرخ کردن بیشتر بوده

است. در توان‌های بالای مایکروویو انرژی الکترومغناطیسی بالاتری به ترکیبات دی‌الکتریک تحمیل می‌شود (Adedeji *et al.*, 2009). از این رو افت رطوبت در این توان‌ها بیشتر بود. همچنین Zani و Peri (۱۹۹۳) طی پخت نان و Lostie و همکاران (۲۰۰۲) طی پخت بیسکویت نشان دادند که افت رطوبت طی پخت مایکروویو دارای نرخ ثابتی نیست و با افزایش توان مایکروویو این نرخ افزایش می‌یابد.

جدول ۲- ترتیب تیمارهای طرح باکس-بنکن و پاسخ‌های محتوی رطوبت و چربی، حجم مخصوص، ویژگی‌های بافتی و ساختار مغز دونات حاوی فیبر خوراکی

تیمار	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7
۱	۶۰۰	۹۰	۷۰	۲۴/۱۴	۲۳/۷۴	۱/۸۰۰	۱۵/۰۴	۵۳/۰۴	۳۰۰/۱۰۰	۰/۱۹۴
۲	۶۰۰	۳۰	۷۰	۲۵/۱۰	۲۳/۳۴	۱/۷۵۷	۱۴/۳۸	۵۲/۰۷	۲۸۰/۳۰	۰/۱۸۹
۳	۹۰۰	۶۰	۷۰	۲۲/۱۴	۲۴/۵۷	۱/۷۹۶	۱۶/۴۷	۵۲/۹۵	۲۸۰/۱۰	۰/۱۸۹
۴	۹۰۰	۹۰	۱۰۰	۲۱/۳۴	۲۵/۱۸	۱/۸۳۰	۱۸/۵۵	۵۶/۸۸	۳۳۸/۱۹۰	۰/۲۱۶
۵	۶۰۰	۶۰	۱۰۰	۲۳/۱۱	۲۳/۶۹	۱/۸۱۰	۱۴/۸۱	۵۵/۰۴	۳۱۸۶/۷۰	۰/۲۰۶
۶	۶۰۰	۶۰	۱۰۰	۲۳/۴۷	۲۳/۲۹	۱/۸۰۶	۱۴/۰۴	۵۶/۷۷	۳۲۱۲/۳۰	۰/۲۰۵
۷	۶۰۰	۶۰	۱۰۰	۲۴/۸۳	۲۳/۸۹	۱/۸۱۰	۱۵/۰۱	۵۵/۴۹	۳۰۶۷/۳۰	۰/۲۰۷
۸	۳۰۰	۶۰	۷۰	۲۵/۸۰	۲۲/۰۸	۱/۷۱۰	۱۳/۲۱	۵۲/۸۵	۲۶۳۷/۶۰	۰/۱۸۷
۹	۶۰۰	۶۰	۱۰۰	۲۴/۲۶	۲۳/۷۶	۱/۷۹۷	۱۴/۹۶	۵۴/۵۶	۳۱۵۶/۷۰	۰/۲۰۳
۱۰	۳۰۰	۳۰	۱۰۰	۲۵/۰۶	۲۳/۰۵	۱/۷۵۷	۱۲/۳۱	۵۲/۳۲	۲۷۴۲/۸۰	۰/۱۹۰
۱۱	۶۰۰	۶۰	۱۰۰	۲۴/۳۷	۲۳/۴۱	۱/۸۰۳	۱۴/۴۳	۵۷/۳۳	۳۲۵۸/۳۰	۰/۲۰۷
۱۲	۳۰۰	۶۰	۱۳۰	۲۱/۴۵	۲۵/۲۴	۱/۷۸۷	۱۳/۵۰	۵۴/۷۵	۲۹۶۹/۲۰	۰/۱۹۹
۱۳	۶۰۰	۹۰	۱۳۰	۲۰/۳۱	۲۵/۷۸	۱/۸۱۰	۱۶/۴۳	۵۶/۵۹	۳۳۸۸/۸۰	۰/۲۰۹
۱۴	۹۰۰	۳۰	۱۰۰	۲۱/۴۶	۲۴/۴۴	۱/۷۷۱	۱۵/۱۳	۵۴/۱۱	۲۹۴۲/۵۰	۰/۱۹۵
۱۵	۳۰۰	۹۰	۱۰۰	۲۳/۰۲	۲۴/۱۰	۱/۷۴۷	۱۲/۷۴	۵۳/۲۹	۲۶۶۷/۸۰	۰/۱۹۲
۱۶	۶۰۰	۳۰	۱۳۰	۲۱/۰۴	۲۵/۰۰	۱/۷۸۳	۱۵/۲۷	۵۴/۶۱	۳۰۷۴/۵۰	۰/۲۰۱
۱۷	۹۰۰	۶۰	۱۳۰	۱۹/۲۶	۲۶/۰۱	۱/۸۲۵	۱۷/۵۹	۵۶/۲۸	۳۴۶۶/۲۰	۰/۲۱۳
کنترل ۱	-	-	۲۰۰	۲۲/۰۶	۲۵/۲۳	۲/۱۰	۹/۶۷	۵۴/۸۱	۴۳۶/۵	۰/۲۵۴
کنترل ۲	-	-	۲۰۰	۲۶/۴۶	۱۷/۲۳	۱/۹۱	۱۱/۷۱	۵۱/۳۴	۳۷۳۵/۳۰	۰/۱۹۵

X_1 : توان مایکروویو (وات)، X_2 : زمان مایکروویو (ثانیه)، X_3 : زمان سرخ کردن (ثانیه).

Y_1 : محتوی رطوبت (درصد)، Y_2 : محتوی چربی (درصد)، Y_3 : حجم مخصوص (میلی‌لیتر/گرم)، Y_4 : سفتی مغز (نیوتن)، Y_5 : ارتجاعیت (درصد)، Y_6 : تعداد

سلول‌ها، Y_7 : تخلخل.

کنترل ۱: دونات کنترل معمولی (بدون پیش‌فرآیند)، کنترل ۲: دونات حاوی فیبر خوراکی (بدون پیش‌فرآیند).

درآشامی روغن نیز مشابه افت رطوبت تحت اثرات درجه دوم توان مایکروویو و مدت‌زمان مایکروویو بود به شکلی که جذب روغن در زمان‌های سرخ کردن و توان‌های بالاتر مایکروویو افزایش چشمگیری داشت. پیش‌فرآیند نمونه‌ها قبل از سرخ کردن توسط آون مایکروویو علاوه بر افزایش افت رطوبت، سبب تغییر بافت سطحی و

تغییرات ساختاری از جمله ژلاتینه شدن ترکیبات کربوهیدراتی و دناتوره شدن پروتئین‌ها در ماده غذایی می‌شود (Kassa & Ngadi, 2004). این تغییرات می‌توانند سبب گسترش تخلخل در ماده غذایی شوند که در مرحله سرخ کردن منجر به افزایش جذب روغن در فرآورده می‌شود (Pinthus *et al.*, 1995; Soorgi *et al.*, 2012).

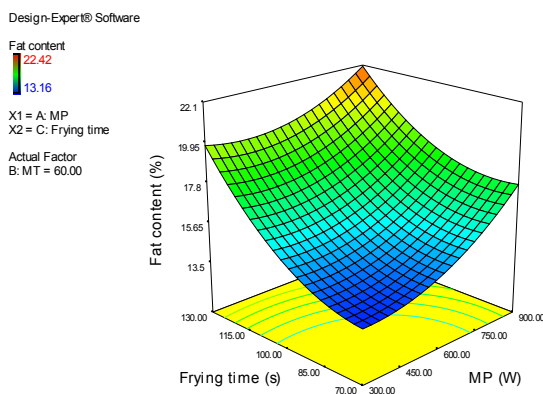
جدول ۳- ضرایب رگرسیون معادلات درجه دوم پاسخ‌های محتوی رطوبت و چربی، حجم مخصوص و ویژگی‌های بافتی دونات حاوی فیبر خوراکی

منبع	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7
β_0	۲۴/۰۱	۱۵/۸۲	۱/۸۱	۱۴/۶۵	۵۵/۸۴	۳۱۷۶/۲۶	۰/۲۱
β_1	-۱/۳۹***	۱/۶۱***	۰/۰۲۴***	۲/۰۰****	۰/۸۸*	۱۹۷/۶۶***	۰/۰۰۵**
β_2	-۰/۴۸*	۰/۸۵**	۰/۰۱۵*	۰/۷۱**	۰/۸۴*	۱۰۸/۹۳**	۰/۰۰۴**
β_3	-۱/۸۹****	۲/۶۴****	۰/۰۱۴***	۰/۴۶*	۱/۴۲**	۲۰۵/۴۶****	۰/۰۰۸****
$\beta_1 \beta_1$	-۰/۸۹*	۱/۰۸*	-۰/۰۱۵**	-۰/۰۲۸ ^{ns}	-۰/۷۸ ^{ns}	-۱۷۰/۱۹**	-۰/۰۰۴*
$\beta_2 \beta_2$	-۰/۴۰ ^{ns}	۰/۴۹ ^{ns}	-۰/۰۱۴**	۰/۰۵۷ ^{ns}	-۰/۹۱ ^{ns}	-۷۲/۳۳ ^{ns}	-۰/۰۰۳ ^{ns}
$\beta_3 \beta_3$	-۰/۹۶**	۱/۴۰**	-۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۵۷*	-۰/۸۵ ^{ns}	-۳۵/۷۹ ^{ns}	-۰/۰۰۴ ^{ns}
$\beta_1 \beta_2$	۰/۴۸ ^{ns}	-۰/۱۶ ^{ns}	۰/۰۱۷**	۰/۷۵*	۰/۴۵ ^{ns}	۱۲۸/۶۰*	۰/۰۰۵*
$\beta_1 \beta_3$	۰/۳۷ ^{ns}	-۰/۵۱ ^{ns}	-۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۸۱/۶۳ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}
$\beta_2 \beta_3$	۰/۰۵۷ ^{ns}	-۰/۵۹ ^{ns}	-۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۳۰/۴۰ ^{ns}	۰/۰۰۸ ^{ns}
Model (p-value)	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۳۷۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵
Lack of fit (p-value)	۰/۹۶۵۸	۰/۵۶۶۹	۰/۱۹۰۲	۰/۳۱۷۵	۰/۷۲۰۲	۰/۳۲۵۸	۰/۰۷۲۴
R^2	۰/۹۶۳۹	۰/۹۷۰۳	۰/۹۶۸۶	۰/۹۶۵۵	۰/۸۴۱۹	۰/۹۵۷۴	۰/۹۵۸۱
Adj- R^2	۰/۹۱۷۴	۰/۹۳۲۲	۰/۹۲۸۳	۰/۹۲۱۲	۰/۶۳۸۶	۰/۹۰۲۶	۰/۹۰۴۳
CV (%)	۲/۳۹	۳/۸۵	۰/۴۰	۳/۰۸	۱/۸۸	۲/۶۲	۱/۴۰
Adeq Precision	۱۵/۶۲۲	۱۶/۷۳۰	۱۵/۸۴۳	۱۵/۵۵۱	۶/۰۵۳	۱۳/۱۶۹	۱۲/۵۶۵

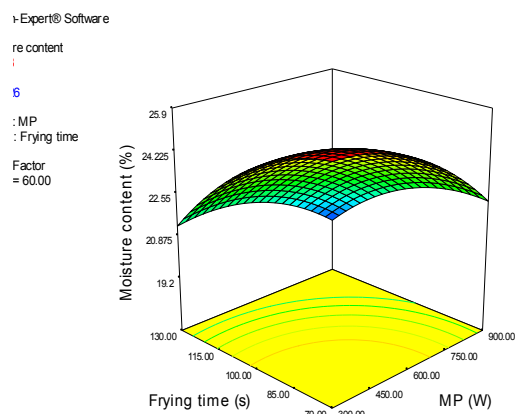
^{ns}، *، **، *** و **** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح $P < 0.05$ ، معنی‌داری در سطح $P < 0.01$ ، معنی‌داری در سطح $P < 0.001$ و $P < 0.0001$ می‌باشند.

Y_1 : محتوی رطوبت، Y_2 : محتوی چربی، Y_3 : حجم مخصوص، Y_4 : سفتی مغز، Y_5 : ارتجاعیت، Y_6 : تعداد سلول‌ها، Y_7 : تخلخل.

(ب)



(آ)



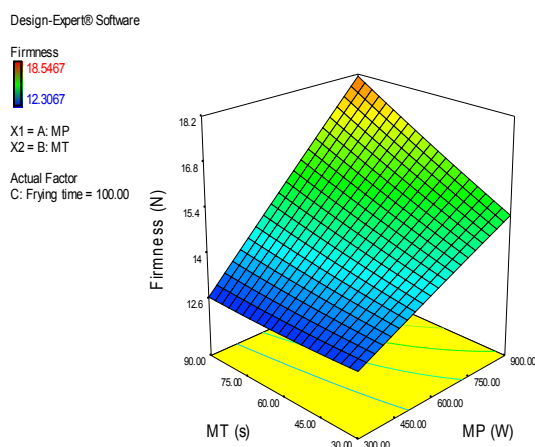
شکل ۱- نمودارهای سطح پاسخ اثرات متغیرهای مستقل بر محتوی رطوبت (آ) و چربی (ب) دونات حاوی فیبر خوراکی

چیپس سیب‌زمینی سبب کاهش جذب روغن طی پخت می‌شود، که با نتایج این پژوهش مغایرت داشت. دلیل این اختلاف می‌تواند ناشی از نوع پیش‌فرآیند و نوع فرآورده پیش‌تیمار شده باشد، به شکلی که در پیش‌خشک کردن چیپس سیب‌زمینی سطح ماده غذایی به سرعت رطوبت از دست داده و با تشکیل پوسته، مانعی برای انتقال چربی طی

همچنین نتایج برخی از پژوهش‌های پیشین، مشابه نتایج حاضر حاکی از تاثیر قابل توجه پیش‌فرآیند مایکروویو در افزایش جذب روغن بود (Adedeji *et al.*, 2009; Soorgi *et al.*, 2012). با این وجود Tran و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین Troncoso و Pedreschi (۲۰۰۹) گزارش نمودند که پیش‌تیمار خشک کردن

کربن دی‌اکسید توسط عوامل ورآورنده و همچنین تبخیر رطوبت است (Baik & Marcotte, 2002). همان‌طور که در شکل ۲ قابل مشاهده است شیب افزایش حجم مخصوص با افزایش سطوح متغیرهای مستقل کاهش یافته است. افت افزایش حجم مخصوص در سطوح بالاتر متغیرهای مستقل می‌تواند ناشی از دو پدیده فیزیکی اساسی شامل باز شدن ساختار ماده طی پخت که سبب تسهیل خروج هوا می‌شود و سفت شدن ساختار که به دلیل ژلاتینه شدن نشاسته رخ می‌دهد باشد (Lostie *et al.*, 2002). این پدیده‌ها در نهایت موجب توقف افزایش حجم و انبساط ماده می‌شوند. به‌طور کلی فرآورده‌های پخته‌شده توسط انرژی مایکروویو در مقایسه با سایر روش‌های رایج حجم پایین‌تری دارند که در پژوهش‌های پیشین نیز همانند نتایج پژوهش حاضر به‌خوبی این واقعیت نشان داده شده است (Megahey *et al.*, 2005; Seyhun *et al.*, 2005). این کاهش حجم می‌تواند ناشی از ژلاتینه شدن ناکافی نشاسته طی پخت مایکروویو باشد (Seyhun *et al.*, 2005).

(ب)

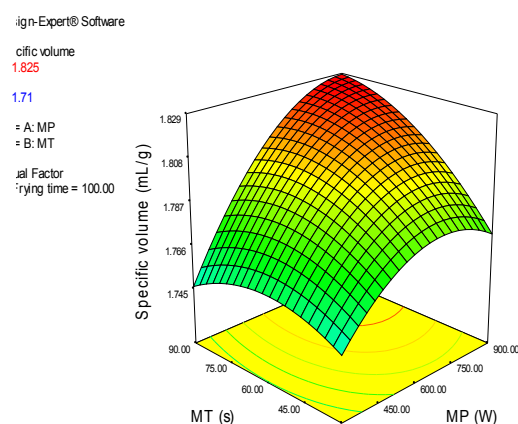


سرخ کردن بوجود می‌آید. اما در مورد پیش‌فرآیند مایکروویو و فرآورده‌ای مثل دونات با افزایش توان مایکروویو حجم، تعداد سلول‌ها و تخلخل فرآورده نیز افزایش می‌یابد که همه این رخدادهای می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر تسهیل جذب روغن طی سرخ کردن داشته باشند (Soorgi *et al.*, 2012).

حجم مخصوص

نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد همه متغیرهای مستقل اثر خطی مثبت معنی‌داری ($P < 0.05$) بر حجم مخصوص نمونه‌ها داشتند. همچنین توان مایکروویو دارای یک تأثیر درجه دوم منفی معنی‌دار ($P < 0.05$) بر این پاسخ بود. یک اثر دوسویه معنی‌داری ($P < 0.05$) نیز بین توان و مدت‌زمان مایکروویو مشاهده شد (جدول ۲). در شکل ۲ نمودار سطح پاسخ اثرات متغیرهای مستقل بر حجم مخصوص دونات حاوی فیبر خوراکی نشان داده شده است. افزایش حجم فرآورده طی پیش‌فرآیند مایکروویو و سرخ کردن ناشی از تولید

(ا)



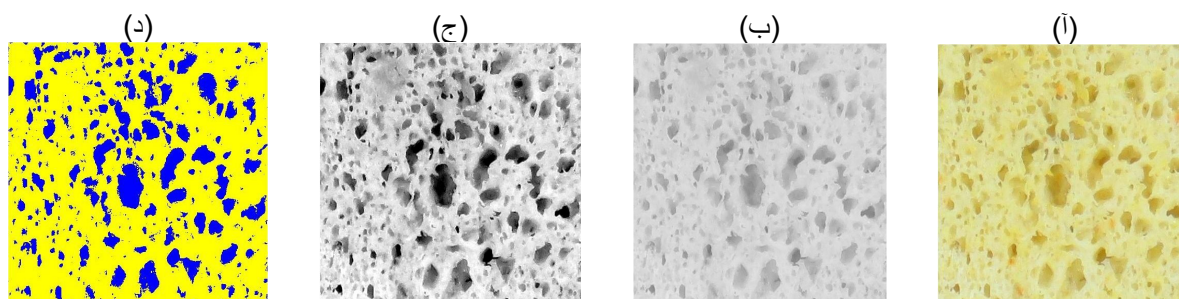
شکل ۲- نمودارهای سطح پاسخ اثرات متغیرهای مستقل بر حجم مخصوص (ا) و سفتی مغز (ب) دونات حاوی فیبر خوراکی

نشاسته، محتوی رطوبت نیز نقش مهمی در سفتی مغز فرآورده‌های غلات به دلیل اثر پلاستیسایزری آن بر شبکه مغز این فرآورده‌ها ایفا می‌کند (Hug-Iten *et al.*, 2003). طی مطالعات پیشین یک ارتباط منفی بین محتوی رطوبت و سفتی مغز در فرآورده‌های غلات گزارش شده است (Ronda *et al.*, 2011). در این مطالعه نیز یک همبستگی منفی بین سفتی مغز دونات و محتوی رطوبت آن مشاهده شد ($r = -0.65$). تأثیر انرژی مایکروویو بر سفت شدن مغز فرآورده‌های غلات در مطالعات پیشین نیز به‌خوبی گزارش شده است. Keskin و همکاران (۲۰۰۴) افزایش سفتی مغز نان پخته‌شده توسط انرژی مایکروویو را نشان دادند. همچنین در پژوهشی Megahey

ویژگی‌های بافت مغز

نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد همه متغیرهای مستقل تأثیر خطی مثبت معنی‌داری ($P < 0.05$) بر سفتی و ارتجاعیت مغز نمونه‌ها داشتند (جدول ۳). همچنین مدت‌زمان سرخ کردن یک تأثیر درجه دوم معنی‌دار ($P < 0.05$) و توان و مدت‌زمان مایکروویو یک اثر متقابل معنی‌دار ($P < 0.05$) بر سفتی مغز نمونه‌ها نشان دادند (شکل ۲). سفتی مغز فرآورده، یکی از اساسی‌ترین محدودیت‌های پخت فرآورده‌های غلات توسط انرژی مایکروویو است. خروج حجم زیاد آمیلوز از شبکه نشاسته، طی پخت مایکروویو می‌تواند یکی از دلایل این سفتی باشد (Seyhun *et al.*, 2002). علاوه بر نظم مولکولی

همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند افزایش توان مایکروویو سبب افزایش قابل توجه سفتی مغز فرآورده کیک می شود.



شکل ۳- مراحل پردازش تصویر برای استخراج شاخص های ساختار مغز. (ا) تصویر اولیه، (ب) تبدیل تصویر از فرم رنگی (RGB) به فرم خاکستری، (ج) بهبود تباین تصویر، (د) تبدیل تصویر از فرم خاکستری به فرم باینری

وجود آمدن گرادیان بالای فشار در مغز فرآورده طی پخت مایکروویو می تواند در بزرگ تر شدن سلول های گاز تشکیل شده مؤثر باشد (Ozkoc, Turabi et al., 2010). همکاران (۲۰۰۹) طی پخت نان توسط آن های مختلف و همچنین Turabi و همکاران (۲۰۱۰) طی پخت کیک در آن فروسرخ-مایکروویو نتایجی مشابه پژوهش حاضر گزارش نمودند

بهینه سازی و اعتبارسنجی مدل

به منظور دستیابی به سطوح بهینه متغیرهای مستقل، بهینه سازی عددی انجام شد. بهترین شرایط فرآیند با بالاترین مطلوبیت ($D=0.70$) به منظور تولید یک فرآورده باکیفیت و حاوی کم ترین مقدار چربی انتخاب شد. شرایط بهینه شامل ۴۰۰ وات توان مایکروویو، ۶۰ ثانیه مدت زمان مایکروویو و ۱۰۸ ثانیه مدت زمان سرخ کردن بود. به منظور اعتبار سنجی مدل در برآورد شرایط بهینه، نمونه های تجربی تهیه و مقادیر شاخص های برآورد شده پاسخ ها با مقادیر تجربی در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر مقایسه شد. جدول ۳ مقایسه مقادیر تجربی و برآورد شده پاسخ های شرایط فرآیند بهینه را نشان می دهد. همان طور که قابل مشاهده است بین مقادیر تجربی و مقادیر برآورد شده توسط نرم افزار، تفاوت آماری معنی داری وجود نداشت که نشان دهنده کفایت مدل در برآورد شرایط فرآیند بهینه بود.

آزمون پذیرش مصرف کننده

ویژگی های حسی دونات کنترل (عدم پیش فرآیند)، دونات کنترل حاوی فیبر خوراکی (عدم پیش فرآیند) و دونات بهینه (پیش فرآیند شده) از نظر ظاهر، رنگ پوسته، رنگ مغز، آروما، بافت، مزه و پذیرش کلی مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۵). نتایج نشان داد در اغلب ویژگی های حسی دونات کنترل تفاوت آماری معنی داری ($P<0.05$)

ساختار مغز

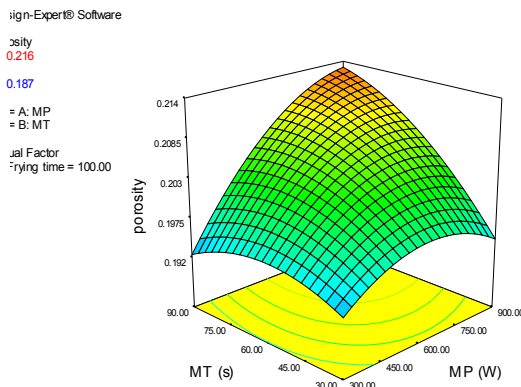
در پژوهش حاضر به منظور محاسبه شاخص های ساختار مغز، مراحل پردازش تصویر شامل انتقال تصویر رنگی به محیط متلب، تبدیل تصویر از فرم رنگی (۲۴ بیتی) به فرم خاکستری (۸ بیتی)، بهبود تباین تصویر مقیاس خاکستری و در انتها بخش بندی تصویر و تبدیل تصویر ۸ بیتی به باینری^۱ بود (شکل ۳).

نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد متغیرهای مستقل دارای تأثیر خطی مثبت معنی داری ($P<0.01$) بر ویژگی های ساختار مغز می باشند (جدول ۳). همچنین توان مایکروویو دارای یک تأثیر درجه دوم منفی معنی داری ($P<0.05$) بر این پاسخ ها بود (جدول ۲). همچنین، یک رابطه متقابل معنی دار ($P<0.05$) بین توان مایکروویو و مدت زمان پیش فرآیند مایکروویو بر این پاسخ ها مشاهده گردید (شکل ۴). نتایج نشان داد که علیرغم پایین بودن تعداد سلول های گاز در نمونه های پیش پخت شده توسط انرژی مایکروویو نسبت به نمونه های کنترل، این نمونه ها دارای تخلخل نسبتاً بالایی بودند (جدول ۱). بیشتر بودن تخلخل و کمتر بودن تعداد سلول ها نشان دهنده بزرگ بودن اندازه سلول های گاز است. وجود سلول های نسبتاً بزرگ در فرآورده های پخته شده توسط مایکروویو، ظاهری غیرمنظم و غیریکنواخت به مغز این محصولات می دهد (Sánchez-Pardo et al., 2008). بزرگ تر بودن سلول های گاز طی پخت مایکروویو می تواند ناشی از حضور ترکیبات روغنی فرمولاسیون باشد که به عنوان روان کننده هایی^۲ از تخریب حباب های گاز طی انبساط جلوگیری می کنند (Aguilera & Stanley, 1999) همچنین حرارت زیاد ایجاد شده توسط مایکروویو سبب افت رطوبت بالا در ماده غذایی می شود که در نتیجه آن یک گرادیان بالای فشار به وجود می آید. به

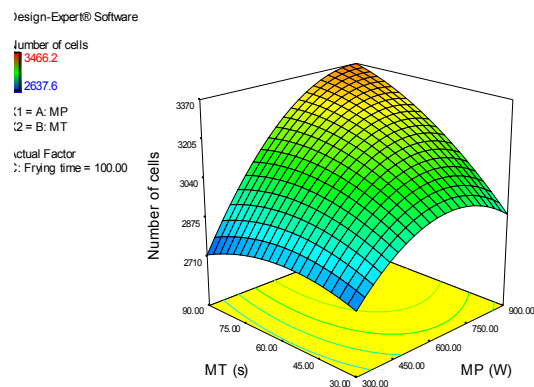
1-Binary
2-lubricant

با دونات‌های کنترل حاوی فیبر خوراکی (عدم پیش‌فرآیند) و دونات بهینه (پیش‌فرآیند شده) داشت. با این وجود، میانگین نمرات ویژگی-های حسی نمونه‌های بهینه بالاتر از ۵ بود که نشان دهنده پذیرش

(ب)



(ا)



شکل ۴- نمودارهای سطح پاسخ اثرات متغیرهای مستقل بر تعداد سلول‌ها (ا) و تخلخل (ب) مغز دونات حاوی فیبر خوراکی

جدول ۴- مقایسه بین مقادیر برآورد شده و تجربی پاسخ‌های مربوط به شرایط بهینه تولید دونات حاوی فیبر خوراکی

پاسخ‌ها	مقدار برآورد شده	مقدار تجربی
محتوی رطوبت (گرم/۱۰۰ گرم)	۲۳/۹۰	۲۳/۱۴ ± ۱/۱۰
محتوی چربی (گرم/۱۰۰ گرم)	۱۵/۰۸	۱۵/۶۳ ± ۰/۹۰
حجم مخصوص (میلی‌لیتر/گرم)	۱/۸۱	۱/۷۹ ± ۰/۰۳
سفیدی (نیوتن)	۱۳/۴۳	۱۴/۲۰ ± ۱/۳۶
ارتجاعیت (درصد)	۵۵/۱۵	۵۴/۱۰ ± ۱/۹۰
تعداد سلول‌ها	۲۹۴۹/۵۰	۲۸۵۵/۲۸ ± ۵۱/۰۶
تخلخل	۰/۲۰۰	۰/۱۹۸ ± ۰/۰۰۶

جدول ۵- آزمون پذیرش مصرف‌کننده برای دونات‌های کنترل و بهینه

دونات کنترل معمولی	دونات کنترل حاوی فیبر خوراکی	دونات بهینه حاوی فیبر خوراکی
ظاهر	۶/۱۰ ± ۰/۷۵ ^b	۵/۰۳ ± ۰/۱۵ ^b
رنگ پوسته	۷/۹۰ ± ۰/۰۵ ^a	۵/۹۷ ± ۰/۲۵ ^b
رنگ مغز	۵/۱۷ ± ۰/۷۵ ^b	۵/۱۳ ± ۰/۲۱ ^b
آروما	۶/۳۳ ± ۱/۰۳ ^a	۶/۳۰ ± ۰/۲۶ ^a
بافت	۵/۵۰ ± ۰/۶۷ ^b	۵/۰۰ ± ۰/۲۰ ^b
مزه	۵/۶۶ ± ۰/۸۰ ^a	۵/۶۳ ± ۰/۳۳ ^a
پذیرش کلی	۵/۵۰ ± ۰/۶۵ ^b	۵/۰۳ ± ۰/۳۲ ^b

حروف غیر یکسان در هر ردیف نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌داری در سطح $P < 0.05$ است.

مایکروویو در توان و زمان‌های مختلف (۹۰۰-۳۰۰ وات و ۹۰-۳۰ ثانیه) و همچنین مدت زمان‌های سرخ کردن ۷۰-۱۳۰ ثانیه، با استفاده از روش سطح پاسخ و یک طرح باکس-بنکن بکار اعمال شد. نتایج نشان داد پیش‌فرآیند مایکروویو سبب افزایش قابل توجه افت

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور کاهش محتوی روغن دونات حاوی منابع فیبر خوراکی صمغ فارسی و پودر تفاله هویج، پیش‌فرآیند

رطوبت، جذب روغن، سفتی و تخلخل مغز دونات حاوی فیبر خوراکی می‌شود. با این وجود چون مدت زمان سرخ کردن نهایی به ۱۰۸ ثانیه کاهش پیدا کرد محتوی نهایی فرآورده کاهش یافت. همچنین آزمون پذیرش مصرف‌کننده نشان داد دونات تهیه شده در شرایط فرآیند بهینه (توان ۴۰۰ وات، مدت زمان پیش‌فرآیند ۶۰ ثانیه و مدت زمان سرخ کردن ۱۰۸ ثانیه) مورد پذیرش مصرف‌کنندگان بود.

منابع

- عباسی، س.، محمدی، س. و رحیمی، س.، ۱۳۹۰، جایگزینی بخشی از ژلاتین با صمغ فارسی و استفاده از کندور برای تولید پاستیل فراسودمند، مجله مهندسی بیوسیستم ایران، ۱(۴۲): ۱۳۱-۱۲۱.
- محمدی، س.، عباسی، س. و حمیدی، ز.، ۱۳۸۹، تأثیر برخی هیدروکلوئیدها بر پایداری فیزیکی، ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی مخلوط شیر-آب‌پرتقال، مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۵ (۴): ۱۲-۱.
- AACC, 2000, Approved methods of the American Association of Cereal Chemists (10th ed.). St. Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists.
- Abbasi, S. & Mohammadi, S., 2013, Stabilization of milk-orange juice mixture using Persian gum: Efficiency and mechanism. *Food Bioscience*, 2: 60-53.
- Adedeji, A. A., Ngadi, M. O. & Raghavan, G. S. V., 2009, Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep-fat fried chicken nuggets. *Journal of Food Engineering*, 91: 146-153.
- Aguilera, J. M. & Stanley, D. W., 1999, Microstructural principles of food processing and Engineering. In Barbosa Canovas, G. V. (ed.) A Chapman and Hall food science book. Gaithersburg, MA, USA: Washington State University, Aspen Publishers, Inc. Pp:1-65.
- Baik, O.D. & Marcotte, M., 2002, Modelling the moisture diffusivity in a baking cake. *Journal of Food Engineering*, 56: 27-36.
- Baljeet, S., Ritika, B. & Reena, K., 2014, Effect of incorporation of carrot pomace powder and germinated chickpea flour on the quality characteristics of biscuits. *International Food Research Journal*, 21(1): 217-222.
- Derringer, G. & Suich, R., 1980, Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of quality technology*, 12: 214-219.
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E. & Pérez-Álvarez, J. A., 2010, Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 43(4): 931-942.
- Ghasempour, Z., Alizadeh, M. & Bari, M. R., 2012, Optimisation of probiotic yoghurt production containing Zedo gum. *International journal of dairy technology*, 65(1): 118-125.
- Homayoonfal, M., Khodaiyan, F., & Mousavi, M., 2015, Modelling and optimising of physicochemical features of walnut-oil beverage emulsions by implementation of response surface methodology: Effect of preparation conditions on emulsion stability. *Food Chemistry*, 174: 649-659.
- Hug-Iten, S., Escher, F. & Conde-Petit, B., 2003, Staling of bread: role of amylose and amylopectin and influence of starch-degrading enzymes. *Cereal Chemistry*, 80(6): 654-661.
- Kassama, L.S. & Ngadi, M.O., 2004, Pore development in chicken meat during deep-fat frying. *LWT – Food Science and Technology*, 37: 841-847.
- Keskin, S. O., Sumnu, G. & Sahin, S., 2004, Bread baking in halogen lamp-microwave combination baking. *Food Research International*, 37: 489-495.
- Kim, J., Choi, I., Shin, W.-K. & Kim, Y., 2015, Effects of HPMC (Hydroxypropyl methylcellulose) on oil uptake and texture of gluten-free soy donut. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1, Part 2): 620-627.
- Kumari, S. & Grewal, R. B., 2007, Nutritional evaluation and utilization of carrot pomace for preparation of high fiber biscuits. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 44(1): 56-58.
- Lostie, M., Peczkalski, R., Andrieu, J. & Laurent, M., 2002, Study of sponge cake batter baking process. Part I: Experimental data. *Journal of Food Engineering*, 51: 131-137.
- Megahey, E. K., Mcminn, W. A. M. & Magee, T. R. A., 2005, Experimental study of microwave baking of Madeira cake batter. *Food and Bioproducts Processing*, 83(4): 277-287.
- Melito, H. S. & Farkas, B. E., 2012, Impact of Infrared Finishing on the Mechanical and Sensorial Properties of Wheat Donuts. *Journal of Food Science*, 77(9): 224-230.
- Montgomery, D. C., 2013, Design and Analysis of Experiments. 8th edition. Wiley, New York. Pp 478-544.
- Ngadi, M. O., Wang, Y., adedeji, A. A. & Raghavan, G. S. V., 2009, Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep-fat frying of chicken nugget. *LWT - Food Science and Technology*, 42: 438-440.
- Ozkoc, S. O., Sumnu, G., Sahin, S. & Turabi, E., 2009, Investigation of physicochemical properties of breads baked in microwave and infrared-microwave combination ovens during storage. *European Food Research and Technology*, 228: 883-893.
- Oztop, M. O., Sahin, S. & Sumnu, G., 2007, Optimization of microwave frying of potato slices by using Taguchi technique. *Journal of Food Engineering*, 79: 83-91.

- Oztop, M. O., Sahin, S. & Sumnu, G., 2007, Optimization of microwave frying of potato slices by using Taguchi technique. *Journal of Food Engineering*, 79: 83-91.
- Pinthus, E. J., Weinberg, P., & Saguy, I. S, 1995, Oil uptake in deepfat frying as affected by porosity. *Journal of Food Science*, 60: 767-769.
- Purhagen, J. K., Sjöö, M. E. & Eliasson, A.-C., 2011, Starch affecting anti-staling agents and their function in freestanding and pan-baked bread. *Food Hydrocolloids*, 25(7): 1656-1666.
- Raymundo, A., Fradinho, Patricia. & Nunes, M. C., 2014, Effect of Psyllium fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioactive carbohydrates and dietary fibre*, 3: 96-105.
- Ronda, F., Caballero, P. A., Quilez, J. & Roos, Y. H., 2011, Staling of frozen partly and fully baked breads. Study of the combined effect of amylopectin recrystallization and water content on bread firmness. *Journal of Cereal Science*, 53: 97-103.
- Sahin, S., Sumnu, G. & Altunakar, B., 2005, Effects of batters containing different gum types on the quality of deep-fat fried chicken nuggets. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(14): 2375-2379.
- Sanchez-Pardo, M. E., Ortiz-Moreno, A., Mora-Escobedo, R., Chanona-Perez & Necoechea-Mondragon, H., 2008, Comparison of crumb microstructure from pound cakes baked in a microwave or conventional oven. *LWT-Food Science and Technology*, 41: 620-627.
- Seyhun, N., Sumnu, G. & Sahin, S., 2005, Effects of different starch types on retardation of staling of microwave-baked cakes. *Food and Bioproducts Processing*, 83(1): 1-5.
- Shih, F. F., Daigle, K. W. & Clawson, E. L, 2001, Development of Low Oil-Uptake Donuts. *Journal of Food Science*, 66: 141-144.
- Soorgi, M., Mohebbi, M., Mousavi, S. M & Shahidi, F, 2012, The Effect of Methylcellulose, Temperature, and Microwave Pretreatment on Kinetic of Mass Transfer During Deep Fat Frying of Chicken Nuggets. *Food Bioprocess Technol*, 5:1521 – 1530.
- Tanska, M., Zadernowski, R. & Konopka, I., 2007, The quality of wheat bread supplemented with dried carrot pomace. *Polish Journal of Natural Science*, 22: 126-136.
- Tran, T. T. M., Chen, X. D. & Southern, C., 2007, Reducing oil content of fried potato crisps considerably using a 'sweet' pre-treatment technique. *Journal of Food Engineering*, 80: 719-726.
- Troncoso, E., & Pedreschi, F, 2009, Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT-Food Science and Technology*, 42(6): 1164-1173.
- Turabi, E., Sumnu, G. & Sahin, S., 2008, Optimization of baking of rice cakes in infraredmicrowave combination oven by response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 1: 64-73.
- Upadhyay, A., Sharma, H. K. & Sarkar, B. C., 2010, Optimization of Carrot Pomace Powder Incorporation on Extruded Product Quality by Response Surface Methodology. *Journal of Food Quality*, 33: 350-369.
- Yildiz, O., Yurt, B., Basturk, A., Toker, O.S., Yilmaz, M.T., Karaman, S., & Daglioglu, O., 2013, Properties, texture profile and stress-relaxation behavior of wheat starch/dietary fiber systems. *Food Research International*, 53: 278-290.
- Zanoni, B. & Peri, C., 1993, Study of the bread baking process I. Phenomenological model. *Journal of Food Engineering*, 19: 389-398.



Effect of microwave pre-treatment on physico-chemical properties of donut containing Persian gum and carrot pomace powder sources of dietary fiber

M. Nouri¹, B. Nasehi^{1*}, V. Samavati¹, S. Abdanan Mehdizade²

Received: 2015.08.19

Accepted: 2015.10.20

Introduction: Increased awareness of diet-health association has led to the growth of health food industry. Deep-fat fried foods such as donuts enjoy wide popularity owing to their taste, distinctive flavor, aroma and crunchy texture. There is, however, a great health concern over large fat content of fried foods. Incorporating the dietary fiber such as hydrocolloids into the food substrate in the batter formulation is one of the most effective strategies to decrease fat uptake in fried foods. Dietary fibers act as water binders in a coating or batter formulation through which reduce fat uptake of fried foods. That is, an increase of water content of food could lead to a decrease of oil penetration during the frying process. Persian gum (PG), as a novel gum, is exudates of the wild or mountain almond trees (the main source is *Amygdalus scoparia* Spach). Carrot pomace is a fibre-rich by-product of carrot juice industries which contains approximately 80% of carrot carotenes. Carrot juice yield is reported to be only 60-70% and the remaining pomace is usually disposed of as feed or fertilizer. There is an increasing interest in microwaving foods for several reasons: it is faster than conventional methods, the energy consumption is often lower and foods cooked by microwaving maintain nutritional integrity. Therefore, the aim of this study was to examine the effect of microwave pre-treatment on physico-chemical properties of donut containing Persian gum and carrot pomace powder sources of dietary fiber.

Materials and methods: Donuts were prepared according to the formulation reported by Melito and Farkas (2012). Ingredients used in control donut formulation were consisted of 100 g of wheat flour (9 g/100g), 38 g of water, 9g of Shortening, 13g of Egg, 13g of water for yeast, 6.3g of sugar, 6.3g of nonfat dried milk powder, 3g of active dried yeast, 1.6g of Vanilla extract, 1.6g of baking powder, and 1.6g of Salt. For the making of donuts, the flour blends were prepared by replacing wheat flour with 1.2 g/100g PG and 645 g/100g CPP. As well, water was added at 48.16 g/100g based on flour weight. The exudate gums of mountain almond trees were collected in Lorestan province. In order to eliminate foreign matters such as dust and dirt, the PG was washed three times with its threefold weight of ethanol (96% w/v) for 15 min under constant stirring. After removing ethanol by drying in an oven (at 60° C for 6 h) the PG was ground using a coffee grinder (model 320, Spain), sieved (180 µm) and packaged in polyethylene packs and then stored in 4°C. Fresh carrots were purchased from a local market. Carrots were washed and then pressed with a juice extractor and the resultant pomace was collected. The carrot pomace was blanched in water (80 ± 2°C for 3 min) and then cooled in cold water (4° C). The pomace water was drained with cheese-cloth prior to drying. Finally, the carrot pomace was dried in an oven (60° C for 12 h). The dried pomace was ground using a coffee grinder to fine powder. The carrot pomace powder was sieved (180 µm) and packed in polyethylene packs and then stored in 4°C. Specific volume of donuts was determined using the rapeseed displacement AACC method. Moisture content of donuts crumb was measured using a oven at 105 °C for 3. The fat content of dried donuts was determined by Soxhlet extraction with petroleum ether for 5 h. Firmness and springiness were measured in triplicate using a TA.XT2i Texture Analyzer equipped with a 5 kg load cell and a P/35 mm aluminum cylindrical probe. Crumb grain (total number of cells and porosity) and crumb color of donuts were evaluated using an image analysis system consisted of a digital camera, a personal computer and MATLAB R2014a software. The control and optimized donuts were evaluated for acceptance of their appearance, crust color, crumb color, aroma, texture, taste and overall acceptance based on a nine-point hedonic scale. Response Surface Methodology (RSM) and Box-Behnken design with 3 factors were applied to obtain optimal levels of independent variables including microwave power (300-900 W),

3- Department of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Ahvaz, Iran.

2- Department of Mechanics of Biosystems Engineering, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Ahvaz, Iran

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

microwave time (30-90 s) and frying time (70-130 s).

Results and discussion: The results indicated that moisture content significantly ($p < 0.05$) decreased whereas oil uptake increased. Moisture loss and fat uptake are two main mass transport phenomena during deep fat frying. The rate of this process is directly related to frying time and temperature. The high microwave power level, microwave time and frying time causes partial evaporation of the water, which moves away from the food through the surrounding oil, and a certain amount of oil is absorbed by the food. Results also showed that firmness of dietary fiber enriched donut significantly ($p < 0.05$) increased with increasing microwave power level, microwave time and frying time. This might be related with the high amount of amylose leached during microwave heating.

Conclusion: The optimum condition was found as pre-treatment at 400 W microwave power level for 60 s and then frying process for 108 s. At this condition, the oil content of fried donut was lower than that of conventionally fried ones.

Keywords: Donut, Microwave, Dietary fiber, Response surface methodology

بررسی اثر انجماد سریع و کند بر ویژگی‌های عملکردی (ویژگی‌های رئولوژیکی، پایداری امولسیون و کف) صمغ دانه قدومه شهری

مریم محفوظی^۱ - آرش کوچکی^{۲*} - سید محمد علی رضوی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۳

چکیده

در این تحقیق اثر انجماد کند (-10°C) و تند (-196°C) بر ویژگی‌های عملکردی صمغ دانه قدومه شهری در غلظت‌های ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد (وزنی-وزنی) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ویسکوزیته ظاهری محلول‌های حاوی صمغ قدومه شهری پس از فرایند انجماد سریع کمی افزایش یافت که معنی‌دار نبود. تمامی نمونه‌ها از خود رفتار رقیق‌شونده با برش نشان دادند. در مدل‌های برازش شده تغییر معنی‌دار (در سطح ۰/۰۵) در شاخص رفتار جریان و ضریب قوام اکثر نمونه‌ها مشاهده نشد. اندازه ذرات امولسیون حاوی صمغ قدومه شهری پس از اعمال دمای‌های پایین تغییر معنی‌داری نکرد (در سطح معنی‌دار ۰/۰۵) که نشان‌دهنده ثبات این صمغ در برابر شرایط مختلف انجماد است. همچنین هیچ تغییری در حجم کف‌های تهیه شده پس از ۳۰ دقیقه مشاهده نشد. بنابراین، نتایج حاکی از آن است که صمغ قدومه شهری طی نگهداری محصولات غذایی طی انجماد می‌تواند از پایداری خوبی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: انجماد، صمغ دانه قدومه شهری، ویژگی‌های عملکردی

مقدمه

انجماد به‌طور وسیعی در عملیات نگهداری مواد غذایی کاربرد دارد و از طرفی سرعت واکنش‌های بیوشیمیایی را کاهش می‌دهد که می‌تواند در افزایش عمر مواد غذایی موثر باشد (Bhandri & roos, 2012). به‌طور کلی هیدروکلوئیدها سرعت رشد کریستال‌های یخ در دیسپرسیون‌ها را کاهش می‌دهند (Holt & William, 1991). در فرایند انجماد دلیل افزایش ویسکوزیته در دیسپرسیون‌ها نزدیک شدن زنجیره‌های صمغ طی تبدیل مولکول‌های آب به کریستال‌های یخ می‌باشد که پس از انجماد مقداری از این پیوندها پایدار باقی می‌ماند (Naji, Razavi & Karazhiyan, 2013).

صمغ دانه قدومه شهری در محلول‌های آبی ویسکوزیته مناسبی ایجاد می‌کند، ویسکوزیته آن متأثر از دما بوده به‌طوری که کاهش دما باعث افزایش ویسکوزیته محلول‌های حاوی صمغ قدومه شهری می‌شود. همچنین این صمغ در اثر تنش رفتار سودوپلاست از خود نشان می‌دهد. صمغ دانه قدومه شهری در آب حلالیت کمی داشته، با این حال ظرفیت جذب آب آن بسیار مناسب بوده و شبیه صمغ زانتان است. محققین در نتایج خود نشان دادند که این صمغ باعث افزایش پایداری امولسیون و کف نیز می‌شود (Koocheki, Taherian & Bostan, 2013).

با توجه به اینکه صمغ دانه قدومه شهری ویژگی‌های کارکردی

واژه هیدروکلوئید به گروهی از پلی‌ساکاریدها و برخی پروتئین‌ها اطلاق می‌شود که باعث ایجاد قوام و تشکیل ژل در محلول‌های آبی شده که به پایدار کردن کف‌ها، امولسیون‌ها و دیسپرسیون‌ها کمک کرده و همچنین در آزاد شدن طعم نقش دارد (Burey, Bhandari, 2008; Howes & Gidley, 2008).

در صنعت غذا به‌منظور افزایش عمر ماندگاری مواد غذایی فرایند شده از فرآیندهای مختلفی استفاده می‌شود. اعمال دماهای مختلف باعث تغییر در خصوصیات رفتاری مواد غذایی می‌شود. دماهای مختلف ممکن است باعث کاهش یا افزایش ویسکوزیته ماده غذایی شود که این امر در حمل و نقل، پمپ کردن، نگهداری و غیره موثر می‌باشد. پایداری امولسیون و کف نیز ممکن است تحت تاثیر تغییرات pH و اعمال دماهای مختلف قرار بگیرد (Glicksman, 1982).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

DOI: 10.22067/iftstr.v1395i0.49167

و n، شاخص رفتار جریان (بدون بعد) است.

آماده سازی امولسیون

جهت تهیه امولسیون های مورد نظر مقادیر ۰/۱ و ۰/۲ گرم از صمغ قدومه شهری در ۵۰ سی سی آب مقطر به همراه ۲ گرم پروتئین آب پنیر در ۳۰ سی سی آب مقطر به طور جداگانه توسط همزن مغناطیسی به مدت ۱۰ دقیقه هم زده شد. پس از آن محلول صمغ به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار گرفت تا به طور کامل آب گیری صورت گیرد. پس از جذب آب محلول های صمغ تحت انجماد قرار گرفتند و تا دمای محیط خنک شدند. تمام امولسیون ها در سه مرحله تهیه شدند. برای این منظور ۲۰ گرم روغن به محلول پروتئین اضافه و توسط یک همزن مغناطیسی هم زده شد. این مخلوط با استفاده از دستگاه هموژنایزر اولتراتوراکس T25 (IKA، آلمان) با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه در دمای اتاق همگن شد. سپس محلول صمغ تنش دیده به مخلوط همگن شده اضافه و به مدت ۴ دقیقه با همان سرعت هموژنیزه شد (Soleimanpou, koochehi & kadkhodae, 2013).

اندازه ذرات

بدین منظور میانگین اندازه ذرات نمونه ها با دستگاه پارتیکل سایزر کارپوآن مدل ۳ VASCO ساخت کشور فرانسه با طول موج ۶۵۷ نانومتر در محدوده دقت ۰/۵ نانومتر تا ۶ میکرون که بر مبنای نور لیزر کار می کند اندازه گیری شد.

آماده سازی کف

محلول های صمغ دانه قدومه شهری در غلظت ۰/۵ درصد (وزنی - وزنی) تهیه و به منظور جذب آب کامل به مدت ۲۴ ساعت در دمای یخچال (۴ درجه سانتی گراد) نگهداری شدند و سپس تحت انجماد قرار گرفتند. ۲ درصد پودر سفیده تخم مرغ به محلول ها اضافه و توسط هموژنایزر (اولترا توراکس تی ۲۵، شرکت IKA، آلمان) با ۲۰۰۰ rpm به مدت ۲ دقیقه هم زده شدند (Koochehi, Taherian & Bostan, 2013).

پایداری کف

کاهش حجم کف پس از ۳۰ دقیقه به عنوان شاخص پایداری در نظر گرفته شد و بر اساس رابطه زیر محاسبه گردید (Y. Wang D. Li, L. Wang, S. Li & Adhikari, 2010)

$$\text{پایداری کف} = (V_2 - V_1 / V_1) \times 100 \quad (5)$$

در معادله فوق، V_2 ، حجم کف تولیدی و V_1 ، حجم محلول اولیه می باشد.

مناسب دارد، می توان از این صمغ در تولید فراورده های غذایی که تحت تنش های مختلف (به طور مثال در دماهای مختلف) قرار می گیرند استفاده کرد. در مواد غذایی مختلف تعیین اثر دما بر رفتار اجزاء تشکیل دهنده ماده غذایی اهمیت ویژه ای دارد. بنابراین، با توجه به اینکه اکثر فراورده های غذایی حاوی یکی از ترکیبات تثبیت کننده می باشند، بررسی ویژگی های عملکردی هیدروکلوئیدها در دماهای مختلف فرایند بسیار حائز اهمیت است. هدف از این تحقیق بررسی رفتار صمغ دانه قدومه شهری در هنگام اعمال فرایندهای دمایی پایین بوده است.

مواد و روش ها

آماده سازی محلول ها

دانه قدومه شهری از یکی از عطاری های سطح شهر مشهد خریداری و پس از تمیز کردن صمغ آن به روش کوچکی و همکاران (۲۰۰۹) استخراج شد. صمغ دانه قدومه شهری با غلظت های ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ درصد (وزنی - وزنی) در آب مقطر تهیه و به منظور جذب آب کامل به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط نگهداری شد.

تیمار انجماد

دیسپرسیون های نمونه ها پس از آماده سازی با دو روش مختلف (تند و کند) منجمد شدند. انجماد تند به کمک ازت مایع در دمای ۱۹۶- درجه سانتی گراد به مدت پنج دقیقه و انجماد کند در فریزر با دمای ۱۰- درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت انجام گرفت. زمان خروج از انجماد نیز ۱۲ ساعت به طول انجامید. سپس نمونه ها به منظور رفع کامل انجماد در دمای محیط قرار گرفتند.

بررسی رفتار جریان

پس از اعمال تنش ویسکوزیته و رفتار جریان صمغ ها توسط ویسکومتر دورانی (مدل بوهلین، ویسکو ۸۸، انگلستان) در دمای محیط در دامنه درجه برش ۱۴ تا ۳۰۰ s⁻¹ اندازه گیری شد. با توجه به ویسکوزیته نمونه ها از اسپیندل C_{۳۰} استفاده گردید. حجم مناسبی از نمونه ها داخل کاپ ریخته شد و در تماس با باب و سیرکولاتور قرار گرفت و به منظور بررسی رفتار جریان محلول های صمغی از مدل های زیر استفاده شد.

- (۱) مدل قانون توان $\tau = k_p \gamma^n$
- (۲) مدل هرشل بالکی $\tau = \tau_0 + k \gamma^n$
- (۳) مدل بینگهام $\tau = \tau_0 + k \gamma$
- (۴) مدل کاسون $\tau^{0.5} = k_0^{0.5} + k (\gamma)^{0.5}$

در تمامی معادله ها τ ، تنش برشی (Pa)، τ_0 ، تنش تسلیم (Pa)، K، بزرگی ویسکوزیته یا ضریب قوام (Pa.sⁿ)، γ ، سرعت برشی (s⁻¹)

توان، مشابه نمونه‌های شاهد، رفتار رقیق‌شونده با برش ($n < 1$) در محلول‌هایی که در معرض انجماد تند و کند قرار گرفته بودند نیز مشاهده شد.

شاخص رفتار جریان محلول‌های صمغ قدومه شهری با انجماد نیز تغییر نکرد (جدول ۳-۱). عدم تغییر معنی‌دار در مقادیر شاخص رفتار (n) حاکی از آن است که صمغ قدومه شهری طی نگهداری محصولات غذایی طی انجماد از پایداری خوبی برخوردار است. این امر نشان‌دهنده ثبات رفتار ضعیف‌شونده با برش این صمغ‌ها در طی انجماد است. خدایی و همکاران (۲۰۱۴) نیز رفتار مشابهی برای صمغ دانه بالنگو مشاهده کردند. شاخص رفتار جریان صمغ دانه بالنگو در سیکل‌های انجماد و خروج از انجماد (۱۸- و ۳۰- درجه سانتی‌گراد) ثابت بوده که نشان‌دهنده پایداری صمغ بالنگو در برابر انجماد می‌باشد (Khodaei, Razavi & Haddad Khodaparast, 2014).

شرایط مختلف انجماد بر ضریب قوام اکثر نمونه‌ها اثر معنی‌داری نداشت. تنها در غلظت ۰/۷۵ درصد صمغ، نمونه‌هایی که به روش انجماد کند و تند منجمد شده بودند از نظر ضریب قوام با هم تفاوت معنی‌داری (در سطح ۰/۰۵) داشتند. عدم تغییر در اندیس رفتار جریان و ضریب قوام اکثر نمونه‌ها در قانون توان بیانگر این مطلب است که انجماد تاثیر مخربی بر پیوندهای بین مولکولی صمغ قدومه شهری نداشته است.

نتایج تحقیق هگدوسیک و همکاران (۲۰۰۰) نیز نشان داد که فرایند انجماد اثری بر ویسکوزیته محلول کربوکسی متیل سلولز در آب نداشت. این محققین دلیل این امر را عدم تاثیر فرایند انجماد بر ظرفیت نگهداری آب دانستند (Hegedusic, Hereege & Rimac, 2000).

پارامترهای مدل‌های دارای تنش تسلیم برای محلول‌های صمغ دانه قدومه شهری پس از اعمال تیمار انجماد در جدول ۲ نشان داده شده است. بالاتر بودن میزان ضریب تبیین (R^2) مدل هرشل بالکی نشان‌دهنده مناسب‌تر بودن این مدل برای توصیف رفتار رئولوژیکی این محلول‌های هیدروکلوئیدی است. نتایج نشان می‌دهد که فرایند انجماد و نوع آن تاثیری بر تنش تسلیم در مدل‌های بینگهام و کاسون نداشت. در حالیکه در مدل هرشل-بالکی نمونه‌ای که با روش انجماد تند منجمد شد با نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری (در سطح ۰/۰۵) در تنش تسلیم داشت. نتایج فوق بیانگر این مطلب است که صمغ قدومه شهری پایداری بالایی طی انجماد دارد و انجماد تاثیر مخربی بر باندهای بین مولکولی نداشت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه تحلیل آماری داده‌ها از طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل استفاده گردید. داده‌ها توسط آنالیز واریانس (ANOVA) در نرم‌افزار Minitab R14 تحلیل شدند. اختلاف بین میانگین‌ها به روش آزمون Tukey در سطح معنی‌دار ۰/۰۵ مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای برآزش داده‌ها با مدل‌های رئولوژیکی مستقل از زمان از نرم‌افزار Slide Write و برای برآزش نمودارها از نرم‌افزار Microsoft Excel 2013 استفاده شد. تمامی آزمایشات در سه تکرار انجام گرفت.

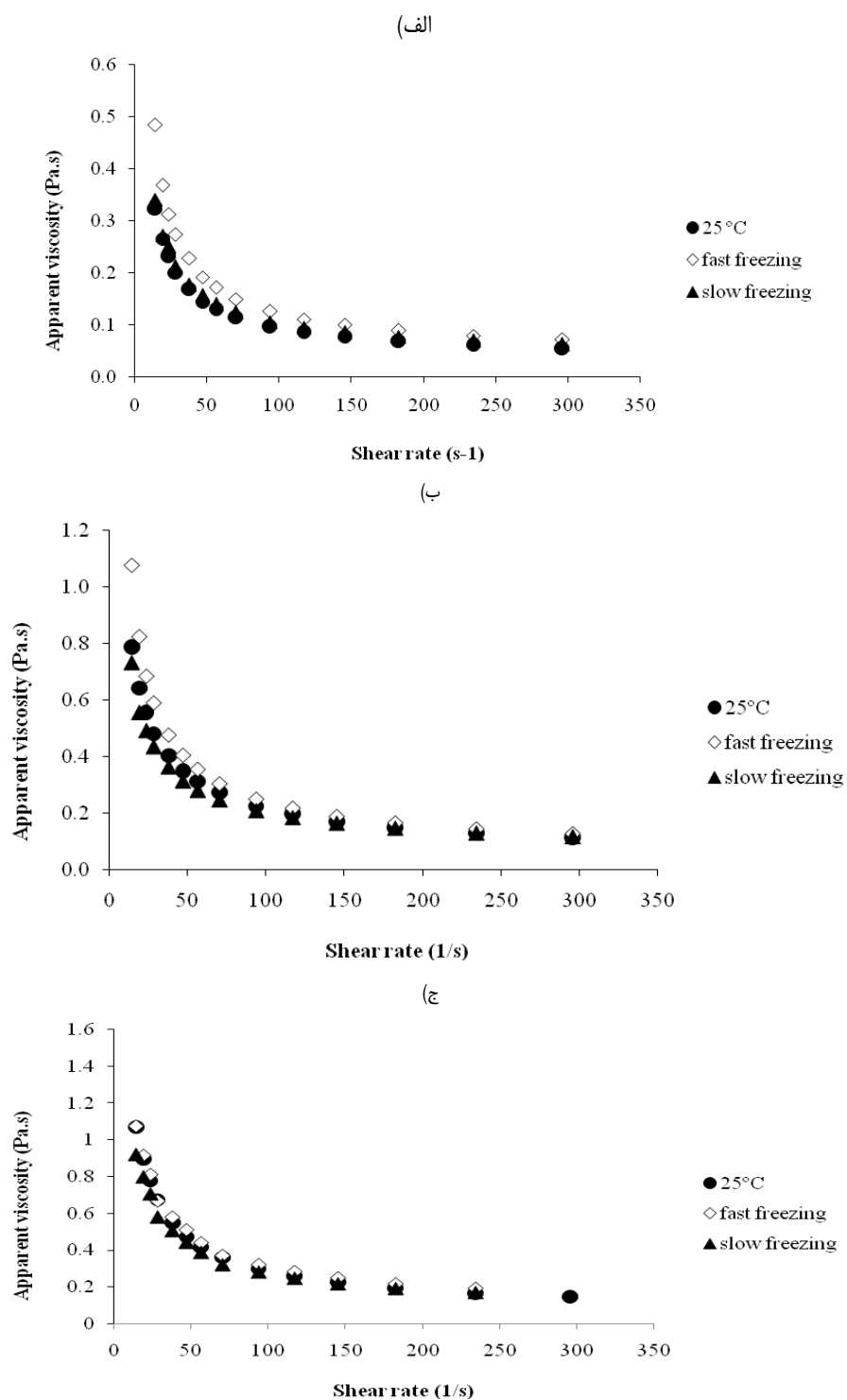
نتایج و بحث

تاثیر فرایندهای انجماد بر رفتار مستقل از زمان صمغ قدومه شهری

اساسی‌ترین ویژگی رئولوژیکی ماده غذایی، ویسکوزیته آن می‌باشد که نشان‌دهنده رفتار جریان سیستم‌های مایع است (Steff, 1996). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در غلظت‌های ۰/۵ و ۰/۷۵ درصد (وزنی-وزنی)، ویسکوزیته ظاهری محلول‌های صمغ قدومه شهری تحت فرایند انجماد سریع، افزایش جزئی پیدا کرد. این امر احتمالاً مربوط به تمایل زنجیره‌های این صمغ به تشکیل اتصالات بین مولکولی با کاهش میزان آب آزاد طی انجماد است. فرایند انجماد بر ویسکوزیته ظاهری صمغ با غلظت یک درصد اثر نداشت. با تبدیل آب به یخ، غلظت صمغ در قسمت انجماد نیافته افزایش می‌یابد که باعث افزایش تجمع زنجیره‌ها در این ناحیه شده و در نهایت پس از انجماد افزایش ویسکوزیته نمونه را به دنبال دارد (Naji, Razavi & Karazhiyan, 2013). تغییری در ویسکوزیته ظاهری محلول‌های صمغ قدومه شهری که در معرض انجماد کند قرار گرفته بودند مشاهده نشد. بنابراین، احتمالاً فرایند انجماد کند تاثیری بر پیوندهای داخلی صمغ قدومه شهری ندارد.

هنگامی که مواد غذایی منجمد می‌شوند، به دلیل تشکیل کریستال‌های یخ و ایجاد بافت غیریکنواخت، کیفیت محصول نهایی تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Williams, Sadar & Lo, 2009). با بکارگیری هیدروکلوئیدها می‌توان از هدر رفت آب و کاهش ویسکوزیته جلوگیری کرد. هیدروکلوئیدها از طریق جلوگیری از رشد کریستال‌های یخ و حفظ آب، آثار منفی حاصل از انجماد را به حداقل می‌رسانند (Phillips & Williams, 2000).

نتایج حاصل از برآزش داده‌ها با استفاده از مدل قانون توان برای محلول‌های صمغ دانه قدومه شهری در شرایط مختلف انجماد در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به پارامترهای حاصل از قانون



شکل ۱- اثر انجماد بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ قدومه شهری با غلظت های الف) ۰/۵ درصد، ب) ۰/۷۵ درصد و ج) ۱ درصد

جدول ۱- پارامترهای رئولوژیکی مدل قانون توان برای محلول های صمغ قدومه شهری در شرایط مختلف انجماد

فرایند انجماد	غلظت صمغ (درصد)	k	n	R ²
شاهد	۰/۵	۰/۱۶±۱/۲۹ ^c	۰/۰۱±۰/۴۳ ^{abc}	۰/۹۹
	۰/۷۵	۰/۰۲±۴/۱۴ ^{ab}	۰/۰۴±۰/۳۶ ^{de}	۰/۹۹
	۱	۰/۰۱±۳۳/۰۴ ^a	۰/۰۱±۰/۳۴ ^c	۰/۹۹
انجماد سریع	۰/۵	۱/۹۱±۰/۳۲ ^{bc}	۰/۰۴±۰/۰۲ ^{abcd}	۰/۹۷
	۰/۷۵	۵/۵۶±۰/۱۷ ^a	۰/۰۳±۰/۰۱ ^e	۰/۹۷
	۱	۶/۵۷±۱/۰۴ ^a	۰/۰۳±۰/۰۳ ^{cde}	۰/۹۹
انجماد کند	۰/۵	۱/۲۰±۰/۱۰ ^c	۰/۰۴±۰/۰۱ ^a	۰/۹۹
	۰/۷۵	۲/۸۵±۰/۱۲ ^{bc}	۰/۰۴±۰/۰۰ ^{ab}	۰/۹۹
	۱	۵/۵۳±۰/۳۸ ^a	۰/۰۳±۰/۰۱ ^{bcd}	۰/۹۹

جدول ۲- پارامترهای رئولوژیکی مدل های دارای تنش تسلیم برای محلول های صمغ قدومه شهری تحت انجماد

فرایند انجماد	غلظت (درصد)	هرشل-بالکی	بینگهام	کاسون
		R ² n k τ_0	R ² k _b τ_0	R ² k _c τ_0
شاهد	۰/۵	۳/۰۳±۰/۳۴ ^c	۴/۷۹±۰/۴۹ ^d	۲/۹۲±۰/۲۵ ^e
	۰/۷۵	۴/۲۰±۱/۷۸ ^c	۱۲/۳۵±۴/۳۷ ^{bc}	۸/۱۰±۳/۴۰ ^{bcd}
	۱	۶/۵۶±۲/۹۵ ^{bc}	۱۷/۰۸±۳/۰۷ ^{ab}	۱۱/۵۴±۲/۲۲ ^{ab}
انجماد	۰/۵	۰/۹۳±۵/۲۵ ^c	۰/۰۶±۰/۰۵ ^d	۴/۰۲±۰/۵۴ ^e
	۰/۷۵	۱۲/۴۶±۰/۷ ^a	۰/۰۱±۰/۰۸ ^{bc}	۱۰/۳۹±۰/۴۸ ^{abc}
	۱	۱۲/۷۹±۱۲/۲۷ ^a	۰/۰۱±۰/۱۳ ^a	۱۳/۰۹±۱/۷۱ ^a
انجماد کند	۰/۵	۰/۳۶±۳/۱۱ ^c	۰/۰۱±۰/۰۴ ^d	۲/۷۱±۰/۲۵ ^{de}
	۰/۷۵	۰/۷۸±۶/۵ ^{bc}	۰/۰۳±۰/۰۸ ^{cd}	۶/۱۶±۰/۲۵ ^{cde}
	۱	۱۱/۴۸±۱۰/۴۸ ^{ab}	۰/۰۰±۰/۱۲ ^a	۱۱/۱۵±۰/۶۳ ^{ab}

دلیل افزایش اندازه ذرات در غلظت های پایین صمغ را وقوع پدیده به هم پیوستن نقصانی می دانند. البته باید توجه داشت پدیده بهم پیوستن نقصانی در غلظت های بالای صمغ نیز رخ می دهد، اما افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته و کاهش تحرک ذرات اجازه بهم پیوستن بیشتر آنها را نمی دهد (Khallooufi, Corredig, Goff & Alexander, 2008).

با افزایش غلظت صمغ قدومه شیرازی نیز به دلیل افزایش گرانیروی اندازه قطرات امولسیون تهیه شده افزایش یافت (Koocheki, Taherian, Razavi & Bostan, 2009). نتایج مشابهی توسط دیگر محققین مبنی بر افزایش اندازه ذرات با افزایش غلظت صمغ بذر کتان در امولسیون تهیه شده با ایزوله پروتئین سویا گزارش شده است. محققین دلیل این امر را برهمکنش های محدود بین صمغ و ایزوله پروتئین دانستند (Y. Wang, Li, L. Wang & Adhikari, 2011). بر اساس نتایج نشان داده شده در شکل ۳ اندازه ذرات امولسیون حاوی صمغ قدومه شهری پس از اعمال دمای های پایین تغییر معنی داری نکرد که نشان دهنده ثبات این صمغ در برابر

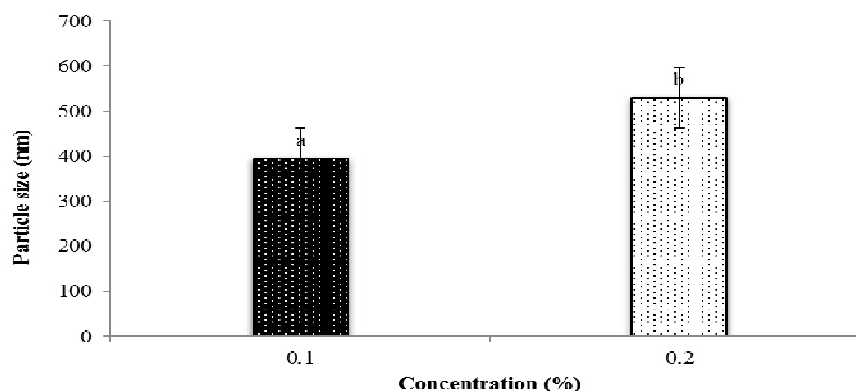
اندازه ذرات امولسیون

نتایج حاصل از تحقیق کوچکی و همکاران (۲۰۱۳) نشان داده که صمغ قدومه شهری باعث ثبات امولسیون و از دو فاز شدن آن جلوگیری می کند. ویژگی پایدارکنندگی امولسیون توسط صمغ قدومه شهری را می توان به بزرگی اندازه مولکولی پلی ساکاریدها نسبت داد که از تجمع قطرات روغن جلوگیری می کنند. ثبات امولسیون ها توسط هیدروکلوئیدها عموماً از طریق افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته و به تاخیر انداختن حرکت قطرات می باشد (Lepin, Mezdoor, Erazo-Majewics & Michon, 2008; Garti, Slavin & Aserin, 1999).

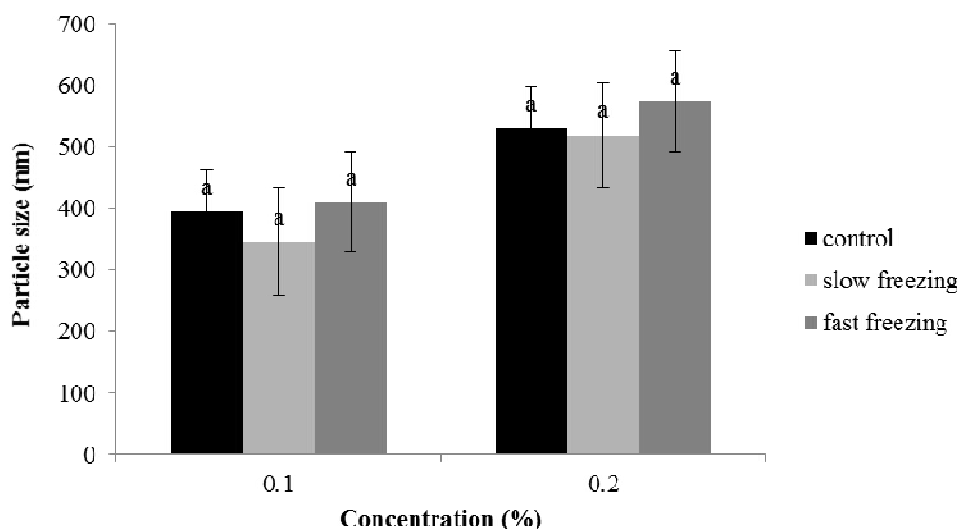
قطر میانگین قطرات امولسیون، تاثیر فراوانی بر ثبات آن دارد. جهت بررسی پایداری و شاخص های کیفی امولسیون، اندازه گیری این فاکتور حائز اهمیت است (McClements, 2005). شکل ۲ تغییرات قطر میانگین قطرات امولسیون در غلظت های مختلف صمغ را نشان می دهد. با افزایش غلظت از ۰/۱ به ۰/۲ درصد، اندازه ذرات امولسیون به طور معنی داری افزایش یافت (P<۰/۰۵) Ye و همکاران (۲۰۰۴)

سیکل‌های انجمادی (۳۰- و ۱۸- درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۸ ساعت و خروج از انجماد به مدت ۶ ساعت) باعث حفظ پایداری امولسیون گردید (Khodaei, Razavi & Haddad Khodaparast, 2014).

شرایط مختلف انجماد است. از آنجا که مکانیسم اصلی پایداری امولسیون توسط هیدروکلوئیدها افزایش ویسکوزیته می‌باشد و انجماد تاثیر مخربی بر ویسکوزیته محلول این صمغ نداشت، بنابراین قابلیت ثبات امولسیون توسط صمغ قدومه شهری حفظ شد. نتایج پژوهش خدایی و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان داد صمغ دانه بالنگو تحت اعمال



شکل ۲- تاثیر غلظت صمغ قدومه شهری بر قطر میانگین قطرات امولسیون



شکل ۳- تاثیر انجماد و غلظت بر اندازه ذرات امولسیون حاوی صمغ قدومه شهری

حروف یکسان روی هر خط نشانگر عدم تفاوت معنی دار بین غلظت صمغ و شرایط مختلف انجماد است ($P > 0.05$).

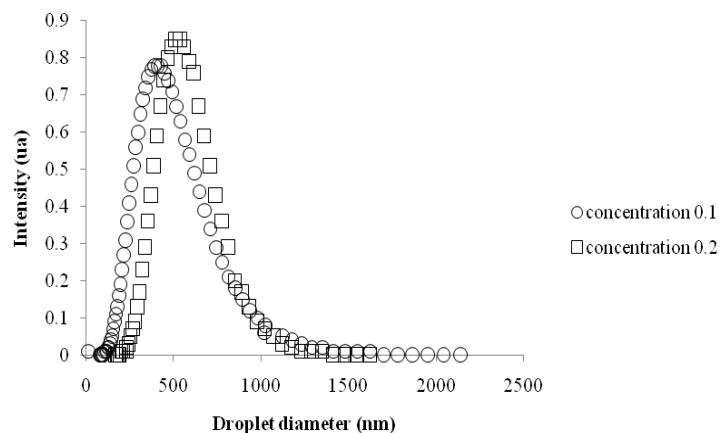
صمغ بذر کتان تا ۵/۰ درصد به امواسیون تهیه شده با ایزوله پروتئین سویا به نتایج مشابهی دست یافتند (Y. Wang, Li, L. Wang & Adhikari, 2011).

در غلظت ۱/۰ درصد فرایند انجماد تاثیر معنی‌داری بر توزیع اندازه ذرات امولسیون نداشت اما در غلظت ۲/۰ درصد منحنی توزیع اندازه ذرات امولسیون تحت انجماد سریع به سمت راست و پایین تمایل یافت (شکل ۵). این امر نشان‌دهنده اثر انجماد سریع بر کاهش

منحنی‌های توزیع اندازه ذرات

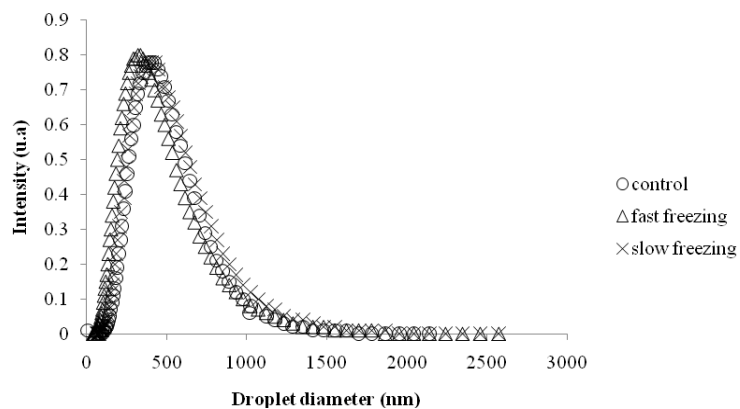
اثر افزایش غلظت صمغ قدومه شهری از ۱/۰ به ۲/۰ درصد در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود منحنی‌های اندازه ذرات دارای یک پیک بوده و با افزایش غلظت این صمغ منحنی به سمت راست و بالا تغییر مکان داد. این امر نشان می‌دهد که با افزایش غلظت صمغ، اندازه ذرات امولسیون بزرگتر و پراکندگی آنها نیز افزایش یافته است. محققان با بررسی اثر افزایش

پراکندگی و افزایش قطر اندازه ذرات می باشد.

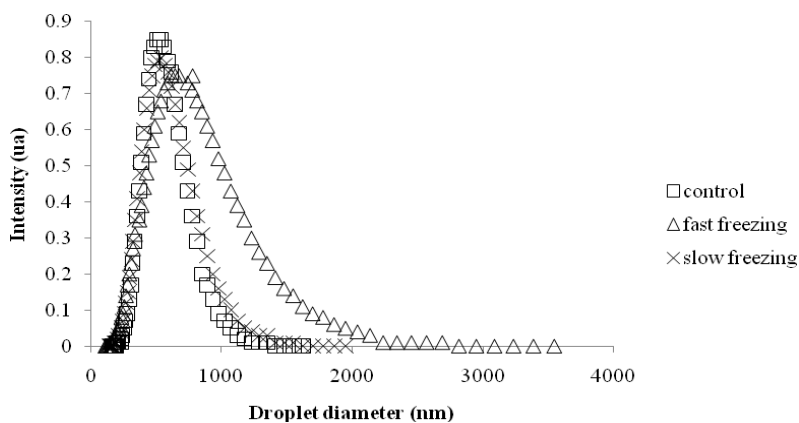


شکل ۴- اثر غلظت صمغ قدومه شهری بر منحنی توزیع اندازه ذرات امولسیون روغن در آب

(الف)



(ب)

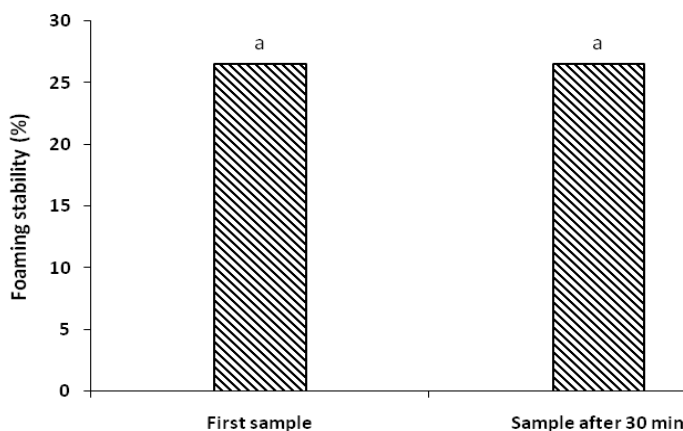


شکل ۵- منحنی توزیع اندازه ذرات امولسیون حاوی صمغ قدومه شهری تحت انجماد با غلظت الف) ۱/۰ درصد و ب) ۲/۰ درصد.

پایداری کف

پایداری کف اشاره به حفظ ثبات کف پس از یک مدت زمان مشخص دارد. حجم کف حاوی ۰/۵ درصد صمغ قدومه شهری پس از ۳۰ دقیقه نسبت به کف اولیه هیچ تغییری نکرد (شکل ۶). محلول‌های هیدروکلوئیدی با ایجاد لایه‌ای اطراف حباب‌های کف و جلوگیری از خروج هوا باعث ثبات آنها می‌شوند (Glicksman, 1982).

(1982). هیدروکلوئیدها با افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته ناپایداری کف‌ها را به تأخیر می‌اندازند (Carp, Bartholomai, Relkin & Pilosof, 2001). صمغ دانه قدومه شهری باعث افزایش استقامت و پایداری کف حاوی آلبومین می‌شود (Koocheki, Taherian & Bostan, 2013).

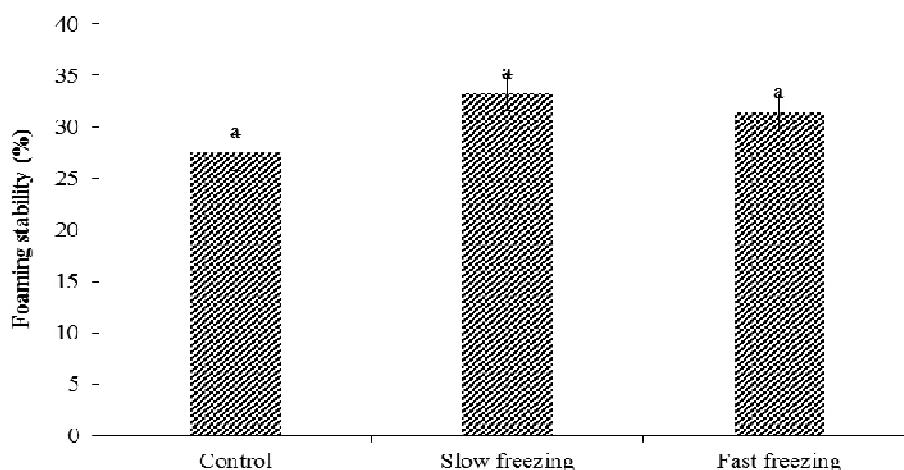


شکل ۶- ثبات کف با صمغ قدومه شهری

حروف یکسان روی هر میله نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها است ($P > 0.05$).

انجماد به‌طور جزئی افزایش یافت که در روش انجماد سریع این افزایش بیشتر دیده شد که البته این تغییرات معنی‌دار نبودند. دلیل ثبات کف با صمغ منجمد شده هم می‌تواند به دلیل بهم نزدیک شدن پیوندهای داخلی و افزایش ویسکوزیته می‌باشد.

نتایج بدست آمده از ثبات کف حاوی صمغ قدومه شهری تحت شرایط مختلف انجماد در شکل ۷ نشان داده شده است. پس از فرایند انجماد صمغ قدومه شهری، هیچ تغییری در کف‌های تهیه شده پس از ۳۰ دقیقه مشاهده نشد ($P > 0.05$). پایداری کف پس از تیمار



شکل ۷- تأثیر صمغ قدومه شهری تحت شرایط مختلف انجماد بر ویژگی ثبات کف

حروف یکسان روی هر میله نشان عدم تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌هاست ($P > 0.05$).

نتیجه‌گیری

روش انجماد تند منجمد شد نسبت به نمونه شاهد تفاوت معنی داری در تنش تسلیم داشت. در بین مدل های برازش شده، مناسب ترین مدل برای بیان رفتار جریان صمغ قدومه شهری به دلیل داشتن بالاترین ضریب تبیین، مدل هرشل بالکی بود. اندازه ذرات امولسیون حاوی صمغ قدومه شهری پس از اعمال دمای های پایین تغییر معنی داری نکرد که نشان دهنده عدم تاثیر شرایط مختلف انجماد بر ثبات این صمغ است. از آنجا که مکانیسم اصلی پایداری امولسیون توسط هیدروکلوئیدها افزایش ویسکوزیته می باشد و انجماد تاثیر مخربی بر ویسکوزیته محلول این صمغ نداشت، بنابراین قابلیت ثبات امولسیون توسط صمغ قدومه شهری حفظ شد. پس از فرایند انجماد صمغ قدومه شهری، هیچ تغییری در ثبات کف های تهیه شده پس از ۳۰ دقیقه ایجاد نکرد.

صمغ دانه قدومه شهری به عنوان یک منبع هیدروکلوئیدی نسبتاً جدید نسبت به فرایند انجماد مقاوم بود. ویسکوزیته محلول صمغ قدومه شهری پس از تیمار انجماد به دلیل تبدیل آب به کریستال های یخ و افزایش اتصالات زنجیره های بین مولکولی هیدروکلوئید بطور جزئی افزایش یافت. نتایج آزمون رفتار جریان برای محلول های صمغ قدومه شهری نشان داد که رفتار رقیق شونده با برش و ضریب قوام صمغ تحت تاثیر شرایط انجماد قرار نداشت. این نتیجه حاکی از آن است که صمغ قدومه شهری در حین نگهداری محصولات غذایی در شرایط انجماد از پایداری خوبی برخوردار است. نتایج نشان داد که فرایند انجماد و نوع آن تاثیری بر تنش تسلیم در مدل های بینگهام و کاسون نداشت. در حالیکه در مدل هرشل-بالکی نمونه ای که با

منابع

- Bhandari, B. and Roos, Y.H. (2012). Food Materials Science and Engineering. Wiley Black well. In press.
- Burey, P., Bhandari, B. R., Howes, T., and Gidley, M.J. (2008). Hydrocolloid Gel Particle: Characterization and Application, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48: 361-377.
- Carp, D. J., Bartholomai, G. B., Relkin, P., and Pilosof, A. M. R. (2001). Effect of denaturation on soy protein-xanthan interaction: comparison of whipping rheological and a bubbling method. *Colloids and Surfaces B: Biointerface*, 21: 163-171.
- Garti, N., Slavin, Y., Aserin, A. (1999). Surface and emulsification properties of a new gum extracted from *Portulacaoleracea* L. *Food Hydrocolloids*, 13: 141-155.
- Glicksman, M. (1982). *Food hydrocolloids*. 1-3, CRC press, Florida
- Holt, C., William, B. (1991). The effect of polymers on ice crystal growth. *Food Freezing: Today and Tomorrow*, Springer London, 6: 81-86.
- Hegedusic, V., Hereege, Z., and Rimac, S. (2000). Rheological properties of m and whey model solution before and after freezing. *Food Technology and Biotechnology*, 38(1): 19-26.
- Khallofi, S., Corredig, M., Goff, H. D., and Allexander, M. (2008). Flaxseed gums and their adsorption on whey protein-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 23: 611-618.
- Khodaei, D., Razavi, S. M. A. & Haddad Khodaparast, M. H. (2014). Functional properties of Balangu seed gum over multiple freeze-thaw cycles, *Food Research International*.
- Koocheki, A. Taherian, A. R., Bostan, A. (2013). Studies on the steady shear flow behavior and functional properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum. *Food Research International*, 50: 446-456.
- Koocheki, A. Taherian, A. R., Razavi, S. M. A., Bostan, M. (2009). Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium Perfoliatum* seeds. *Food Hydrocolloid*, 23: 2369-2379.
- Lepin, A., Mezdoor, S., Erazo-Majewics, P., and Michon, c. (2008). Hydroxypropyl cellulose as a stabilizing agent of emulsion. *Gums and stabilisers for food industry*, 14: 245-256.
- McClements, D. J. 2005. Food emulsion: principles, practice, and techniques. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Naji, S., Razavi, S.M.A., and Karazhiyan, H. (2013). Effect of freezing on functional and textural attributes of cress seed gum and xanthan gum, *Food and Bioprocess Technology*, 6(5): 1302-1311.
- Phillips, G. O., Williams, P. A. 2000. Handbook of Hydrocolloids. CRC Press, Florida.
- Soleimanpour, M., Koocheki, A., Kadkhodae, R. (2013). Effect of *Lepidium perfoliatum* seed gum addition on whey protein concentrate stabilized emulsions stored at cold and ambient temperature, *Food Hydrocolloids*, 30: 292-301.
- Steff, J. F. 1996. Rheological methods in food process engineering. *Freeman Press*, USA.
- Wang, Y., Li. D., Wang, L., and Adhikari, B. (2011). The effect of addition of flaxseed gum on the emulsion properties of soybean protein isolate (SPI). *Jornal of Food Engineering*, 104: 56-62.
- Wang, Y., Li, D., Wang, L., Li, S., & Adhikari, B. (2010). Effects of drying methods on the functional properties of flaxseed gum powders, *Carbohydrate Polymers*, 81. 128-133.
- Williams, D. P., Sadar, L. N., and Lo, Y. M. (2009). Texture stability of hydrogel complex containing curdlan gum over multiple freeze-thaw cycles. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33: 126-139.

Ye, A., Hemar, Y., and Singh, H. (2004). Enhancement of coalescence by xanthan addition to oil in water emulsions formed with extensively hydrolysed whey proteins. *Food Hydrocolloids*, 18: 737-746.

Effect of freezing on functional properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum

M. Mahfoozy¹, A. Koocheki², S. M. A.Razavi³

Received: 2015.08.17

Accepted: 2016.03.13

Introduction: Freezing is one of the ways to extend the shelf life and improve the chemical and microbiological stability of food products. Food products are exposed to different processes and the functional properties of the products change during these processing. Hydrocolloids are used to stabilize the products undergoing different food processing. However the addition of hydrocolloids to food products shifts the foods characters. On the other hand, hydrocolloids decrease the growing rate of ice crystals in dispersions. *Lepidium perfoliatum* locally called Qodume shahri. The study on the functional properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum (LPSG) proved that this gum was able to bind with a large amount of water and increase the product consistency. The main purpose of this study was to understand the effect of freezing condition on functional properties including the rheological properties (steady shear rate), emulsion particle size distribution and foaming stability at different gum concentration of LPSG.

Materials and methods: The materials were purchased from a local detailer. LPSG was extracted in optimum condition (T: 48 ± 1 °C, pH=8, proportion water to seed 30 to 1, t: 1.5 h) according to method previously described by koocheki et al. (2009). After the preparation of the freeze-dried gum powder, dispersions of LPSG were prepared in distilled water at different concentrations (0.5, 0.75 and 1% w/v). In order to study the effects of freezing condition on the functional properties of LPSG, the samples were freeze-dried at slow and fast conditions. The flow behavior was described by fitting the shear stress (τ) to shear rate ($\dot{\gamma}$) data with the models to determine the best model to describe the flow behavior of LPSG. For the Emulsion preparation, the aqueous phase was prepared by mixing 2 g WPC into 30 g distilled water and an appropriate amount of LPSG (0.1 and 0.2 g) into 50 g distilled water on a magnetic stirrer for 10 min at room temperature. The dispersions were then left overnight at 4 °C prior to emulsion preparation. The emulsion was prepared by mixing 20 g sunflower oil with WPC using a magnetic stirrer for 10 min. The mixture was subsequently pre-homogenized with a laboratory homogenizer at a rate of 20,000 rpm for 2 min at room temperature. After that, the gum solution was added to the emulsion and homogenized for 4 min at the same rate. The particle size analyzer was used to measure the mean diameter. For the foaming stability, the gum dispersions were prepared at 0.5% gum concentration and left overnight in a refrigerator to ensure a complete hydration. Afterwards, they were treated with different temperatures. 2% of egg white powder was added to the solutions and mixed by a homogenizer for 2 min at 20000 rpm. The foam stability was calculated as the foam volume after 30 minutes. A completely randomized design with the factorial arrangement was used for statistical analysis. All experiments were statistically analysed by Analysis of Variance (ANOVA) in Minitab R14. The p-values of < 0.05 were considered significant. All measurements were triplicated and the average values were reported.

Results and discussion: Results showed that the LPSG apparent viscosity increased insignificantly after the fast freezing condition. All samples illustrated non-Newtonian shear thinning behavior. Herschel- bulkley model was the best model to describe the flow behavior of the LPSG solution with the high determination coefficients. Among the selected rheological models, the flow behavior indices and consistency coefficients were unchanged. However freezing condition had no significant effect on the emulsion particle size. After 30 min foam stabilized by LPSG was constant. Therefore, LPSG can be considered as an appropriate stabilizer and thickening agent during freezing condition.

Keywords: Freezing, *Lepidium perfoliatum* seed gum, Functional properties, Rheology, Emulsion particle size, Foam stability.

1, 2 and 3- Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran
(*Corresponding Author Email: koocheki@um.ac.ir)

تشخیص تازگی گوشت گوساله به کمک پردازش تصویر و سطح پاسخ

حسین جوادی کیا^{۱*} - مهدی قاسمی ورنامخواستی^۲ - سجاد سبزی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۲۵

چکیده

گوشت و محصولات مرتبط با آن ارزش تجاری بالایی داشته و یکی از مهمترین اقلام سبد غذایی خانوار را تشکیل می‌دهد. با توجه به عرضه گوشت در قصابی‌ها و نیز استفاده از آن در کارخانه‌های فرآوری نیاز به اطمینان از تازگی آن احساس می‌شود چه بسا گوشت با گذشت از زمان ذبح آن نه تنها از کیفیت آن کاسته می‌شود بلکه ممکن است به سبب فساد موجب بیماری نیز شود لذا هدف از این تحقیق تشخیص تازگی گوشت گوساله با تخمین مدت زمان گذشته از ذبح می‌باشد. برای این منظور از سه قسمت ران، سر دست و گردن گوساله ذبح شده نمونه‌هایی تهیه شد و نمونه‌ها در دو محیط استاندارد و رایج یکی در یخچال با دمای ۳ درجه سانتی‌گراد و دیگری در محیط خنک با دمای میانگین ۸ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد سپس از نمونه‌ها در زمان‌های مشخص (هر ۲ ساعت) تصویربرداری شد و از تصاویر تهیه شده توسط پردازش تصویر و به کمک نرم‌افزار MATLAB پارامترهایی استخراج گردید. از بین پارامترهای استخراج شده توسط آنالیز حساسیت سه پارامتر به‌عنوان عامل تأثیرگذار در مدت زمان گذشته از ذبح انتخاب گردید که عبارتند از: خصوصیت بافت، میزان کنتراست و زبری سطح گوشت. در نهایت به کمک روش سطح پاسخ و توسط نرم‌افزار Design Expert مدل‌های مناسبی تدوین و بهینه گردید.

واژه‌های کلیدی: گوشت گوساله، پردازش تصویر، سطح پاسخ، تازگی گوشت، زمان ذبح

مقدمه

حالت چروکیدگی به‌خود می‌گیرد. لذا تعیین مدت زمان نگهداری آن از لحاظ کیفیت و بازارپسندی حائز اهمیت است (Jackman *et al.*, 2011; Tan, 2004). پردازش تصویر توسط کامپیوتر به‌عنوان یک پیشنهاد مفید برای درجه‌بندی گوشت در چند سال اخیر مطرح شده است. مطالعات گوناگونی در این زمینه صورت گرفته است و نتایج بدست آمده در چندین کاربرد نشان می‌دهد که پردازش تصویر رنگ روش مهمی برای ارزیابی کیفیت گوشت می‌باشد (Girolami *et al.*, 2013; Mancini and Hunt, 2005; Lu *et al.*, 2000-b).

تکنولوژی پردازش تصویر در کامپیوتر بسیاری از چالش‌های مطرح در ارزیابی کیفیت گوشت را به راحتی و سادگی برطرف نموده است. ساده‌ترین روش‌ها مربوط به تصویربرداری نور مرئی و مدل‌سازی آماری نمونه‌های آزمایش می‌باشد که در روش‌های پیشرفته از طول موج‌های نامرئی استفاده می‌شود (Wu and Sun, 2013).

پردازش تصویر دارای توانایی ثابت شده برای ارزیابی صفات مقبولیت اولیه یعنی رنگ می‌باشد (Adelkhani *et al.*, 2013).

امروزه با توسعه سامانه‌های تصویربرداری و الگوریتم‌های پردازش تصویر، شاخه جدیدی از کنترل کیفیت صنایع کشاورزی و غذایی بوجود آمده است. گوشت و محصولات مرتبط با آن ارزش تجاری بالایی داشته و یکی از مهمترین اقلام سبد غذایی خانوار را تشکیل می‌دهد (Jackman *et al.*, 2011). رنگ ظاهری گوشت اولین و یکی از مهمترین پارامترهای درجه‌بندی، تعیین کیفیت و بازارپسندی آن است (Ramirez and Cava, 2007; Shiranita *et al.*, 2000). رابطه مستقیمی بین رنگ و وضعیت ظاهری گوشت با مدت زمان ماندگاری آن وجود دارد. بطوری که هرچه از زمان ارائه گوشت به بازار بگذرد به دلیل فعل و انفعالات شیمیایی، رنگ آن تیره‌تر شده و

۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه رازی

* - نویسنده مسئول: Email: pjavadikia@gmail.com

DOI: 10.22067/iffstrj.v1395i0.50161

رنگ و محتوای رطوبتی گوشت پیشنهاد شد (Zheng *et al.*, 2006).

در مطالعه دیگری که توسط Chmiel و همکارانش (۲۰۱۱) صورت گرفت روشی رنگ به عنوان یک عامل برای ارزیابی کیفیت گوشت خوک بوسیله آنالیز تصاویر کامپیوتر مورد آزمایش قرار گرفت. بر این اساس هدف از این مطالعه بررسی تصاویر کامپیوتری برای تشخیص خرابی در گوشت خوک بود. براساس اندازه گیری pH، رسانایی الکتریکی، روشی رنگ ۱۶ تکه گوشت خراب شده به عنوان گوشت نامناسب طبقه بندی شدند. ۱۶ تکه دیگر خصوصیات یک گوشت نرمال را نشان داد. تکه های گوشت آزمایش شد و توسط پردازش تصویر کامپیوتری تجزیه و تحلیل شد. مقاله اطلاعات را در سه فضای رنگی معرفی کرد: RGB, HSV/HSB and HSL. نتایج بدست آمده احتمال استفاده از مقادیر V/B (مدل HSV/HSB) L (مدل HSL) و مقدارهای R, G, B با مدل RGB برای تعیین خرابی در گوشت خوک را اثبات کرد.

با توجه به اهمیت تشخیص تازگی گوشت گوساله هم به دلیل حفظ کیفیت آن و هم به دلیل فساد گوشت و بیماری های احتمالی ناشی از مصرف گوشت فاسد، در این تحقیق سعی شده است که به کمک پردازش تصویر و سطح پاسخ دستگاهی جهت تشخیص مدت زمان گذشته از ذبح و به عبارتی تازگی گوشت گوساله طراحی گردد. بدین منظور دو محیط متداول و استاندارد نگهداری گوشت تازه یعنی یخچال با دمای متوسط ۳ درجه سانتی گراد و محیط خنک با دمای ۸ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد و با قرار دادن گوشت گوساله در این دو محیط، تغییرات حاصله بر روی گوشت با گذر زمان، تصویربرداری شد و سپس به کمک پردازش تصویر و سطح پاسخ مدل های مناسبی تدوین و بهینه گردید.

مواد و روش ها

ابتدا مقداری گوشت از سه قسمت دست، پا و گردن گوساله از کشتارگاه کرمانشاه تهیه گردید و زمان ذبح آن نیز به عنوان زمان مبدأ ثبت گردید. حداکثر زمان نگهداری گوشت در محیط ۳ روز و حداکثر زمان نگهداری گوشت در یخچال ۷ روز بود. از هر قسمت شش نمونه و در کل ۱۸ نمونه مناسب با ضخامت یک سانتی متر تهیه گردید که در شکل ۱ سه نمونه از آن نشان داده شده است.

نمونه ها بطور تصادفی جهت قرار گرفتن در دو شرایط استاندارد (ISIRI 692) و رایج، یعنی یخچال و محیط انتخاب شدند بطوری که از هر قسمت بدن گوساله سه نمونه در شرایط محیطی و سه نمونه دیگر در شرایط یخچال قرار داده شد. نمونه های قرار داده شده در شرایط محیطی با فواصل زمانی دو ساعت و نمونه های قرار داده شده در یخچال با فواصل زمانی ۳ ساعت تصویربرداری شد. تصویربرداری

بدیهی است که استفاده از این تکنولوژی می تواند بطور زیادی کنترل کیفیت گوشت را در صنعت افزایش دهد. طیف بینی مادون قرمز کاربرد زیادی دارد از پیش بینی چقرمگی^۱ گرفته تا تشخیص و شناسایی گوشت یخ زده. با این حال کارهای مورد نیاز زیادی هنوز در صنعت باقی است (Monin, 1998). البته برای درجه بندی محصولات کارهای زیادی باقی مانده است. تعدادی از این موضوعات باید تحقیقات بیشتری انجام شود، بررسی قطعه بندی تصاویر (یکی از روش های پیشرفته پردازش تصویر) گوشت از اهمیت ویژه ای برخوردار است. این امر مستلزم تحقیقات پایه ای بر روی قطعه بندی تصاویر و طبقه بندی آنها می باشد. لزوماً برای این کار باید شاخص های کیفی جدید شناسایی گردد. بخصوص عکس برداری با طول موج های مختلف (Chmiel *et al.*, 2011-a; Valous *et al.*, 2009).

Shiranita و همکاران (۲۰۰۰) به درجه بندی کیفیت گوشت بوسیله پردازش تصویر پرداختند، آنها یک سیستم درجه بندی گوشت با استفاده از خصوصیات ظاهری گوشت و به کمک پردازش تصویر و مدل های شبکه عصبی و رگرسیونی طراحی کردند. هدف، دادن یک روش اجرایی به منظور تعیین کیفیت گوشت، بوسیله تصویر ظاهری گوشت بود. آن ها از ۵ خصوصیت ظاهری برای درجه بندی گوشت استفاده کردند. برای ارزیابی این ۵ خصوصیت، از روش صفر و یک کردن تصویر با استفاده از سه لایه شبکه عصبی رشد یافته استفاده کردند نتایج آزمایشگاهی نشان داد که سیستم موثر بوده و مدل های پیشنهادی با ضریب تعیین ۰/۹۶ کیفیت گوشت را تخمین زدند.

Zheng و همکاران (۲۰۰۶) آزمایشی را برای تعیین چگونگی ارتباط رنگ با محتوای رطوبتی گوشت کاملاً پخته شده ی مفصل گاو توسط عکس برداری در کامپیوتر انجام دادند. خصوصیات رنگ شامل میانگین و انحراف استاندارد مقادیر شاخص های رنگی در دو فضای رنگی RGB و HSI استخراج شدند. محتوای رطوبتی نمونه ها بوسیله آنالیزهای شیمیایی تعیین شدند. دو مدل $PLSR^2$ شبکه عصبی NN^3 برای ارتباط رنگ با محتوای رطوبتی مفصل های گاو پیشنهاد شدند. ضرایب همبستگی (R^2) برای مدل $PLSR$ ۰/۵۶ و برای شبکه عصبی NN ۰/۷۵ بود (Zheng *et al.*, 2006). بررسی مدل های حاصل نشان داد که در میان خصوصیات ۱۲ رنگ آنالیز شده، فضای رنگی اشباع (فضای رنگی Saturation از محیط HSI) بیشترین سهم برای نتایج پیش بینی شده را داشت. با این حال اشباع به تنهایی برای تعیین ارتباط بین رنگ گوشت و محتوای رطوبتی کافی نبود. مشخصه های رنگ بوسیله تصویر بدست آمد، در حالی که محتوای رطوبتی از طریق آنالیز شیمیایی بدست آمد. دو مدل $PLSR$ و NN برای ارتباط بین

1 Toughness

2 Partial Least Square Regression

3 Neural Network

lx ۶۵ بود. در لحظه تصویربرداری زمان دقیق و دمای محیط و یخچال ثبت گردید.

توسط یک دوربین صنعتی متعلق به شرکت Bosch آلمان انجام شد. فاصله دوربین از تصاویر ۱۰ سانتی متر بود و از LEDهای سفید رنگ جهت نورپردازی استفاده شد بطوری که شدت نور تابیده شده حدود



شکل ۱- نمونه‌های گوشت گوساله از سمت راست قسمتی از پا، دست و گردن

تصویر بود. شکل ۲ روند تغییر وضعیت یکی از نمونه‌ها را در سه زمان مختلف نشان می‌دهد. در این مرحله ابتدا نمونه‌ها مورد ارزیابی اولیه قرار گرفتند. هدف از این ارزیابی تشخیص روش جداسازی مناسب گوشت از زمینه بود. بهترین روش برای جداسازی گوشت از زمینه در این تصاویر همانگونه که در شکل ۳-b نشان داده شده است استفاده از محیط رنگی RGB و فضای B با حدآستانه ۱۵۰ بود و به عبارتی مختصات دقیق پیکسل‌های گوشت بدست آمد که در شکل ۳-c نشان داده شده است سپس زمینه تصویر جدا شده (شکل ۳-d) و به کمک لبه‌یابی که از نوع کنی^{۱۱} با ضریب ۰/۷ بود لبه‌های گوشت دقیق مشخص شده (شکل ۳-e) و در نهایت تصویر گوشت از تصویر زمینه جدا شد. که در شکل ۳-f نشان داده شده است. سپس پارامترهای مختلفی از تصویر گوشت استخراج گردید که تعداد آنها بیش از ۵۰ پارامتر بود از آن جمله مانند: میانگین، مینیمم، ماکزیمم، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و غیره مقادیر B، G، R، کنتراست، زبری، بافت، و در محیط‌های رنگی دیگر مانند HSI، CMYK، CMY، YCrCb و NTSC.

سپس به کمک آنالیز حساسیت که نسبت تغییرات مدت زمان گذشته از ذبح را بر تغییرات هر پارامتر محاسبه می‌کند سه پارامتر کنتراست، زبری، بافت بیشتر تأثیر را بر روی مدت زمان گذشته از لحظه ذبح داشتند و به‌عنوان ورودی‌های مناسب مدل انتخاب شدند.

با توجه به تغییرات ناچیز دما در هر دو محیط اثر دما بررسی نشد و صرفاً میانگین آن محاسبه گردید که مطابق استاندارد برای شرایط محیطی ۸ درجه سانتی‌گراد و یخچال ۳ درجه سانتی‌گراد بود (ISIRI 692). تصاویرهای ذخیره شده در محیط MATLAB (R2013a(8.1.0.604 مورد پردازش قرار گرفت و بیش از ۵۰ پارامتر مختلف از هر تصویر در محیط‌های رنگی مختلف داده برداری شد. پارامترهای استخراج شده در هر محیط رنگی عبارتند از: بیشینه، کمینه، میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات، آنتروپی، میانه، چولگی^۱، کشیدگی^۲، نما، کوواریانس، و ویژگی‌های تباین^۳، همبستگی^۴، انرژی^۵ و یکنواختی^۶ که از ماتریس هم وقوعی سطح خاکستری^۷ بدست می‌آید. در نهایت به کمک آنالیز حساسیت که میزان اثر تغییرات مدت زمان گذشته از ذبح را نسبت به تغییرات هر پارامتر محاسبه می‌کند، سه پارامتر بافت^۸، کنتراست^۹ و زبری^{۱۰} لایه سطحی به‌عنوان مؤثرترین پارامترها انتخاب شدند. سپس به کمک روش سطح پاسخ در نرم‌افزار Design Expert 7.0.0 مدل‌هایی جهت تخمین مدت زمان گذشته از ذبح حاصل شد.

پردازش تصویر

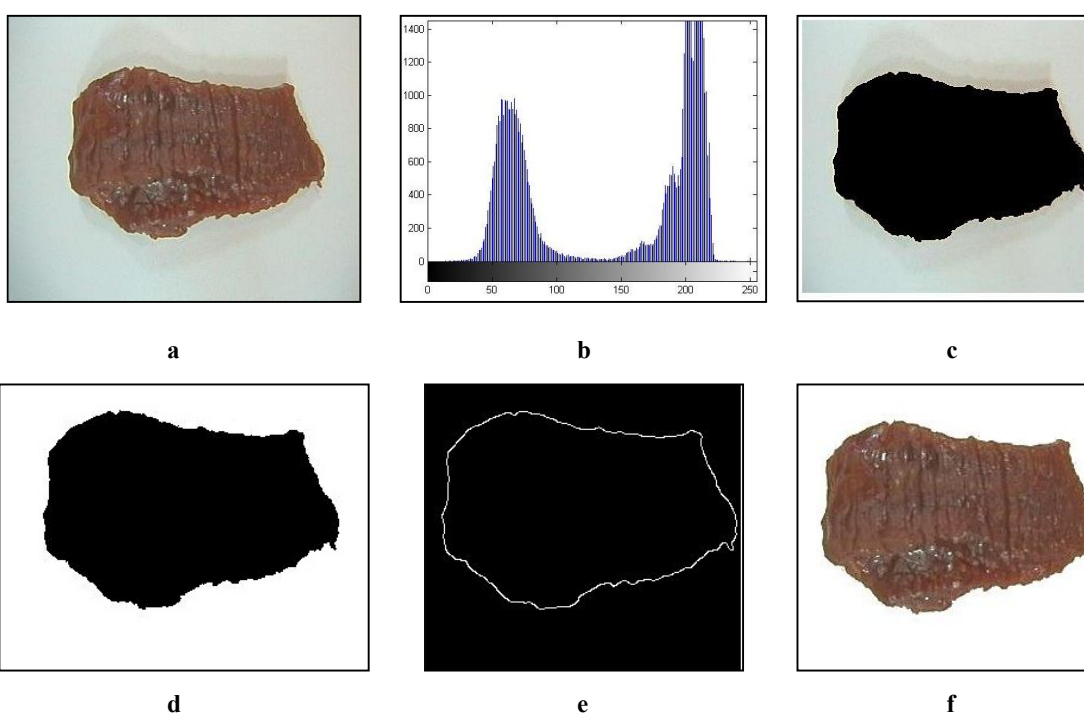
تصاویر ثبت شده از نمونه‌ها در زمان‌های مختلف بیش از ۶۰۰

- 1 Skewness
- 2 Kurtosis
- 3 Contrast
- 4 Correlation
- 5 Energy
- 6 Homogeneity
- 7 Glcm (gray Level Co-occurrence Matrix)
- 8 Texture
- 9 Contrast
- 10 Roughness

11 Canny



شکل ۲- روند تغییر وضعیت نمونه گوشت در محیط از سمت راست در روز اول، یک روز و سه روز بعد از ذبح



شکل ۳- مراحل کلی پردازش تصویر: a- تصویر اولیه گوشت b- هیستوگرام مقادیر آبی پیکسل‌های رنگی c- شناسایی پیکسل‌های مربوط به گوشت d- جداکردن زمینه تصویر e- یافتن لبه‌های نمونه f- جداکردن دقیق گوشت از زمینه

توجه به سه اندام مختلف از گوشت گوساله و دو محیط مختلف جهت نگهداری، شش مدل در نرم‌افزار Design Expert 7.0.0 با استفاده از تکنیک سطح پاسخ طراحی و بهینه‌سازی شد. در مرحله بعدی داده‌های مربوط به نمونه‌ها در محیط با هم و داده‌های مربوط به نمونه‌ها در یخچال نیز با هم مدل شدند.

مدل‌سازی به کمک سطح پاسخ

در این روش سه پارامتر انتخاب شده به عنوان ورودی و مدت زمان گذشته از ذبح بر حسب دقیقه به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد. به دلیل اختلاف زیاد مقادیر پارامترهای مختلف از یکدیگر کلیه داده‌ها بین صفر و یک تبدیل شدند (نورمالایز^۱). بطور کلی با

^۱ Normalize

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مدل‌های سطح پاسخ در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج مربوط به کلیه داده‌های محیط و یخچال در جدول ۲ نشان داده شده است. جدول ۳ هم ضرایب همبستگی مدل‌ها را برای حالت پیش‌بینی نشان می‌دهد و به عبارت دیگر اعتبارسنجی مدل را نمایش می‌دهد. از نتایج جداول می‌توان گفت که مدل‌های بدست آمده خوب و قابل قبول می‌باشند. به استناد نتایج مدل‌ها در جدول ۲ می‌توان گفت که می‌شود در تشخیص مدت زمان گذشته از ذبح به جای شش حالت از دو حالت استفاده کرد به عبارت دیگر جهت تشخیص مدت زمان گذشته از ذبح از هر قسمت گوشت گوساله یک مدل مربوط به نگهداری آن در محیط و یک مدل مربوط به نگهداری آن در یخچال می‌باشد. ضمناً در بررسی انجام شده مدل تجمیع دو حالت یخچال و محیط مدل مناسبی نبود.

نمودارهای مربوط به مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده برای مدل‌های مربوط به یخچال و محیط در شکل ۴ و نمودارهای مربوط به مقادیر پیش‌بینی شده و باقیمانده استاندارد شده در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که از شکل ۵ نشان می‌دهد نحوه پراکنش

نقاط نشان از عملکرد خوب و صحیح مدل دارد. مدل‌های حاصل از مدل بسیاری از محققان نتیجه بهتری را نشان می‌دهد (Zheng *et al.*, 2006; Shiranita *et al.*, 2000).

شکل ۶ نشان‌دهنده تنظیم صحیح مقدار لاندا جهت یافتن بهترین مدل می‌باشد. به عبارت دیگر در نمودار باکس کوکس بهترین توان جهت انتقال داده‌های خروجی به فضای پیشنهادی ارائه می‌گردد که در آن فضا رابطه مناسب‌تری بین داده‌های ورودی و خروجی تبدیل یافته می‌تواند ایجاد شود که در اینجا بهترین مقادیر پیشنهادی لاندا به مدل اعمال شده است. در نتیجه با مدل‌های حاصل به راحتی می‌توان دستگاهی ساخت که مدت زمان گذشته از ذبح گوشت گوساله را تخمین بزند.

با مدل‌های حاصل برای شرایط محیط و یخچال دستگاه قابل حملی مطابق شکل ۷ پیشنهاد می‌شود که قابلیت نورپردازی صحیح را داشته و با گرفتن عکس گوشت مورد نظر به کمک دوربین نصب شده بر روی آن و نیز به کمک مدل‌های چندجمله‌ای حاصل شده بتواند مدت زمان گذشته از ذبح را تشخیص دهد.

جدول ۱- شاخص‌های برازش مدل‌های سطح پاسخ برای هر محیط و قسمت جداگانه

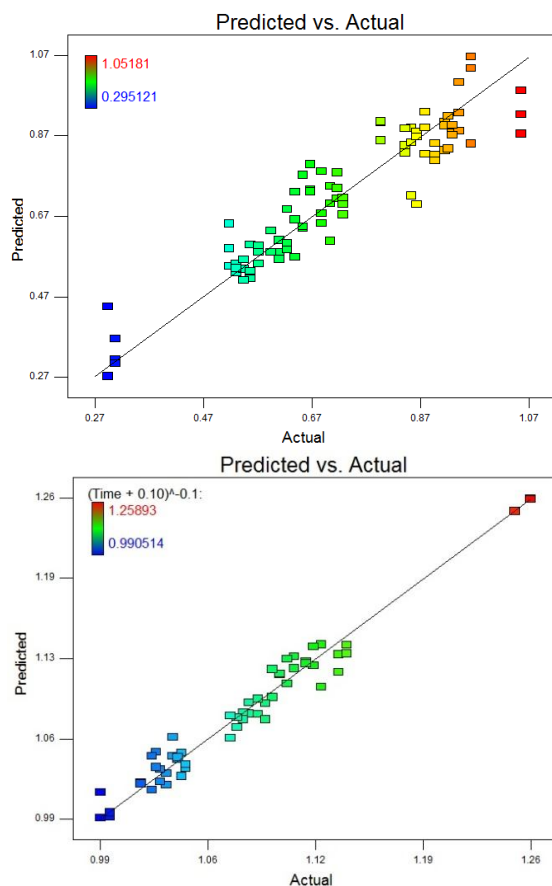
عنوان مدل	MSE	SSE	r	P-Value
محیطی-پا	0.28	1.70	0.9753	< 0.0001
محیطی-دست	0.19	1.74	0.9886	< 0.0001
محیطی-گردن	0.27	1.64	0.9565	< 0.0001
یخچال-پا	0.19	1.68	0.9547	< 0.0001
یخچال-دست	0.29	1.73	0.9677	< 0.0001
یخچال-گردن	0.20	1.78	0.9824	< 0.0001

جدول ۲- نتایج مدل‌های تجمیعی محیط و یخچال به روش سطح پاسخ

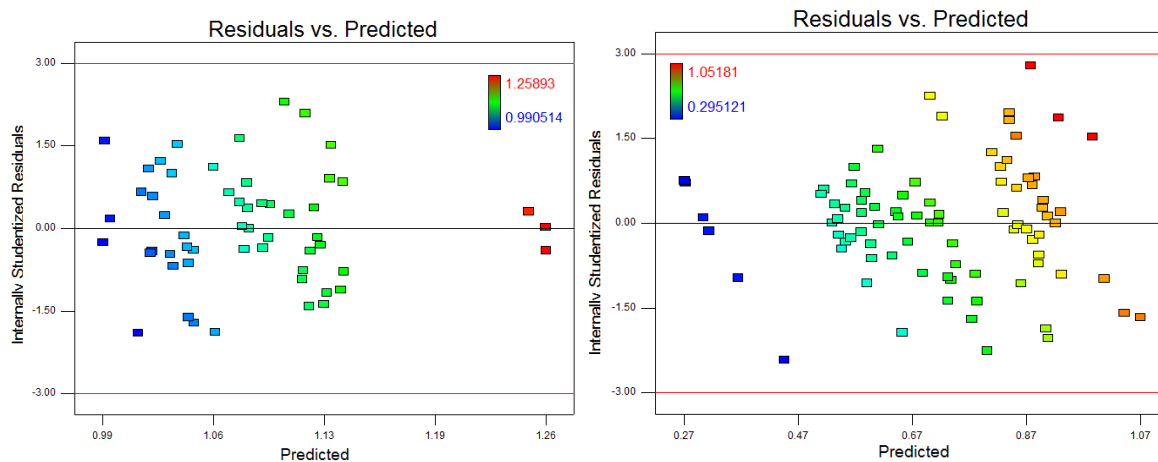
عنوان مدل	MSE	SSE	r	P-Value
محیطی	0.012	0.22	0.9847	< 0.0001
یخچال	0.14	2.65	0.9378	< 0.0001

جدول ۳- ضرایب همبستگی مدل‌های تجمیعی محیط و یخچال

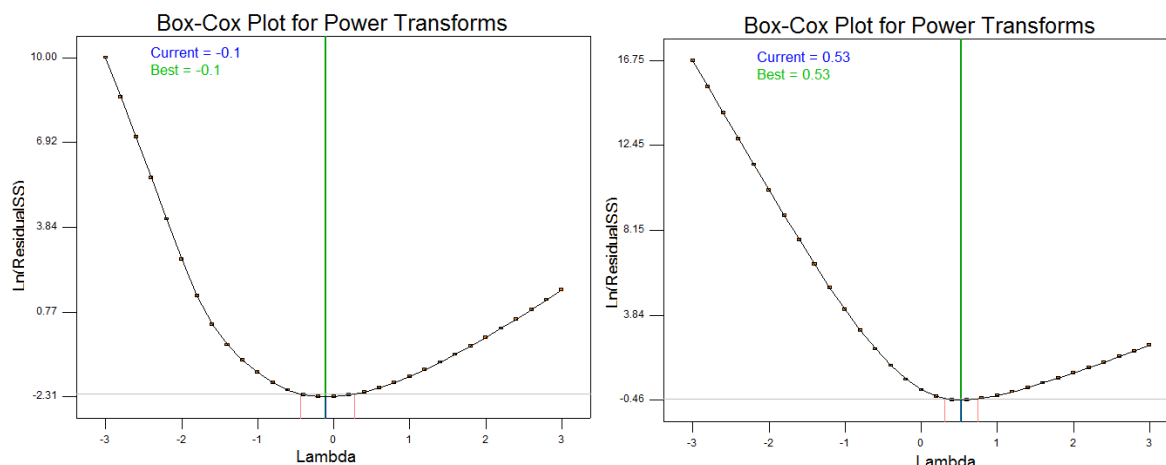
عنوان مدل	Predicted r	Adjust r	r
محیطی	0.8613	0.9766	0.9847
یخچال	0.8651	0.9194	0.9378



شکل ۴- نمودارهای مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده مدل‌های سطح پاسخ (بالا: یخچال، پایین: محیط)



شکل ۵- نمودارهای مقادیر پیش‌بینی شده و باقیمانده استاندارد شده (راست: یخچال، چپ: محیط)



شکل ۶- نمودارهای باکس کوکس دو مدل کلی (راست: یخچال، چپ: محیط)

مجموعه دوربین و سیستم نورپردازی



شکل ۷- شکل شماتیک دستگاه پیشنهادی جهت تشخیص مدت زمان گذشته از ذبح

در زمان های مشخص تصاویری تهیه گردید. بعد به کمک پردازش تصویر پارامترهایی از تصاویر استخراج شد. سپس به کمک روش سطح پاسخ مدل های مناسب و قابل قبولی طراحی و بهینه گردید. دستگاه پیشنهادی قابلیت تخمین مدت زمان گذشته از ذبح را به کمک تصویر برداری دارد.

نتیجه گیری

در این تحقیق با توجه به اهمیت استفاده از گوشت تازه گوساله توسط مردم و نیز کارخانه های فرآوری، الگوریتمی طراحی و تدوین شد تا بتواند مدت زمان گذشته از ذبح گوساله را تخمین بزند. برای این منظور از سه قسمت ران، سردست و گردن نمونه هایی تهیه شده و در دو محیط استاندارد یخچال و فضای خنک محیط نگهداری شد و

منابع

- Adelkhani, A., Beheshti, B., Minaei, S., Javadikia, P. & Ghasemi-Varnamkhasti, M., 2013, Taste characterization of orange using image processing combined with ANFIS. *Measurement*, 46(9), 3573-3580.
- Chmiel, M., Słowiński, M. & Dasiewicz, K., 2011-a, Lightness of the color measured by computer image analysis as a factor for assessing the quality of pork meat. *Meat Science*, 88, 566-70.
- Chmiel, M., Słowiński, M. & Dasiewicz, K., 2011-b, Application of computer vision systems for estimation of fat content in poultry meat. *Food Control*, 22, 1424-1427.
- Girolami, A., Napolitano, F., Faraone, D. & Braghieri, A., 2013, Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Science*, 93, 111-118.
- ISIRI 692, Meat, chicken, egg and fish-storage in cold stores - Code of practice, Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 1st. revision.
- Jackman, P., Sun, D.-W. & Allen, P., 2011, Recent advances in the use of computer vision technology in the quality assessment of fresh meats. *Trends in Food Science & Technology*, 22, 97-185.

- Lu, J., Tan, J., Shatadal, P. & Gerrard, D., 2000, Evaluation of pork color by using computer vision. *Meat Science*, 56, 57-60.
- Mancini, R. & Hunt, M., 2005, Current research in meat color. *Meat Science*, 71, 21-100.
- Monin, G., 1998, Recent methods for predicting quality of whole meat. *Meat Science*, 49, 43-231.
- Ramirez, R. & Cava, R., 2007, The crossbreeding of different Duroc lines with the Iberian pig affects colour and oxidative stability of meat during storage. *Meat science*, 77, 47-339.
- Shiranita, K., Hayashi, K., Otsubo, A., Miyajima, T. & Takiyama, R., 2000, Grading meat quality by image processing. *Pattern Recognition*, 33, 97-104.
- Tan, J., 2004, Meat quality evaluation by computer vision. *Journal of Food Engineering*, 61, 27-35.
- Valous, N.A., Mendoza, F., Sun, D.-W. & Allen, P., 2009, Colour calibration of a laboratory computer vision system for quality evaluation of pre-sliced hams. *Meat Science*, 81, 41-132.
- Wu, D. & Sun, D.-W., 2013, Colour measurements by computer vision for food quality control – A review. *Trends Food Sci Technol*, 29, 5-20.
- Zheng, C., Sun, D.-W. & Zheng, L., 2006, Correlating colour to moisture content of large cooked beef joints by computer vision. *J Food Eng*, 77, 63-858.

Freshness detection of Veal using image processing and Response Surface Method

H. Javadikia^{*1}, M. Ghasemi Varnamkhasti², S. Sabzi³

Received: 2015.06.28

Accepted: 2015.12.16

Introduction: Nowadays, with the development of imaging systems and image processing algorithms, a new branch of agriculture and food industry quality control has emerged. Meat and related products have high commercial value and they are one of the most important items of household food basket (Jackman *et al.*, 2011). The apparent color of the meat is one of the most important ranking factors which determines the quality and marketing value (Ramirez and Cava, 2007; Shiranita *et al.*, 2000). There is a relationship between color, appearance etc. and the shelf-life of meat, since the passing time causes the color to be darkened in meat due to chemical reactions and shrinkage occurs. Therefore, determining the storage time is important in terms of quality and marketing value (Jackman *et al.*, 2011; Tan, 2004). In recent years, virtual image on a computer as a helpful suggestion for meat grading has been emerged. Various studies have been conducted in the field and results in a number of applications suggests that the color image processing method for assessing the quality of meat is important (Girolami *et al.*, 2013; Mancini and Hunt, 2005; Lu *et al.*, 2000). Due to the importance of detection of freshness veal in order to preserving the quality and post ponding the meat spoilage and disease accordingly, designing a device to detect the storage time of slaughter and in other words the freshness of veal using image processing and response surface method was studied. For this purpose, two common environment and standard maintenance of fresh meat: first in the refrigerator with an average temperature of 3°C and second in cool place with a temperature of 8°C were considered and then the effects of storage time on the meat quality was observed using a digital camera. Some common models were developed for image processing and the response surface method was applied.

Materials and methods: First, some meat from three sections of veal meat: hands, feet and neck, were prepared from Kermanshah slaughterhouse and the slaughtered time was recorded as an initial time. From each of the six states in total, 18 samples were taken appropriate to the thickness of one centimeter. Samples were randomly selected for inclusion in the standard conditions (ISIRI 692).

Image processing:

More than 600 images were acquired at various storage times and they were then evaluated to find the appropriate separation methods for meat from image background. The best way to separating the meat image from the background in the image was using the RGB color and the B space values with 150 value as the threshold. In other words, the exact coordinates of meat pixels were obtained. Then background isolated by edge detection with Canny filter with coefficient of 0.7. Finally meat image was isolated from background. Then various parameters of meat image were extracted. The number of parameters were more than 50 parameters. Then sensitivity analysis were selected as three parameters: Contrast, Roughness, and Texture that had more influence on time change from the moment of slaughter and were selected as appropriate inputs of models.

Modeling by Response Surface Method:

In this method, selected parameters were used as inputs and the time of slaughter in minutes, was used as output of the model. Because of the more difference of the values of various parameters from each other, all data were normalized. Generally due to the three organs of veal and two different environments to maintain, six models in the Software Design Expert 7.0 were designed and optimized using response surface methods. In the next step, data samples at ambient temperature as well as refrigerated samples were modeled.

Results and discussion: The results of the models by the response surface methods were good and

1, 3- Assistant Professor, Former MSc Student respectively, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Razi University, Kermanshah, Iran

2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
(*- Corresponding Author Email: pjavadikia@gmail.com)

acceptable. In the final step the general models were good; these models were about all of data in environment and refrigerator.

Conclusion: In this study, considering the importance of using fresh meat calves by people as well as processing plants, some algorithms were designed and developed to estimate the pasted time of the calf slaughtered. For this purpose Samples were prepared from three parts of slaughtered calves: ham, shoulder and neck. The samples were stored in the environment and common standards place the first in refrigerator with a temperature of 3 ° C and another in cool environment with an average temperature of 8 ° C. Then some images were taken from samples at specified times. Then some parameters were extracted from images produced by the image processing in MATLAB. Then by response surface method was designed and optimized. Suitable models and finally suggested device has ability to estimate the time of slaughter by taking image.

Keywords: Veal, Image Processing, Response Surface, Freshness Meat, Time of Slaughter

بررسی غیرمخرب فاکتورهای کیفی آبمیوه مرکبات در خلال انبارمانی با کمک پردازش تصویر

سامان آبدانان مهدی‌زاده^{۱*} - مهران نوری^۲ - مریم سلطانی کاظمی^۳ - سمیه امرایی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۸

چکیده

هدف از پژوهش حاضر تعیین بهترین ویژگی سطحی بافت (انترپوی، انرژي، همگنی، تباین، همبستگی و برتری) به منظور پیشگویی فاکتورهای کیفی آب مرکبات (pH، اسیدیته، مواد جامد محلول و اسکوریبک اسید) می‌باشد. بدین منظور آب مرکبات (نارنج، پرتقال، لیموترش و نارنگی) بلافاصله پس از فرآیند پاستوریزاسیون در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) برای مدت ۶۰ روز نگهداری گردید. در خلال انبارمانی بعد از اخذ تصویر از سطح آب مرکبات مقدار pH، ویتامین ث و مواد جامد محلول در روزهای ۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ اندازه‌گیری شدند. مطابق آنالیز تصویر تغییرات رنگ در طول فرآیند انبارمانی توسط سه کانال رنگی L^* , a^* , b^* نشان داد که کانال رنگی L^* تغییرات زوال در آب میوه‌ها را بهتر نشان می‌دهد. نتایج آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که اسیدیته و اسکوریبک اسید در چهار نوع آب مرکبات بطور معنی‌داری ($P < 0.05$) طی مدت زمان نگهداری به ترتیب افزایش و کاهش یافتند. همچنین نتایج حاصل از آنالیز همبستگی نشان داد از بین ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر، انرژي نسبت به دیگر ویژگی‌ها با ضریب همبستگی بالاتر توانایی پیشگویی اسیدیته، pH و اسکوریبک اسید را به خوبی دارد.

واژه‌های کلیدی: آب مرکبات، پردازش تصویر، فاکتورهای کیفی (pH، اسیدیته، SSC و اسکوریبک اسید)

مقدمه

کیفیت این فرآورده نظیر رنگ، به علت میزان بالای ویتامین ث در طی نگهداری به شدت متأثر از شرایط محیطی است و تاثیر بسزایی در مشتری‌پسندی محصول دارد. همچنین ویتامین ث (اسکوریبک اسید) یک فاکتور مهم برای افزایش طول عمر مفید کنسانتره موجود در آب برخی از مرکبات محسوب شود (Laing et al., 1978). محتوای ویتامین ث موجود در آب مرکبات در طول ذخیره‌سازی باعث کاهش تلفات و افزایش زمان ماندگاری می‌شود (Johnson et al., 1995; Lee and Nagy, 1988; Solomon et al., 1995). ویتامین ث، به دلیل داشتن ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به عنوان افزودنی در بسیاری از غذاهای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Larisch et al., 1998; Solomon et al., 1995). با این وجود این ویتامین به آسانی تجزیه شده (Lee & Coates, 1999) و از تجزیه آن چندین ترکیب واکنش‌پذیر بوجود می‌آید (Eskin, 1990). این ترکیبات واکنش‌پذیر می‌توانند پس از ترکیب با آمینواسیدها پیگمان‌های رنگی را بوجود آورند (Larisch et al., 1998). طی انبارمانی، رنگ آب مرکبات متأثر از شرایط نگهداری می‌تواند تغییر کند. از آنجاییکه تخریب رنگ آب مرکبات کاملاً پیچیده است مکانیسم‌های زیادی از جمله تخریب

مرکبات از جمله میوه‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری هستند که با سطح زیر کشت حدود ۲۴۰ هزار هکتار و تولید حدود ۴/۰۲ میلیون تن مرکبات در سال، مقام اول تولید محصول‌های باغی کشور ایران را دارا می‌باشند (FAO, 2011). افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان درباره تاثیر ترکیبات زیست فعال بر ارتقای سلامتی باعث افزایش تقاضای مواد غذایی سرشار از چنین ترکیباتی شده است (Plaza et al., 2011b). براساس نتایج پژوهش‌های متعدد، مصرف مرکبات مانند پرتقال و سایر مرکبات می‌تواند به کاهش خطر بیماری‌های قلبی و برخی انواع سرطان منجر شود (Vanamala et al., 2006; Roussos, 2011). اثرات سلامتی بخش انواع میوه و از جمله مرکبات به وجود ترکیبات زیست فعال شامل ترکیبات فنلی، ویتامین ث و کارتنوئیدها نسبت داده می‌شود که به وفور در میوه‌های پرتقال و نارنگی یافت می‌شود. (Plaza et al., 2011a).

کیفیت تغذیه‌ای آب مرکبات و دیگر محصولات کشاورزی در طی ذخیره‌سازی به یک مسئله مهم تبدیل شده است. عوامل موثر بر

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
(*) نویسنده مسئول: Email: saman.abdanan@gmail.com

DOI: 10.22067/ijfstr.v1395i0.47288

۱- استادیار، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، گروه صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

al., 2011; Fernanzed-Vazquez *et al.*, 2011; Shao and He, 2007). یکی از معایب استفاده از روش‌های طیف‌سنجی این می‌باشد که روش‌های مذکور نیاز به تجهیزات گرانی داشته و در ضمن حمل این ابزار به راحتی صورت نمی‌پذیرد. از سوی دیگر، در تکنولوژی بینایی ماشین با استفاده از پردازش تصاویر بدست آمده می‌توان برخی اطلاعات مربوط به پارامترهای داخلی را بدست آورد (Singh *et al.*, 2003; Guillard *et al.*, 1976). از فواید استفاده از روش بینایی ماشین می‌توان به زمان کوتاه پردازش، سریع و دقیق بودن و همچنین عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه‌ها و استفاده از مواد شیمیایی (دوست داران محیط زیست) اشاره نمود (Brosnan and Sun, 2004; Butz *et al.*, 2005). این روش نه تنها برای تشخیص رنگ مفید است بلکه در تشخیص خصوصیات دیگر مانند شکل و بافت نیز سودمند می‌باشد (Du and Sun, 2006; Zheng and Sun, 2008). بررسی ویژگی‌های سطحی مواد غذایی، از کاربردهای بینایی ماشین در کشاورزی و صنایع غذایی است. همچنین طی پژوهش‌های پیشین، به وجود ارتباط بین ویژگی‌های سطحی بافت و ویژگی‌های کیفی مواد غذایی اشاره شده است (Basset *et al.*, 2000; Chandraratne *et al.*, 2006; Fongaro & Kvaal, 2013). بنابراین هدف از پژوهش حاضر تعیین بهترین ویژگی‌های سطحی بافت کانال‌های رنگی $L^*a^*b^*$ (انترویی، انرژ، همگنی، تباین، همبستگی و برتری)، به منظور بررسی توانایی آن‌ها در پیشگویی فاکتورهای کیفی آب مرکبات (pH، اسیدیته، مواد جامد محلول و اسکوریبک اسید) طی مدت نگهداری بود.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی و نگهداری نمونه

در این پژوهش، از چهار گونه مرکبات شامل نارنج، پرتقال، لیموترش و نارنگی استفاده شد. میوه‌ها از یک فروشگاه محلی (اهواز، خوزستان) خریداری گردید. آب میوه‌ها پس از شستشو و پوست‌گیری، توسط یک دستگاه آب میوه‌گیر (پارس خزر، مدل JC-700P) استخراج گردید. آبمیوه بلافاصله پس از استخراج و صاف کردن، تحت فرایند پاستوریزاسیون (90°C ، ۳۰ s) قرار گرفته و پس از آن در بطری‌های ۳۰۰ میلی‌لیتری پلی اتیلن ترفتالات (PET) در دمای 4°C ۸۵ پر شد. بطری‌های سپس بوسیله آب سرد و کلرینه تا دمای محیط سرد گردید. پس از آن، بطری‌ها در دمای یخچال (4°C) برای مدت ۶۰ روز نگهداری شد. در هر یک از زمان‌های نمونه‌برداری (روز ۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰)، از هر نوع آب میوه پنج بطری بطور تصادفی انتخاب و محتویات آن‌ها در هم آمیخته شد و جهت انجام آزمون‌های فیزیکوشیمیایی و همچنین آنالیز تصویر از این آمیزه استفاده شد.

ویتامین ث می‌تواند مسئول این تغییر رنگ باشند (Wibowo *et al.*, 2015). محتوی بالای ویتامین ث آب مرکبات طی انبارمانی، سبب کاهش افت ویژگی‌های کیفی و افزایش عمر نگهداری فرآورده می‌شود. با این وجود ممکن است بر اثر تخریب و اکسیداسیون این ویتامین طی انبارمانی پیش‌سازهای از پیگمان‌های رنگی نامطلوب (از جمله هیدروکسی متیل فورفورال) در آب مرکبات بوجود آید و سبب قهوه‌ای شدن محصول شود (Johnson *et al.*, 1995; Lee and Nagy, 1988; Solomon *et al.*, 1995).

در اکثر تحقیقات صورت گرفته اثر دمای نگهداری بر روی ویتامین ث بررسی گردیده است. بر اساس نتایج گزارش شده عمر ماندگاری آب مرکبات به صورت اولیه به دمای نگهداری و در برخی مواقع نوع میوه (هرچه درصد ویتامین ث بالاتر باشد، آب میوه بیشتر در معرض قهوه‌ای شدن قرار می‌گیرد) بستگی دارد. همچنین پایداری ویتامین ث در فرآورده‌های حقیقی به علت محیط اسیدی بالاتر از نمونه‌های بافری شبیه‌سازی شده است. این محققین دریافتند قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی به صورت عمده‌ای با میزان اسکوریبک اسید ارتباط است و در اثر تشکیل ترکیبات کربونیلی ناشی از تجزیه L-اسکوریبک اسید به وجود می‌آید. همچنین واکنش‌های قند-آمین به صورت بسیار جزئی مسئول واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی هستند. اما حضور اسیدهای آمینه و ترکیبات آمینی این واکنش‌ها را افزایش می‌دهد. (Amiri and Kabasakalis *et al.*, 2000; Nikousari, 2006). با این حال، ترکیبات ناپایدار اسکوریبک اسید تحت شرایط نامطلوب به راحتی تجزیه می‌شوند (Fennema, 1977; Lee & Coates, 1999). واکنش‌های حاصله به عوامل بسیاری از جمله اکسیژن، گرما، نور (Robertson & Samaniego, 1986)، درجه حرارت و زمان ذخیره‌سازی بستگی دارد (Fellers, 1988; Gordon *et al.*, 1990). پدیده‌ی اکسیدشدن اسکوریبک اسید عمدتاً در طول فرآیند آب میوه‌گیری مرکبات نیز رخ می‌دهد (Huelin, 1953). در پژوهشی اثر پیش تیمار اسمزی در فرآیند خشک کن هوا داغ بر خصوصیات رنگ برش‌های سیب و موز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان از کاهش قابل توجه در روشنی (L^*)، افزایش قرمزی (a^*) و زردی (b^*) در نمونه‌های تیمار نشده داشتند. این مساله حاکی از قهوه‌ای شدن شدید این نمونه‌ها می‌باشد (Krokida, *et al.*, 2000).

طی سال‌های اخیر به منظور ارزیابی محصولات مختلف کشاورزی روش‌های غیرمخرب زیادی توسعه یافته است که از آن جمله می‌توان به روش‌های طیف‌سنجی، بینایی ماشین، فراصوت و غیره اشاره نمود (Abdanan Mehdi zadeh *et al.*, 2014; Wang and Paliwal, 2007). با توجه به فیزیک و ماهیت آبمیوه‌ها از روش‌های طیف‌سنجی و بینایی ماشین به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آبمیوه در پژوهش‌های متعددی استفاده شده است (Cozzolino *et al.*, 2000).

آنالیز فیزیکی شیمیایی

pH نمونه‌های آب میوه توسط یک pH متر Methrohm مدل 827 pH lab (Methrohm instruments, Switzerland) بوسیله غوطه‌وری مستقیم الکترود در ۲۵°C تعیین شد. محتوی مواد جامد محلول (بریکس) با استفاده از یک دستگاه رفاکتومتر دیجیتالی Atago مدل PAL-22S (Atago Co, Ltd. Carnation, WA) در ۲۵°C اندازه‌گیری شد. اسیدیته قابل تیتراسیون نمونه‌ها بر حسب درصد سیتریک اسید محاسبه گردید. تیتراسیون با محلول استاندارد سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال انجام شد. سپس حجم مصرفی هیدروکسید سدیم تبدیل به گرم سیتریک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه شد (Kimball, 1999).

محتوای آسکوربیک اسید با استفاده از روش تیتراسیون دی کلرو فنل - ایندوفنل تعیین شد (Kabasakalis, 2000). اصول این روش بر پایه کاهش ۲، ۶- دی کلرو فنل - ایندوفنل به یک فرم بی رنگ، بوسیله مصرف آسکوربیک اسید می‌باشد. مراحل این روش به قرار زیر بود: (۱) یک حجم ۱۰ میلی‌لیتری از نمونه درون یک بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و توسط محلول اگزالیک اسید ۰/۰۴ به حجم رسانده شد، (۲) محلول توسط یک کاغذ صافی (واتمن شماره ۴) صاف شد، (۳) ۱۰ میلی‌لیتر از محلول فیلتر شده به همراه ۱۵ میلی‌لیتر محلول اگزالیک اسید ۰/۰۴ درصد به یک ارلن مایر انتقال داده و توسط محلول سدیم دی کلرو ایندوفنل تا ظهور رنگ صورتی تیترا گردید.

محلول سدیم دی کلروفنل ایندوفنل با سدیم تیوسولفات ۰/۰۱ نرمال، در کمپلکسی از پتاسیم یدید (۵۰٪) و اسید کلریدریک ۱ نرمال با استفاده از شناساگر نشاسته استاندارد شد.

آنالیز رنگ

طی مدت زمان نگهداری، تصویربرداری از نمونه‌های آب میوه در روز انجام آزمایشات فیزیکی شیمیایی (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰) انجام شد. ارزیابی ویژگی‌های رنگی نمونه‌ها با استفاده از یک سیستم آنالیز تصویر با تجهیزات زیر انجام گردید: یک دوربین تصویربرداری (Canon PowerShot SX60 HS, Japan) و یک کامپیوتر شخصی (Pentium(R) Dual-Core processor). نمونه‌های آب‌میوه در یک جعبه سیاه با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ cm^۳ و با نورپردازی با زاویه ۴۵ درجه توسط چهار لامپ فلوروسنتی، قرار داده و تصاویر در یک فاصله ثابت ۳۰۰ میلی‌متری از سطح آنها گرفته شد. تنظیمات دوربین نیز شامل فلاش خاموش، زوم خاموش، ایزو ۱۰۰، سرعت شاتر ۱/۲۰

ثانیه، بالانس رنگ سفید فلوروسنس بود.

جدول ۱- ویژگی‌های استخراج شده از بافت سطحی آب میوه‌ها

۱	انتروپی ^۱	$E = \sum_{i,j=0}^{N-1} -Ln(P_{ij})P_{ij}$
۲	انرژی	$E = \sum_{i,j=0}^{N-1} (P_{i,j})^2$
۳	همگنی ^۲	$H = \sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{ij}}{1+(i-j)^2}$
۴	تباین ^۳	$C = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{ij} (i-j)^2$
۵	همبستگی ^۴	$C = \sum \frac{(i-\mu)(j-\mu)P_{ij}}{\sigma^2}$
۶	برتری ^۵	$B = \frac{P = \text{sign}(B) B ^{1/4}}{\sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{(i+j-2\mu)^4 P_{i,j}}{4\sigma^4(1+C_1)^2}}$

مدل رنگی CIE L*a*b* به منظور تعیین رنگ نمونه‌ها بکار برده شد. از آنجایی که تصاویر در فضای RGB گرفته شد، تبدیل فضای رنگی برای بدست آوردن پارامترهای مدل CIE L*a*b* انجام گردید. برای این منظور تصاویر گرفته شده توسط دوربین وارد محیط MatLab ۸ (جعبه ابزار پردازش تصویر) شده و تبدیل تصاویر از فضای RGB به فضای L*a*b* انجام گردید. مقادیر متوسط L*، a* و b* توصیف‌کننده رنگ نمونه‌ها بود. در مدل CIE L*a*b*، بیان‌کننده میزان روشنایی در محدوده صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید)، a* بیان‌کننده میزان قرمزی (مقادیر مثبت) و سبزی (مقادیر منفی) و همچنین b* بیان‌کننده زردی (مقادیر مثبت) و آبی (مقادیر منفی) می‌باشد (Quevedo et al., 2009). سپس به منظور استخراج ویژگی‌های سطحی بافت، GLCM برای ۳ کانال L*، a* و b* محاسبه و ویژگی‌های جدول ۱ استخراج شدند (Quevedo et al., 2009b). شایان ذکر است که محاسبات مربوط به تعیین ویژگی‌های سطحی بافت در نرم‌افزار MatLab صورت پذیرفت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های بدست آمده با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و آنالیز واریانس (ANOVA) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای بررسی مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد

داد مدت زمان نگهداری سبب کاهش معنی دار آسکوربیک اسید در آب مرکبات می‌شود ($P < 0.05$). از عمده ترین فاکتورهای مؤثر در افت محتوی آسکوربیک اسید آب مرکبات می‌توان به دما، غلظت نمک و شکر، pH، اکسیژن حل شده در آب میوه و اکسیژن موجود در فضای فوقانی بطری، آنزیم‌ها، نور، کاتالیزهای فلزی و غلظت اولیه آسکوربیک اسید اشاره نمود (Al-Zubaidy & Khalil, 2007; Michelle *et al.*, 2004).

همانطوریکه قابل مشاهده است در روز صفر نگهداری محتوی آسکوربیک اسید آب نارنج، آب نارنگی، آب پرتقال و آب لیموترش به ترتیب $1/70 \pm 43/72$ ، $1/00 \pm 45/35$ ، $0/94 \pm 48/67$ و $0/82 \pm 47/54$ بود که پس از یک دوره شصت روزه نگهداری در درون بطری‌های PET و دمای یخچال این مقادیر به ترتیب به $0/96 \pm 27/52$ ، $0/58 \pm 35/59$ ، $0/57 \pm 39/88$ و $1/57 \pm 31/12$ کاهش پیدا نمود. آسکوربیک اسید در محلول‌های اسیدی راحت‌تر تجزیه می‌شود (Burdurlu *et al.*, 2006); به همین دلیل کاهش کمتر آسکوربیک اسید در آب پرتقال و آب نارنگی را میتوان به بالاتر بودن pH این دو آبمیوه دانست.

در آب مرکبات، بریکس به عنوان شاخصی از درصد مواد جامد محلول و یکی از مهم ترین فاکتورهای کیفی برای درجه‌بندی این محصولات بکار می‌رود (McAllister, 1980). محتوای مواد جامد محلول هر یک از انواع آب میوه‌ها دارای تغییرات معنی داری طی مدت زمان نگهداری نبود که با مطالعات پیشین مطابق بود (Ayhan *et al.*, 2001; Rivas *et al.*, 2006; Cortés *et al.*, 2008). به منظور بررسی نوع و میزان رابطه بین دو متغیر (آزمون‌های مخرب و غیرمخرب) آنالیز همبستگی^۷ صورت پذیرفت. در این پژوهش، ارتباط بین پارامترهای استخراج شده از تصاویر (آزمون غیرمخرب) و پارامترهای کیفی (آزمون‌های مخرب) با استفاده از مقادیر ضریب همبستگی (r)، که مقیاسی از رابطه خطی بین دو متغیر است مورد ارزیابی قرار گرفت. ضریب همبستگی با استفاده از رابطه (۷) برای آبمیوه لیموترش محاسبه و در جدول ۲ آورده شد. شاین ذکر است که این روند برای ۳ آبمیوه دیگر نیز صادق بود (در این مقاله آورده نشد).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

در این رابطه x_i و y_i اندازه‌گیری متغیر X و Y ($i = 1, 2, \dots, n$)، و همچنین $\bar{x}$ و $\bar{y}$ میانگین‌های نمونه X و Y می‌باشند.

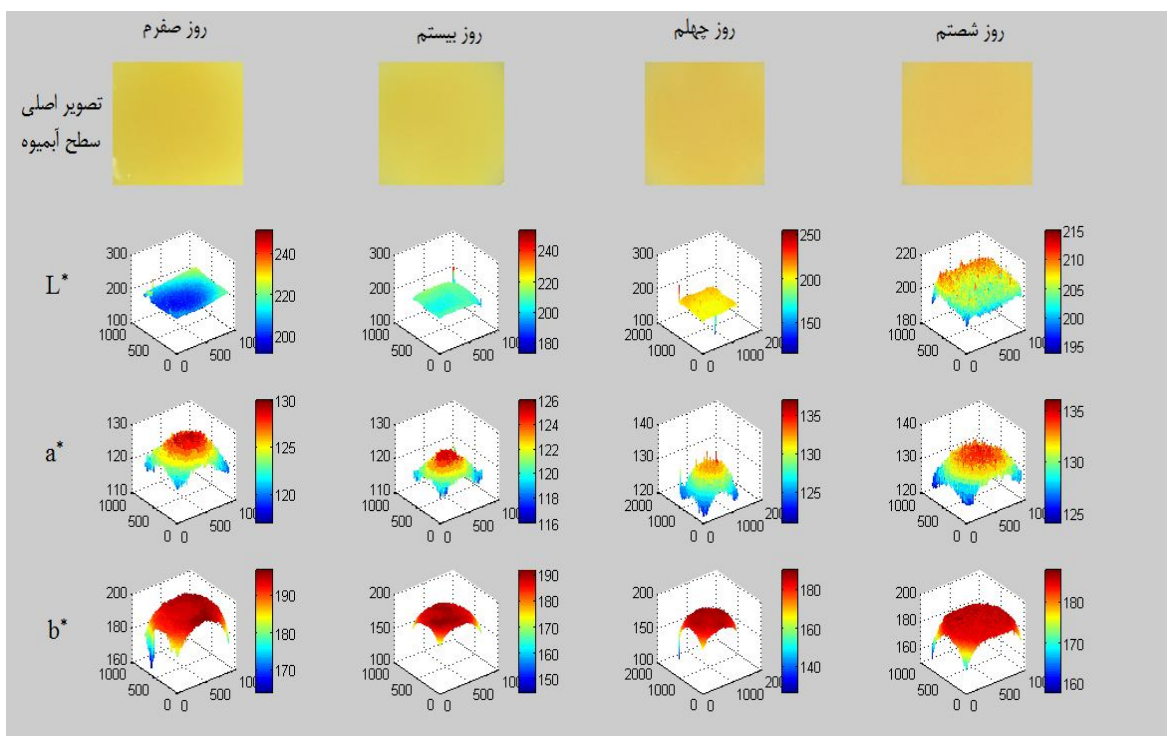
استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (SAS V. 9.1 Institute, Cary, NC) انجام شد.

نتایج و بحث

تغییرات ۳ کانال a^* ، b^* و L^* در روزهای مختلف بعد از انبارمانی برای آبمیوه نارنج (به صورت نمونه) در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱ آمده است با توجه به رنگ‌نوار^۸ ترسیم شده در کنار هر تصویر، شدت L^* با توجه به اینکه با گذر زمان سطح آن دنداندارتر می‌شود توصیف بهتری از دو کانال دیگر (a^* و b^*) از زوال آبمیوه دارد. در ضمن رنگ‌نوار ترسیم شده برای کانال L^* با گذر زمان دارای شدت بزرگتری می‌گردد که این مساله حاکی از توانایی این کانال در تشخیص زوال در آبمیوه می‌باشد. در نتیجه کانال L^* به منظور کانال مرجع در تشخیص زوال و استخراج ویژگی‌ها استفاده گردید. در پژوهشی که توسط Quevedo و همکاران (۲۰۰۹b) بر روی قهوه‌ای شدن آنزیمی برش‌های سیب صورت گرفت مشخص گردید که کانال L^* از دو کانال دیگر (a^* و b^*) زوال را بهتر تشخیص می‌دهد. نتایج پژوهش ذکر شده با تحقیق حاضر در یک راستا می‌باشد.

پس از تعیین مؤثرترین کانال رنگی، به منظور بررسی اثر انبارمانی بر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی بررسی آماری انجام شد. نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج حاکی از تاثیر معنی‌دار مدت زمان نگهداری بر تغییرات pH آب نارنگی و آب پرتقال بود ($P < 0.05$)، هرچند این تغییرات از نقطه نظر تکنولوژیکی قابل توجه نمی‌باشد. همچنین عدم تغییرات معنی دار pH آب نارنج و آب لیموترش ($P > 0.05$)، را می‌توان به حضور سیترات و مالات پتاسیم و ایجاد یک محیط بافری نسبت داد (Sanchez-Moreno *et al.*, 2003; Plaza *et al.*, 2011a). اسیدیته، در چهار نوع آب مرکبات بطور معنی‌داری طی مدت زمان نگهداری افزایش یافت ($P < 0.05$). افزایش اسیدیته و کاهش pH را می‌توان به شروع فساد و یا تخمیر میکروبی نسبت داد (Tiwari *et al.*, 2009).

ویتامین ث (اسکوربیک اسید) یکی از ترکیبات تغذیه‌ای ضروری برای انسان است و به دلیل قدرت آنتی اکسیدانی بالا، محافظت بالایی در برابر رادیکال‌های آزاد فراهم می‌کند (Kabasakalis *et al.*, 2000). با این وجود، به دلیل طبیعت این ویتامین، آسکوربیک اسید اکسیده شده و طی دوره انبارمانی مقدار آن افت پیدا می‌کند (Kabasakalis *et al.*, 2000). نتایج این پژوهش مطابق پژوهش‌های پیشین (Maria *et al.*, 2007; Kabasakalis *et al.*, 2000) نشان



شکل ۱- تغییرات ۳ کانال L^* ، a^* و b^* در روزهای مختلف بعد از انبارمانی

جدول ۱- اثر مدت زمان نگهداری بر پارامترهای کیفی آب مرکبات بسته بندی شده در بطری های PET و نگهداری شده در دمای $4^{\circ}C$

پارامترهای کیفی				مدت زمان نگهداری (روز)	آب مرکبات
آسکوبیک اسید (میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر)	اسیدیته (%)	بریکس (%)	Ph		
$43/72 \pm 1/70^a$	$4/08 \pm 0/02^c$	$8/50 \pm 0/10^a$	$2/92 \pm 0/57^a$	صفر	آب نارنج
$39/63 \pm 0/86^b$	$4/23 \pm 0/11^c$	$8/48 \pm 0/26^a$	$2/61 \pm 0/10^a$	۲۰	
$35/72 \pm 1/13^c$	$4/85 \pm 0/08^b$	$8/30 \pm 0/36^a$	$2/58 \pm 0/03^a$	۴۰	
$27/52 \pm 0/96^d$	$5/05 \pm 0/10^a$	$8/33 \pm 0/15^a$	$2/50 \pm 0/01^a$	۶۰	
$45/35 \pm 1/00^a$	$0/53 \pm 0/09^b$	$8/12 \pm 0/18^a$	$3/78 \pm 0/01^a$	صفر	آب نارنگی
$41/72 \pm 0/57^b$	$0/55 \pm 0/18^b$	$8/28 \pm 0/26^a$	$3/75 \pm 0/01^a$	۲۰	
$39/21 \pm 0/55^c$	$0/68 \pm 0/03^a$	$8/43 \pm 0/11^a$	$3/61 \pm 0/01^b$	۴۰	
$35/59 \pm 0/58^d$	$0/77 \pm 0/16^a$	$8/26 \pm 0/19^a$	$3/40 \pm 0/04^c$	۶۰	
$48/67 \pm 0/94^a$	$0/79 \pm 0/01^c$	$8/20 \pm 0/10^a$	$3/73 \pm 0/03^a$	صفر	آب پرتقال
$46/20 \pm 0/58^b$	$0/83 \pm 0/02^b$	$8/17 \pm 0/21^a$	$3/69 \pm 0/01^b$	۲۰	
$43/58 \pm 1/00^c$	$0/85 \pm 0/02^{ab}$	$8/03 \pm 0/32^a$	$3/65 \pm 0/01^c$	۴۰	
$39/88 \pm 0/57^d$	$0/86 \pm 0/01^a$	$7/97 \pm 0/15^a$	$3/63 \pm 0/02^c$	۶۰	
$47/54 \pm 0/83^a$	$4/05 \pm 0/34^c$	$6/43 \pm 0/25^a$	$2/35 \pm 0/01^a$	صفر	آب لیموترش
$42/29 \pm 1/56^b$	$4/48 \pm 0/03^{cb}$	$6/37 \pm 0/12^a$	$2/34 \pm 0/02^a$	۲۰	
$38/40 \pm 0/73^c$	$4/75 \pm 0/12^{ab}$	$6/33 \pm 0/06^a$	$2/35 \pm 0/03^a$	۴۰	
$31/12 \pm 1/57^d$	$5/11 \pm 0/27^a$	$6/30 \pm 0/10^a$	$2/23 \pm 0/01^a$	۶۰	

حروف غیر یکسان در هر ستون نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار در سطح $p = 0/05$ می باشد.

جدول ۲. ضرایب همبستگی بین پارامترهای غیر مخرب و مخرب.

پارامترهای مخرب						پارامترهای غیرمخرب
برتری	انتروپی	همگنی	انرژی	همبستگی	تباین	
۰/۶۸	۰/۸۹***	۰/۷۱*	۰/۹۷***	۰/۹۲***	۰/۳۳	pH
۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۱	بریکس
۰/۶۷	۰/۷۵**	۰/۶۴	۰/۷۸**	۰/۷۲**	۰/۲۳**	اسیدیته
۰/۷۸**	۰/۸۷***	۰/۷۰*	۰/۹۱***	۰/۸۶***	۰/۷۳**	آسکوربیک اسید

* همبستگی در سطح ۰/۰۵، معنی دار می باشد.

** همبستگی در سطح ۰/۰۱، معنی دار می باشد.

*** همبستگی در سطح ۰/۰۰۱، معنی دار می باشد.

(1994, Sparks and) که این مساله نشان از ارتباط مستقیم رنگ با مزه است. این در حالی است که در مطالعات بعدی مشخص گردید که رنگ بر عطر و طعم و یا شیرینی نوشیدنی طعم دار میوه تأثیری ندارد (1993, Lavin and Lawless; 1998, Clydesdale). این مساله نشان از عدم وجود ارتباط مستقیم رنگ با مزه می باشد. در پژوهش حاضر نیز همانطور که قبلاً گفته شد ضریب همبستگی بریکس با سایر ویژگی های استخراج شده از تصویر حوالی صفر بین بدست آمد که این مساله نشان از عدم ارتباط خطی است. در نتیجه به منظور استخراج معادله رگرسیونی مناسب، برای پیشگویی تغییرات بریکس این پارامتر بر حسب انرژی ترسیم گردید.

مطابق شکل ۲ معادله نمایی به خوبی توانایی تشخیص روند تغییرات بریکس را بر حسب انرژی دار می باشد. در پژوهشی Shao & He (۲۰۰۷) به بررسی غیرمخرب کیفیت درونی آبمیوه حب الغار^۸ با کمک روش طیفسنجی Vis/NIR پرداختند و بهترین مدل توسعه یافته به منظور تعیین مواد جامد محلول دارای ضریب همبستگی ۰/۹۰۴ گزارش گردید. Zheng و همکاران (۲۰۱۰) به تعیین میزان آنتوسیانین، آسکوربیک اسید، فنول کل و فلاونوئید در آبمیوه حب الغار پرداختند. بر اساس گزارش، معادله رگرسیونی توسعه یافته برای پیشگویی مقدار آسکوربیک اسید با روش پردازش تصویر دارای ضریب همبستگی ۰/۹۳۵ بود. نتایج گزارش شده در پژوهش Zheng و همکاران (۲۰۱۰) با پژوهش حاضر همراستا می باشد.

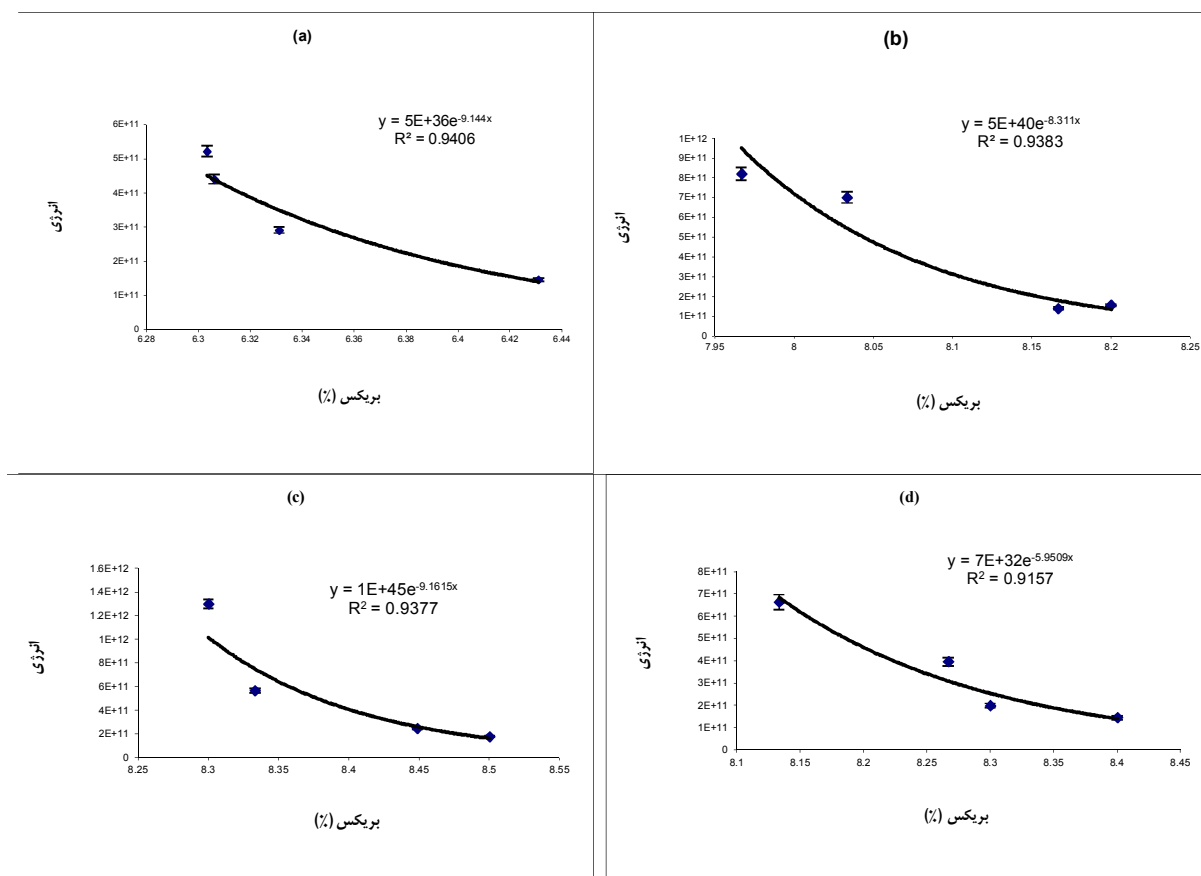
نتیجه گیری

در پژوهش حاضر با استفاده از تغییرات رنگ آب مرکبات (نارنج، پرتقال، لیموترش و نارنگی) در طول فرآیند انبارمانی در روزهای ۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ برخی از پارامترهای داخلی (اسکوربیک اسید، میزان مواد جامد محلول و pH) به روش مخرب و غیرمخرب (روش پردازش تصویر و ویژگی های ساختاری GLCM) استخراج شد. نتایج حاصل

ضرایب منفی معرف رابطه معکوس، ضریب مثبت معرف رابطه مستقیم و ضریب حوالی صفر نمایانگر عدم وجود رابطه خطی بین متغیرها است. همانطور که در جدول ۲ و نتایج حاصل از آنالیز همبستگی نشان داد انرژی با ضریب همبستگی بالاتر نسبت به دیگر ویژگی های استخراج شده از تصاویر توانایی پیشگویی اسیدیته، pH و آسکوربیک اسید را دارد. به عبارت دیگر این مساله نشان از رابطه خطی قویتر انرژی با این ویژگی اسیدیته، pH و آسکوربیک اسید می باشد. در پژوهشی که توسط Quevedo و همکاران (۲۰۱۴) به تعیین قهوه ای شدن آنزیمی در تکه آوکادو و با استفاده از تحلیل بافت تصویر پرداختند. در این پژوهش انرژی به عنوان مؤثرترین ویژگی بافتی در تعیین زوال تیکه های آوکادو معرفی گردید. همبستگی انرژی با ضریب همبستگی مثبت با اسیدیته و آسکوربیک اسید نشان می دهد که با افزایش این دو ویژگی در خلال انبارمانی مقدار انرژی در تصاویر نیز روند افزایشی و بر عکس با افزایش pH انرژی تصاویر کاهش خواهد داشت. Burdurlu و همکاران (۲۰۰۶) و Al-Zubaidy & Khalil (۲۰۰۷) در پژوهش هایی به تعیین سینماتیک زوال آسکوربیک اسید با استفاده از مدل سازی و استفاده از توزیع ویبول پرداختند. بر اساس نتایج گزارش شده این توزیع به خوبی توانایی پیشگویی روند زوال آسکوربیک اسید را دارد. اما پارامترهای مدل توسعه یافته بر اساس توزیع ویبول به شرایط مساله و محیط وابسته بوده و از طرف دیگر این مدل غیر خطی می باشد. در حالی که در مطالعه حاضر با توجه به رابطه خطی قوی یافته شده میان انرژی و آسکوربیک اسید زوال این پارامتر در خلال انبارمانی به خوبی قابل تشخیص است. البته شایان ذکر است که انرژی دارای ضریب همبستگی ۰/۱۱- با بریکس می باشد که این ارتباط به صورت خطی معنی دار نبود. طی پژوهشی که بر روی نکتار گلابی که دارای رنگ های مختلف بودند مشخص گردید که نمونه های سبز رنگ شیرینی کمتری نسبت به دیگر نمونه های رنگی داشتند (Shepherd)

توسط پردازش تصویر که یک روش غیرمخرب می باشد استخراج شد. همچنین نتایج حاصل از آنالیز همبستگی نشان داد از بین دیگر ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر، انرژی نسبت به دیگر ویژگی‌ها با ضریب همبستگی بالاتر توانایی پیشگویی اسیدیته، pH و آسکوربیک اسید را دارد.

توسط نرم افزار SAS در سطح اطمینان ۵٪ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نشان داد که اسیدیته و آسکوربیک اسید در چهار نوع آب مرکبات بطور معنی داری طی مدت زمان نگهداری به ترتیب افزایش و کاهش یافت. همچنین تغییرات رنگ در طول فرآیند انبارمانی توسط سه کانال رنگی L^* , a^* , b^* نشان داد شد، که کانال رنگی L^* تغییرات زوال در آب میوه ها را بهتر نشان می دهد، که این ویژگی



شکل ۲- همبستگی بین انرژی و با بریکس (a) لیموترش، (b) پرتقال، (c) نارنگی و (d) نارنج

منابع

- Abdanan Mehdizadeh S., Minaei, S., Hancock, N. H. & Karimi Torshizi M. A. 2014. An intelligent system for egg quality classification based on visible-infrared transmittance spectroscopy. *Information Processing in Agriculture*, 1, 105–114.
- Al-Zubaidy, M. M., & Khalil, R. A. 2007. Kinetic and prediction studies of ascorbic acid degradation in normal and concentrate local lemon juice during storage. *Food Chemistry*, 101(1), 254-259.
- Amiri, S., & Niakousari, M. 2006. Kinetics and shelf life stability of vitamin C in un-pasteurized sour orange juice, Effect of storage condition and citric acid supplement. *17th international congress of chemical and process engineering*, 27-31.
- Ayhan, Z., Yeom, H. Y., Zhang, Q. H., & Min, D. B. 2001. Flavor, color, and vitamin C retention of PEF processed orange juice in different packaging materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 669–674.
- Basset, O., Buquet, B., Aboielkaram, S., Delachartre, P., & Culioli, J. 2000. Application of texture image analysis for the classification of bovine meat. *Food Chemistry*, 69, 437–445.

- Brosnan, T., & Sun, D.W. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision – a review. *Journal of Food Engineering*, 61: 3–16.
- Burdurlu, H. S., Koca, N., & Karadeniz, F. 2006. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 211-216.
- Butz, P., Hofmann, C., & Tauscher, B. 2005. Recent developments in non-invasive techniques for fresh fruit and vegetable internal quality analysis. *Journal of Food Science*, 70: 131–134.
- Chandraratne, M. R., Samarasinghe, S., Kulasiri, D., & Bickerstaffe, R. 2006. Prediction of lamb tenderness using image surface texture features. *Journal of Food Engineering*, 77(3), 492-499.
- Clydesdale, F. M. (1993). Color as a factor in food choice. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 33(1), 83-101.
- Cortes, C., Esteve, M. J., & Frigola, A. 2008. Colour of orange juice treated by high intensity pulsed electric fields during refrigerated storage and comparison with pasteurized juice. *Food Control*, 19, 151–158.
- Cozzolino, D., Cynkar, W. U., Shah, N., & Smith, P. 2011. Multivariate data analysis applied to spectroscopy: Potential application to juice and fruit quality. *Food Research International*, 44(7), 1888-1896.
- Du, C.J., & Sun, D.W. 2006. Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review. *Journal of Food Engineering*, 72: 39–55.
- Eskin, N.A.M. 1990. Biochemistry of food processing: Browning reactions in foods. In *Biochemistry of foods* (second ed., pp. 240–295). London: Academic Press.
- FAO. 2010. Citrus fruit – fresh and processed, annual statistics. 2009. Commodities and Trade Division, FAO of the UN, Rome.
- Fellers, P. J. 1988. Shelf life and quality of freshly squeezed, unpasteurized, polyethylene-bottled citrus juice. *Journal of Food Science*, 53(6), 1699–1702.
- Fennema, O. 1977. Loss of vitamins in fresh and frozen foods. *Food Technology*, 31(12), 32–38.
- Fernandez Vazquez, R., Stinco, C. M., Melendez Martinez, A. J., Heredia, F. J., & Vicario, I. M. 2011. Visual and instrumentation evaluation of orange juice color: consumer's preference study. *Journal of sensory studies*, 26(6), 436-444.
- Fongaro, L., & Kvaal, K. 2013. Surface texture characterization of an Italian pasta by means of univariate and multivariate feature extraction from their texture images. *Food Research International*, 51(2), 693-705.
- Gordon, L. R., & Samaniego-Esguerra, M. C. 1990. Effect of soluble solids and temperature on ascorbic acid degradation in lemon juice stored in glass bottles. *Journal of Food Quality*, 13, 361–374.
- Guillard, V., Broyart, B., Bonazzi, C., Guilbert, S., & Gontard, N. 2003. Evolution of moisture distribution during storage in composite food modeling and simulation. *J. Food Sci.* 68, 958-966.
- Huelin, F. E. 1953. Studies on the anaerobic decomposition of ascorbic acid. *Food Research*, 18, 633–639.
- Johnson, J. R., Braddock, R. J., & Chen, C. S. 1995. Kinetics of ascorbic acid loss and nonenzymatic browning in orange juice serum: Experimental rate constants. *Journal of Food Science*, 60(3), 502–505.
- Kabasakalis, V., Siopidou, D., & Moshatou, E. 2000. Ascorbic acid content of commercial fruit juices and its rate of loss upon storage. *Food chemistry*, 70(3), 325-328.
- Kimball, D. 1999. Citrus processing Quality Control and Technology. New York: AVI Book, Van Nostrand Reinhold.
- Krokida, M. V., Karathanos, and Z., Maroulis. 2000. Effect of osmotic dehydration on color and sorption characteristics of apple and banana. *Drying Technology*, 18(4-5): 937-950.
- Laing, B. M., Schlueter, D. L., & Labuza, T. P. 1978. Degradation kinetics of ascorbic acid at high temperature and water activity. *Journal of Food Science*, 43(5), 1440–1443.
- Larisch, B., Grob, U., & Pischetsrieder, M. 1998. On the reaction of L -ascorbic acid with propylamine under various conditions: quantification of the main products by HPLC/DAD. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung Und-Forschung A*, 206, 333–337.
- Lavin, J. G., & Lawless, H. T. (1998). Effects of color and odor on judgments of sweetness among children and adults. *Food Quality and Preference*, 9(4), 283-289.
- Lee, H. S., & Coates, G. A. 1999. Vitamin C in frozen, fresh squeezed, unpasteurized, polyethylene-bottled orange juice: A storage study. *Food Chemistry*, 65, 165–168.
- Lee, H. S., & Nagy, S. 1988. Relationship of sugar degradation to detrimental changes in citrus juice quality. *Food Technology*, 11, 91–97.
- Maria, R.C., Yulissa, B., Asuncion, I., & Antonio, L. p. 2007. Quality and shelf life of orange juice aseptically packaged in PET bottles. *Journal of Food Engineering*, 79, 234-242.
- McAllister, J. W. 1980. Methods of determining the quality of citrus juice. In S. Nagy, & J. A. Attaway (Eds.), *Citrus nutrition and quality* (pp. 291–317). Washington, DC: American Chemical Society.
- Michelle, K. B., Katherine, Z., Effie Howe, Dimitria, G., Priscilla, P., Regine, S., & Cynthia, M. S. 2004. The effect of high pressure processing on the microbial, physical and chemical properties of Valencia and Navel orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 135-149.
- Plaza, L., Crespo I., de Pascual Teresa, S., De Ancos, B., Sanchez Moreno, C., Muoz M., and Cano M.P. 2011a. Impact of minimal processing on orange bioactive compounds during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 124, 646-51.

- Plaza, L., Sanchez Moreno, C., De Ancos, B., Elez Martinez, P., Marin Belloso, O., and Cano M.P. 2011b. Carotenoid and flavanone content during refrigerated storage of orange juice processed by high-pressure, pulsed electric fields and low pasteurization. *Food Science and Technology*, 44, 834-839.
- Quevedo, R., Diaz, O., Caqueo, A., Ronceros, B., & Aguilera, J. M. 2009a. Quantification of enzymatic browning kinetics in pear slices using non-homogenous L* color information from digital images. *LWT - Food Science and Technology*, 42(8), 1367-1373.
- Quevedo, R., Jaramillo, M., Diaz, O., Pedreschi, F., & Aguilera, J. M. 2009b. Quantification of enzymatic browning in apple slices applying the fractal texture Fourier image. *Journal of Food Engineering*, 95(2), 285-290.
- Quevedo, R., Valencia, E., Bastias, J. M., & Cardenas, S. 2014. Description of the enzymatic browning in avocado slice using GLCM image texture. In *Image and Video Technology-PSIVT 2013 Workshops* (pp. 93-101). Springer Berlin Heidelberg.
- Rivas, A., Rodrigo, D., Martiinez, A., Barbosa-Canovas, G. V., & Rodrigo, M. 2006. Effect of PEF and heat pasteurization on the physical-chemical characteristics of blended orange and carrot juice. *LWT - Food Science and Technology*, 39 1163-1170.
- Robertson, G. L., & Samaniego, C. M. L. 1986. Effect of initial dissolved oxygen levels on the degradation of ascorbic acid and the browning of lemon juice during storage. *Journal of Food Science*, 51(1), 184-187.
- Roussos, P. A. 2011. Phytochemicals and antioxidant capacity of orange (*Citrus sinensis* (L) Osbeck cv. *Salustiana*) juice produced under organic and integrated farming system in Greece. *Scientia Horticulturae*, 129(2), 253-258.
- Sanchez-Moreno, C., Plaza, L., De Ancos, B., & Pilar Cano, M. 2003. Vitamin C, provitamin a carotenoids, and other carotenoids in high-pressurized orange juice during refrigerated storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 647-653.
- Shao, Y., & He, Y. 2007. Nondestructive measurement of the internal quality of bayberry juice using Vis/NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1015-1019.
- Shepherd R., & Sparks P. 1994. Modelling food choice. In: Macfie H.J.H., Thomson D.M.H., (eds), *Measurements of food preference*. London: *Blackie Academic and Professional*. pp. 202-223.
- Singh, R.P., & Heldman, D.R. 1976. Simulaton of liquid food quality during storages. *Transactions of the ASAE*. 19(1), 178-184.
- Solomon, O., Svanberg, U., & Sahlstrom, A. 1995. Effect of oxygen and fluorescent light on the quality of orange juice during storage at 8 C. *Food Chemistry*, 53, 363-368.
- Tiwari, B. K., O Donnell, C. P., Muthukumarappan, K., & Cullen, P. J. 2009. Effect of sonication on orange juice quality parameters during storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 586-595.
- Vanamala, J., Reddivari, L., Sun, Yoo, K., Pike, L.M., & Patil, B.S. 2006. Variation in the content of bioactive flavonoids in different brands of orange and grapefruit juices. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 157-166.
- Wang, W., & Paliwal, J. 2007. Near-infrared spectroscopy and imaging in food quality and safety. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 1, 193-207.
- Wibowo, S., Vervoort, L., Tomic, J., Santiago, J. S., Lemmens, L., Panozzo, A., Grauwet, T., Hendrickx, M., & Van Loey. 2015. Colour and carotenoid changes of pasteurised orange juice duringStorage.*Food Chemistry*. 171: 330-340.
- Zheng, C., & Sun, D.W. 2008. Object measurement methods. In: Da-Wen, S. (Ed.), *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation*. Academic Press, Amsterdam, pp. 57-7.
- Zheng, H., Jiang, L., Lou, H., Hu, Y., Kong, X., & Lu, H. 2010. Application of artificial neural network (ANN) and partial least-squares regression (PLSR) to predict the changes of anthocyanins, ascorbic acid, Total phenols, flavonoids, and antioxidant activity during storage of red bayberry juice based on fractal analysis and red, green, and blue (RGB) intensity values. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(2), 592-600.



None-destructive investigation of the quality factors in citrus juice during storage using digital image processing

S. Abdanan Mehdizadeh^{*1}, M. Nouri², M. Soltani Kazemi³, S. Amraie³

Received: 2015.06.03

Accepted: 2015.08.19

Introduction: Nutritional quality of food during storage has become increasingly an important problem. The loss of some nutrients such as ascorbic acid (vitamin C) might be a critical factor for the shelf life of some products as citrus juice concentrates, since vitamin C content of citrus juices undergoes destruction during storage (Plaza *et al.*, 2011a). Ascorbic acid is an important component of our nutrition and used as additive in many foods because of its antioxidant capacity. Thus, it increases quality and technological properties of food as well as nutritional value (Larisch *et al.*, 1998). However, ascorbic acid is an unstable compound and even under minor desirable conditions it decomposes easily. Degradation of ascorbic acid proceeds both aerobic and anaerobic pathways and depends upon many factors such as oxygen, heat, light, storage temperature and storage time. Oxidation of ascorbic acid occurs mainly during the processing of citrus juices, whereas, anaerobic degradation of ascorbic acid mainly appears during storage which is especially observed in thermally preserved citrus juices (Lee & Coates, 1999). It was reported that several decomposition reactive products occur via the degradation of vitamin C and these compounds may combine with amino acids, thus result in formation of brown pigments (Wibowo *et al.*, 2015). In recent years, several nondestructive methods such as computer vision, spectroscopy, ultrasonic have been developed to objectively evaluate different agricultural materials (Abdanan Mehdizadeh *et al.*, 2014; Wang and Paliwal, 2007). However, due to the physical properties of fruit, machine vision has not been discussed much in the literature (Fernandez-Vazquez *et al.*, 2011). One disadvantage of using spectroscopic methods is that these methods require expensive equipment and also carrying these instruments are difficult. On the contrary, the combining of a digital camera and its image processing software that replaces the traditional measuring instruments have been widely used to provide a cheaper and versatile form to measure some internal quality of many foods. Therefore, the goal of this research is to determine the best features of surface texture (entropy, homogeneity, contrast, correlation and prominence) in order to predict quality factors (pH, acidity, soluble solids and ascorbic acid) of citrus juice.

Materials and methods: Orange, sour lemon, sour orange and tangerine fruit were obtained from one of local marker in Ahvaz, Iran. All samples were washed and the juice was extracted using a Pars-Khazar rotary extractor. The citrus juice, (sour orange, orange, lemon and tangerine) immediately after pasteurization process, were kept at a temperature of refrigerators (4° C) for 60 days in darkness. After taking images of the citrus juice, pH, acidity, ascorbic acid and soluble solids were measured on days 0, 20, 40 and 60.

Physicochemical analysis:

The pH of samples was determined with a pH meter (Methrohm, 827 pH lab, Switzerland). The soluble solids content of concentrates was determined as ° Bx using a refractometer (Atago Co, Ltd. Carnation, WA). Total titrable acidity was assessed by titration with sodium hydroxide (0.1 N) and expressed as % citric acid (Kimball, 1999). Ascorbic acid was determined using 2,6-dichlorophenolindophenol by visual titration (Kabasakalis, 2000).

Imaging and color analysis:

Samples were placed under the camera (Canon PowerShot SX60 HS, Japan) of a computer vision system at the distance of 300 mm inside a black box with the size of 100 ×100 ×100 cm³. The samples were illuminated using four fluorescent lamps at the angle of 45° in relation with the sample.

After taking images, color images were transformed to L*a*b* color space. The L* parameter (luminosity) is an attribute by which a surface emits more or less light and can take values between 0 (absolute black) to 100

9 and 3. Assistant professor and MSc student of Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Respectively.

2. MSc student of Food science, Faculty of Animal and food science, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan

(* - Corresponding Author Email: : saman.abdanan@gmail.com)

(absolute white). The parameters a^* and b^* represent the chromaticity, where a^* defines the red-green component (red for positive values and green for negative values) and the b^* parameter defines the yellow-blue component (yellow for positive values and blue for negative values) (Quevedo *et al.*, 2009a). Following color transformation, the well-known textural parameter called the Gray-Level Co-Occurrence Matrix (GLCM function) was applied to the images and six features through Eq. 1-6 were extracted (Table 1).

Results and discussion: Color changes during storage in three color channels L^* , a^* , b^* showed that the variation of channel L^* could illustrate deterioration of citrus juice better than other channels. In the Figure 1, a gallery of four selected images (taken at different times in the experiment) corresponding to one sour orange sample and their corresponding surface intensity (based on L^* value) are showed.

The results of statistical analysis depicted that acidity and ascorbic acid, in four citrus juices, significantly ($P < 0.05$) increased and decreased during storage, respectively. Furthermore, the results of correlation analysis showed that among extracted features from the images, energy, in comparison with other features, with a greater correlation coefficient has a better ability to predict the acidity, pH and ascorbic acid.

Key words: Juice, Image processing, Quality parameters (pH, acidity, SSC and ascorbic acid

مقایسه تاثیر زمان و روش استخراج بر مقدار ترکیبات فنولی و خواص آنتی اکسیدانی پوست سبز گردوی مناطق مختلف شمال ایران

محمد دولت آبادی^۱ - زینب رفتنی امیری^{۲*} - رضا اسماعیل زاده کناری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۱۷

چکیده

در این پژوهش، تاثیر سه منطقه شاهرود، بندر گز و هزار جریب از شمال ایران و سه روش استخراج غرقابی، ماکروویو و اولتراسوند در چهار زمان مختلف استخراج بر میزان ترکیبات فنولی استخراجی و خواص آنتی اکسیدانی عصاره پوست سبز گردو با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین معنی دار بودن تاثیر هر یک از فاکتورها به تنهایی و اثر متقابل آن ها، داده ها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و سپس میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ($P < 0/05$) مقایسه گردیدند. محتوای فنل کل عصاره ها با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو تعیین شد. فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره ها با استفاده از سنجش قدرت احیا کنندگی آهن III و مهار رادیکال های آزاد DPPH مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین خواص آنتی اکسیدانی همراه با بالاترین مقدار ترکیبات فنولی با ۹۳/۳۰ میلی گرم بر حسب اسید گالیک در گرم پوست سبز گردو مربوط به روش استخراج اولتراسوند در منطقه هزار جریب بود. با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش، بهترین منطقه، زمان و روش استخراج به ترتیب، هزار جریب، ۳۰ دقیقه با اولتراسوند شناخته شد.

واژه های کلیدی: پوست سبز گردو، ترکیبات فنولی، غرقابی، ماکروویو، اولتراسوند، فعالیت آنتی اکسیدانی

مقدمه

می باشد. تکنیک های قدیمی استخراج با حلال از جمله روش غرقابی، نیاز به زمان، مصرف حلال و نیروی کار بیشتری دارد. بنابراین توسعه و استفاده از تکنیک های جدید استخراج، برای کاهش زمان استخراج، مصرف کمتر حلال و آلودگی آن و افزایش میزان استخراج ترکیبات ضروری می باشد (Fernandez et al, 2013). در سال های اخیر استفاده از امواج مایکروویو در استخراج، نتایج ارزنده ای را ارائه داده است، این روش باعث افزایش بازده استخراج در زمان کوتاه تر با مصرف کمتر حلال شده است (Mandal et al, 2007). مایکروویو امواج الکترومغناطیسی با فرکانس ۰/۳ تا ۳۰۰ گیگاهرتز ایجاد کرده و با جذب این امواج توسط نمونه موجب تولید گرما درون آن شده و در نهایت با عث تخریب دیواره سلولی و رهایی ترکیبات درون سلولی می شود (Wang et al, 2006). استفاده از مایکروویو ساختار داخلی سلول را تحت تاثیر گذاشته و با استفاده از گرمادهی بالا موجب تسریع در فرآیند آبیگری می شود که این پدیده، سرعت انتقال جرم را از دیواره سلول افزایش داده و ترکیبات درون سلولی با سرعت بیشتر به خارج سلول انتقال می یابند (Chemat et al, 2005). یکی دیگر از روش های سریع استخراج روش اولتراسوند است. روش استخراج به کمک امواج اولتراسوند، یکی از ارزان ترین، ساده ترین و مؤثرترین روش ها است که قادر است بازده استخراج ترکیبات را افزایش داده و

گردو متعلق به رده نهان دانگان، زیر رده دولپه ای ها و راسته Amentales و خانواده Juglandaceae و جنس *Juglans* می باشد. تمام قسمت های گردو از جمله پوست سبز آن حاوی ترکیب های دارویی زیادی بوده و اثر مفیدی بر سلامت انسان دارد. تفاوت مناطق رشد گردو می تواند در مقدار ترکیبات فنولی استخراجی موثر باشد. Labuckas و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی مقدار ترکیبات فنولی واریته های مختلف گردو، ذخیره ترکیبات فنولی را با ژنوتیپ گیاه و زمان برداشت و شرایط آب و هوایی محل رشد آن ها مرتبط یافتند. از محصولات عمده ضایعات تولید گردو، پوست سبز آن است، که امروزه استفاده کمی دارد، پتانسیل این مواد طبیعی کم هزینه، به عنوان منبعی از ترکیبات فنولی، با فعالیت های ضد رادیکالی و ضد میکروبی شناخته شده است (Pereira et al, 2007). برای تحقیق خواص آنتی اکسیدانی گیاهان، اساسی ترین مرحله، استخراج و تهیه عصاره

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و

صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(*) - نویسنده مسئول: Email: zramiri@gmail.com

DOI: 10.22067/iftstr.v1395i0.46320

نمونه برداری

با انتخاب تصادفی چند درخت گردو در یکی از باغ‌های هر منطقه، و جمع‌آوری گردو از این درختان بصورت دستچین، بدون هیچگونه آسیبی به پوست سبز آن، به صورت کاملاً تصادفی انجام شد. هرس و استفاده از آفت‌کش شیمیایی برای درختان گردو در این مناطق مرسوم نمی‌باشد. با توجه به شرایط آب‌وهوای حاکم بر هریک از سه منطقه انتخابی، زمان برداشت گردو متفاوت است. برداشت در منطقه بندرگز در اول مهر ماه، منطقه شاهرود در ۱۵ مهر ماه و منطقه هزارجریب در ۲۵ مهر ماه سال ۱۳۹۲ انجام شد.

آماده‌سازی نمونه برای استخراج ترکیبات فنولی

پس از جمع‌آوری گردوها پوست سبز آن جدا و در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پوست‌های سبز گردو قبل از یخ‌زدایی توسط آسیاب خرد شد و بلافاصله ترکیبات فنولی آن با استفاده از حلال اتانول- آب (به نسبت ۱:۱) استخراج شد.

استخراج ترکیب‌های فنولی

استخراج غرقابی

استخراج ترکیبات فنولی با استفاده از روش Fernandez و همکاران (۲۰۱۳) با کمی تغییرات انجام شد. بهترین حلال برای استخراج ترکیبات فنولی از پوست سبز گردوی این مناطق در تحقیق انجام شده توسط دولت‌آبادی و همکاران (۱۳۹۳)، اتانول- آب به نسبت (۱:۱) تعیین شده بود. پس از آماده‌سازی جهت بهتر قرار گرفتن حلال در مجاورت ماتریکس نمونه از همزن مغناطیسی با دور ۶۰ دور در دقیقه در مدت زمان‌های ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد.

استخراج به کمک امواج ماکروویو

استخراج ترکیبات فنولی به روش ماکروویو با استفاده از روش Chemat و همکاران (۲۰۰۵) با کمی تغییرات انجام شد. استخراج با دستگاه ماکروویو در مدت زمان‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه انجام شد. از آنجایی که کنترل دما در این دستگاه امکان‌پذیر نبود، برای جلوگیری از افزایش دما، تبخیر حلال اتانول و همچنین اثر سوی افزایش دما بر ترکیبات فنولی، در مراحل (۴، ۶ و ۸ دقیقه)، به ازای هر دو دقیقه نمونه از دستگاه خارج شده و پس از سرد شدن تا دمای ۲۵ الی ۳۰ درجه سانتی‌گراد ادامه استخراج برای زمان باقی مانده انجام شد.

استخراج به کمک امواج اولتراسوند

استخراج ترکیبات فنولی به روش امواج اولتراسوند با استفاده از روش Sotillo و همکاران (۱۹۹۴) انجام شد. استخراج به کمک حمام

زمان استخراج را کاهش دهد، در نتیجه بازده فراوری را بیشتر کند (Chen et al, 2010). امواج صوتی که فرکانس‌های بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز دارند، در یک ماده جامد، مایع و گاز نوسان ایجاد می‌کنند. برخلاف امواج الکترومغناطیسی، امواج صوتی در یک ماده پخش شده و در طی پخش شدن دارای چرخه‌های انقباضی و انبساطی در محیط می‌باشند. انبساط باعث افزایش فاصله بین ملکولی شده و انقباض، حباب‌هایی را در یک مایع ایجاد کرده و فشار منفی تولید می‌کند. و در نهایت، متلاشی شدن این حباب‌ها باعث ایجاد پدیده کاویتاسیون می‌شود. تأثیرات مکانیکی اولتراسوند، باعث آسیب دیدن دیواره سلولی و نفوذ بیشتر حلال به درون سلول شده و انتقال جرم را بهبود می‌بخشد. فرایندی که در طی زمان استخراج توسط امواج اولتراسوند در محیط استخراج صورت می‌گیرد باعث تسهیل و آزادسازی محتوای درون سلولی می‌شود (Vilkha et al, 2008). علاوه بر روش استخراج، نوع حلال بکارگیری شده در استخراج ترکیبات فنولی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است در این خصوص Olivera (۲۰۰۸) تأثیر حلال‌های مختلف در استخراج ترکیبات فنولی از پوست سبز گردو را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. حلال‌های استفاده شده با میزان قطبیت متفاوت شامل: آب، اتانول و مخلوط آب با اتانول به نسبت (۱:۱) بوده است. نتایج نشان داد، در بین حلال‌های انتخابی، حلال آب- اتانول دارای بازده استخراج ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری بود. همچنین مدت زمانی که برای استخراج ترکیبات فنولی در نظر گرفته می‌شود حائز اهمیت می‌باشد بطوری که با افزایش زمان می‌توان میزان ترکیبات فنولی استخراجی در عصاره را افزایش داد. البته میزان افزایش زمان دارای محدودیت بوده و در روش‌های مختلف استخراج متفاوت می‌باشد. Spigno و همکاران (۲۰۰۹) دلیل افزایش ترکیبات فنولی با افزایش زمان استخراج را این گونه توجیه می‌کنند که، با گذشت زمان، حلال فرصت پیدا می‌کند که به درون بافت گیاهی نفوذ کرده و همچنین ترکیبات فنولی نیز فرصت کافی برای جدا شدن از ماتریکس و ورود به حلال را دارند.

هدف از این پژوهش تأثیر روش‌های مختلف استخراج بر میزان ترکیبات فنولی استخراجی شده و خواص آنتی‌اکسیدانی عصاره حاصل از پوست سبز گردوی سه منطقه شاهرود، بندر گز و هزارجریب در شمال ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

معرف فولین سیوکالتیو، فری سیانید آهن، تری کلرو استیک اسید، کلرید آهن و الکل اتانول ۹۶٪ ساخت شرکت مرک آلمان تهیه شده از نمایندگی آن در ایران مورد استفاده قرار گرفت.

Excel انجام شد.

نتایج و بحث

استخراج ترکیبات فنولی به روش‌های غرقابی، ماکروویو و اولتراسوند

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، نشان داد فاکتورهای منطقه، زمان و روش استخراج هر یک به تنهایی و اثر متقابل زمان× روش استخراج اثر معنی‌داری بر مقدار استخراج ترکیبات فنولی داشته ولی اثر متقابل زمان× منطقه و منطقه× روش استخراج اثر معنی‌داری بر میزان استخراج ترکیبات فنولی ندارد ($P < 0.05$).

در شکل ۱ مشاهده می‌شود در بین روش‌های انتخابی بالاترین مقدار ترکیبات فنولی در روش استخراج به کمک امواج اولتراسوند با میانگین استخراج ۶۱/۴۳ میلی‌گرم ترکیبات فنولی برحسب اسید گالیک در گرم پوست سبز گردو می‌باشد بعد از آن روش ماکروویو با میانگین استخراج ۵۲/۰۳ در رتبه دوم و سپس روش غرقابی با میانگین استخراج ۳۲/۹۰ در رتبه سوم قرار گرفته است. این نتایج با گزارش Sutivisedsak و همکاران (۲۰۱۰) در مورد لوبیا، Proestos و همکاران (۲۰۰۸) در مورد رزماری و پونه کوهی، Lujan و همکاران (۲۰۰۶) در مورد برگ زیتون، Pan و همکاران (۲۰۰۳) در مورد برگ سبز چای مطابقت دارد. دما و فشار متمرکز می‌تواند در ماکروویو منجر به مهاجرت انتخابی سریع‌تر ترکیبات هدف از ماتریکس به محیط احاطه‌کننده و بازدهی بهتر استخراج نسبت به روش غرقابی گردد. در تحقیقی که توسط رضایی ارمی و همکاران (۱۳۹۲) در مورد برگ درخت گردو انجام شد، کل ترکیبات فنلی در روش غرقابی در حلال آب-اتانول (نسبت ۱:۱) در زمان ۲۴ ساعت ۸۴/۸۷ و در روش ماکروویو در زمان ۸ دقیقه ۹۵/۵۴ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک برحسب اسید گالیک گزارش شد. نتایج مشابهی توسط Goli و همکاران (۲۰۰۵) بر روی پوست پسته و محقق‌ی‌ترین و همکاران (۱۳۹۰) بر روی پوست سیب‌زمینی رقم راموس گزارش شده است. به‌منظور استخراج ترکیبات، غشاء سلول‌ها باید شکسته شود. حباب‌های ایجاد شده توسط امواج اولتراسوند، نیروهای برشی را ایجاد می‌کند که دیواره‌های سلول را بطور مکانیکی می‌شکند و انتقال مواد را بهبود می‌بخشد. اولتراسوند همچنین سبب کاهش اندازه ذرات شده و سطح تماس را افزایش می‌دهد و در نتیجه انتشار حلال دریافت افزایش می‌یابد. راندمان عصاره‌گیری باروش غرقابی تقریباً ۵۰٪ روش اولتراسوند با صرف زمان خیلی بیشتر بوده است، بنابراین روش اولتراسوند به دلیل کاستن قابل توجه زمان عصاره‌گیری و افزایش کارایی نسبت به روش غرقابی ارجح است.

اولترا سوند (مدل S30H ساخت کشور آلمان) با فرکانس ۵۰ الی ۶۰ کیلو هرتز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دقیقه انجام شد و برای جلوگیری از افزایش دمای از گردش آب سرد در مدت زمان استخراج استفاده شد. پس از پایان زمان استخراج در هریک از روش‌ها، عصاره‌ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف شد. برای جداسازی حلال اتانول از تبخیرکننده چرخشی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد.

اندازه‌گیری ترکیبات فنولی

میزان کل ترکیبات فنلی عصاره پوست سبز گردو با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو و قرائت جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (یونیکو ۲۱۰۰ uv,vis)، مطابق روش Siddhuraju و همکاران (۲۰۰۲) انجام شد.

ارزیابی فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH

توانایی مهار رادیکال آزاد DPPH به روش Li و همکاران (۲۰۰۵)، با قرائت جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (یونیکو ۲۱۰۰ uv,vis) انجام شد. آنگاه درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH طبق فرمول زیر محاسبه شد.

$$(1) \quad (\text{درصد جذب شاهد} / \text{درصد جذب شاهد} - \text{درصد جذب نمونه}) = \text{درصد مهار رادیکال‌های DPPH}$$

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به روش قدرت احیاکنندگی آهن III

اندازه‌گیری قدرت احیاکنندگی با استفاده از روش بکار گرفته توسط Arabshahi و همکاران (۲۰۰۷)، با قرائت جذب محلول در طول موج ۷۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (یونیکو ۲۱۰۰ uv,vis) انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

استخراج ترکیبات فنولی از پوست سبز گردو با استفاده از آزمایش فاکتوریل (۳×۳×۴) در قالب طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار برای هر تیمار انجام شد. فاکتورها، زمان استخراج در چهار سطح، روش استخراج در سه سطح غرقابی، اولتراسوند و ماکروویو و منطقه در سه سطح از شمال ایران بود. برای تعیین معنی‌دار بودن هر یک از فاکتورهای منطقه، زمان و روش استخراج به تنهایی و اثر متقابل آن‌ها بر میزان استخراج ترکیبات فنولی و خواص آنتی‌اکسیدانی از جدول تجزیه واریانس در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌دار ۹۵٪، با استفاده از نرم‌افزار SPSS - 19 و رسم نمودارها با نرم‌افزار

تأثیر روش‌های استخراج بر میزان ترکیبات فنولی استخراج شده از پوست سبز گردو



شکل ۱- میانگین مقدار فنول کل حاصل از روش‌های مختلف استخراج

افزایش می‌یابد بطوری که بالاترین میزان استخراج فنول کل در ۲۴ ساعت و در روش ماکروویو در ۸ دقیقه می‌باشد. Spigno و همکاران (۲۰۰۹) اثر زمان را روی غلظت ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تفاله انگور بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند، زمان و حرارت در استخراج، از پارامترهای مهمی برای بهینه‌سازی کاهش مصرف انرژی فرایند است. با گذشت زمان، حلال فرصت نفوذ به درون بافت گیاهی را داشته و ترکیبات فنولی نیز فرصت کافی برای جدا شدن از ماتریکس و ورود به حلال را دارند. اما در روش اولتراسوند مشاهده می‌شود که میزان ترکیبات فنولی استخراج شده با افزایش زمان تا ۳۰ دقیقه، افزایش و سپس با افزایش بیشتر زمان تا ۴۰ دقیقه، کاهش می‌یابد. مشابه با گزارش محققین و همکاران (۱۳۹۰) در فرایند استخراج ترکیبات فنولی با روش اولتراسوند، افزایش بیش از حد زمان استخراج، باعث از دست رفتن مقدار بیشتری از ترکیبات فنولی می‌شود.

اثر متقابل زمان × روش استخراج بر میزان استخراج ترکیبات فنولی از پوست سبز گردو

در شکل ۳ تأثیر افزایش زمان بر میزان استخراج ترکیبات فنولی در هریک از سه روش استخراج را به تفکیک نشان می‌دهد. در دو روش غرقابی و ماکروویو تأثیر متقابل زمان × روش استخراج در چهار زمان انتخابی براساس مقدار ترکیبات فنولی صعودی بوده و در روش استخراج اولتراسوند این تأثیر تا زمان ۳۰ دقیقه صعودی و بعد از آن

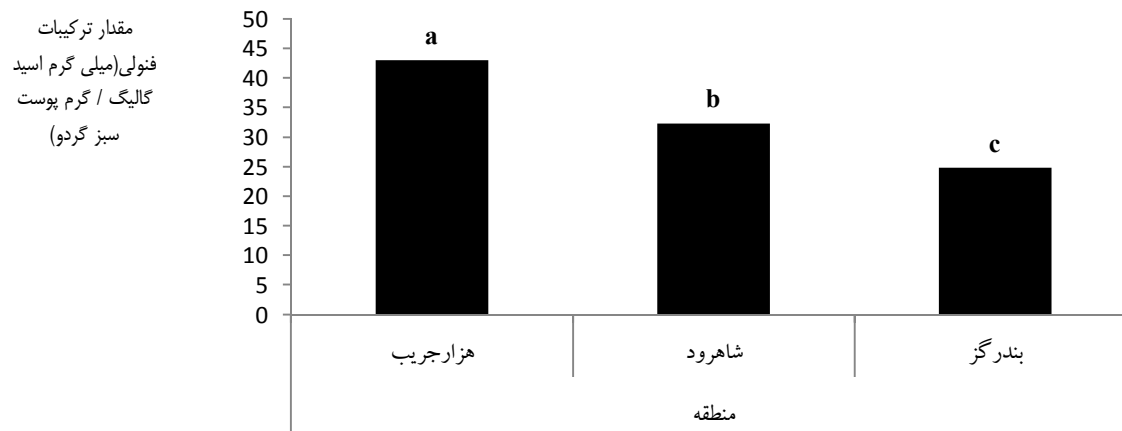
تأثیر منطقه بر میزان استخراج ترکیبات فنولی از پوست سبز گردو

میانگین مقدار ترکیبات فنولی استخراج شده از پوست سبز گردوی سه منطقه در شکل ۲ نشان می‌دهد که بالاترین میزان ترکیبات فنولی مربوط به منطقه هزار جریب است. احتمالاً، منطقه جغرافیایی، شرایط آب‌وهوایی و زمان برداشت گردوهای مورد مطالعه از عوامل مؤثر بر تفاوت میزان استخراج ترکیبات فنولی نمونه‌ها است. در تحقیقی که Olivera و همکاران (۲۰۰۸) بر روی پوست سبز گردو پنج واریته فرانکوت، مایته، ماربوت، ملانایز و پاریزن انجام دادند، مقدار فنول کل عصاره آبی از ۳۲/۶۱ تا ۷۴/۰۸ میلی گرم اسید گالیک بر گرم متغیر بود و دلیل این تغییرات را تأثیر واریته و عوامل دیگری از جمله فصل برداشت، شرایط جوی و منطقه جغرافیایی دانستند. Labuckas و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی ترکیبات فنولی واریته‌های مختلف گردو، تفاوت در مقدار ترکیبات فنولی را به تفاوت ژنوتیپ آن‌ها و زمان برداشت و شرایط آب‌وهوایی محل رشد این گیاهان نسبت دادند.

تأثیر زمان استخراج بر میزان استخراج ترکیبات فنولی از پوست سبز گردو

در جدول ۱ تأثیر زمان استخراج در هریک از روش‌ها به تفکیک مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش زمان استخراج در هر یک از روش‌های غرقابی و ماکروویو میزان استخراج ترکیبات فنولی

تا ۴۰ دقیقه نزولی می‌باشد

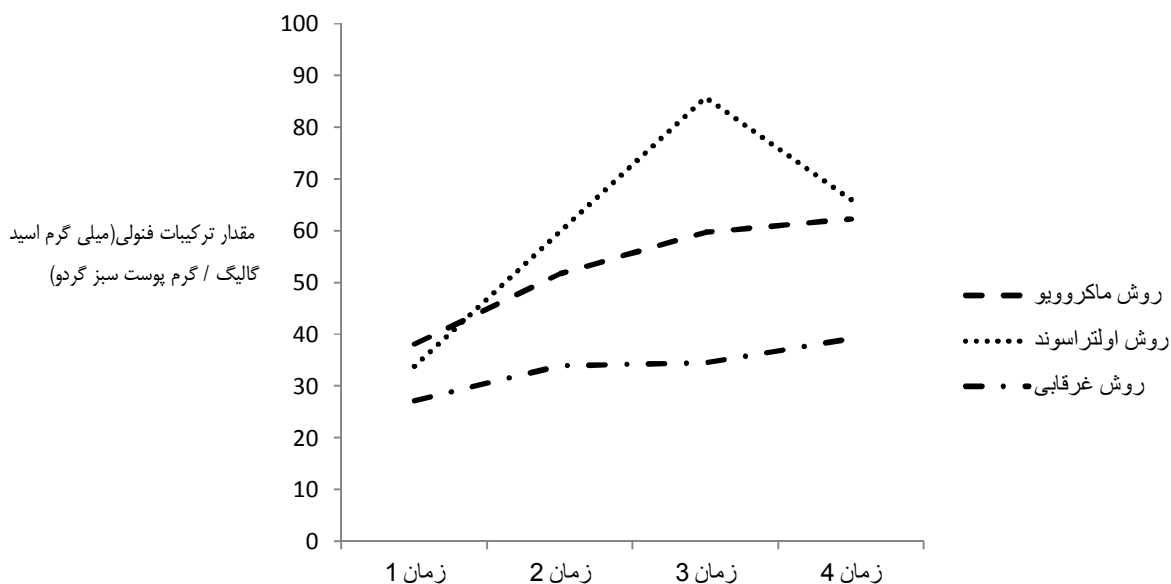


شکل ۲ - میانگین مقدار فنول کل پوست سبز گردو ی مناطق شمال ایران

جدول ۱- مقدار فنول استخراجی با روش‌های غرقابی، ماکروویو و اولتراسوند در زمان‌های مختلف مقدار فنول (میلی گرم اسید گالیک بر گرم پوست سبز گردو)

زمان ^۱	۱	۲	۳	۴
اولتراسوند	۳۳/۸۶ ^d	۵۹/۹۳ ^c	۸۵/۸۳ ^a	۶۶/۱۰ ^b
ماکروویو	۳۸/۱۳ ^d	۵۱/۸۱ ^c	۵۹/۸۱ ^b	۶۲/۳۸ ^a
غرقابی	۲۷/۱۸ ^d	۳۴/۰۳ ^c	۳۴/۵۳ ^b	۳۹/۱۷ ^a

زمان های ۱، ۲، ۳ و ۴ در روش غرقابی به ترتیب ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۳۰ دقیقه و در روش ماکروویو ۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه و در روش اولتراسوند ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دقیقه است.



شکل ۳- اثر متقابل زمان × روش استخراج بر میزان استخراج ترکیبات فنولی از پوست سبز گردو

خواص آنتی اکسیدانی

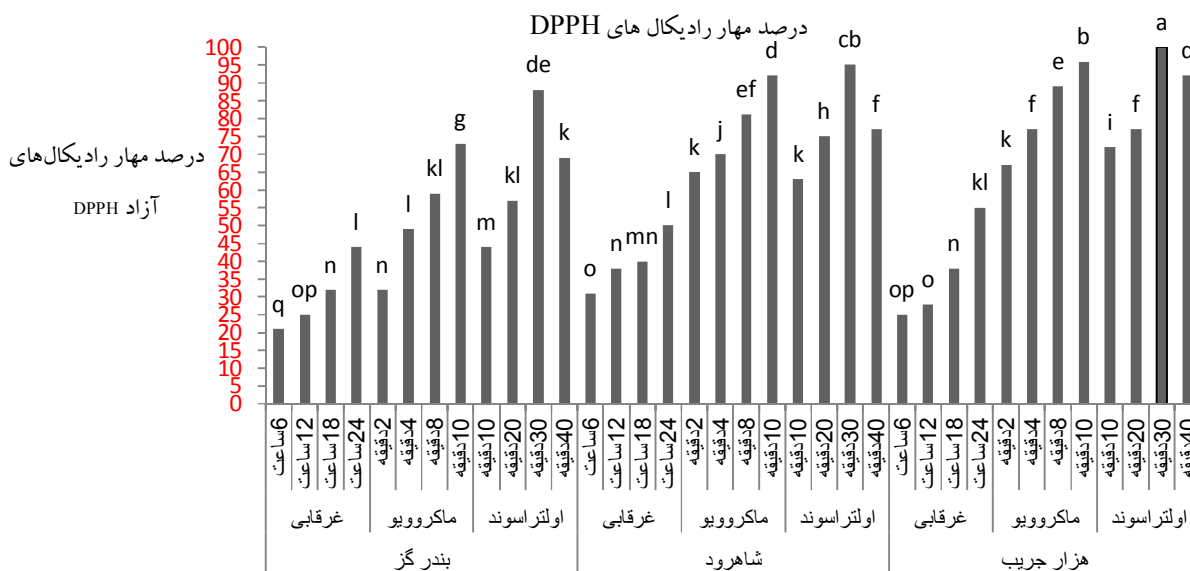
مهار رادیکال‌های آزاد DPPH

با توجه به شکل ۴ بیشترین مهار رادیکال‌های آزاد DPPH به مقدار ۱۰۰٪ متعلق به روش استخراج اولتراسوند حاصل از پوست سبز گردوی منطقه هزار جریب در زمان ۳۰ دقیقه می‌باشد. بیشترین غلظت ترکیبات فنولی نیز مربوط به همین عصاره بوده است. با افزایش غلظت ترکیبات فنولی فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH افزایش می‌یابد، زیرا در غلظت‌های بالاتر ترکیبات فنولی، به دلیل افزایش تعداد گروه‌های هیدروکسیل موجود در محیط واکنش، احتمال اهدای هیدروژن به رادیکال‌های آزاد DPPH و به دنبال آن قدرت مهارکنندگی عصاره افزایش می‌یابد (Sun et al., 2007).

در مطالعه Fernandez و همکاران (۲۰۱۳) بر روی پوست سبز گردو نشان دادند بالاترین مهار رادیکال‌های آزاد DPPH مربوط به عصاره‌های استخراجی توسط حلال ۵۰٪ اتانول بود که حاوی بیشترین ترکیبات فنولی بوده است. Olivera و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه بر روی پوست سبز پنج رقم گردوی مختلف نیز نتیجه گرفتند که بالاترین مهار رادیکال‌های آزاد DPPH متعلق به عصاره‌ی پوست سبز گردوی گونه Franquette با مقدار فنول کل ۷۸/۰۸ (میلی گرم اسید گالیگ در گرم پوست سبز گردو) بود که دارای بالاترین مقدار ترکیبات فنولی در بین پنج رقم گردو بوده است.

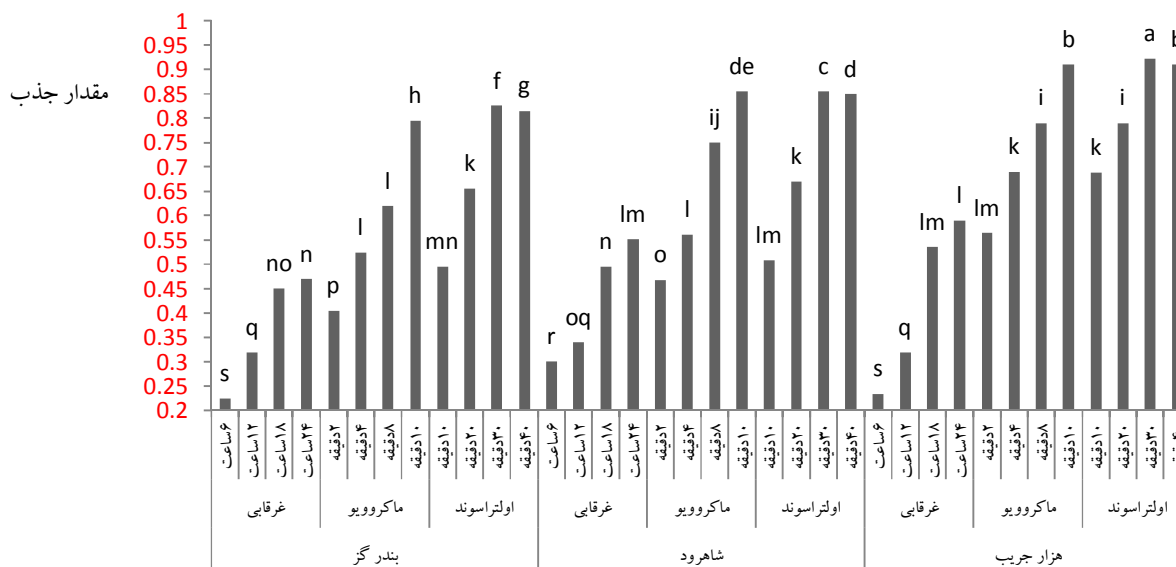
قدرت احیاکنندگی یون آهن III

با توجه به شکل ۵ بیشترین مقدار قدرت احیاکنندگی مربوط به عصاره بدست آمده از روش استخراج اولتراسوند حاصل از پوست سبز گردوی منطقه هزار جریب در زمان ۳۰ دقیقه بوده که دارای بیشترین غلظت ترکیبات فنولی است. بر اساس یافته‌های این تحقیق، نمونه‌های حاوی ترکیبات فنولی بالاتر، قدرت احیاکنندگی بالاتری هم داشته‌اند. ترکیبات فنولی عصاره می‌توانند با اهدای الکترون یا اتم‌های هیدروژن واکنش‌های زنجیری تشکیل رادیکال‌های آزاد را، شکسته و اکسایش را به تاخیر اندازد، وجود عوامل احیاکننده عامل اصلی قدرت احیاکنندگی است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی را از طریق شکستن واکنش زنجیری رادیکال آزاد انجام می‌دهند (Kumaran et al., 2007). Pereira و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی نیروی احیاکنندگی عصاره آبی شش رقم مختلف برگ گردو (لارا، پارزین، ملانایز، فرانکوت، مایته و ماربوت) گزارش کردند که قدرت احیاکنندگی عصاره‌ها وابسته به غلظت ترکیبات فنولی موجود در عصاره می‌باشد که مطابق با نتایج این پژوهش بوده است.



شکل ۴ - میانگین درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH عصاره‌های استخراجی پوست سبز گردوی سه منطقه شاهرود، بندرگز و هزار جریب در زمان‌های و روش‌های مختلف استخراج (با غلظت ۲۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر)

قدرت احیا کنندگی



شکل ۵- مقدار جذب عصاره‌های حاصل از پوست سبز گردوی سه منطقه در زمان‌ها و روش‌های مختلف استخراج (غلظت ۲۵ میکروگرم بر میلی لیتر)

نتیجه‌گیری

می‌یابد و با افزایش میزان ترکیبات فنولی خواص آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد.

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق پوست سبز گردوی مناطق مرتفع و کوهستانی (هزار جریب) مقدار فنول و خواص آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به منطقه معتدل (بندرگز) و منطقه نیمه خشک (شاهرود) داشته است که احتمالاً عامل آب‌وهوا به‌عنوان فاکتور تاثیرگذار می‌تواند در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

نتایج نشان می‌دهد که پوست سبز گردو حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات فنولی با قدرت آنتی‌اکسیدانی است که استخراج با روش اولتراسوند علاوه بر صرفه‌جویی در زمان استخراج، در مقدار استخراج ترکیبات فنولی نسبت به دو روش دیگر استخراج مورد مطالعه غرقابی، ماکروویو برتری داشته است. در استخراج ترکیبات فنلی، با افزایش زمان استخراج، فرصت بیشتری برای خروج این ترکیبات فراهم شده و مقدار استخراج فنل کل در عصاره افزایش

منابع

- دولت‌آبادی، م.، رفتنی‌امیری، ز. و اسماعیل‌زاده‌کناری، ر.، ۱۳۹۳، مقایسه فنل کل و خواص آنتی‌اکسیدانی پوست سبز گردوی سه منطقه از شمال ایران (شاهرود، بندرگز و هزارجریب)، فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، ۴۵، ۱۹۳-۱۸۲.
- رضایی ارمی، س.، جعفری، م.، خمیری، م. و بیات، ه.، ۱۳۹۲، استخراج عصاره برگ گردوی بومی ایران با امواج مایکروویو و بررسی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی ترکیب‌های فنولی حاصل، تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۹، ۸۷۹-۸۹۸.
- محقق‌ی ثمرین، آ.، پورآذرنگ، ه.، الهامی‌راد، ا.، دزاشیبی، ز. و همت‌یار، ن.، ۱۳۹۰، استخراج ترکیبات فنولیک پوست سیب‌زمینی راموس با دو روش پرکولاسیون و اولتراسوند و ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره آن در روغن سویا، فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، ۸، ۹۱-۸۱.
- Arabshahi-Delouee, S. and Urooj, A. 2007. Antioxidant properties of various solvent extracts of mulberry (*Morus indica* L.) leaves. *Food Chemistry*, 102(4), 1233-1240.
- Chemat, S., Ait-Amar, H., Lagha, A. and Esveld, D.C. 2005. Microwave-assisted extraction kinetics of terpenes from caraway seeds. *Chemical Engineering and Processing*, 44(12), 1320-26.
- Chen, X.P., Wang, W.X., Li, S.B., Xue, J.L., Fan, L.J., and Sheng, Z.J. 2010. Optimization of ultrasound-assisted

- extraction of Lingzhi polysaccharides using response surface methodology and its inhibitory effect on cervical cancer cells. *Carbohydrate Polymers*, 80, 944-948.
- Fernandez- Agullo, A., Pereira, E., Freire, M. S., Valentao, Andrade, P. B., Gonzalez-Alvareza, and Pereira, J. A. 2013. Influence of solvent on the antioxidant and antimicrobial properties of walnut (*Juglans regia* L.) green husk extracts. *Industrial Crops and Products*, 42, 126- 132.
- Goli, A.H., Barzegar, M. and Sahari, M.A. 2005. Antioxidant activity and total phenolic compounds of pistachio (*Pistachia Vera*) hull extracts. *Food Chemistry*, 92, 521-525.
- Kumaran, A. and Karunakaran, R.J. 2007. In vitro antioxidant activities of methanol extracts of five *Phyllanthus* species from India. *LWT- Food Science and Technology*, 40, 344-352.
- Labuckas, D. O., Maestri, D. M., Perell, M., Martnez, M. L., and Lamarque, A. L. 2008. Phenolics from walnut (*Juglans regia* L.) kernels: Antioxidant activity and interactions with proteins. *Food Chemistry*, 107(2), 607-612.
- Li, J.W., Ding, S.D. and Ding, X.L. 2005. Comparison of antioxidant capacities of extracts from five cultivars of Chinese jujube. *Process Biochemistry*, 40(11), 3607-3613.
- Lujan, R. J., R. J., Rodriguez. And Castro, M. D. L. 2006. Multivariate optimization of the microwave assisted extraction of oleuropein and related biophenols from olive leaves. *Journal of Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 385(4), 753-759.
- Mandal, V., Mohan, Y. and Hemalatha, S. 2007. Microwave Assisted extraction- An innovative and promising extraction tool for medicinal plant research. *Food Chemistry*, 92, 144-151.
- Oliveira, I., Sousa, A., Ferreira, I., Bento, A., Estevinho, L. and Pereira, J.A. 2008. Total phenols, antioxidant potential and antimicrobial activity of walnut (*Juglans regia* L.) green husks. *Food and Chemical Toxicology*, 46(7), 2326-2331.
- Pan, X., Niu, G. and Liu, H. 2003. Microwave-assisted extraction of tea polyphenols and tea caffeine from green tea leaves. *Chemical Engineering and Processing*, 42(2), 129-133.
- Pereira, J. A., Oliveira, I., Sousa, A., Valento, P., Andrade, P. B., Ferreira, I.C.F.R., Ferreres, F., Bento, A., Seabra, R. and Estevinho, L. 2007. Walnut (*Juglans regia* L.) leaves: Phenolic compounds, antibacterial activity and antioxidant potential of different cultivars. *Food and Chemical Toxicology*, 45(11), 2287-2295.
- Proestos, C. and Komaitis, M. 2008. Application of microwave-assisted extraction to the fast extraction of plant phenolic compounds. *LWT-Food Science and Technology*, 41(4), 652-659.
- Sotillo, R. D., Hadley, M. and Holm, E. T. 1994. Potato peel waste: Stability and antioxidant activity of a Freeze-Dried Extract. *J. Food Sci.*, 59(5), 1031-1033.
- Siddhuraju, P., Mohan, P. S. and Becker, K. 2002. Studies in the antioxidant activity of Indian laburnum (*Cassia fistula* L.): A preliminary assessment of crude extracts from stem bark, leaves, flowers and fruit pulp. *Food Chemistry*, 79(2), 61-67.
- Spigno, G. and De Faveri, D.M. 2009. Microwave-assisted extraction of tea phenols: A phenomenological study. *Journal of Food Engineering*, 93(2), 210-217.
- Sutivisedsak, N., Cheng, H.N., Willett, J.L., Lesch, W.C., Tangsrud, R.R. and Biswas, A. 2010. Microwave assisted extraction of phenolics from bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Research International*, 43(2), 516-519.
- Sun, T., powers M.R. and Tang, J. 2007. Evaluation of the antioxidant activity of asparagus, broccoli and their juices. *Food Chemistry*, 105(1), 101-106.
- Stampar, F., Solar, A., Hudina, M., Veberic, R. and Colaric, M. 2006. Traditional walnut liqueur-cocktail of phenolics. *Food Chemistry*, 95(4), 627-631.
- Vilkha, K., Mawson, R., Simons, L. and Bates, D. 2008. Applications and opportunities for Ultrasound assisted extraction in the food industry - A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 161-169.
- Wang, L. and Weller, C.L. 2006. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends Food Sci. Technol.*, 17, 300-312.



Comparison of the effect of time and extraction methods on the phenolic compounds and antioxidant properties of walnut green husk of different regions of northern Iran

M. Dolat abadi¹, Z. Raftani Amiri^{2*}, R. Esmailzadeh Kenari³

Received: 2015.04.27

Accepted: 2015.08.08

Introduction: In recent years, much attention has been focused on agricultural wastes especially those containing phenolic compounds with natural antioxidant properties. One of these sources is the green husks of walnuts. The contents of phenolic compounds of plants are influenced under various factors including genetic factors, agricultural varieties and the species, climate and extraction procedures. Extraction is the first step for researchers who work on plants. Traditional extraction techniques with solvent such as water have disadvantages such as time consuming process, solvent consumption and high labor work. So the need to develop and use new extraction techniques, including combination of ultrasound bath and microwave devices, has provided valuable results. This method increases the mass transfer rate of the cell wall and intracellular compounds more rapidly transported out of the cell. In the ultrasound method to create cavitation in the extraction process and with collapse of bubbles and mechanical effects on the cell wall and most influential into the cell solvent improves the mass transfer. Extraction process performed by ultrasound process was used to facilitate the release of the intracellular content. These two methods can increase extraction efficiency within a shorter time and using less solvent, increasing the amount of extracted compounds are less damaging to the environment. Three different weather conditions for walnut production in northern Iran and different methods for extraction and measurement of phenolic compounds were adapted to find the best area and the most efficient extraction method.

Materials and methods: Three areas were selected from north parts of Iran including Bandar Gaz with mild climate, Shahrood with semi-arid climate and Hezarjerib region with mountainous climate located in the Alborz Mountain chains in which walnut is one of their major products. Walnuts randomly were picked by hand without any damage to their husks from a few walnut trees in a random garden in each region. The selected walnut trees were almost similar and were about 35 to 40 years old. In the selected areas, it is not conventional to use pesticides or chemicals and toppings for walnut trees. Walnuts collected were transported to the lab in cold conditions (8 to 10° C) and after cleaning the walnuts, green husks were separated and kept at -18 °C. Solvent extraction of phenolic compounds was carried out by choosing ethanol - water in a ratio of (1-1) by soaking, ultrasound and microwave methods at different times. The amount of phenolic compounds was measured using a spectrophotometer device with the aid of using the Folin Ciocalteu reagent, and antioxidant properties were measured using DPPH free radical scavenging and regenerative power of Iron III.

Results and discussion: This research was carried out on a factorial design (3×3×4) with three replications with Duncan's test for comparison of averages at the 95% confidence level. Comparing the extraction methods (soaking, microwave and ultrasound) showed that the most efficient method was ultrasound method at 30 minutes and the highest phenolic compounds in walnut green husk was for Hezarjerib area. In addition to the savings in time of extraction and safety in this method, the extraction of phenolic compounds is preferred to the other two methods. The results showed that the antioxidant properties were increased with increase in the amount of phenolic compounds. The results of this study also revealed that the walnuts green husks from Hezarjerib had the highest antioxidant properties followed by temperate region (Bandargaz) and semi-arid region (Shahrood).

Keywords: Antioxidant property, Immersion, Microwave, Phenolic compounds, Ultrasound, Walnut green husks

1, 2 and 3. M. Sc. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
(*Corresponding Author Email: zramiri@gmail.com)

بهینه‌سازی تولید پنیر فراپالایش کم‌چرب با استفاده از تلفیق پروتئین‌های آب پنیر و تیمار آنزیمی به روش سطح پاسخ

عرفان دانش^۱ - حسین جوینده^{۲*} - وحید سمواتی^۳ - مصطفی گودرزی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۲۵

چکیده

شواهد علمی نشان داده است که مصرف چربی ارتباط مستقیمی با بیماری‌های مختلفی از جمله چاقی، دیابت، سفت شدن دیواره رگ‌ها و فشار خون دارد. به همین دلیل طی سال‌های اخیر تقاضا برای محصولات کم‌چرب افزایش چشمگیری پیدا کرده است. پنیر به‌عنوان یک فراورده لبنی با ارزش نقش پررنگی در رژیم غذایی جامعه دارد. با این حال این فراورده حاوی مقادیر بالایی از چربی می‌باشد که سبب ایجاد نگرانی‌های از جانب مصرف‌کنندگان شده است. در این پژوهش از روش سطح پاسخ به‌منظور مطالعه اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز (۲-۰ واحد به ازای هر گرم پروتئین)، محلول کنسانتره پروتئینی آب پنیر یا WPC (۱۶-۰ درصد) و سطوح چربی (۱۰-۰ درصد) بر خواص کیفی و بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیر فراپالایش کم‌چرب استفاده گردید. نتایج نشان داد که کاهش چربی باعث افزایش معنی‌دار سفتی، ارتجاع‌پذیری و میزان رطوبت می‌شود اما چسبندگی و امتیاز پذیرش کلی نمونه‌های پنیر کاهش می‌یابد. برخلاف WPC، تیمار آنزیمی با ترانس گلوتامیناز سفتی، پیوستگی و ارتجاع‌پذیری را بطور معنی‌داری افزایش داد اما میزان رطوبت و چسبندگی پنیر را کاهش داد. در این میان آنزیم ترانس گلوتامیناز اثر معنی‌داری بر امتیاز کلی ارزیابی حسی نداشت اما خواص حسی نمونه‌های پنیر کم‌چرب با جایگزینی WPC با ناتراوه تا میزان ۸٪ بهبود یافت. نتایج بهینه‌سازی با طرح مرکب مرکزی نشان داد که بهترین نمونه با خواص حسی و بافتی مطلوب زمانی حاصل می‌شود که فرمول پنیر شامل ۵/۹۵٪ چربی، ۰/۵۶ واحد آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۸/۷۹٪ محلول WPC باشد.

واژه‌های کلیدی: پنیر فراپالایش کم‌چرب، آنزیم ترانس گلوتامیناز، کنسانتره پروتئین آب پنیر، روش سطح پاسخ

مقدمه

به‌طور مداوم در حال افزایش می‌باشد (Ritvanen و همکاران، ۲۰۰۵). در این میان، تولید و توسعه محصولات لبنی با چربی کاهش یافته، از جمله پنیر که منبعی از پروتئین‌های با کیفیت بالا، کلسیم و مواد تغذیه‌ای دیگر می‌باشند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (Michaelidou و همکاران، ۲۰۰۳). با این حال، مصرف‌کنندگان، اغلب پنیر با محتوای چربی کاهش یافته را به‌عنوان پنی‌ری فاقد کیفیت رضایت بخشی تلقی می‌کنند. کاهش مقدار چربی در پنیر، منجر به نقص‌های مختلفی از جمله بافت سخت و لاستیکی، کاهش قابلیت ذوب و کشش ضعیف می‌شود. به‌علاوه طعم، رنگ و احساس دهانی پنیر نیز به گونه‌ای منفی تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

یکی از مهمترین رهیافت‌ها در ساخت پنیرهای کم‌چرب برای بهبود ویژگی آن‌ها، افزایش میزان رطوبت تا حدی است که نسبت رطوبت به پروتئین در پنیرهای کم‌چرب برابر یا بیشتر از نوع پرچرب آن بشود (Broadbent و همکاران، ۲۰۰۱). پروتئین آب‌پنیر دارای خواص عملکردی گوناگون بویژه افزایش ظرفیت نگهداری آب در

چاقی، سلامت مردم در کشورهای در حال توسعه و صنعتی را به شدت تهدید نموده است. چاقی منجر به بیماری‌هایی همانند دیابت نوع دو، گرفتگی عروق و انواع خاصی از سرطان می‌شود. کاهش میزان چربی در رژیم غذایی، روش خوبی برای مدیریت میزان مصرف چربی می‌باشد. بر همین اساس تقاضا برای محصولات کم‌چرب

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۲ و ۳- به‌ترتیب دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه کشاورزی و

منابع طبیعی رامین خوزستان

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

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

DOI: 10.22067/iftstr.v1395i0.45870

تهیه شده به روش سنتی را مورد بررسی قرار داده‌اند. Fernandes-DE و Bordinon-Luiz-Sa (۲۰۱۰) اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز بر خواص ژل شیر و پنیر فرآوری شده را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد اضافه کردن آنزیم ترانس گلوتامیناز بعد از رنت، منجر به افزایش قوام در پنیر فرآوری شده و کاهش قابل توجه در میزان پروتئین آب پنیر می‌شود. در پژوهشی دیگر Sayadi و همکاران (۲۰۱۳) اتصال عرضی پروتئین‌های آب پنیر به‌وسیله تیمار آنزیمی ترانس گلوتامیناز را در پنیر سفید ایرانی کم‌چرب مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تیمار آنزیمی شیر، نسبت رطوبت به پروتئین در پنیر کم‌چرب را افزایش داده و بطور قابل توجهی باعث کاهش تنش در نقطه گسیختگی، مدول یانگ و ذخیره‌سازی می‌شود. غنی‌سازی شیر با ایزوله پروتئین آب پنیر^۸ قبل از تیمار آنزیمی شاخص سختی بافت را افزایش داد.

در میان انواع مختلف پنیر در ایران، پنیر فرالایش دارای بالاترین مصرف سرانه می‌باشد (Karami و همکاران، ۲۰۰۸). پنیر فرالایش پنیری است با بافت نرم و مالش‌پذیر که در نتیجه فرالایش شیر تا ماده خشک حدود ۳۵٪ و سپس انعقاد آنزیمی ناتراوه حاصل بدست می‌آید. این پنیر دارای دوره رسیدن کوتاه مدتی است و با وجود pH نهایی ۴/۸، ماندگاری آن تنها حدود ۲ ماه می‌باشد. پنیر تولید شده دارای ۴۰ تا ۴۵٪ چربی در ماده خشک است. پس با مصرف آن، چربی زیادی وارد رژیم غذایی مصرف‌کننده می‌گردد (Alizadeh و همکاران، ۲۰۰۶). با این وجود، تا کنون پژوهشی در ارتباط با تولید پنیر فرالایش کم‌چرب با استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز صورت نگرفته است. از این رو، هدف پژوهش پیش-رو، بهبود ویژگی‌های پنیر سفید ایرانی کم‌چرب فرالایش از طریق تلفیق محلول کنسانتره پروتئین‌های آب پنیر همراه با تیمار آنزیمی ترانس گلوتامیناز میکروبی می‌باشد. چالش اصلی موجود در این مسیر، دستیابی به سطح بهینه مورد نیاز از پروتئین آب پنیر و آنزیم ترانس گلوتامیناز برای تولیدی پنیری با ویژگی‌های مطلوب می‌باشد. دستیابی به فرمولاسیون بهینه، نیازمند تولید تیمارهای فراوان با فرمولاسیون‌های مختلف می‌باشد که خود، هزینه‌های زمانی و مالی بسیاری را بر پژوهشگر و تولیدکننده تحمیل خواهد کرد. طی سال‌های اخیر، روش سطح پاسخ به‌عنوان روشی کارآمد برای بهینه‌سازی فرمولاسیون محصولات غذایی جدید معرفی شده است. با استفاده از این روش، تعداد تیمارها و به دنبال آن، هزینه و زمان مورد نیاز برای انجام پژوهش به‌گونه قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (Goudarzi و همکاران، ۲۰۱۵). بر این اساس، هدف پژوهش جاری، بهینه‌سازی اجزای فرمولاسیون پنیر سفید ایرانی کم‌چرب فرالایش با استفاده از روش سطح پاسخ و در جهت تولید محصولی با ویژگی‌های مطلوب

مواد غذایی می‌باشند و از این نظر می‌توانند به‌عنوان جایگزین چربی در تولید محصولات لبنی بکار گرفته شوند (Ye & Taylor، ۲۰۰۹). تحقیقات دامنه داری در زمینه استفاده از کنسانتره پروتئینی آب پنیر در پنیرهای مختلفی نظیر پنیر سفید ایرانی (Jooyandeh، ۲۰۰۹)، موزارلا (Rudan و همکاران، ۱۹۹۹)، دمیاتی (El-Sheikh و همکاران، ۲۰۰۱)، هاوارتی (Lo & Bastion، ۱۹۹۸) و مانچگو (Lobato-Calleros و همکاران، ۲۰۰۱) صورت پذیرفته است که نتایج اکثر آنها افزایش راندمان تولید و بهبود طعم و بافت محصول بوده است. Jooyandeh (۲۰۰۹) گزارش نمود که باب کارگیری کنسانتره پروتئینی آب پنیر^۱ در تولید پنیر سفید ایرانی، راندمان پنیرسازی افزایش یافته و پنبیری با بافت نرم‌تر تولید می‌گردد. Lo و Bastion (۱۹۹۸) نیز مشاهده نمودند که از WPC بخوبی می‌توان به‌عنوان جایگزین چربی در تولید پنیر کم‌چرب استفاده نمود. در تحقیقی دیگر Koca و Metin (۲۰۰۴) خصوصیات بافتی، حسی و ذوب شدن پنیر تازه کشار^۲ کم‌چرب (تقریباً ۷۰٪ کاهش چربی) تولید شده با جایگزین چربی بر پایه پروتئین آب پنیر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این محققین نیز نشان داد که با استفاده از جایگزین‌های چربی، میزان سفتی^۳، قابلیت ارتجاع^۴، حالت آدامسی^۵ و حالت صمغی^۶ کاهش یافت اما چسبندگی^۷ افزایش پیدا می‌نماید.

یکی دیگر از استراتژی‌هایی که اخیراً در جهت بهبود ویژگی‌های ناخوشایند پنیرهای کم‌چرب بکار گرفته شده است اصلاح ماتریس پنیر از طریق اتصال عرضی پروتئین‌های آن توسط آنزیم ترانس گلوتامیناز می‌باشد. آنزیم ترانس گلوتامیناز یک آسیل ترانسفراز است که می‌تواند واکنش‌هایی مانند ایجاد اتصالات عرضی، انتقال آسیل و دامیداسیون را کاتالیز یا تسریع کند. اتصالات عرضی بین اسیدها آمینه‌های گلوتامین و لیزین موجب تغییر در ویژگی‌های رئولوژیکی دلمه و روند انعقاد دلمه، جلوگیری از درهم‌آمیختگی گلبول‌های چربی، باقی ماندن مقدار بیشتری از پروتئین‌های آب پنیر در دلمه و تحت تأثیر قرار دادن مراحل اولیه و ثانویه انعقاد در پنیر می‌شود (Gaspar & de Góes-Favoni، ۲۰۱۵). بر این اساس، به‌وسیله تیمار آنزیمی می‌توان بافت پنیر حاصله از تلفیق کنسانتره پروتئینی آب پنیر را اصلاح نمود (Ozer و همکاران، ۲۰۱۳). تاکنون پژوهشی در مورد تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز روی پنیر سفید ایرانی فرالایش کم‌چرب صورت نگرفته است و بیشتر تحقیقات اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز بر روی پنیر

1 Whey protein concentrate (WPC)

2 Keshar

3 Hardness

4 Springness

5 Chewiness

6 Gumminess

7 Adhessiveness

8 Whey protein isolate (WPI)

حسی و بافت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

از شیر با کیفیت بالای موجود در کارخانه پگاه خوزستان به منظور تهیه ناتراوه یا رتنیت فراپالایش (دارای ۱۲/۳٪ پروتئین، ۲/۵٪ لاکتوز، ۱/۲٪ خاکستر و ۱۶٪ چربی) استفاده شد. پودر MPC یا کنسانتره پروتئینی شیر (دارای ۷۰٪ پروتئین، ۱۶/۵٪ لاکتوز، ۸٪ خاکستر و ۵/۵٪ چربی) از شرکت پگاه خراسان و پودر کنسانتره پروتئینی آب پنیر (دارای ۸۰٪ پروتئین، ۹٪ لاکتوز، ۵/۵٪ خاکستر و ۱٪ چربی) از شرکت NZMP نیوزلند خریداری شد. از آغازگر مزوفیل CHOOZIT 230 (محتوی سویه‌های لاکتوکوکوس لاکتیس زیرگونه کرموریس و لاکتیس) و ترموفیل YO-MIX 532 (محتوی سویه‌های استریتوکوکوس ترموفیلوس و لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس) در بسته بندی صنعتی شرکت لبنی دانیسکوی آلمان، رنت استاندارد کی مکس^۱ از شرکت لبنی هانسن دانمارک و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (EC ۱۳،۲،۳،۲) بدست آمده از استریتومایسس موبارانسیس^۲ با میانگین فعالیت ۱۰۰ واحد در گرم از شرکت BDF اسپانیا استفاده شد.

تولید پنیر

تمامی نمونه‌های پنیر با سطوح مختلف چربی با ماده خشک ۳۲ درصد مواد جامد شیر تولید شدند. به منظور تولید پنیرهای فراپالوده کم‌چرب از رتنیت یا ناتراوه پرچرب (حاوی ۱۶٪ چربی و ۳۲٪ ماده خشک) و محلول کنسانتره پروتئینی شیر^۳ (با ماده خشک برابر ۳۲٪) استفاده گردید. برای تهیه محلول کنسانتره پروتئینی آب پنیر، پودر WPC تا حصول ماده خشک ۳۲٪ با آب مقطر مخلوط و به مدت یک ساعت با همزن در دور پایین همگن شد. پس از اعمال فرایند حرارتی (۸۵°C به مدت ۵ دقیقه)، جهت هیدراته شدن بهتر پروتئین یا جذب مناسب آب توسط پروتئین، محلول آماده شده به مدت یک شب در یخچال نگهداری گردید (Sayadi و همکاران، ۲۰۱۳). در ادامه محلول کنسانتره پروتئینی آب پنیر در سطوح مختلف ۰ تا ۱۶٪ (حجمی/حجمی) جایگزین رتنیت کم‌چرب گردید. با توجه به تأثیر جایگزینی محلول WPC بر مقدار چربی ناتراوه کم‌چرب، مقدار محلول MPC افزوده شده به ناتراوه پرچرب به اندازه‌ای بود که پس از جایگزینی محلول WPC، درصد چربی ناتراوه به مقدار مورد نظر تنظیم گردد. سپس مخلوط در فشار ۷۰ بار با استفاده از دستگاه

هموژنایزر Ronghe machinery مدل JHG-Q60-P60 ساخت چین، هموژن و در دمای ۷۵°C به مدت ۱۵ ثانیه پاستوریزه شد. در ادامه، استارتر (۰/۰۱ گرم بر کیلوگرم ناتراوه) و رنت (۰/۰۳ گرم بر کیلوگرم ناتراوه) با مقدار کمی آب استریل با دمای ۳۰°C حل و به ناتراوه اضافه شد. تیمار آنزیمی ترانس گلوتامیناز همزمان با افزودن رنین انجام گرفت. پس از قرار گرفتن ناتراوه در ظروف پنیر ۲۰۰°C، ظروف به تونل انعقاد انتقال داده شد. بعد از سپری شدن مدت زمان لازم و تشکیل لخته، عمل نم‌زنی (۲٪ وزنی/وزنی) و درب‌بندی ظروف پنیر در دستگاه روتامین انجام گرفت. در پایان، ظروف کارتن گذاری شده پس از گرمخانه‌گذاری (دمای ۳۷°C) و رسیدن به ۴/۸ = pH به سردخانه با دمای (۱±۹°C) منتقل شدند. تمام نمونه‌های پنیر تولید شده در روز پنجم پس از تولید تحت آزمون‌های شیمیایی، بافت و حسی قرار گرفتند.

آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی

بجز اندازه‌گیری چربی، سایر ویژگی‌های شیمیایی با استفاده از روش‌های رسمی AOAC (۲۰۰۰) اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری pH با استفاده از دستگاه pH متر دیجیتال (مدل Metroh، 827، سوئیس) انجام گرفت. اسیدیته قابل تیتر بر حسب درصد اسید لاکتیک با استفاده از محلول یک نهم نرمال سود در حضور معرف فل‌فتالین اندازه‌گیری شد. درصد ماده جامد کل و خاکستر نیز به ترتیب توسط خشک کردن به روش آون تحت خلأ و خاکسترگیری در کوره و تا رسیدن به وزن ثابت انجام پذیرفت. میزان چربی نمونه‌ها به روش ژربر و مطابق روش Egan و همکاران (۱۹۸۱) تعیین شد.

اندازه‌گیری رنگ

رنگ نمونه‌های پنیر با استفاده از رنگ‌سنج سری ۴۰۰-CR، انجام گرفت که در آن L^* (L.value)، a^* (a.value) و b^* (b.valu) به ترتیب نشان‌دهنده سفیدی، زردی و قرمزی می‌باشند (Cooke و همکاران، ۲۰۱۳).

آزمون بافت

آزمون پروفیل بافت (TPA) غالب‌ترین آزمون تقلیدی مورد استفاده می‌باشد که نمونه به تقلید از اقدامات انسان در طی عمل جویدن دو بار فشرده می‌شود. TPA توسط دستگاه سنجش بافت (Stable Micro System، مدل TA.XT.PLUS، انگلستان) و با استفاده از پروپ شماره P/5S، مطابق روش Jooyandeh (۲۰۰۹) انجام گرفت. سرعت پروپ ۱ میلی‌متر بر ثانیه تنظیم شد و پروپ تا ۵۰٪ ارتفاع اولیه نمونه‌های پنیر (عمق ۱۰ میلی‌متر) به داخل نمونه

1 Chy-Max

2 *Streptomyces mobaraensis*

3 Milk protein concentrate powder (MPCP)

4 Chroma meter

رگرسیون می‌باشد. X_1 : واحد آنزیم ترانس گلوتامیناز، X_2 : درصد چربی و X_3 : مقدار کنسانتره پروتئینی آب پنیر متغیرهای مستقل می‌باشند.

نتایج و بحث

ارزیابی فیزیکوشیمیایی

اثرات سه فاکتور چربی، آنزیم ترانس گلوتامیناز و کنسانتره پروتئینی آب پنیر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی پنیر در روز پنجم مورد ارزیابی قرار گرفت. برهمکنش این سه متغیر اثر خطی معنی‌داری بر رطوبت نمونه‌های پنیر داشت ($p \leq 0.01$)، اما اثرات متقابل و درجه دوم معنی‌دار نبود (جدول ۳). کاهش چربی در پنیر موجب افزایش رطوبت شد، که نتایج حاصل منطبق با نتایج Rahimi و همکاران (۲۰۰۷) و Madadlou و همکاران (۲۰۰۵) است. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش آنزیم ترانس گلوتامیناز میزان رطوبت کاهش می‌یابد که علت آن به دلیل ایجاد پیوندهای ایزوپپتیدی توسط آنزیم و خروج آب از ماتریس پنیر می‌باشد (Ozer و همکاران، ۲۰۰۳). افزودن محلول کنسانتره پروتئینی آب پنیر به دلیل قابلیت جذب آب باعث افزایش نسبت رطوبت به پروتئین شد که با نتایج Jooyandeh (۲۰۰۹) مطابقت داشت. برهمکنش این سه فاکتور بر روی اسیدیته و pH اثر قابل ملاحظه‌ای نداشت.

جدول ۱- سطوح متغیرهای مختلف و کدهای مرتبط

متغیر مستقل	کد و سطح مربوطه			
	-۱/۶۸	-۱	۰	+۱
آنزیم ترانس گلوتامیناز	۲	۱/۵۹	۱	۰/۴
چربی	۱۰	۷/۹۷	۵	۲/۰۳
کنسانتره آب پنیر	۱۶	۱۲/۷۶	۸	۳/۲۴

اندازه‌گیری رنگ

نتایج حاصل از آزمون رنگ با دستگاه رنگ‌سنج نشان داد که افزایش چربی و کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر به‌صورت خطی باعث افزایش میزان L (سفیدی) گردید اما افزایش آنزیم به‌صورت خطی تأثیر معکوسی بر سفیدی نمونه‌های پنیر داشت (جدول ۳). نتایج حاصل از تحقیق Rudan و همکاران (۱۹۹۹) بر پنیر موزارلا با نتایج این تحقیق همخوانی داشت.

نفوذ کرد. سرعت پروب فیل و پس از آزمون به ترتیب ۲ و ۱ میلی‌متر بر ثانیه تنظیم گردید. در این آزمون ویژگی‌هایی همانند سختی، چسبندگی، پیوستگی^۱ و الاستیسیته بررسی شد. نمونه‌های پنیر قبل از آزمایش از یخچال خارج و به مدت نیم ساعت در دمای محیط برای رسیدن به دمایی ثابت نگهداری شدند. آزمون بافت در تمامی نمونه‌های پنیر در سه قسمت مختلف پنیر انجام پذیرفت و میانگین نتایج ثبت گردید.

ارزیابی حسی

در این قسمت مهمترین خصوصیات حسی نمونه‌های پنیر سفید ایرانی فرایالایش شامل: رنگ و ظاهر، طعم و رایحه و قوام و بافت توسط توسط ۱۰ نفر از دانشجویان صنایع غذایی دانشگاه رامین خوزستان ارزیابی گردید. نمونه‌ها از طریق یک آزمون ترجیحی ده‌نقطه‌ای با یکدیگر مقایسه شدند. بر اساس اهمیت هر یک از صفات کیفی مورد نظر، برای هر یک از صفات بنا بر پیشنهاد IDF (۱۹۸۷) ضریبی در نظر گرفته شد، بدین نحو که نتایج مربوط به طعم و رایحه که بیشترین اهمیت را دارد در ضریب ۵، بافت در ضریب ۴ و ظاهر و رنگ در ضریب ۱ ضرب شد که در مجموع هر تیمار حداکثر ۱۰۰ امتیاز به عنوان پذیرش کلی می‌توانست بدست آورد (Katsiari و همکاران، ۲۰۰۲).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به‌منظور مطالعه اثرات سه فاکتور چربی، آنزیم ترانس گلوتامیناز و کنسانتره پروتئینی آب پنیر از طرح مرکب مرکزی^۲ استفاده شد و ۲۰ تیمار مختلف با ۶ تکرار در نقطه مرکزی تولید و مورد آزمایش قرار گرفت. سطوح متغیرهای مستقل در جدول ۱ و تیمارهای آزمایش در جدول ۲ ذکر شده است.

آنالیز آماری نمونه‌ها با استفاده از روش سطح پاسخ و با نرم‌افزار Design Expert (version 9) انجام گرفت. این طرح، دربرگیرنده گروهی از تکنیک‌های آماری و ریاضی است که امکان رسیدن به شرایط بهینه در سیستم‌های پیچیده را فراهم می‌کند. با کاربرد آنالیز رگرسیون، شاخص‌های اندازه‌گیری شده در قالب یک چند جمله‌ای درجه دوم بر طبق معادله زیر مدل‌سازی شدند.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 \quad (1)$$

که در آن Y پاسخ‌های مختلف و β_0 ضرایب ثابت مدل‌ها است. $(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ ، $(\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33})$ و $(\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23})$ به‌ترتیب نشان‌دهنده اثر خطی، درجه دوم و برهمکنش مدل پیشنهادی به وسیله آنالیز چندگانه

1 Cohesiveness

2 Central composite

جدول ۲- تیمارهای تصادفی آزمایش براساس متغیرهای مستقل در طرح مرکب مرکزی

تیمار	مقدار واحد آنزیم	چربی	کنسانتره پروتئین آب پنیر
۱	۱	۱۰	۸
۲	۱	۵	۰
۳	۰/۴	۲/۰۳	۱۲/۷۶
۴	۱	۵	۸
۵	۱/۵۹	۲/۰۳	۱۲/۷۶
۶	۱/۵۹	۷/۹۷	۱۲/۷۶
۷	۰/۴	۷/۹۷	۱۲/۷۶
۸	۱	۵	۸
۹	۱	۵	۸
۱۰	۱	۵	۱۶
۱۱	۰/۴	۲/۰۳	۳/۲۴
۱۲	۱	۵	۸
۱۳	۰/۴	۷/۹۷	۳/۲۴
۱۴	۲	۵	۸
۱۵	۱/۵۹	۱/۵۹	۳/۲۴
۱۶	۱	۱	۸
۱۷	۱/۵۹	۱/۵۹	۳/۲۴
۱۸	۱	۱	۸
۱۹	۱	۱	۸
۲۰	۰	۰	۸

جدول ۳- ضرایب رگرسیون مدل‌های چند جمله‌ای برای پاسخ‌های مختلف

ضرایب	رطوبت	سفیدی	رنگ و ظاهر	بافت	عطر و طعم	مقبولیت	سفتی	چسبندگی	الاستیسیت	پیوستگی
مدل	۶۸/۷۰**	۸۴/۴۴**	۷/۴۸**	۸/۳۱**	۸/۰۴**	۸۰/۹۳**	۰/۳۷**	-۰/۰۸**	۸/۸۴**	۰/۴۸**
اثر خطی										
β_1	-۰/۵۶*	-۰/۷۷**	ns	۰/۳۶	-۰/۴۱	ns	۰/۰۲*	-۰/۰۰۷**	۰/۵۹**	۰/۰۳**
β_2	-۱/۰۶**	۰/۷۴**	۱/۳۳**	۰/۵۰*	۱/۱۵**	۹/۰۵**	-۰/۰۴**	۰/۰۳**	-۰/۴۸*	ns
β_3	۰/۵۷*	۰/۸۳**	ns	۰/۵۰*	۰/۴۱	۴/۴۸**	-۰/۰۴**	۰/۰۱**	-۰/۴۹*	-۰/۰۱**
اثر متقابل										
β_{12}	ns	ns	ns	ns	-۰/۴۲	ns	ns	-۰/۰۰۵**	ns	ns
β_{13}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	۰/۰۰۳	ns	ns
β_{23}	ns	ns	۱/۲۹*	ns	۱/۰۰**	۶/۱۹*	ns	ns	ns	ns
اثر درجه دوم										
β_{11}	ns	ns	-۰/۶۰	-۰/۴۶*	-۰/۶۵**	-۵/۶۹**	ns	۰/۰۰۲	ns	۰/۰۱*
β_{22}	ns	ns	-۱/۲۳**	-۰/۸۲**	-۰/۷۵**	-۸/۲۵**	-۰/۰۲*	ns	-۰/۲۵	-۰/۰۱*
β_{33}	ns	ns	ns	-۰/۶۸**	-۱/۴۹**	-۱۰/۲۳**	-۰/۰۳**	۰/۰۰۴*	-۰/۵۷**	-۰/۰۲**
R^2	۰/۸۱۹۹	۰/۹۴۸۹	۰/۹۰۴۷	۰/۹۰۰۳	۰/۹۶۷۳	۰/۹۶۰۸	۰/۹۵۷۵	۰/۹۹۰۸	۰/۹۰۵۹	۰/۹۲۷۴
Adj- R^2	۰/۷۸۶۲	۰/۹۳۹۴	۰/۸۱۸۹	۰/۸۱۰۵	۰/۹۳۷۹	۰/۹۲۵۵	۰/۹۲۰۱	۰/۹۸۲۶	۰/۸۲۱۲	۰/۸۶۲۰
احتمالضعف برازش	۰/۱۳	۰/۵۵	۰/۹۲	۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۳۰	۰/۰۸	۰/۹۰	۰/۰۷	۰/۰۵۹
ضریب پراکندگی	۰/۸۴	۰/۳۴	۱۳/۷۱	۷/۵۴	۸/۲۰	۶/۴۸	۵/۹۵	۵/۵۷	۵/۱۳	۳/۱۴

بدون ستاره ($p \leq 0/05$)، یک ستاره ($p \leq 0/01$) دو ستاره ($p \leq 0/001$)، ns در سطح ۹۵ درصد معنی دار نمی باشد

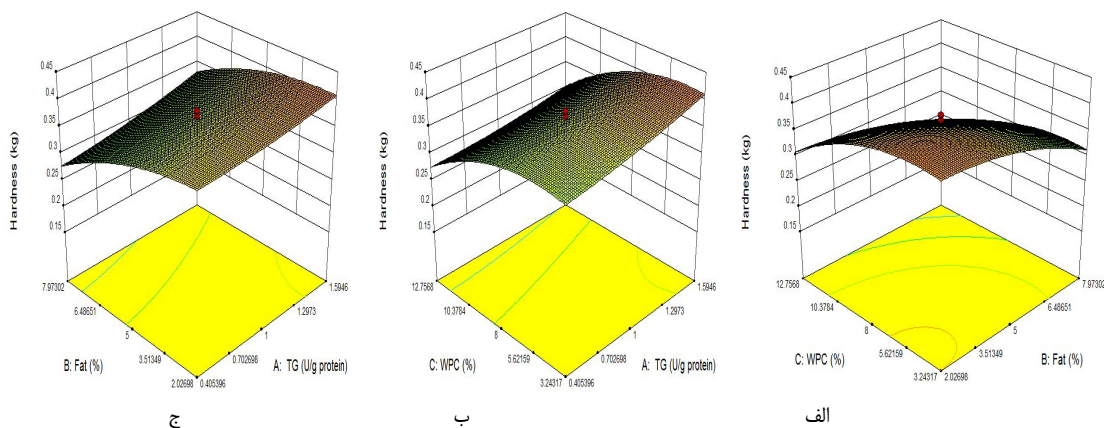
آزمون بافت

سفتی

از نقطه نظر حسی، سفتی نیروی لازم برای نفوذ دندان‌های آسیاب به داخل نمونه و از نظر مکانیکی، نیروی لازم برای رسیدن به یک تغییر شکل می‌باشد (Gunasekaran & Mehmet, ۲۰۰۳). سفتی نمونه‌های پنیر بر اساس بیشترین نیرو در گاز زدن اول تعریف می‌شود. بررسی نمودار حاصل از آزمون TPA نشان داد که با افزایش مقدار آنزیم، سفتی پنیر به صورت معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند. عملکرد اصلی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در پنیر تشکیل پیوندهای ایزوپپتیدی بیشتر می‌باشد که منجر به تشکیل یک شبکه ژل با اندازه ذرات و خلل و فرج کوچکتر می‌شود (Imm و همکاران، ۲۰۰۰). این عمل در نهایت منجر به انقباض محدود شبکه و متعاقب آن سینرزیس می‌شود. چون ماتریس پنیر از تعامل مولکول‌های پروتئین ساخته شده است، با افزایش مقدار پروتئین یا نقاط تماس بیشتر در ماتریس پنیر بافت سخت‌تری پیش‌بینی می‌شود (Ozer و همکاران، ۲۰۰۳). در تحقیق حاضر، افزایش مقدار آنزیم موجب افزایش پیوندهای بین میسل‌های پروتئینی شد و به این ترتیب مقدار مقاومت به تغییر شکل افزایش یافت. Di Piero و همکاران (۲۰۱۰) و Mleko و همکاران (۲۰۰۴) در یافته‌های مشابه نشان دادند آنزیم ترانس‌گلوتامیناز خصوصیات مکانیکی پنیر دانبو را تغییر می‌دهد و با افزایش غلظت آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، زمان و میزان انرژی لازم برای فرو رفتگی پنیر افزایش می‌یابد. (شکل ۱، نمودارهای الف و ب).

با افزایش چربی پنیر تا سطح ۵٪، سفتی نمونه‌ها با شیب کمی کاهش پیدا کرد اما با بیشتر شدن چربی سفتی پنیر با شیب بیشتری کاهش پیدا کرد. وجود چربی در بین شبکه پروتئینی، اتصالات عرضی را کاهش داده و در نتیجه سختی بافت پنیر را کاهش می‌دهد (Imeson, ۲۰۰۰). Romeih و همکاران (۲۰۰۲) و Rudan و همکاران (۱۹۹۹)، سفت تر شدن بافت در پنیر کم چرب را به عدم جایگزینی مساوی رطوبت با چربی به همان میزان چربی کاهش یافته و در نتیجه کاهش فاز پراکنده در ماتریس پنیر (که منجر به متراکم شدن شبکه می‌شود) نسبت داده‌اند (شکل ۱ الف و ج).

پروتئین‌های آب پنیر با تقلید کردن نقش چربی و افزایش سهم جز نرم‌کننده، بافت پنیر کم‌چرب را که اغلب خیلی سفت می‌شود بهبود می‌بخشد (Zalazar و همکاران، ۲۰۰۲). در تحقیق حاضر، افزودن کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر دنا توره شده به داخل پنیر سفتی نمونه‌های پنیر را کاهش داد و با افزایش هرچه بیشتر آن میزان سفتی بیشتر کاهش یافت و در مقادیر ۱۶٪ جایگزینی با رتنتیت پنی‌ری با بافت بسیار نرم حاصل شد. نتایج این تحقیق منطبق با گزارشات Lee و همکاران (۲۰۱۳) بود که ثابت کردند افزودن آب‌پنیر به پنیر پروسس میزان سفتی پنیر را کاهش می‌دهد و در صورت دنا توره شدن اولیه آب پنیر این مقدار کاهش سفتی به دلیل قابلیت جذب آب بالای آب پنیر دنا توره شده بیشتر است. با توجه به نتایج تحقیق، اثرات متقابل سه متغیر مورد بررسی معنی‌دار نبود (شکل ۱، نمودارهای ب و ج).



شکل ۱- نمودارهای رویه سه بعدی برهمکنش متغیرهای مستقل بر سفتی نمونه‌های پنیر

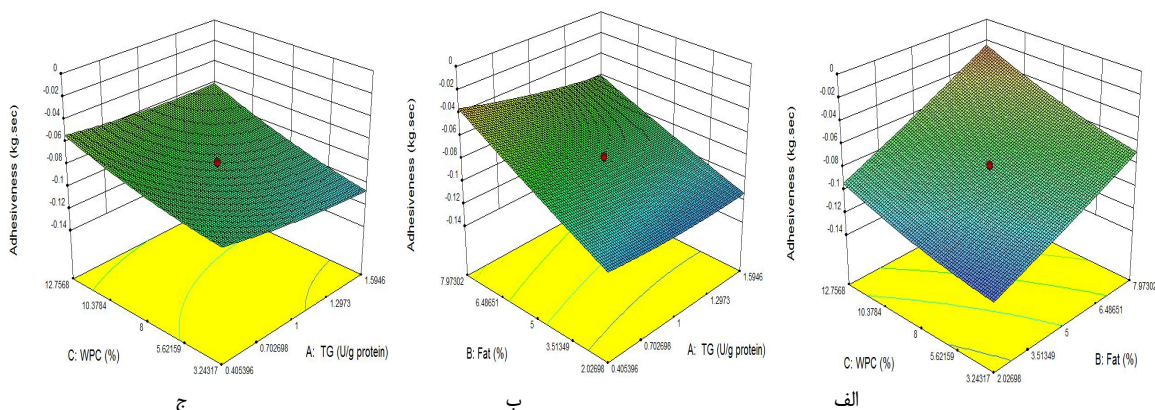
ها در تماس است را چسبندگی گویند (Fox و همکاران، ۲۰۰۰). پنیر-های با چربی بیشتر، ساختار ماتریس پروتئینی بازتر و ضعیف‌تری دارند که موجب افزایش چسبندگی می‌شود (Dimitreli & Thomareis, ۲۰۰۷). در تحقیق انجام شده، افزایش چربی در

چسبندگی

از نقطه نظر حسی میزان نیروی لازم برای جدا کردن غذا از سقف دهان در حین خوردن و از نظر مکانیکی کار لازم برای غلبه بر نیروهای چسبندگی بین سطح غذا و سطح سایر موادی که غذا با آن-

پنیر به دلمه پنیر سفید ایرانی عنوان کرد که چسبندگی با افزایش مقدار کنسانتره تخمیری آب پنیر بیشتر می‌شود. آنزیم ترانس گلوتامیناز تأثیر کمی بر چسبندگی نمونه‌ها داشت. با افزایش آنزیم تا ۱ واحد به دلیل پیوندهای محکم‌تر و بسته شدن فضاهای خالی چسبندگی به مقدار کمی کاهش ولی با افزایش بیشتر آنزیم چسبندگی تغییری پیدا نکرد (شکل ۲، نمودارهای الف و ب و ج).

نمونه‌های پنیر همواره باعث افزایش چسبندگی شده است که با نتایج Metin و Koca (۲۰۰۴) و Saint و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشت. بررسی اثر کنسانتره پروتئینی آب پنیر بر چسبندگی نمونه‌های پنیر نشان داد که افزایش میزان کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر موجب بیشتر شدن چسبندگی شده است که دلیل آن را می‌توان به نرم بودن و بافت سست پنیر تولید شده با کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر نسبت داد. Jooyandeh (۲۰۰۹) در بررسی اثر افزودن کنسانتره تخمیری آب

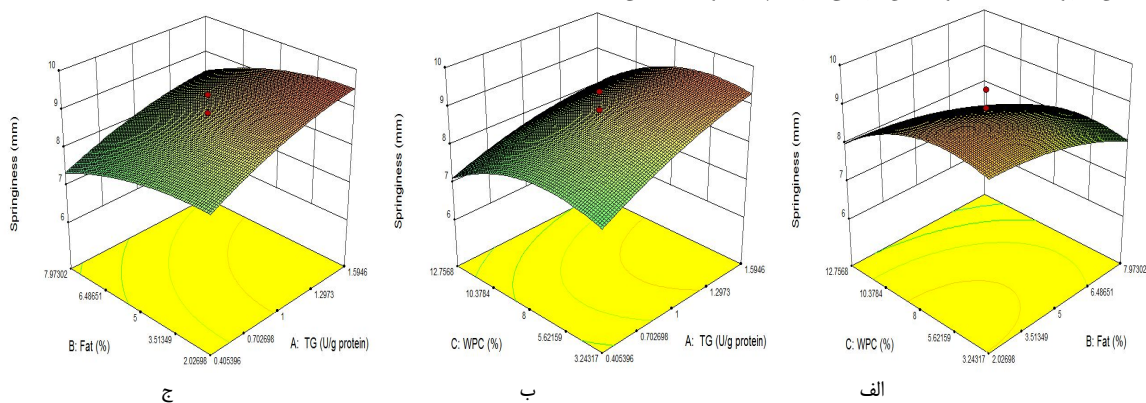


شکل ۲- نمودارهای رویه سه‌بعدی برهمکنش متغیرهای مستقل بر چسبندگی نمونه‌های پنیر

(۲۰۰۰). در تحقیق حاضر الاستیسیته نمونه‌های پنیر با افزایش درصد چربی به صورت خطی کاهش معنی‌داری پیدا کرد. در تطابق با نتایج این تحقیق، Metin و Koca (۲۰۰۴) اعلام کردند که پنیر کم‌چرب الاستیسیته بیشتری نسبت به پنیر پرچرب دارد و دلیل آن را به ساختار ماتریس پروتئین محکم در پنیر کم‌چرب نسبت دادند.

ارتجاع‌پذیری

ارتجاع‌پذیری یا الاستیسیته از نظر حسی درجه یا شدت بازگشت به حالت اولیه بعد از فشار جزئی در دهان می‌باشد و از نقطه نظر مکانیکی مقدار تغییر شکلی است که یک نمونه تغییر شکل یافته بعد از برداشتن نیرو به حالت اولیه‌ش برمی‌گردد (Fox و همکاران،



شکل ۳- نمودارهای رویه سه‌بعدی برهمکنش متغیرهای مستقل بر الاستیسیته نمونه‌های پنیر

پروتئین‌ها بافت پنیر را به طرف سفتی می‌برد و الاستیسیته نیز هماهنگ با آن افزایش پیدا می‌کند. نتایج این تحقیق با نتایج Ozer و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت. آنها اعلام کردند که الاستیسیته

آنزیم ترانس گلوتامیناز به صورت خطی الاستیسیته نمونه‌های پنیر را افزایش داد و تأثیر آن در مقایسه با چربی بیشتر بود. آنزیم ترانس گلوتامیناز با ایجاد ساختار پروتئینی محکم و پیوند دادن

می‌شود و پنیرهای با چربی کمتر بافت نامطلوب‌تری از نظر پانلیست‌ها دارند که در مطابقت با تحقیق حاضر بود به طوری که نمونه‌های با چربی کمتر، کمترین امتیاز را از نظر بافت بدست آوردند. نتایج حاصل از پژوهش Koca و Metin (۲۰۰۴) هم دلالت بر کاهش امتیاز بافت با کاهش چربی دارد. با افزایش کنسانتره پروتئینی آب پنیر تا ۸٪ امتیاز بافت نمونه‌های پنیر افزایش معنی‌داری یافت اما افزایش بیشتر آن تأثیر خاصی بر امتیاز بافت نمونه‌های پنیر نداشت.

عطر و طعم

عطر و طعم نمونه‌های پنیر مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل نشان داد افزایش چربی بیشترین تأثیر را بر عطر و طعم داشته و همواره افزایش چربی باعث کسب امتیاز بیشتر شده است که این نتایج مطابق با نتایج Koca و Metin (۲۰۰۴)، Mistry (۲۰۰۱) و Sipahioglu و همکاران (۱۹۹۹) می‌باشد. افزایش کنسانتره پروتئینی آب پنیر تا حدود ۸٪ موجب اصلاح طعم گردید اما استفاده از مقادیر بالای آنزیم کاهش امتیاز عطر و طعم نمونه‌های پنیر را به‌همراه داشت.

پذیرش کلی

بررسی نتایج حاصل از پذیرش کلی نمونه‌های پنیر نشان داد که افزایش چربی امتیاز پذیرش کلی را بطور معنی‌داری افزایش داده است. همچنین WPC اثر دوگانه‌ای بر پذیرش کلی داشت و با افزایش آن تا ۸٪ پذیرش کلی افزایش معنی‌داری یافت اما از ۸ تا ۱۶٪ مقبولیت کلی نمونه‌ها کاهش یافت. اثرات متقابل این دو فاکتور نیز معنی‌دار بود. در این میان آنزیم ترانس گلوتامیناز اثر معنی‌داری بر روی پذیرش کلی نمونه‌های پنیر نداشت. (شکل ۴ الف و ب و ج)

بهینه‌سازی

با استفاده از این روش آماری برای هر پاسخ یک معادله درجه دوم بدست آمد. جدول ۳ ضرایب رگرسیون مدل‌ها برای پاسخ‌های مختلف و سایر خصوصیات مدل ارائه شده را نشان می‌دهد. با جایگزینی متغیرهای مستقل X_1 : واحد آنزیم ترانس گلوتامیناز، X_2 : درصد چربی و X_3 : مقدار کنسانتره پروتئینی آب پنیر در معادله هر پاسخ می‌توان مقدار آن را پیشگویی کرد. به‌منظور بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیر فرایالایش کم‌چرب حد بالا و پایین و مطلوب هر یک از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده (پاسخ‌ها) و اهمیت آن‌ها تعیین شد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی نشان داد که با بکارگیری مقدار ۰/۵۶ واحد آنزیم به ازاء هر گرم پروتئین ناتراوه، جایگزینی ۸/۷۹٪ محلول WPC با رتنتیت و مقدار ۵/۹۵٪ چربی می‌توان پنیر کم‌چربی با ویژگی‌های نزدیک به پنیر پرچرب تولید نمود.

نمونه تیمار شده با آنزیم ترانس گلوتامیناز بیشتر از نمونه شاهد می‌باشد. افزایش WPC تا سطح ۸٪ تأثیر معنی‌داری بر الاستیسیته تیمارهای پنیر نداشت در حالی که افزایش بیشتر آن از ۸ تا ۱۶٪ الاستیسیته را کاهش داد. Jooyandeh (۲۰۰۹) با اضافه کردن کنسانتره تخمیری آب پنیر الاستیسیته نمونه‌های پنیر سفید ایرانی را کاهش داد. وارد کردن پروتئین‌های آب پنیر باعث افزایش جذب آب و سست شدن بافت پنیر و کاهش برگشت‌پذیری به حالت اولیه بعد از اعمال فشار می‌شود (شکل ۳، نمودارهای الف، ب و ج).

پیوستگی

قدرت پیوندهای داخلی سازنده پیکره یک ماده غذایی را پیوستگی می‌گویند. پیوستگی نمونه‌های پنیر تا افزایش آنزیم به ۱ واحد با شیب کمی افزایش پیدا کرد اما با بیشتر شدن مقدار آنزیم شیب افزایش پیوستگی نیز بیشتر شد. Ozer و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که پیوستگی نمونه‌های تیمار شده با آنزیم ترانس گلوتامیناز بیشتر از نمونه‌های شاهد می‌باشد. این نشان می‌دهد که تعداد و قدرت پیوندهای پروتئینی در پنیر توسط آنزیم ترانس گلوتامیناز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با افزایش جایگزینی WPC، پیوستگی نمونه‌های پنیر کاهش معنی‌داری پیدا کرد (جدول ۳). با افزایش رطوبت در داخل پنیر بافت آن نرم شده و پیوندهای داخلی ضعیف می‌شود که در نتیجه در برابر فشار وارده توسط دستگاه تحلیل‌گر بافت به آسانی و به‌صورت غیرقابل برگشت تغییر شکل می‌دهد (Zisu et al., 2005). درهرحال، Koca و Metin (۲۰۰۴) برخلاف نتایج این تحقیق گزارش نمودند که کاهش میزان چربی اثر معنی‌داری بر میزان پیوستگی نمونه‌های پنیر ندارد.

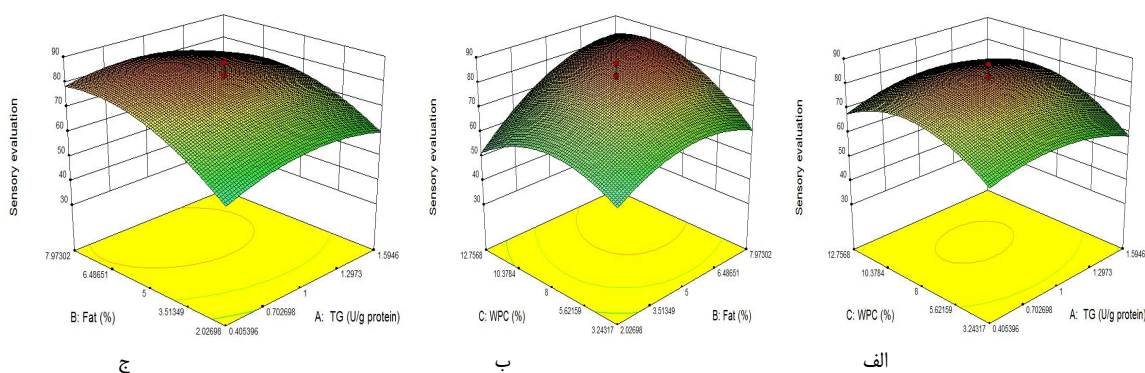
ارزیابی حسی

ظاهر و رنگ

بررسی نتایج حاصل از ارزیابی حسی توسط ارزیاب‌ها نشان داد که افزایش چربی بطور قابل ملاحظه‌ای میزان مقبولیت از نظر رنگ و ظاهر را افزایش می‌دهد که منطبق با نتایج Mistry (۲۰۰۱) بود. به‌جز اثر متقابل چربی و WPC بر رنگ و ظاهر نمونه‌های پنیر، سایر اثرات متقابل معنی‌دار نگردید.

بافت و قوام

افزایش آنزیم ترانس گلوتامیناز تا مقدار ۱ واحد موجب بهبود بافت پنیر شد اما استفاده بیشتر آنزیم به دلیل افزایش اتصالات درون و برون مولکولی پروتئین‌های شبکه کازئین (Imm و همکاران، ۲۰۰۰) سبب سفتی نامطلوب پنیر گردید. نتایج حاصل از مطالعه Zalazar و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که کاهش چربی باعث بافتی لاستیکی



شکل ۴- نمودارهای رویه سه بعدی برهمکنش متغیرهای مستقل بر امتیاز کلی نمونه‌های پنیر

پروتئینی آب پنیر) نشان داد که با تلفیق کنسانتره پروتئینی آب پنیر به همراه تیمار آنزیمی می‌توان محصولی با چربی پایین و خصوصیات تغذیه‌ای مفید تولید کرد که ویژگی‌های شبیه به پنیر پرچرب و مورد پسند مصرف‌کنندگان دارد. مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش از R^2 و $Adj-R^2$ بالا و معنی‌داری برخوردار بودند و همچنین آزمون عدم برازش در هیچ یک از آن‌ها معنی‌دار نبوده که نشان‌دهنده کارایی مدل‌های ارائه شده در پیش بینی پارامترهای مورد ارزیابی است. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان با توجه به فرمولاسیون پنیر کم‌چرب تولید شده، خصوصیات مورد نظر را پیش‌بینی و اصلاح نمود.

تیمار پیشنهادی با شرایط یکسان همانند سایر تیمارها تولید و نتایج حاصل از آن با نتایج پیشگویی شده توسط مدل مقایسه گردید (جدول ۴). عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵٪ بین نتایج پیشگویی شده و نتایج بدست آمده از تیمار پیشنهادی کارایی مدل‌ها را به‌خوبی اثبات نمود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آنالیز سطح پاسخ مربوط به طرح مرکب مرکزی با سه متغیر مستقل (آنزیم ترانس گلوتامیناز، چربی و کنسانتره

جدول ۴- مقایسه نتایج حاصل از آزمایش و نتایج پیش‌بینی شده نمونه بهینه

مقبولیت	سفتی (kg)	چسبندگی (kg.s)	الاستیسیته (mm)	پیوستگی	سفیدی (L)	مطلوبیت نتایج پیش‌بینی ^۱
نتایج پیش‌بینی	۸۸/۷۳	۰/۳۴۲	-۰/۰۷۰	۸/۵۸	۰/۴۷۴	۸۴/۷۷
نتایج آزمایشی	۹۰±۲/۰۶	۰/۳۴۵±۰/۰۰۳	-۰/۰۷۱±۰	۸/۶۰±۰/۰۶	۰/۴۶۲±۰/۰۱	۸۴±۱/۰۶

منابع

- Alizadeh, M., Hamed, M. & Khosroshahi, A., 2006, Modeling of proteolysis and lipolysis in Iranian white brine cheese, *Food Chemistry*, 97(2), 294-301.
- AOAC, 2000, Official Methods of Analysis. 17th ed, Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, USA.
- Broadbent, J., McMahon, D., Oberg, C. & Welke, D., 2001, Use of exopolysaccharide-producing cultures to improve the functionality of low fat cheese, *International Dairy Journal*, 11, 433-439.
- Cooke, D. R., Khosrowshahi, A. & McSweeney, P. L., 2013, Effect of gum tragacanth on the rheological and functional properties of full-fat and half-fat Cheddar cheese, *Dairy Science & Technology*, 93(1), 45-62.
- Dimitreli, 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.
- Di Piero, P., Mariniello, L., Sorrentino, A., Giosafatto, L. C., Chianese, L. & Porta, R., 2010, Transglutaminase-induced chemical and rheological properties of cheese, *Food Biotechnology*, 24, 107-120.
- El-Sheikh, M. M., Farrag, A. F., Shahein, N. M. & El-Shibiny, S., 2001, Low fat Domiati cheese with particulated whey protein concentrate (PWPC), *Egyptian Journal of Dairy Science*, 29(2), 331-342.

1 Desirability

- Egan, H., Kirk, R. S. & Sawyer, R., 1981, Pearson's Chemical Analysis of Foods. pp 497-499. eighth edition, *Longman Scientific and Technical Bath Press*, Avon, UK.
- Fernandes-DE Sa, E. M., & Bordignon-Luiz, M. T., 2010, The effect of transglutaminase on the properties of milk gels and processed cheese, *International journal of dairy technology*, 63(2), 243-251.
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, M. T. & McSweeney, P. L. H., 2000, Fundamentals of cheese science, Aspen publication.
- Gaspar, A. L. C. & de Góes-Favoni, S. P., 2015, Action of microbial transglutaminase (MTGase) in the modification of food proteins: A review, *Food chemistry*, 171, 315-322.
- Goudarzi, M., Madadlou, A., Mousavi, M. E. & Emam-Djomeh, Z., 2015, Formulation of apple juice beverages containing whey protein isolate or whey protein hydrolysate based on sensory and physicochemical analysis, *International Journal of Dairy Technology*, 68 (1), 70-78.
- Gunasekaran, S. & Mehmet, A. k. M., 2003, Cheese rheology and texture, CRC Press.
- IDF, 1987, Sensory evaluation of dairy products. Standard 99A, International Dairy Federation, Brussels.
- Imeson, A. P., 2000, Carrageenan. Hand book of Hydrocolloids. Edited by Phillips, G.O and Williams, P. A. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- Imm, J. Y., Lian, P. & Lee, C. M., 2000, Gelation and water binding properties of transglutaminase-treated skim milk powder, *Journal of Food Science*, 65, 200-205.
- Jooyandeh, H., 2009, Effect of fermented whey protein concentrate on texture of Iranian white cheese, *Journal of Texture Studies*, 40, 497-510.
- Karami, M., Ehsani, M. R., Mousavi, M. E., Rezaei, K. & Safari, M., 2008, Microstructural changes in fat during the ripening of Iranian ultrafiltered Feta cheese, *Journal of dairy science*, 91(11), 4147-4154.
- Katsiari, M. C., Voutsinas, L. P., Kondyli, E. & Alichanidis, E., 2002, Flavour enhancement of low-fat Feta-type cheese using a commercial adjunct culture, *Food chemistry*, 79(2), 193-198.
- Koca, N. & Metin, N., 2004, Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh Kashar cheese produced by using fat replacers, *International Dairy Journal*, 14, 365-373.
- Lee, S. K., Huss, M., Klostermeyer, H. & Anema, S. G., 2013, The effect of pre-denatured whey proteins on the textural and micro-structural properties of model processed cheese spreads, *International Dairy Journal*, 32(2), 79-88.
- Lobato-Calleros, C., Robles-Martinez, J. C., Caballero-Perez, J. F., Vernon-Carter, E. J. & Aguirre-Mandujano, E., 2001, Fat Replacers in Low-Fat Mexican Manchego Cheese, *Journal of Texture Studies*, 32(1), 1-14.
- Lo, C. G. & Bastian, E. D., 1998, Incorporation of native and denatured whey proteins into cheese curd for manufacture of reduced fat, Havarti-type cheese, *Journal of dairy science*, 81(1), 16-24.
- Madadlou, A., Khosrowshahi, A. & Mousavi, M. E., 2005, Rheology, microstructure, functionality of low-fat Iranian White cheese made with different concentrations of rennet, *Journal Dairy Science*, 88, 3052-3062.
- Michaelidou, A., Katsiari, M., Kondyli, E., Voutsinas, L. & Alishanidis, E., 2003, Effect of a commercial adjunct culture on proteolysis in low-fat Feta-type cheese, *International Dairy Journal*, 13, 179-189.
- Mistry, V., 2001, Low fat cheese technology, *International Dairy Journal*, 11, 413-422.
- Mleko, S., Gustaw, W., Glibowski, P. & Pielecki, J., 2004, Stress relaxation study of UF-milk cheese with transglutaminase, *Egyptian Journal of Dairy Science*, 32, 237-244.
- Özer, B. H., Robinson, R. K. & Grandison, A. S., 2003, Textural and microstructural properties of Urfa cheese (a white-brined Turkish cheese), *International Journal of Dairy Technology*, 56, 171-176.
- Ozer, B., Adnan Hayaloglu, A., Yaman, H., Gürsoy, A. & Sener, L., 2013, Simultaneous use of transglutaminase and rennet in white-brined cheese production, *International Dairy Journal*, 33, 129-134.
- Rahimi, J., Khosrowshahi, A., Madadlou, A. & Aziznia, S., 2007, Texture of Low-Fat Iranian White Cheese as Influenced by Gum Tragacanth as a Fat Replacer, *American Dairy Science Association*, 90, 4058-4070.
- Ritvanen, T., Lampolahti, S., Lilleberg, L., Tupasela, T., Isoniemi, M., Appelbye, U. & Uusi-Rauva, E., 2005, Sensory evaluation, chemical composition and consumer acceptance of full fat and reduced fat cheeses in the Finnish market, *Food quality and preference*, 16(6), 479-492.
- Romeih, EA, Michaelidou, A., Biliaderis, CG. & Zerfiridis, G., 2002, Low-fat white-brined cheese made from bovine milk and two commercial fat mimetics: chemical, physical and sensory attributes, *International Dairy Journal*, 12(6), 525-540.
- Rudan, M. A., Barbano, D. M., Yun, J. J. & Kindstedt, P. S., 1999, Effect of fat reduction on chemical composition, proteolysis, functionality, and yield of Mozzarella cheese, *Journal of dairy science*, 82(4), 661-672.
- Saint-Eve, A., Laverjat, C., Magnan, C., Deleris I. & Souchon, I., 2009, Reducing salt and fat content: impact of composition, texture and cognitive interaction on the perception of flavored model cheeses, *Food Chemistry*, 116, 167-175.
- Sayadi, A., Madadlou, A. & Khosrowshahi, A., 2013, Enzymatic cross-linking of whey proteins in low fat Iranian white cheese, *International Dairy Journal*. 29: 88-92.
- Sipahioglu, O., Alvarez, V. B. & Solano Lopez, C., 1999, Structure, physicochemical and sensory properties of Feta cheese made with Tapioca starch and lecithin as fat mimetic, *International -Dairy Journal*, 9, 783-789.

- Ye, A. & Taylor, S., 2009, Characterization of cold-set gels produced from heated emulsions stabilized by whey protein, *International Dairy Journal*, 19, 721-727.
- Zalazar, C. A., Zalazar, C. S., Bernal, S., Bertola, N., Bevilacqua, A. & Zaritzky, N., 2002, Effect of moisture level and fat replacer on physicochemical, rheological and sensory properties of low fat soft cheeses, *International Dairy Journal*, 12(1), 45-50.
- Zisu, B. & Shah, N. P., 2005, Textural and functional changes in low-fat Mozzarella cheese in relation to proteolysis and microstructure as influenced by the use of fat replacers, pre-acidification and EPS starter, *International Dairy Journal*, 15, 957-972.



Effect of enzymatic transglutaminase treatment on textural and sensory properties of low-fat UF-Feta cheese incorporated with whey proteins using response surface optimization

E. Danesh¹, H. Jooyandeh^{2*}, V.Samavati³, M. Goudarzi⁴

Received: 2015.04.15

Accepted: 2015.07.16

Introduction: Scientific evidence has demonstrated that consumption of high-fat foods has direct connection with increasing incidences of various diseases such as obesity, diabetes, hardening of the artery walls and blood pressure. Thus, demand for low-fat foods has increasingly been promoted by health-conscious consumers. However, development of low-fat foods is challenging as fat makes a major contribution to sensory attributes of many foods. Low-fat cheeses are usually characterized as having a flat taste, more translucency and a rubbery and gummy texture. A common strategy for improving the properties of low-fat cheeses is to increase its moisture content sufficiently to provide moisture to protein ratio which is greater than or equal to its full-fat counterpart. The addition of denatured whey proteins, which are known for their high water-holding capacity, to cheese milk is one method used to achieve this objective. Likewise, transglutaminase treatment of cheeses milk has been shown to increase the moisture content of the resultant cheese. Enzyme transglutaminase (MTGase; protein-glutamine gamma glutamyl transferase, EC 2.3.2.13) catalyzes acyl transfer reactions between protein intra- or inter- chain glutamine (acyl donor) and lysine (acyl acceptor) peptide residues. UF-Feta cheese has the highest per capita consumption amongst cheese varieties in Iran. However, UF-Feta cheese is also perceived as being high in fat, discouraging some consumers from including it in their diets. The objective of this study was enzymatic incorporation of whey proteins into the formulation of UF-Feta cheese by TGase in order to obtain a low-fat product with desirable textural and sensory properties.

Materials and methods: The experiments were designed according to a 5-level-3-factor central composite design using response surface methodology (RSM). The independent variable were formulation ingredients including TGase enzyme (0-2 units/g protein), whey protein concentrate (WPC) (0-16 % w/w) and fat (0-10 % w/w) and the responses of interest were the physicochemical (moisture content and lightness (L*)), textural (hardness, adhesiveness, cohesiveness and springiness) and sensory properties (flavor and odor, color and appearance, texture and total acceptability) of UF-Feta cheese.

Results and discussion: The results indicated that fat reduction caused significant increment in the moisture content of UF-Feta cheese. The whey protein addition showed the same effect on moisture content as fat reduction whereas transglutaminase treatment decreased the moisture of UF-Feta cheese. As expected, fat reduction was accompanied by an increase in hardness and elasticity of UF-Feta cheese. Fat and moisture act as fillers in the casein matrix of cheese texture. When the fat content is decreased, the moisture does not replace the fat on an equal basis, so the total filler volume is decreased, resulting in lower moisture to protein ratio. This in turn increases possibilities of cross-linking between protein chains, resulting in a more compact cheese matrix with harder and chewier texture. Similarly, the increasing effect of TGase treatment on hardness and elasticity may be attributed to formation of a more compact protein matrix because of cross-linking action of enzyme on milk proteins. The whey proteins, however, decreased the hardness and elasticity of UF-Feta cheese. It seems that the added whey proteins increased the moisture content of cheese as sufficiently as to offset the decrease in the total filler volume caused by fat reduction, preventing the protein matrix to be more compact and elastic.

2. MSc, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

2 and 3. Associate and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

4. MSc, Department of Food Science & Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(* - Corresponding Author Email: hosjooy@yahoo.com)

Promoted protein-protein interactions of the cheese matrix resulting from fat reduction or TGase treatment might also account for our observation on decreased adhesiveness and increased cohesiveness. As the protein matrix becomes more compact, the cheese loses its adhesiveness. Conversely, as the number or strength of protein interactions increases, the structural integrity of cheese matrix called cohesiveness increases. Apart from fat, water can also create more open conformation for protein molecules, resulting in increased adhesiveness and decreased cohesiveness. This may justify our observation on higher adhesiveness and lower cohesiveness of whey protein-fortified low-fat cheeses with high moisture content. Not surprisingly, all the sensory attributes of UF-Feta cheese were adversely influenced by fat reduction. On the other hand, whey proteins improved the flavor and texture of low-fat UF-Feta cheeses. They, however, showed no effect on appearance score of cheese samples in spite of the fact that they somewhat compensated for lost lightness (L^*) of low-fat cheeses. Similarly, TGase treatment did not affect the appearance acceptability of UF-Feta cheeses despite having significant effect on their L^* value. The sensory panel did not appreciate the flavor of TGase-treated samples; however, they scored the samples treated with enzyme concentration lower than 1 U/g protein as having desirable texture. RSM suggested that the optimum formulation of 5.95% (w/w) fat, 0.56 unit TGase per gram protein and 8.79% (w/w) WPC could produce a low-fat cheese sample with desired textural (hardness 0.342 kg; elasticity 8.58 mm; adhesiveness -0.070 kg.s; cohesiveness 0.474) and sensory (overall sensory score 88.73 out of 100) attributes.

Keywords: Low fat ultra-filtrated cheese, Transglutaminase enzyme, Whey protein concentrate, Response surface method.

بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کیک اسفنجی فاقد گلوتن

علی مهربان شندی^۱ - مهران اعلمی^۲ - شبنم مختاری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۹

چکیده

سلیاک رایج‌ترین بیماری است که در اثر مصرف گلوتن بروز می‌کند و تنها راه درمان آن استفاده از یک رژیم غذایی فاقد گلوتن در تمام طول عمر بیمار است. هدف از این پژوهش، تولید کیک اسفنجی بدون گلوتن به کمک صمغ گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (MTG) و بررسی تاثیر آن‌ها بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی کیک تهیه شده از مخلوط آردی بدون گلوتن (۰٪ ارزن - ۱۰۰٪ برنج، ۵۰٪ ارزن - ۵۰٪ برنج و ۱۰۰٪ ارزن - ۰٪ برنج) بود. بدین منظور صمغ گوار در دو سطح ۱ و ۲٪ و آنزیم MTG در سطوح ۰/۲۵ و ۰/۵٪ به فرمولاسیون اضافه شدند. به‌منظور افزایش میزان اسیدآمینه لایزین به‌عنوان سوسترای آنزیم، ایزوله پروتئینی سویا (SPI) به میزان ۲٪ به نمونه‌های حاوی MTG افزوده شد. نتایج نشان داد که افزودن گوار و MTG سبب کاهش حجم مخصوص کیک می‌شوند. اختلاط دو نوع آرد برنج و ارزن تأثیر معنی‌داری بر میزان رطوبت نمونه‌های تولیدی داشت. افزودن آنزیم و صمغ، افزایش معنی‌داری در میزان رطوبت کیک نشان داد. نتایج نشان داد که نمونه حاوی ۱۰۰ درصد آرد برنج نسبت به دو نمونه دیگر دارای تخلخل کمتری می‌باشد. همچنین با افزایش سطح آنزیم در فرمولاسیون، افزایش معنی‌داری در میزان تخلخل مشاهده شد. در حالی که افزایش صمغ، اختلاف معنی‌داری در میزان تخلخل نمونه‌های تولیدی ایجاد نمود. در مرحله دوم پژوهش، مقایسه‌ای بین بهترین نمونه تولیدی در مرحله اول با نمونه شاهد حاوی ۱۰۰٪ آرد گندم و نمونه بدون گلوتن که فاقد آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار بود، انجام گرفت. نتایج مرحله دوم به وضوح، برابری بهترین نمونه مرحله اول با نمونه حاوی ۱۰۰٪ آرد گندم را نشان داد و در میزان هر یک از پارامترهای ارزیابی شده (رطوبت، حجم مخصوص، تخلخل) این دو نمونه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نگردید.

واژه‌های کلیدی: کیک بدون گلوتن، صمغ گوار، MTG (آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی)، آرد برنج، خواص فیزیکی

مقدمه

Gallagher و همکاران، (۲۰۰۴)، بازار محصولات غله‌ای بدون گلوتن به‌طور پیوسته‌ای همگام با افزایش بیماری سلیاک و میزان تشخیص آن و یا دیگر حساسیت‌های موجود به گلوتن رو به گسترش و پیشرفت می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که با افزایش تشخیص تعداد بیماران مبتلا به سلیاک در ایران، بایستی به تولید و توزیع مواد اولیه مورد استفاده در این محصولات به ویژه انواع آردهای بدون گلوتن توجه بیشتری نمود. لذا استفاده از آردهای بدون گلوتن نظیر مواد نشاسته‌ای (ذرت، سیب‌زمینی و برنج)، ارزن، کاساوا، ذرت، آمارانت، گندم سیاه و سورگوم در این دسته از محصولات امری اجتناب‌ناپذیر است. به‌علاوه استفاده از جایگزین‌های مناسب گلوتن نظیر هیدروکلئیدها (Lopez و همکاران، ۲۰۰۴)، آنزیم‌ها و پروتئین‌ها در تهیه محصولات بدون گلوتن امری ضروری است. از جمله آنزیم‌های مورد بحث، ترانس گلوتامیناز (TG) می‌باشد و بین اسیدآمینه گلوتامین از یک پروتئین و لایزین از پروتئین دیگر ایجاد پروتئین‌هایی با ویژگی‌های تغذیه‌ای و عملکردی جدید می‌کند. پیوندهای کوالانت ایجاد شده توسط این آنزیم، اثرات منحصر به‌فردی روی ظرفیت تشکیل ژل، پایداری

کیک به محصولاتی گفته می‌شود که به‌وسیله فرمولاسیونی بر پایه آرد گندم، شکر، تخم‌مرغ و مایعاتی مانند شیر که ممکن است چربی نیز به آن افزوده شده باشد، تهیه می‌گردد. ماتریکس پروتئینی گلوتن در محصولات صنایع پخت عامل اصلی خواص مهم خمیر نظیر کشش‌پذیری، مقاومت در برابر کشش، قابلیت اتساع، تحمل در حین اختلاط و توانایی نگه‌داری گاز می‌باشد. در واقع از گلوتن تحت عنوان پروتئین ساختمانی جهت تولید نان، کیک، کلوچه و بیسکویت یاد می‌شود و فقدان آن در محصولات بدون گلوتن سبب تولید فرآورده‌ای با بافت شکننده، رنگ ضعیف، حجم و تخلخل کم می‌شود

۱ و ۲- به ترتیب کارشناس ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه

علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه

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

DOI: 10.22067/iftstr.v1395i0.45057

خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد ارزن و برنج

ترکیبات شیمیایی آرد ارزن و برنج بر اساس روش‌های استاندارد (AACC، ۲۰۰۰) اندازه‌گیری شد. مقدار رطوبت با استفاده از روش آون به شماره ۱۶-۴۴، مقدار خاکستر با استفاده از روش پایه به شماره ۰۱-۰۸، مقدار پروتئین با استفاده از روش کلدال به شماره ۱۲-۴۶، مقدار چربی با استفاده از روش مصوب ۱۰-۳۰ و گلوتن با استفاده از روش مصوب ۱۱-۳۸ تعیین گردید.

تهیه خمیر و تولید کیک

خمیر کیک از آرد ارزن و برنج و مخلوط آن‌ها به مقدار ۲۸/۴ درصد، ۲۲ درصد پودر شکر، ۱۷/۵ درصد روغن، ۲۲ درصد تخم‌مرغ، ۰/۵ درصد بیکنینگ پودر، ۰/۶۱ درصد شیرخشک، ۱/۲۳ درصد پودر آب‌پنیر، ۰/۱۵ درصد وانیل و آب به میزان ۷/۶۱ درصد تهیه گردید (پیغمبردوست، ۱۳۸۶). در ابتدا به‌منظور تهیه خمیر کیک، روغن و پودر شکر به مدت ۱۰ دقیقه با استفاده از یک همزن برقی مدل (Electra EK-230M، ژاپن) با سرعت ۱۲۸ دور در دقیقه مخلوط شدند تا یک کرم روشن حاوی حباب‌های هوا ایجاد گردد. سپس تخم مرغ در ۴ نوبت به آن افزوده شد. سپس همه مواد پودری باهم الک شد و در مرحله بعد به خمیر اضافه گردید تا خمیر به‌صورت نیمه‌صاف درآید. و در مرحله آخر آب اضافه گردید تا خمیر به‌صورت صاف درآمد. از آن جا که MTG اتصال پتیدی بین اسیدهای آمینه گلوتامین و لایزین را ایجاد می‌کند و با توجه به این که ارزن و برنج از گلوتامین غنی و از لایزین فقیر می‌باشند، به‌منظور افزایش میزان لایزین قابل دسترس، ایزوله پروتئینی سویا (SPI) به میزان ۲٪ به نمونه‌های تیمار شده با MTG اضافه شد. در این پژوهش متغیرهای مورد بررسی صمغ گوار (۱ و ۲ درصد)، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (۰/۲۵ و ۰/۵ درصد) و آرد ارزن و برنج (۰٪ آرد: ۱۰۰٪ برنج، ۵۰٪ آرد: ۵۰٪ برنج و ۱۰۰٪ آرد: ۰٪ برنج) بود که به مخلوط اضافه گردید. در ادامه با استفاده از یک قیف پارچه‌ای (Lebensmittelecht، آلمان) ۵۰ گرم از خمیر تهیه شده، درون کاغذهای مخصوص کیک که درون قالب‌ها قرار گرفته بودند، ریخته شد. سپس عمل پخت در آون آزمایشگاهی مدل قائم در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت زمان ۲۰ دقیقه انجام گردید. پس از سرد شدن، هر یک از نمونه‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی به‌منظور ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی، بسته‌بندی و در دمای محیط نگهداری شدند (نقی پور و همکاران، ۱۳۹۱ الف و ب).

اندازه‌گیری درصد رطوبت کیک

جهت انجام این آزمایش از استاندارد AACC، ۲۰۰۰ شماره ۱۶-۴۴ استفاده گردید. برای اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌ها در فاصله زمانی

حرارتی و ظرفیت نگهداری آب پروتئین‌ها دارد و در فرآورده‌های دریایی، صنعت گوشت، نودل و پاستا، لبنیات، نانوائی و ... کاربردهای فراوانی پیدا کرده است (کورایشی و همکاران، ۲۰۰۱) حضور MTG در خمیر نان، باعث کاهش اجزای پروتئین‌های آلبومین و گلوبولین و افزایش مقادیر گلایدین می‌شود. زیرواحدهای گلوتمین با وزن مولکولی بالا به وسیله MTG به یکدیگر اتصال پیدا می‌کنند. به دلیل این که آلبومین و گلوبولین در شکل گرفتن خمیر نقشی ندارند، MTG پروتئین‌های مذکور را به یکدیگر متصل کرده و آن‌ها را رسوب می‌دهد و این عمل، اثر مفیدی روی کیفیت فرآورده دارد. اثرات مفید MTG به دلیل اتصال زیر واحدهای گلوتمین با وزن مولکولی بالا می‌باشد. MTG با داشتن خاصیت اتصال پروتئینی باعث ترمیم دانه‌های گندم آسیب‌دیده نیز می‌شود (موتوکی و سگارو، ۱۹۹۸؛ کورایشی و همکاران، ۲۰۰۱؛ دینگرا و جوو، ۲۰۰۱).

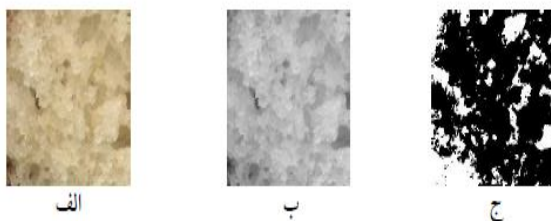
هدف از انجام این پژوهش امکان تولید کیک اسفنجی فاقد گلوتن از آرد برنج و یا ارزن همراه با صمغ گوار و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی بوده است.

مواد و روش‌ها

مواد

آرد برنج نوع طارم از یک فروشگاه عرضه‌کننده مواد اولیه قنادی تهیه و تا زمان استفاده در یخچال نگهداری گردید. ارزن پوست‌کنده معمولی از بازار محلی خریداری و با مدل آسیاب سنگی آسیاب، و به کمک الک با مش ۵۰ سبوس‌گیری شد و تا زمان استفاده در یخچال نگهداری شد. شکر مورد استفاده در این تحقیق، شکر موجود در بازار بود. آرد گندم خریداری شده مطابق با استاندارد ملی ایران با شماره ۱۰۳ بود. برای بسته‌بندی کیک‌ها از کیسه‌های پلی‌اتیلنی به ابعاد ۱۵ در ۲۵ سانتی‌متر و ضخامت ۴۰ میکرون، استفاده گردید.

سایر مواد مورد نیاز در تولید کیک شامل بیکنینگ پودر، روغن نباتی مخصوص قنادی، وانیل و شیرخشک از یک فروشگاه عرضه‌کننده مواد اولیه قنادی خریداری و تخم‌مرغ تازه نیز یک روز قبل از تولید روزانه کیک‌ها تهیه و در یخچال نگهداری شد. صمغ گوار با نام تجاری MEYPROtm GUAR (E412)، وانیل با نام تجاری RHOVANILLA از شرکت رودیا (فرانسه) و ایزوله پروتئینی سویا (SPI) از شرکت کراون چین تهیه گردید. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی در بسته‌های ۱۰۰ گرمی از کمپانی یکینگ چین خریداری شد و به‌صورت خشک مورد استفاده قرار گرفت. این آنزیم به دلیل جاذب‌الرطوبه بودن آن، در بسته‌بندی‌های کاملاً غیرقابل نفوذ به هوا نگهداری و در طول مدت استفاده درون فریزر و در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد قرار داده شد.



شکل ۱- نمونه تصویر تبدیل شده: الف: نمونه تصویر مغز کیک،
ب: نمونه تصویر خاکستری، ج: نمونه تصویر دودویی

نتایج و بحث

رطوبت

نتایج آنالیز واریانس تأثیر سطوح مختلف اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار بر میزان رطوبت کیک اسفنجی در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد. همچنین در شکل ۲ تأثیر مستقل، نسبت اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ گوار بر میزان رطوبت کیک اسفنجی بدون گلوتن و در جدول ۲ اثر متقابل این سه عامل بر میزان رطوبت کیک اسفنجی بدون گلوتن نشان داده شده است. اختلاط دو نوع آرد بدون گلوتن برنج و ارزن تأثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر میزان رطوبت نمونه‌های تولیدی نداشت. در حالی که بر اساس نتایج شکل ۲ اثر مستقل افزودن آنزیم و صمغ افزایش معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد در میزان رطوبت کیک اسفنجی بدون گلوتن نشان دادند. وراسماعیل و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه خود در زمینه افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز آنزیمی به نان بدون گلوتن، افزایش میزان رطوبت را با افزایش سطح آنزیم در فرمولاسیون گزارش نمودند. همچنین مور و همکاران (۲۰۰۴) نتایج مشابهی را بدست آوردند. این محققین بیان نمودند که شبکه پیوند عرضی بین اسیدهای آمینه گلوتامین و لیزین که در اثر عمل آنزیم گلوتامیناز تشکیل شده است، توانایی به دام انداختن آب را دارد و از این رو سبب افزایش در ظرفیت نگهداری آب می‌شود. از طرف دیگر افزایش ظرفیت جذب آب می‌تواند به علت آمیدزدایی از گلوتامین (آمیدزدایی در اثر عمل آنزیم) و تبدیل آن به اسید گلوتامیک باشد که سبب کاهش آبگریزی محیط و در نتیجه افزایش جذب آب می‌گردد (جرارد و همکاران، ۱۹۹۸). از آنجا که که هیدروکلوئیدها دارای ماهیت آبدوست هستند و سبب انتشار آب و پایداری حضور آن در سیستم می‌شوند. از این رو با افزودن صمغ به فرمولاسیون محصولات نانوائی افزایش میزان رطوبت در محصول نهایی مشاهده می‌گردد. در این زمینه ایوبی و همکاران (۱۳۹۰) افزایش میزان رطوبت کیک روغنی را با افزایش میزان صمغ گوار و گزانتان گزارش نمودند. بیشترین میزان رطوبت در نمونه حاوی ۱۰۰ درصد آرد برنج، ۵۰/۰ درصد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۲ درصد

۲ ساعت پس از پخت، در آون (Jeto Tech، مدل OF-O2G، ساخت کشور کره جنوبی) با حرارت ۱۰۵-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام پذیرفت.

اندازه‌گیری حجم مخصوص

یک قطعه کیک توزین شده داخل ظرف دارای حجم مشخص (V_i) قرار داده شد. بقیه فضای خالی ظرف توسط دانه‌های کلزا پر شد. سپس کیک، خارج و حجم دانه‌های کلزا یادداشت شده (V_s) و حجم کیک از محاسبه ($V_i - V_s$) بدست آمد.

ارزیابی میزان تخلخل مغز کیک

به‌منظور ارزیابی میزان تخلخل مغز کیک در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از پخت، از تکنیک پردازش استفاده شد. بدین منظور برشی به ابعاد ۲ در ۲ سانتی‌متر از مغز کیک تهیه گردید و به‌وسیله اسکنر (مدل: HP Scanjet G3010) با وضوح ۱۲۰۰ پیکسل تصویربرداری شد (شکل ۱-۲ الف). تصویر تهیه شده در اختیار نرم‌افزار Image J قرار گرفت. با فعال کردن قسمت ۸ بیت^۱، تصاویر سطح خاکستری^۲ (شکل ۱-۲ ب) ایجاد شد. جهت تبدیل تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی^۳، قسمت دودویی نرم‌افزار فعال گردید. این تصاویر، مجموعه‌ای از نقاط روشن و تاریک است (شکل ۱-۲ ج) که محاسبه نسبت نقاط روشن به تاریک به‌عنوان شاخصی از میزان تخلخل نمونه‌ها بر آورد می‌شود. بدیهی است که هر چقدر این نسبت بیشتر باشد بدین معناست که میزان حفرات موجود در بافت کیک (میزان تخلخل) بیشتر است. در عمل با فعال کردن قسمت Analysis نرم‌افزار، این نسبت محاسبه و درصد تخلخل نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Haralick و همکاران، ۱۹۷۳).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نتایج بدست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و اثر آنزیم MTG و صمغ گوار بر خصوصیات کیک اسفنجی بدون گلوتن حاصل از آرد ارزن و برنج در قالب طرح فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. هریک از نمونه‌ها در سه تکرار تهیه و آزمون‌های مربوطه در مورد آن‌ها انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) مورد مقایسه قرار گرفتند و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

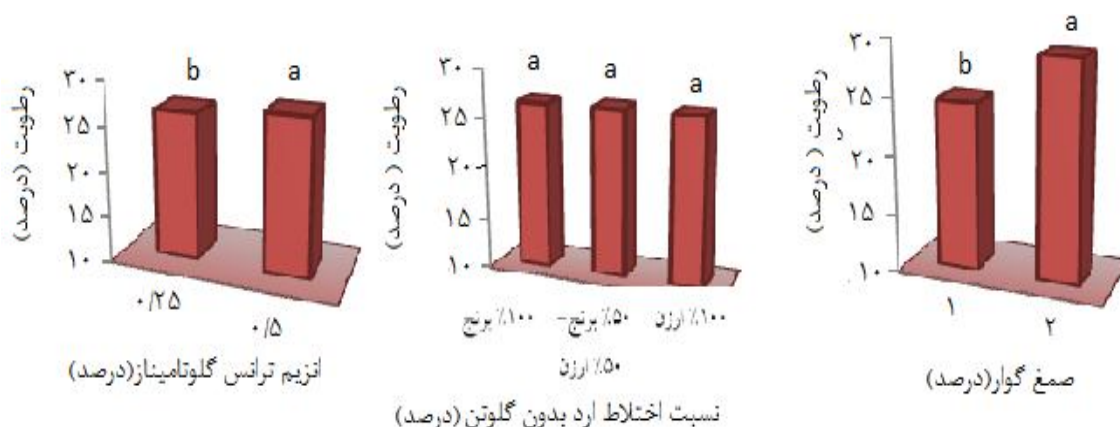
- 1 Bit
- 2 Gray level images
- 3 Binary Images

صمغ گوار، نمونه حاوی نسبت ۵۰-۵۰ آرد برنج-ارزن، ۰/۵۰ درصد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۲ درصد صمغ آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۲ درصد صمغ گوار و نمونه حاوی ۱۰۰ گوار مشاهده شد.

جدول ۱- آنالیز واریانس تأثیر نسبت اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم گلوتامیناز و صمغ گوار بر میزان رطوبت کیک اسفنجی بدون گلوتن.

منابع تغییرات	درجه آزادی	رطوبت
نسبت اختلاط آرد برنج - ارزن (A)	۲	**۰/۰۰۰
آنزیم گلوتامیناز (B)	۱	**۵/۹۱۳
صمغ گوار (C)	۱	**۱۷۰/۴۳۳
خطای آزمایش	۲۴	۰/۰۱۱

P<0.01** P<0.05* P>0.05^{ns}



شکل ۲- تأثیر مستقل، نسبت اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ گوار بر میزان رطوبت کیک اسفنجی بدون گلوتن (در هر شکل حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی داری ندارند).

جدول ۲- اثر متقابل نسبت اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم گلوتامیناز و صمغ گوار بر میزان رطوبت کیک اسفنجی بدون گلوتن

آرد برنج - ارزن (درصد-درصد)	آنزیم گلوتامیناز (درصد)	صمغ گوار (درصد)	رطوبت (درصد)
۰-۱۰۰	۰/۲۵	۱	۲۴/۲۳ ± ۰/۱۱ ^d
	۰/۲۵	۲	۲۸/۳۷ ± ۰/۱۱ ^b
	۰/۵۰	۱	۲۴/۸۳ ± ۰/۰۳ ^c
	۰/۵۰	۲	۲۹/۳۸ ± ۰/۱۰ ^a
۵۰-۵۰	۰/۲۵	۱	۲۴/۳۰ ± ۰/۱۹ ^d
	۰/۲۵	۲	۲۸/۳۷ ± ۰/۱۰ ^b
	۰/۵۰	۱	۲۴/۸۲ ± ۰/۰۸ ^c
	۰/۵۰	۲	۲۹/۴۱ ± ۰/۱۴ ^a
۱۰۰-۰	۰/۲۵	۱	۲۴/۱۶ ± ۰/۰۷ ^d
	۰/۲۵	۲	۲۸/۳۵ ± ۰/۰۵ ^b
	۰/۵۰	۱	۲۴/۸۲ ± ۰/۰۳ ^c
	۰/۵۰	۲	۲۹/۳۸ ± ۰/۰۹ ^a

حروف مشابه از نظر آماری در سطح P>0.05 تفاوت معنی داری ندارند

آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار بر میزان حجم مخصوص کیک اسفنجی در جدول ۳ ملاحظه می گردد. همچنین در شکل ۳ تأثیر

حجم مخصوص

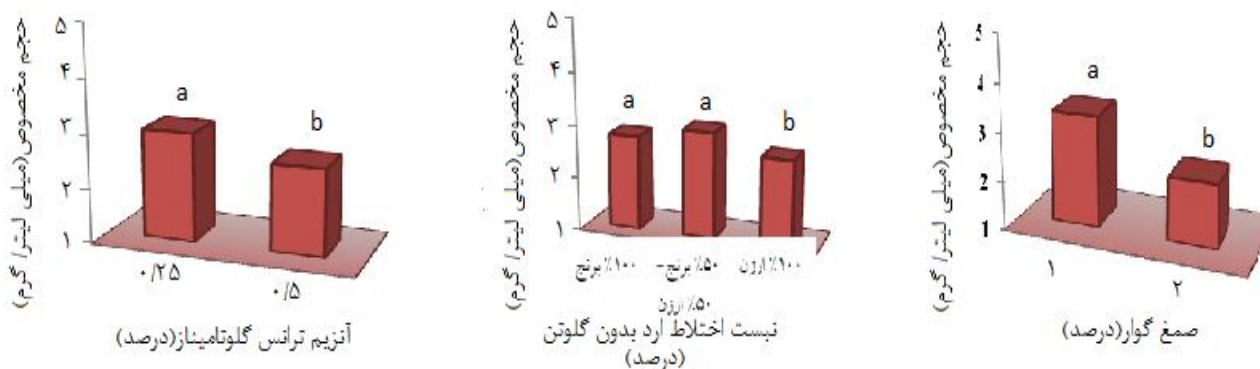
نتایج آنالیز واریانس تأثیر سطوح مختلف اختلاط آرد برنج-ارزن،

پژوهشگران با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. همچنین آروزارنا و همکاران (۲۰۰۱)، دمیرکسن و همکاران (۲۰۱۰ الف و ب) با بررسی اثر صمغ در محصولات خمیری بدون گلوتن با افزایش حجم مخصوص تا سطح ۱ درصد مواجه شدند. به نظر می‌رسد کاهش حجم مخصوص در سطوح بالای افزودن صمغ (بیش از ۱ درصد) به دلیل بیش از اندازه ضخیم شدن حباب‌های هوای ورودی به خمیر و جلوگیری از انبساط آن‌ها در طی فرآیند پخت باشد. در نهایت لازم به ذکر است که بررسی اثر متقابل این سه عامل (نسبت اختلاط آرد برنج - ارزن، آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار) نشان داد که بیشترین میزان حجم مخصوص ($3/94 \pm 0/04$) مربوط به نمونه حاوی نسبت ۵۰-۵۰ آرد برنج-ارزن، ۰/۲۵ درصد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۱ درصد صمغ گوار و کمترین میزان این پارامتر مربوط به نمونه حاوی ۱۰۰ درصد آرد برنج، ۰/۵۰ درصد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۲ درصد صمغ گوار ($2/10 \pm 0/04$) و نمونه حاوی ۱۰۰ درصد آرد ارزن، ۰/۵۰ درصد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۲ درصد صمغ گوار ($2/06 \pm 0/03$) بود.

مستقل، نسبت اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ گوار بر میزان حجم مخصوص کیک اسفنجی بدون گلوتن و در جدول ۴ اثر متقابل این سه عامل بر میزان حجم مخصوص کیک اسفنجی بدون گلوتن نشان داده شده است. براساس نتایج اثر مستقل اختلاط دو نوع آرد برنج و ارزن مشخص گردید که نمونه حاوی ۱۰۰ درصد آرد برنج نسبت به دو نمونه دیگر حجم مخصوص کمتری داشت. این در حالی بود که با افزایش سطح آنزیم و صمغ، کاهش معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد در میزان حجم مخصوص کیک اسفنجی بدون گلوتن نشان دادند. در این زمینه نقی‌پور و همکاران (۱۳۹۱) بیان نمودند که افزودن صمغ گوار و گزانتان تا سطح ۱ درصد به فرمولاسیون کیک بدون گلوتن سورگوم، سبب افزایش حجم مخصوص نمونه‌های تولیدی شد و پس از آن کاهش حجم مخصوص گزارش گردید. این محققین گزارش نمودند که افزایش میزان تخلخل تا سطح ۱ درصد نسبت به نمونه فاقد صمغ به دلیل تشکیل شبکه‌ای مشابه شبکه گلوتنی (جهت حفظ حباب‌های هوای ورودی) و تا حدودی افزایش ضخامت دیواره در مقابل پارگی ناشی از انبساط در حین فرآیند پخت محصول بود. نتایج این

جدول ۳- آنالیز واریانس تأثیر نسبت اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ گوار بر میزان حجم مخصوص کیک اسفنجی بدون گلوتن.

منابع تغییرات	درجه آزادی	حجم مخصوص
نسبت اختلاط آرد برنج - ارزن (A)	۲	$0/382^{**}$
آنزیم گلوتامیناز (B)	۱	$1/492^{**}$
صمغ گوار (C)	۱	$9/231^{**}$
خطای آزمایش	۲۴	$0/03$
P<0.01** P<0.05* P>0.05 ^{ns}		



شکل ۳- تأثیر مستقل، نسبت اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ گوار بر میزان حجم مخصوص کیک اسفنجی بدون گلوتن (در هر شکل حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند).

جدول ۴- اثر متقابل نسبت اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ گوار بر میزان حجم مخصوص کیک اسفنجی بدون گلوتن.

آرد برنج-ارزن (درصد-درصد)	آنزیم گلوتامیناز (درصد)	صمغ گوار (درصد)	حجم مخصوص (میلی لیتر/گرم)
۱۰۰-۰	۰/۲۵	۱	۳/۴۹ ± ۰/۰۶ ^b
		۲	۲/۴۲ ± ۰/۰۹ ^g
	۰/۵۰	۱	۳/۱۱ ± ۰/۰۴ ^d
		۲	۲/۱۰ ± ۰/۰۴ ⁱ
۵۰-۵۰	۰/۲۵	۱	۳/۹۴ ± ۰/۰۴ ^a
		۲	۲/۶۴ ± ۰/۰۵ ^f
	۰/۵۰	۱	۳/۱۸ ± ۰/۰۳ ^{cd}
		۲	۲/۲۴ ± ۰/۰۳ ^h
۱۰۰-۰	۰/۲۵	۱	۳/۲۳ ± ۰/۰۴ ^c
		۲	۲/۳۶ ± ۰/۰۴ ^g
	۰/۵۰	۱	۲/۹۴ ± ۰/۰۷ ^e
		۲	۲/۰۶ ± ۰/۰۳ ⁱ

حروف مشابه از نظر آماری در سطح $P > 0.05$ تفاوت معنی داری ندارند

تخلخل

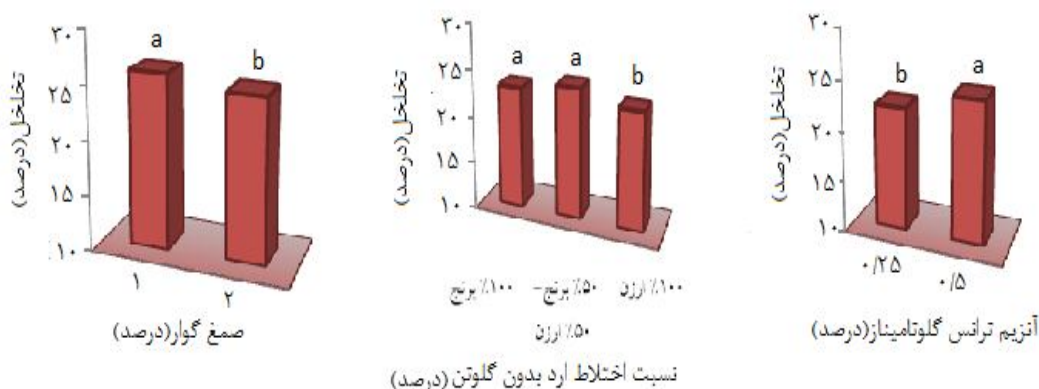
نتایج آنالیز واریانس تأثیر سطوح مختلف اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار بر میزان تخلخل کیک اسفنجی در جدول ۵ ملاحظه می گردد. همچنین در شکل ۴ تأثیر مستقل نسبت اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ گوار بر میزان تخلخل کیک اسفنجی بدون گلوتن و در جدول ۶ اثر متقابل این سه عامل بر میزان تخلخل کیک اسفنجی بدون گلوتن

نتایج آنالیز واریانس تأثیر سطوح مختلف اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار بر میزان تخلخل کیک اسفنجی در جدول ۵ ملاحظه می گردد. همچنین در شکل ۴ تأثیر مستقل نسبت اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ گوار بر میزان تخلخل کیک اسفنجی بدون گلوتن و در جدول ۶ اثر متقابل این سه عامل بر میزان تخلخل کیک اسفنجی بدون گلوتن

جدول ۵- آنالیز واریانس تأثیر نسبت اختلاط آرد برنج-ارزن، آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ گوار بر میزان تخلخل کیک اسفنجی بدون گلوتن.

منابع تغییرات	درجه آزادی	تخلخل
نسبت اختلاط آرد برنج - ارزن (A)	۲	**۵/۹۲۴
آنزیم گلوتامیناز (B)	۱	**۲۷/۱۷۹
صمغ گوار (C)	۱	**۰/۰۰۰
خطای آزمایش	۲۴	۰/۰۷۷

$P < 0.01^{**}$ $P < 0.05^{*}$ $P > 0.05^{ns}$



شکل ۴- تأثیر مستقل نسبت اختلاط آرد برنج - ارزن، آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ گوار بر میزان تخلخل کیک اسفنجی بدون گلوتن (در هر شکل حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی داری ندارند).

جدول ۶- اثر متقابل نسبت اختلاط آرد برنج - ارزن، آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ گوار بر میزان تخلخل کیک اسفنجی بدون گلوتن.

آرد برنج - ارزن (درصد-درصد)	آنزیم گلوتامیناز (درصد)	صمغ گوار (درصد)	تخلخل (درصد)
۱۰۰-۵۰	۰/۲۵	۱	$30/15 \pm 0/09^d$
		۲	$23/92 \pm 0/16^h$
	۰/۵۰	۱	$31/50 \pm 0/26^b$
		۲	$26/48 \pm 0/47^f$
۵۰-۵۰	۰/۲۵	۱	$30/95 \pm 0/31^c$
		۲	$25/23 \pm 0/27^g$
	۰/۵۰	۱	$32/25 \pm 0/16^a$
		۲	$26/84 \pm 0/28^f$
۱۰۰-۰	۰/۲۵	۱	$29/64 \pm 0/48^e$
		۲	$23/39 \pm 0/17^i$
	۰/۵۰	۱	$31/07 \pm 0/19^{bc}$
		۲	$25/57 \pm 0/17^g$

حروف مشابه از نظر آماری در سطح $P > 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند

آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار است) و نمونه‌ای حاوی ۱۰۰ درصد آرد گندم مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرد. در ضمن لازم به ذکر است که با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر و مطالعات پیشین در زمینه برتری مخلوطی از آردهای بدون گلوتن، نمونه شاهد بدون گلوتن، نمونه‌ای حاوی آرد برنج و ارزن با نسبت برابر در نظر گرفته شد.

رطوبت

نتایج آنالیز واریانس رطوبت بهترین نمونه مرحله اول، شاهد بدون گلوتن و شاهد حاوی آرد گندم در جدول ۷ ملاحظه می‌گردد. همچنین در شکل ۵ تأثیر بهترین نمونه مرحله اول، شاهد بدون گلوتن و شاهد آرد گندم بر میزان رطوبت کیک اسفنجی بدون گلوتن نشان داده شده است. براساس نتایج مشخص گردید که بیشترین میزان رطوبت مربوط به بهترین نمونه مرحله اول (نمونه حاوی ۵۰ درصد آرد برنج و ۵۰ درصد آرد ارزن به همراه ۰/۲۵ درصد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۱ درصد صمغ گوار) و شاهد آرد گندم و کمترین میزان رطوبت مربوط به شاهد بدون گلوتن که فاقد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار است، بود. مشابهت میزان رطوبت بهترین نمونه مرحله اول با نمونه شاهد حاوی ۱۰۰ درصد آرد گندم بدان دلیل است که آنزیم گلوتامیناز و صمغ گوار توانسته‌اند در به دام انداختن آب در حین فرآیند پخت مشابه شبکه گلوتنی کیک اسفنجی حاوی ۱۰۰ درصد آرد گندم عمل نماید. در همین راستا ترابی و همکاران (۲۰۰۸) با تولید کیک بدون گلوتن حاوی آرد برنج به این نکته اشاره نمودند که ترکیباتی نظیر صمغ، آنزیم و امولسیفایر قابلیت حفظ رطوبت محصولات بدون گلوتن را در حین فرآیند پخت دارند.

در راستای افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز و اثر آن بر میزان تخلخل، پوراسماعیل و همکاران (۱۳۹۰) بیان نمودند که افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز به محصولات بدون گلوتن صنایع پخت سبب توزیع یکنواخت حباب‌های هوا و کاهش اندازه آن‌ها گردید. از این رو با توجه به مطالعه زیابرو و همکاران (۲۰۱۲) که عنوان کردند افزایش میزان تخلخل به دلیل کاهش اندازه و افزایش تعداد سلول‌های گازی و توزیع یکنواخت آن در بافت محصول است، می‌توان نتیجه گرفت که آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی قابلیت افزایش میزان تخلخل را دارد. بیشترین میزان تخلخل ($32/25 \pm 0/16$) مربوط به نمونه حاوی نسبت ۵۰-۵۰ آرد برنج-ارزن، ۰/۵۰ درصد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۱ درصد صمغ گوار و کمترین میزان این پارامتر مربوط به نمونه حاوی ۱۰۰ درصد آرد ارزن، ۰/۲۵ درصد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۲ درصد صمغ گوار ($23/39 \pm 0/17$) بود.

مرحله دوم (مقایسه بهترین نمونه مرحله اول با نمونه شاهد حاوی آرد بدون گلوتن و شاهد حاوی آرد گندم)

با توجه به نتایج مرحله اول که به بررسی اثر سطوح مختلف اختلاط آرد برنج و ارزن، آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار بر خواص کمی و کیفی کیک اسفنجی بدون گلوتن پرداخت، مشخص گردید که نمونه حاوی نسبت برابر آرد برنج و ارزن (۵۰ درصد آرد برنج و ۵۰ درصد آرد ارزن) به همراه ۰/۲۵ درصد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۱ درصد صمغ گوار از بهترین کمیت و کیفیت برخوردار بود. بر همین اساس تصمیم بر آن شد که این نمونه به عنوان بهترین نمونه مرحله اول با یک نمونه از کیک اسفنجی بدون گلوتن حاوی ۵۰ درصد آرد برنج و ۵۰ درصد آرد ارزن (که البته این نمونه فاقد

جدول ۷- آنالیز واریانس تأثیر بهترین نمونه مرحله اول، شاهد بدون گلوتن و شاهد آرد گندم بر میزان رطوبت کیک اسفنجی بدون گلوتن.

منابع تغییرات	درجه آزادی	رطوبت
تکرار	۲	۰/۰۰۵**
تیمار	۲	۸۲/۵۱۰**
خطای آزمایش	۴	۰/۰۲۳
P<0.01** P<0.05* P>0.05 ^{ns}		

تخلخل

نتایج آنالیز واریانس تخلخل بهترین نمونه مرحله اول، شاهد بدون گلوتن و شاهد حاوی آرد گندم در جدول ۹ ملاحظه می‌گردد. همچنین در شکل ۵ مقایسه میزان تخلخل این سه نمونه نشان داده شده است. براساس نتایج مشخص گردید که به‌ترتیب بیشترین میزان تخلخل مربوط به نمونه حاوی آرد گندم، بهترین نمونه مرحله اول (نمونه حاوی ۰ درصد آرد برنج و ۵۰ درصد آرد ارزن به همراه ۰/۲۵ درصد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۱ درصد صمغ گوار) و شاهد بدون گلوتن که فاقد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار است، بود. پائین بودن میزان تخلخل نمونه شاهد بدون گلوتنی که فاقد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار بود، بدان دلیل است که شبکه‌ای در این نمونه جهت حفظ حباب‌های هوای ورودی در طی هم‌زدن وجود ندارد و اگر هم تعداد کمی از حباب‌های هوای ورودی در این نمونه باقی بماند به دلیل اینکه ضخامت حباب‌ها بسیار کم است در برابر انبساط حین فرآیند پخت مقاومت نکرده و پاره می‌شوند و از این طریق تعداد سلول‌های گازی در محصول نهایی کاهش می‌یابد. از طرفی لازم به ذکر است که بهترین نمونه مرحله اول هر چند که میزان تخلخل مناسبی دارد ولی نتوانسته به لحاظ تعداد و توزیع سلول‌های گازی با نمونه شاهد حاوی ۱۰۰ درصد آرد گندم برابری کند.

حجم مخصوص

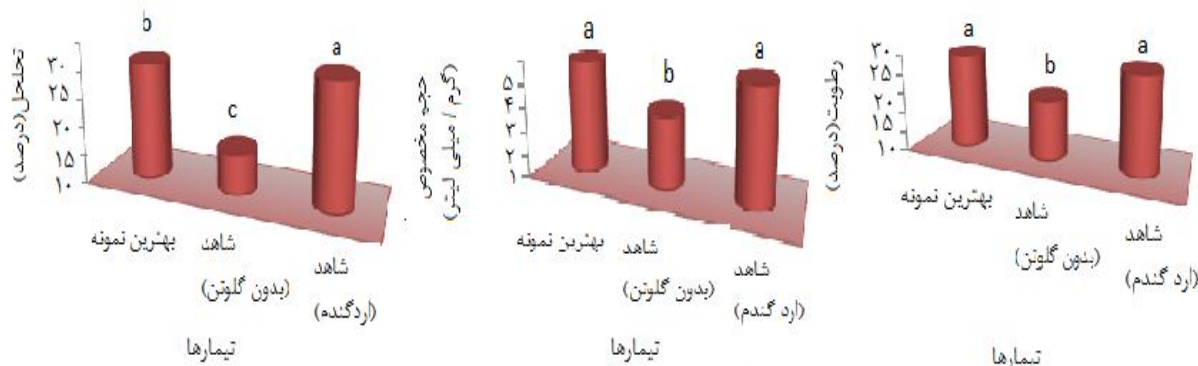
نتایج آنالیز واریانس حجم مخصوص بهترین نمونه مرحله اول، شاهد بدون گلوتن و شاهد حاوی آرد گندم در جدول ۸ ملاحظه می‌گردد. همچنین در شکل ۶ مقایسه میزان حجم مخصوص این سه نمونه نشان داده شده است. براساس نتایج مشخص گردید که بیشترین میزان حجم مخصوص مربوط به بهترین نمونه مرحله اول (نمونه حاوی ۵۰ درصد آرد برنج و ۵۰ درصد آرد ارزن به همراه ۰/۲۵ درصد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۱ درصد صمغ گوار) و شاهد آرد گندم و کمترین میزان حجم مخصوص مربوط به شاهد بدون گلوتن که فاقد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار است، بود. پائین بودن حجم مخصوص نمونه شاهد بدون گلوتنی که فاقد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار بود، بدان دلیل است که شبکه‌ای در این نمونه جهت حفظ حباب‌های هوای ورودی در طی هم‌زدن وجود ندارد و اگر هم تعداد کمی از حباب‌های هوای ورودی در این نمونه باقی بماند به دلیل اینکه ضخامت حباب‌ها بسیار کم است در برابر انبساط حین فرآیند پخت مقاومت نکرده و پاره می‌شوند و از این طریق در کاهش حجم مخصوص نمونه تولیدی اثر گذارست. در این راستا ساهی و آلاوا (۲۰۰۳) دلایل مشابهی را گزارش نمودند.

جدول ۸- آنالیز واریانس تأثیر بهترین نمونه مرحله اول، شاهد بدون گلوتن و شاهد آرد گندم بر میزان حجم مخصوص کیک اسفنجی بدون گلوتن.

منابع تغییرات	درجه آزادی	حجم مخصوص
تکرار	۲	۰/۰۰۳**
تیمار	۲	۲/۸۰۱**
خطای آزمایش	۴	۰/۰۰۵
P<0.01** P<0.05* P>0.05 ^{ns}		

جدول ۹- آنالیز واریانس تأثیر بهترین نمونه مرحله اول، شاهد بدون گلوتن و شاهد آرد گندم بر میزان تخلخل کیک اسفنجی بدون گلوتن.

منابع تغییرات	درجه آزادی	تخلخل
تکرار	۲	۰/۰۹۹**
تیمار	۲	۲۰۴/۶۱۰**
خطای آزمایش	۴	۰/۰۶۶
P<0.01** P<0.05* P>0.05 ^{ns}		



شکل ۵- تأثیر بهترین نمونه مرحله اول، شاهد بدون گلوتن و شاهد آرد گندم بر میزان تخلخل، حجم مخصوص و رطوبت کیک اسفنجی بدون گلوتن (حروف مشابه از نظر آماری در سطح $P > 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند).

در مرحله اول با نمونه شاهد حاوی ۱۰۰ درصد آرد گندم و نمونه‌ای بدون گلوتن که فاقد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار بود، انجام گردید. نتایج مرحله دوم به وضوح شباهت زیاد بهترین نمونه مرحله اول (نمونه حاوی ۵۰ درصد آرد برنج، ۵۰ درصد آرد ارزن به همراه ۰/۲۵ درصد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۱ درصد صمغ گوار) را با نمونه حاوی ۱۰۰ درصد آرد گندم مورد تأیید قرار داد بگونه‌ای که براساس نتایج این مرحله در میزان هیچ یک از پارامترهای ارزیابی شده (رطوبت، حجم مخصوص) این دو نمونه اختلاف معنی‌داری به لحاظ آماری در سطح ۵ درصد مشاهده نگردید.

نتیجه‌گیری

در مرحله اول این تحقیق که هدف امکان تولید کیک اسفنجی بدون گلوتن بود، اثر افزودن سطوح مختلف اختلاط آرد برنج و ارزن، آنزیم گلوتامیناز میکروبی و صمغ گوار بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی محصول نهایی مورد مطالعه قرار گرفت. بهترین نمونه مرحله اول (نمونه حاوی ۵۰ درصد آرد برنج، ۵۰ درصد آرد ارزن به همراه ۰/۲۵ درصد آنزیم گلوتامیناز میکروبی و ۱ درصد صمغ گوار) از رطوبت، تخلخل مطلوبی برخوردار بود. بنابراین جهت تأیید نهایی این نمونه، مرحله دوم پژوهش حاضر که هدف آن مقایسه بهترین نمونه تولیدی

منابع

- ایوبی، ا.، حبیبی نجفی، م. ب.، کریمی، م. ۱۳۹۰. بررسی اثر سطوح مختلف کنسانتره پروتئین آب پنیر (WPC) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی کیک روغنی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، دوره ۸، شماره ۲۹: ۸۸-۸۱.
- پوراسماعیل، ن.، عزیزی، م. ح.، عباسی، س. و محمدی، م. ۱۳۹۰. فرمولاسیون نان بدون گلوتن با استفاده از گوآر و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد ۲۱، شماره ۱، ۸۱-۷۰.
- پیغمبر دوست، ه. ۱۳۸۶. تکنولوژی تولید بیسکوئیت، کوکی و کراکر. جلد اول. چاپ اول انتشارات کتاب ایران (آبیژ)، تهران.
- ترابی زاده، ۱۳۸۱. امولسیون‌های غذایی و امولسیفایرها. چاپ اول انتشارات کتاب ایران (آبیژ)، تهران.
- نقی پور، ف.، حبیبی نجفی، م. ب.، کریمی، م. ح.، حداد خداپرست، م. ح.، شیخ الاسلامی، ز. و صحرائیان، ب. ۱۳۹۱. تولید کیک سورگوم بدون گلوتن با استفاده از صمغ‌های گوآر و گزانتان جهت مصرف بیماران سیلیاکی. مجموعه مقالات نخستین همایش ملی بیوتکنولوژی، بیوشیمی و مهندسی زیستی، ۲۲-۲۰ اردیبهشت. یزد.
- نقی پور، ف.، حبیبی نجفی، م. ب.، کریمی، م. ح.، حداد خداپرست، م. ح.، شیخ الاسلامی، ز. و صحرائیان، ب. ۱۳۹۱. کاربرد آرد سورگوم در تولید کیک بدون گلوتن. مجموعه مقالات نخستین همایش ملی پژوهش‌های راهبردی کشاورزی ایران، ۲۲ تیر، تاکستان.
- AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed., Vol. 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- Arozarena, I., Bertholo, M. M., Empise, J., Bunger, A., and Sousa, I. D. 2001. Study of the total replacement of egg by white lupine protein, emulsifiers and xanthan gum in yellow cake. *Europe Research Technology*, 213: 312-316.
- Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., and Sahin, S. 2010a. Rheological properties of gluten-free bread formulation. *Journal of Food Engineering*, 96: 295-303.
- Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., and Sahin, S. 2010b. Utilization of chest nut flour in gluten - free bread

- formulation. *Journal of Food Engineering*, 101: 329-336.
- Dhingra, S., and Jood, S. 2001. Organoleptic and nutritional evaluation of wheat breads supplemented with soybean and barley flour. *Food Chemistry*, 77: 479-488.
- Gallagher, E., Gormley, T. R., and Arendt, E. K. 2004. Recent advances in the formulation of gluten free cereal based. *Food Science and Technology*, 15: 143-152.
- Gerrard JA, Fayle SE, Wilson AJ, Newberry MP, Ross M, and Kavale S, 1998. The effect of microbial transglutaminase on dough properties and crumb strength of white pan bread. *Journal of Food Science*, 63: 472- 475.
- Haralick, R. M., K. Shanmugam., and Dinstein, I. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions of ASAE*, 45(6): 1995-2005.
- Kuraishi, C., Yamazaki, K., and Susa, Y. 2001. Transglutaminase: its utilization in the food industry. *Food Reviews International*, 17(2):221-246.
- Lopez, A. C. B., Pereira, A. J. G., Junqueira, R. G. 2004. Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten free white bread. *Braz Arch Biol Technology*, 47: 63-70.
- Moor, M. M., Schober, T. J., Dockery, P., Arendt, E. K. 2004. Textural comparisons of gluten free and wheat based doughs, batters and bread. *Cereal Chemistry*, 84: 567-575.
- Motoki, M., and Segaro, K. 1998. Transglutaminase and its use for food processing. *Trends in Food Science and Technology*, 9: 204-210
- Renzetti S, Dal Bello F, and Arendt EK. 2007. Impact of transglutaminase on the microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads made from different gluten-free flours. *Journal of Cereal Science*, 48(1): 33-45.
- Sahi, S. S., and Alava, J. M. 2003. Functionality of emulsifiers in sponge cake production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(11): 1419-1429.
- Sahi, S. S., and Alava, J. M. 2003. Functionality of emulsifiers in sponge cake production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(11): 1419-1429.
- Voysey, P.A., Legan, J.D. and Richard, K.R 1999. In *Encyclopedia of Food Microbiology*. Elsevier, 474-480.
- Ziobro, R., Korus, J., Witczak, M., and Juszczak, L. 2012. Influence of modified starches on properties of gluten free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten free bread. *Food Hydrocolloids*, 29(1): 68-74.

Study on physicochemical properties of gluten-free sponge cake

A. Mehraban Shandy¹, M. Alami^{*2}, Sh. Mokhtari³

Received: 2015.03.08

Accepted: 2016.01.09

Introduction: Cakes are usually formulated including wheat flour, sugar, egg and some liquids such as milk, water and oil. The textural properties of gluten in dough such as tensile, expansion and tolerance capability during mixing are major factors in baking industry. In fact, the structural protein to produce bread, cakes, muffins and biscuits is called gluten and the absence of gluten due to production of bakery products caused delicate texture, poor color, low size and porosity. The use of gluten-free flours such as corn, potatoes and rice, millet, Cassava, maize and sorghum in this category is inevitable. Therefore, the use of gluten alternatives such as hydrocolloids, enzymes and proteins, are essential in providing this products. MTG is transferase enzyme that can be made connection between glutamine and lysine. Result of this reaction improve nutritional and functional properties of the proteins. Covalent links generated by MTG has unique effects on gelation capacity, thermal stability and water holding capacities of products. Albumin and globulin do not have any effect on shaping of dough, but MTG connects the albumin and globulin to each other and then they become sedimented. This has beneficial effect on product quality. MTG has repairing ability on damaged wheat grains with binding protein. In this study, we try to contribute production of gluten-free sponge cake with guar gum, millet and rice flour, and MTG.

Materials and methods: TAROM rice flour purchase from local market and keep refrigerated until use it. Polyethylene bags with dimensions 15*25cm and thickness 40 microns were used. Guar gum (MEYPROTM GUAR, E412), vanilla (RHOVANILLA of RODYA company) and soy protein isolate (SPI) was prepared from China. Because of hygroscopic property of MTG, it was purchased in packages of 100 g, and stored at -15 ° C for further tests. For this purpose (0% millet-100% rice, 50% millet -50% rice, 100% millet-0%rice), guar gum (1, 2%) and MTG (0.25, 0.5%) were added. In order to increase the amino acid lysine as a substrate for the enzyme, soy protein isolate (SPI) was added to MTG containing samples. After baking (170 °C, 20 min) and cooling, each of the samples packed in polyethylene bags to evaluate characteristics. Moisture content Base on standard AACC, 2000, measured. For Size Measuring, a piece of cake weighed and placed into the container with the specific volume (V_i). The remaining space of container was filled with canola crops (V_s) and then volume of cakes calculated ($V_i - V_s$). For Evaluation of brain porous, cake was cubed in size 2*2 cm and Scanned by the scanner with a resolution of 1200 pixels (model: HP Scanjet G3010). Statistical analyze base on factorial design were prepared in triplicate. Duncan test at 5% level ($P < 0.05$) were compared and the Excel software was used for charts.

Results and discussion: Results showed that different kinds of flour (rice and millet) have not significant effect on moisture content of samples but guar gum and enzyme have the ability to retain moisture during baking process. With increasing amount of enzyme and guar gum, volume of cake decreased. The study of the interaction of these three factors (rice-millet flour ratio, MTG and guar gum) showed that, sample with 50-50, rice-millet flour, 1% MTG and 0.25% guar gum has highest specific volume. With increasing amount of enzyme in cake, porosity significantly increased. However, increasing amount of guar gum did not have any significant effect on porosity ($P < 0.05$). According to the results of the first stage, effect of different levels of rice and millet flour, MTG and guar gum on quantitative and qualitative properties of gluten-free sponge cake, it was determined that the sample contain 50% rice-50% millet flour, 0.25% MTG and 1% guar gum is best sample and it was compared with control sample (100% wheat flour) and cake without MTG. The result show that, guar gum, enzyme and composition of gluten free flour have ability to retain moisture, volume, porosity as well as control sample (100% wheat flour).

Conclusion: In the second stage, the best sample of the first phase (sample containing 50% rice-millet flour, 0.25% MTG and 1% guar gum) was compared with the sample containing 100% wheat flour and cake without

4 And 2. MSc Student and Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Agriculture and Natural Resources University of Gorgan.

3. MSc Student, Department of Food Science and Technology, Urmia University

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

MTG and confirmed that, statistically models have significant difference in 5% level.

Keywords: Free gluten cake, Guar gum, MTG, Specific gravity

تأثیر هیدروکلوئید دانه‌های اسفرزه و ریحان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی سس کچاپ

سمیرا شکبیا^۱ - مرتضی خمیری^۲ - زید احمدی^۳ - سید سهیل امیری عقدایی^{۴*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۱۵

چکیده

در پژوهش حاضر، قابلیت استفاده از هیدروکلوئید دانه‌های اسفرزه و ریحان به عنوان جایگزین صمغ‌های وارداتی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی سس کچاپ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بهینه‌یابی فرمولاسیون و تعیین تیمارهای سس کچاپ از طرح آماری مخلوط استفاده شد. تیمارها بر اساس استفاده ترکیبی از صمغ زانتان و هیدروکلوئید دانه‌های اسفرزه و ریحان در مقادیر صفر تا یک درصد با استفاده از نرم‌افزار Design Expert تعیین شد. نتایج نشان داد، استفاده از هیدروکلوئید دانه‌های اسفرزه و ریحان تأثیر معنی‌داری بر pH نمونه‌ها نداشت. به لحاظ آب‌اندازی به استثناء نمونه‌های K2 (حاوی یک درصد موسیلاژ اسفرزه) و K4 (حاوی یک درصد موسیلاژ ریحان) سایر نمونه‌ها پایدار بوده و هیچ‌گونه آب‌اندازی در آن‌ها مشاهده نشد. از نظر ویسکوزیته بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب در نمونه‌های K4 (حاوی یک درصد موسیلاژ ریحان) و K10 (۰/۵ درصد صمغ زانتان و ۰/۵ درصد موسیلاژ اسفرزه) مشاهده شد. به لحاظ پذیرش کلی بیشترین امتیاز از نظر ارزیابان متعلق به نمونه K4 (حاوی یک درصد موسیلاژ ریحان) بود. با توجه به بهینه‌یابی انجام شده در فرمولاسیون مشخص شد، استفاده ترکیبی از هیدروکلوئید دانه‌های اسفرزه ۰/۵۸ درصد و ریحان ۰/۴۲ درصد به عنوان پایدارکننده در سس کچاپ، جایگزین مناسبی برای صمغ‌های تجاری وارداتی است.

واژه‌های کلیدی: آب‌اندازی، کچاپ، ویسکوزیته، هیدروکلوئید اسفرزه و ریحان.

مقدمه

عصاره‌ی تغلیظ شده گوجه‌فرنگی با افزودن سرکه، شکر یا شربت ذرت با فروکتوز بالا و مجموعه‌ای از سبزیجات معطر و ادویه‌های گیاهی و طعم‌دهنده‌هایی مانند پیاز، فلفل شیرین، میخک، دارچین، سیر و کرفس و پایدارکننده‌های مجاز در طی فرآیند حرارتی پاستوریزاسیون تولید می‌شود (Smitt, ۱۹۹۶). ویسکوزیته سس کچاپ یکی از خواص مهم مورد توجه مهندسان برای طراحی فرآیند تولید و نیز از پارامترهای کیفی مهم در پذیرش مشتری می‌باشد. سس کچاپ ویسکوزیته خود را به صورت طبیعی از ترکیبات پکتیکی موجود در گوجه‌فرنگی بدست می‌آورد، اما واریته‌های گوجه‌فرنگی با میزان پکتین کمتر منجر به تولید محصولاتی با قوام کمتر می‌شوند. ویسکوزیته و قوام می‌تواند از طریق افزودن پلی‌ساکاریدهایی مانند نشاسته و صمغ حفظ شود. جدا شدن سرم یا آب انداختن یکی از مهمترین مشکلات در محصولات فرآیند شده گوجه‌فرنگی می‌باشد و این امر تأثیر منفی بر کیفیت محصول و مشتری پسندی آن‌ها دارد. بر اساس مطالعات صورت گرفته، افزودن هیدروکلوئیدها به سس کچاپ علاوه بر افزایش ویسکوزیته آن، میزان جدا شدن سرم را کاهش می‌دهد (Sahin & Ozdemir, ۲۰۰۷). به دلیل تأثیرگذاری بالای

امروزه سس گوجه‌فرنگی به یکی از مهمترین چاشنی‌های غذایی تبدیل شده است و از رایج‌ترین محصولات صنعتی گوجه‌فرنگی محسوب می‌شود. کیفیت این فرآورده به اجزای تشکیل‌دهنده آن وابسته است. سس گوجه‌فرنگی نیز مانند رب گوجه‌فرنگی باید دارای رنگی قرمز و درخشان، بدون ناخالصی و دانه‌های تیره، با قوام و غلظت یکنواخت باشد. کچاپ یا سس گوجه، یک چاشنی ملس (ترش و شیرین) است که از عصاره‌ی تغلیظ شده‌ی میوه تازه، سالم، قرمز و رسیده گوجه‌فرنگی که پوست و دانه‌ی آن جدا شده باشد و یا از

۱ و ۳ - به ترتیب دانشجوی ارشد و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آزاد شهر.

۲ - استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۴ - مربی، گروه علوم و صنایع غذایی، موسسه آموزش عالی بهاران، گرگان.

(*) - نویسنده مسئول: Email: amiri516@yahoo.com

هیدروکلوئیدها و قوام‌دهنده‌ها بر ویژگی‌های سس کچاپ و استفاده گسترده از قوام‌دهنده‌های مختلف وارداتی، اهمیت استفاده از منابع هیدروکلوئیدی بومی به شدت احساس می‌شود. دو هیدروکلوئید بومی که در سالیان اخیر توجه پژوهش‌گران را به خود جلب کرده است، موسیلاژ دانه‌های ریحان و اسفرزه می‌باشد که از گیاهان بومی ایران هستند. ریحان گیاهی است علفی، یک ساله، معطر با نام علمی *Ocimum basilicum* L. یکی از اعضای جنس *Ocimum* می‌باشد. جنس *Ocimum* شامل ۵۰ تا ۱۵۰ گونه گیاهی است که در سراسر جهان به خصوص در مناطق گرمسیری آسیا و آفریقای مرکزی یافت می‌شود. این گیاه بومی ایران به‌عنوان یک گیاه دارویی در طب سنتی کاربرد دارد. از سوی دیگر لایه خارجی (پریکارپ) دانه ریحان وقتی در تماس با آب قرار می‌گیرد به سرعت متورم می‌شود و ماده‌ای ژلاتینی ایجاد می‌کند. اسفرزه (پسیلوم) گیاهی یک‌ساله از جنس *Plantago* است (Cryood و همکاران، ۲۰۰۹). بیش از ۲۰۰ گونه از این جنس، تقریباً در تمامی نقاط معتدل دنیا گسترده شده است (Guo و همکاران، ۲۰۰۹). گونه‌های بدست آمده از *Plantago* تحت عنوان *Plantago Ovata Forsk*، به‌طور گسترده‌ای در ایران و پاکستان و هند رشد می‌کند. جنس *Plantago* متعلق به خانواده بارهنگ *Plantaginaceae* و در ایران تحت نام اسفرزه خوانده می‌شود (Chackrayourti و Pattel، ۱۹۹۲). دانه‌های اسفرزه حاوی موسیلاژ، پروتئین، قند، چربی و تانن است (Maccardi و whistler، ۱۹۶۵). پوسته یا سیوس دانه به‌عنوان منبع مناسبی برای تولید هیدروکلوئید می‌باشد که به‌صورت گسترده در صنعت غذا و داروسازی به‌کار می‌رود (سینگ، ۲۰۰۷).

پژوهش‌گران به‌منظور ممانعت از آب‌اندازی و افزایش ویسکوزیته در سس کچاپ از صمغ‌های مختلف نظیر زانتان، گوار، کربوکسی‌متیل سلولز و کنیرا استفاده و گزارش کردند که استفاده از هیدروکلوئیدها موجب کاهش آب‌اندازی در نمونه‌ها می‌شود (Sahin و Ozdemir، ۲۰۰۷). جاسزاک و همکاران (۲۰۱۳) نیز ضمن بررسی تأثیر نشاسته تغییر یافته استیل‌ه حاصل از نشاسته ذرت، سیب‌زمینی و کاساوا بر ویژگی‌های رئولوژیکی گزارش کردند، تمامی نمونه‌ها رفتار غیرنیوتنی و رقیق‌شونده با برش داشته و به‌لحاظ رفتار ویسکوالاستیک، رفتار ژل‌مانند را از خود نشان دادند. از سوی دیگر گوجرال و همکاران (۲۰۰۲) نیز بر روی اثر هیدروکلوئیدها، دما و مدت زمان نگهداری بر قوام سس کچاپ مطالعاتی را انجام دادند. در این تحقیق اثر صمغ‌هایی چون گوار، آلژینات سدیم، آکاسیا، زانتان، پکتین و کربوکسی‌متیل سلولز در دماهای مختلف بر ضریب قوام و کاهش سرم در سس کچاپ بررسی شد و بیشترین قوام در مورد صمغ‌های گوار و زانتان بدست آمد. پژوهش‌گران دیگری نیز صمغ دانه خرنوب را استخراج کرده و در فرمولاسیون سس کچاپ به‌عنوان قوام‌دهنده و پایدارکننده استفاده نمودند و در نهایت گزارش کردند که

صمغ دانه خرنوب محلی موجب بهبود رفتار رئولوژیکی سس کچاپ شده، قوام آن را افزایش و میزان آب انداختن سس را کاهش داد (مصباحی و همکاران، ۲۰۱۰). به‌علاوه از موسیلاژ دانه‌های ریحان و اسفرزه به‌منظور بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی و فیزیکوشیمیایی در فرآورده‌های مختلفی نظیر مایونز کم‌چرب (امیری و همکاران، ۲۰۱۲؛ عربشاهی و همکاران، ۱۳۹۳)، ماست کم‌چرب (امیری و همکاران، ۱۳۸۸؛ امیری و همکاران، ۱۳۸۹)، بستنی نرم (امیری و همکاران، ۱۳۹۱) و نوعی نوشیدنی سنتی (امیری و اعلمی، ۱۳۹۰) استفاده شده است. اما با توجه بررسی منابع صورت گرفته مشخص شده است، پژوهشی در ارتباط با استفاده از موسیلاژ دانه‌های ریحان و اسفرزه در فرمولاسیون سس کچاپ صورت نگرفته است، از این رو هدف از این پژوهش بررسی تأثیر موسیلاژ دانه‌های ریحان و اسفرزه بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی سس کچاپ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

مواد اولیه جهت تولید سس کچاپ از بازار داخلی ایران تهیه شد. مواد اولیه به‌لحاظ کیفی، طبق استاندارد ملی ۲۵۵۰ می‌باشند. برای تهیه سس کچاپ کلیه نمونه‌ها با فرمولاسیون یکسان و بر اساس روش دارب‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) تهیه شد و تنها تفاوت موجود در نمونه‌ها در نوع و غلظت صمغ بود. مواد اولیه و مشخصات آن در جدول (۱) نشان داده شده است.

روش آماده‌سازی موسیلاژ دانه ریحان

جهت استخراج موسیلاژ دانه ریحان از روش رضوی و همکاران (۲۰۰۹)، با اندکی تغییرات استفاده شد. دانه ریحان به نسبت ۱ به ۶۰ در دمای ۶۹ درجه سانتی‌گراد و $pH=8$ با آب دیونیزه مخلوط شد و بعد به‌منظور تهیه موسیلاژ به مدت ۱ دقیقه با مخلوط‌کن در دور پایین مخلوط شد. مخلوط حاصل از مرحله قبل، به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. سپس موسیلاژ حاصل از مرحله قبل با استفاده از آن آزمایشگاهی در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده و در نهایت توسط آسیاب آزمایشگاهی پودر شد و در بسته‌های غیرقابل نفوذ به رطوبت نگهداری شد.

نحوه آماده‌سازی موسیلاژ دانه اسفرزه

به‌منظور استخراج موسیلاژ پوسته اسفرزه از روش عسکری و همکاران (۱۳۸۷) استفاده گردید. در این روش ابتدا باید ناخالصی‌های دانه اسفرزه نظیر سنگ، برگ و دانه جداسازی شد. سپس در هر مرحله ۱۰۰ گرم از دانه اسفرزه با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی به مدت ۲ دقیقه آسیاب شد. پس از آسیاب کردن دانه‌های اسفرزه، برای

دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد تا باقی مانده دانه از داخل ژل جدا شود و در آن آزمایشگاهی در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد به صورت فیلم خشک گردید. فیلم حاصل به منظور افزودن به فرمولاسیون سس کچاپ توسط آسیاب پودر گردید.

جداسازی مغز دانه از پوسته در مخلوط آسیاب شده، از الک آزمایشگاهی با شماره مش ۳۰ استفاده شد. سیوس دانه‌های اسفرزه به نسبت ۱ به ۳۰ با آب معمولی شهر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مخلوط گردید و به مدت ۲۴ ساعت در همان شرایط نگهداری شد. مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه در

جدول ۱- مقادیر مواد اولیه مورد استفاده جهت تولید سس کچاپ

ماده	درصد
رب گوجه فرنگی (۲۸٪)	۴۵
شکر	۸
نمک	۰/۵
دارچین	۰/۰۴۲
پودر فلفل قرمز	۰/۰۷
پودر سیر خشک	۰/۰۴۲
پودر میخک	۰/۰۱۷
پودر پیاز خشک	۰/۳۳
سرکه (۵٪)	۹/۲
صمغ	۱
آب	رسیدن به وزن ۱۰۰

اندازه‌گیری ویسکوزیته ظاهری

به منظور بررسی ویسکوزیته سس کچاپ از دستگاه رثومتر (فیزیکا آنتون پار، MRC 301) استفاده شد و به منظور تنظیم دما از سیستم Peltier Plate با حساسیت یک‌دهم درجه سانتی‌گراد، مجهز به سیستم چرخش آب استفاده شد. همچنین برای تمامی نمونه‌ها ژئومتری ۴ پره‌ای و دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد و زمان استراحت ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شد که به منظور ارزیابی نمونه‌های سس کچاپ ویسکوزیته در محدوده‌ی ۵۰ پاسکال بر ثانیه مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش انجام آزمون آب‌اندازی

به منظور اندازه‌گیری آب‌اندازی نمونه‌های سس کچاپ ابتدا مقداری نمونه داخل لوله‌های سانتریفیوژ توزین شد و به مدت ۱۰ دقیقه در سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از این مرحله فاز رویی خارج شده و دوباره لوله‌های حاوی نمونه باقیمانده توزین شد. در نهایت آب‌اندازی نمونه‌ها برحسب درصد با استفاده از معادله زیر تعیین گردید (داراب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

$$(۱) \quad 100 \times (\text{وزن نمونه قبل از سانتریفیوژ} / (\text{وزن نمونه بعد از سانتریفیوژ} - \text{وزن نمونه قبل از سانتریفیوژ})) = \text{درصد آب‌اندازی}$$

روش انجام آزمون رنگ‌سنجی

ویژگی‌های رنگی نمونه‌های سس کچاپ با استفاده از اسکنر (Canon) و برنامه Image J و بر اساس سیستم هانتربل (a*, b*,

روش تولید سس کچاپ

مواد اولیه برای تولید نمونه‌های کچاپ مطابق با فرمولاسیون ذکر شده در جدول ۱ توزین شدند. ابتدا رب گوجه فرنگی دارای بریکس ۳۰ (شرکت فرآورده‌های غذایی کامنوش) و آب مخلوط شده و تا رسیدن به دمای جوش حرارت داده شدند، سپس نمک و ادویه‌جات شامل پودر سیر خشک و پیاز خشک تهیه شده به‌روش سنتی و پودر میخک، دارچین و فلفل قرمز (فروشگاه گیاهان دارویی) اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه به‌صورت ملایم حرارت داده شد. پس از آن سرکه (محصول شرکت فرآورده‌های غذایی مهرام) و شکر به فرمولاسیون اضافه شد، در نهایت صمغ‌های زانتان، دانه اسفرزه و ریحان با نسبت‌های معین شده به نمونه‌ها اضافه شد و تا رسیدن به بریکس ۲۸ در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. سپس نمونه‌ها در ظروف یک کیلوگرمی بسته‌بندی و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد جهت انجام آزمایش‌ها نگهداری شد (داراب‌زاده و همکاران ۱۳۹۱).

روش اندازه‌گیری pH

پس از کالیبره کردن دستگاه pH متر (Bell-PHs -BW)، pH نمونه‌ها بطور مستقیم با قرار دادن الکتروود دستگاه درون نمونه اندازه‌گیری و مقادیر گزارش شد.

ارزیابی نمودند، به این ترتیب که حداکثر نمره ۵ به منزله عالی بودن نمونه و حداقل نمره ۱ به عنوان بد بودن نمونه در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی اثر هیدروکلوئیدهای دانه اسفرزه و ریحان روی خواص رئولوژیکی، حسی و فیزیکی شیمیایی سس کچاپ از طرح آماری مخلوط توسط نرم افزار آماری Design Expert9 استفاده شد. که در نهایت ترکیب چندگانه از ۱۰ مخلوط (جدول ۲) حاصل شد و همچنین جهت رسم نمودارها و انجام محاسبات از نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ و Design Expert9 استفاده شد. به این منظور از معادلات مناسب برای نشان دادن رابطه هریک از متغیرهای وابسته در مدل رگرسیونی با متغیرهای مستقل، نمودار کانتور مخلوط آنها توسط نرم افزار مذکور ترسیم شد و همچنین جهت برازش مدل‌های داده شده، مقادیر ضریب تبیین R^2 مدل تعیین شدند.

L^* تعیین شد. نمونه‌های سس کچاپ در پلیت‌های پلاستیکی کاملاً یکسان از نظر جنس و ارتفاع ریخته شدند. ظروف حاوی نمونه ها با فیلم نازک و شفاف پوشانده شده و به صورت جداگانه در مرکز اسکنر قرار داده شدند. برای جلوگیری از تأثیر نور محیط بر عکس های بدست آمده از پوشش مشکی روی اسکنر استفاده شد. سپس با تنظیم مشخصه‌هایی همچون رنگ زمینه، درشت‌نمایی و روشنی نمونه‌ها اسکن شدند و عکس‌ها در برنامه Image J مورد ارزیابی قرار گرفتند و فاکتورهای a^* , b^* , L^* برای آنها محاسبه شدند (مصباحی و همکاران ۱۳۸۸).

روش انجام آزمون‌های حسی

پس از آموزش‌های مقدماتی تعداد ۱۰ نفر (۷ نفر زن و ۳ نفر مرد با محدوده‌ی سنی ۲۷ تا ۳۰ سال) به عنوان ارزیاب انتخاب گردید و با استفاده از روش هدونیک (۵ نقطه‌ای) نمونه‌های سس کچاپ تهیه شده را به لحاظ ظاهری (رنگ)، بافت، طعم، احساس دهانی و قوام

جدول ۲- تیمارهای آزمایش بر اساس متغیرهای مستقل فرمول در طرح آماری مخلوط (بر حسب گرم)

تیمار	زانتان	اسفرزه	ریحان
K1	۰/۵	۰	۰/۵
K2	۰	۱	۰
K3	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
K4	۰	۰	۱
K5	۱	۰	۰
K6	۰/۱۶	۰/۶۶	۰/۱۶
K7	۰	۰/۵	۰/۵
K8	۰/۶۶	۰/۱۶	۰/۱۶
K9	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۶۶
K10	۰/۵	۰/۵	۰

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، نمونه‌های K1 (صمغ زانتان ۰/۵، موسیلاژ دانه‌های ریحان ۰/۵ درصد وزنی) و K5 (۱ درصد وزنی زانتان) با $pH = 3/74$ بالاترین مقدار و نمونه‌های K6 (اسفرزه ۰/۶۶ درصد وزنی، زانتان و ریحان هر کدام ۰/۱۶ درصد وزنی)، K7 (زانتان صفر و موسیلاژ اسفرزه و ریحان هر کدام ۰/۵ درصد وزنی) و K10 (ریحان صفر و زانتان و اسفرزه هر کدام ۰/۵ درصد وزنی) با $pH = 3/68$ کمترین مقدار pH را دارا بودند. نتایج مشابهی توسط Rani و Banins (۱۹۸۷) گزارش شده است که مقدار pH سس‌های کچاپ را در محدوده‌ی ۳/۵۵ تا ۳/۸۷ به دست آوردند. همچنین نتایج حاصله با نتایج الدسوک (۲۰۰۳)، رضوی و همکاران (۱۳۹۱)، شاروبا و همکاران (۲۰۰۵)، بایود و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت داشت. حامد عسگری و همکاران (۱۳۸۷) نتایج خود را با گزارشات سینک و همکاران (۲۰۰۷) بررسی کردند و به نتایج مشابهی رسیدند.

نتایج و بحث

pH

pH از مهم‌ترین پارامترهای شیمیایی مطرح در مورد سس کچاپ می‌باشد. استاندارد ایران محدوده‌ی مشخصی را برای آن تعیین نموده است. به همین به منظور جهت اطمینان از این‌که در محدوده‌ی استاندارد قرار دارد، برای ۱۰ نمونه‌ی تولیدی در این تحقیق، میزان pH اندازه‌گیری شد (جدول ۳). طبق استاندارد ایران به شماره ۲۵۵۰، pH سس کچاپ نباید از ۴ بالاتر باشد چرا که منجر به ایجاد طعم نامطلوب در فرآورده شده و از قابلیت مشتری پسندی آن می‌کاهد. از طرفی در pH های بالاتر، عمر نگهداری محصول نیز کمتر بوده و احتمال رشد باکتری‌های بیماری‌زا افزایش می‌یابد. تمام محصولات نهایی تولید شده دارای pH هایی در محدوده‌ی ۳/۶۸ تا ۳/۷۴ بودند که مطابق با محدوده‌ی تعیین شده توسط استاندارد ملی ایران است.

درآمده و به واسطه ماهیت پلی‌ساکاریدی این بار منفی سبب دفعه الکترواستاتیک در داخل مولکول بیوپلیمر دانست.

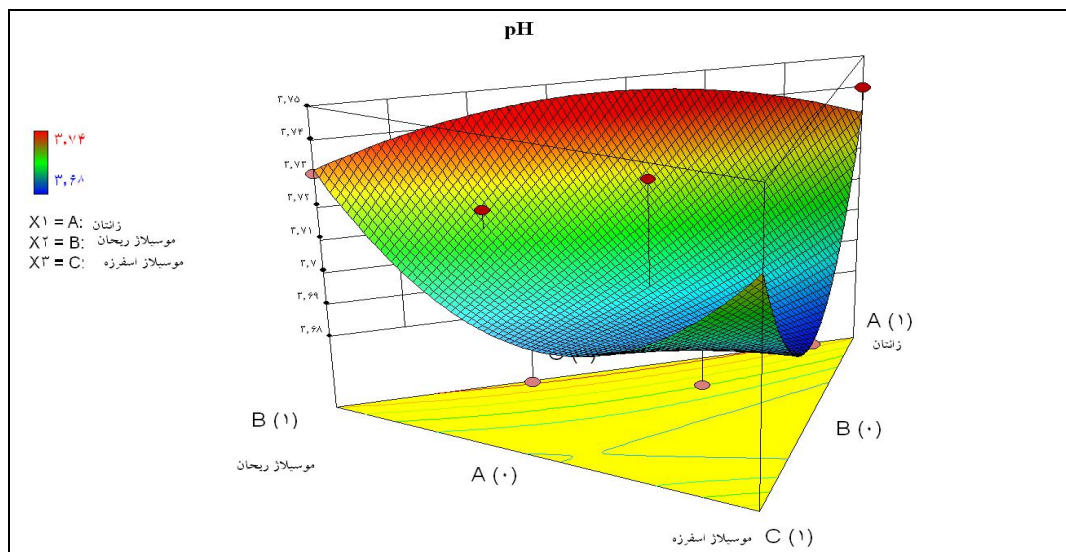
نتایج اینگونه بیان شد که علت تغییر pH در موسیلاژ اسفرزه به علت دارا بودن گروه کربوکسیل در زنجیره اصلی این بیوپلیمر است که باعث می‌شود در pH بالا گروههای کربوکسیل به صورت یونیزه

جدول ۳- نتایج آزمون‌های سس کچاپ

نمونه	زانتان	اسفرزه	ریحان	pH	آب‌اندازی (درصد)	ویسکوزیته (پاسکال ثانیه)	L*	a*	b*	پذیرش کلی
K1	۰/۵	۰	۰/۵	۳/۷۴	۰	۱۰/۲	۲۵/۳۱	۳۶/۱۴	۲۸/۶۵	۴/۳۶
K2	۰	۱	۰	۳/۷۳	۰/۴۳۵	۱۱/۲	۲۵/۹۵	۳۷/۰۶	۲۹/۸۰	۳/۹۶
K3	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۳/۷۳	۰	۸/۲۷	۲۵/۲۶	۳۵/۹۱	۲۹/۰۷	۴/۳۳
K4	۰	۰	۱	۳/۷۳	۱/۶۳	۱۲	۲۵/۷۹	۳۵/۴۴	۲۸/۲۶	۴/۵
K5	۱	۰	۰	۳/۷۴	۰	۸/۲۶	۲۵/۶۶	۳۶/۹۵	۲۹/۶	۴/۳۶
K6	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۶۶	۳/۶۸	۰	۱۱/۳	۲۵/۶۶	۳۷/۰۴	۲۹/۳۰	۴/۱۳
K7	۰	۰/۵	۰/۵	۳/۶۸	۰	۸/۸۱	۲۵/۴۷	۳۶/۲۴	۲۸/۹۳	۴/۳
K8	۰/۶۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۳/۶۹	۰	۹/۳۲	۲۴/۴۳	۳۶/۰۵	۲۸/۳۰	۴/۴۶
K9	۰/۱۶	۰/۶۶	۰/۱۶	۳/۷۲	۰	۸/۷۴	۲۶/۳۷	۳۶/۳۷	۲۹/۰۱	۴/۰۶
K10	۰/۵	۰/۵	۰	۳/۶۸	۰	۴/۸۱	۲۵/۵۹	۳۶/۸۶	۲۹/۱۵	۴/۲۳

pH نمونه‌های سس کچاپ تولیدی نیز افزایش پیدا کرده است، در حالی که در طرف مقابل با افزایش میزان موسیلاژ اسفرزه pH نمونه‌های تولیدی کاهش قابل توجهی داشت، از دلایل تغییر pH می‌توان به تولید برخی اسیدهای آلی مختلف در طی زمان نگهداری اشاره کرد که این نتایج با نتیجه آزمایشات عدالتیان و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت داشت. اما همان‌طور که گفته شد در تمامی نمونه‌های تولیدی در این تحقیق، pH در محدوده‌ی استاندارد ایران برای سس کچاپ می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان می‌دهد مدل درجه دوم جهت برازش pH مناسب بوده و دارای ضریب تبیین ۰/۷۹ می‌باشد. اما در کل نتایج اندازه‌گیری pH، نشان‌دهنده عدم تأثیر معنی‌دار افزودن موسیلاژ دانه‌های ریحان و اسفرزه و صمغ زانتان به صورت جداگانه و ترکیبی بر pH نمونه‌های سس کچاپ تولیدی می‌باشد ($P > 0.05$). به منظور تعیین تأثیر هر یک از ترکیبات بر pH، نمودار سطح مخلوط مربوطه رسم گردید (شکل ۱). با توجه به شکل، مشاهده می‌شود که با حرکت به سمت رأس با مقدار بالاتر زانتان،

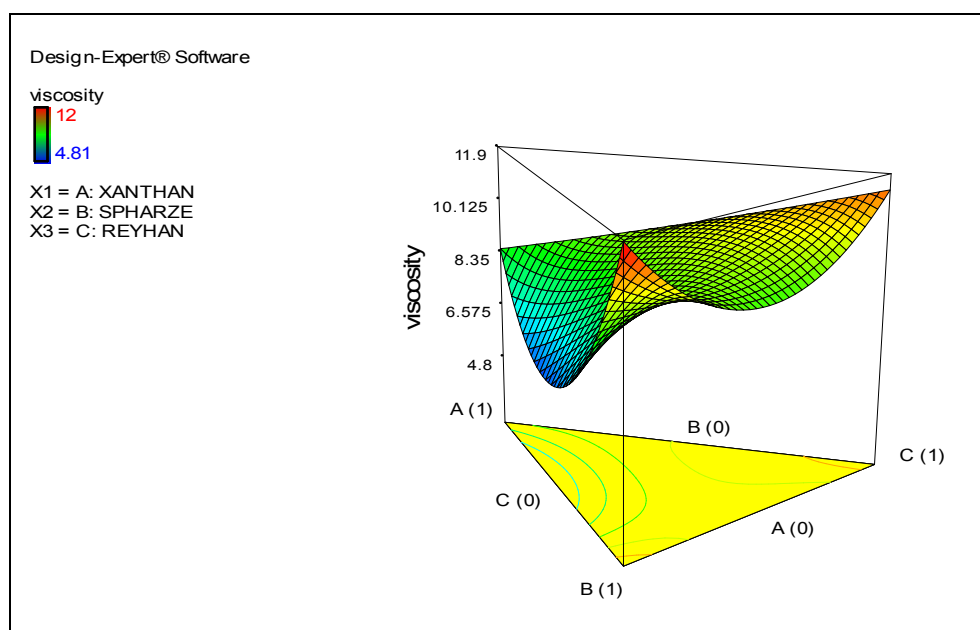


شکل ۱- نمودار سطح مخلوط pH نمونه‌های سس کچاپ

ویسکوزیته ظاهری

ویسکوزیته سس کچاپ دلیل اصلی برای پذیرش مصرف کننده است که از فاکتورهای مهم در تولید تجاری کچاپ محسوب می شود (بایودا و همکاران ۲۰۰۸). مطابق جدول (۳) بیشترین و کمترین ویسکوزیته مربوط به نمونه های $K4=12$ (یک درصد وزنی موسیلاژ دانه ریحان) و $K10=4/81$ (۰/۵ درصد وزنی موسیلاژ اسفرزه و ۰/۵ درصد وزنی صمغ زانتان) می باشد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴)، نشان می دهد مدل درجه دوم برای برآزش ویسکوزیته مناسب می باشد. همچنین ضریب تبیین مدل درجه دوم برای ویسکوزیته

($R^2=0/93$) حاکی از رضایت بخش بودن مدل است. بر اساس مقادیر P مشخص شده است که جایگزینی هر یک از موسیلاژ دانه های اسفرزه و ریحان به صورت جداگانه یا ترکیبی با صمغ زانتان تأثیر معنی داری بر ویسکوزیته نمونه های تولید شده ندارد. در همین راستا مصباحی و همکاران (۱۳۸۸) کربوکسی متیل سلولز حاصل از تفاله چغندر در فرمولاسیون چغندر قند با سایر قوام دهنده ها مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند، کربوکسی متیل سلولز نسبت به سایر قوام دهنده ها ویسکوزیته کمتری دارد اما نسبت به نمونه شاهد گرانیوی بسیار بالاتری در نمونه ایجاد می کند.



شکل ۲- نمودار سطح مخلوط ویسکوزیته ظاهری نمونه های سس کچاپ

همچنین همان طور که از جدول ۳ مشاهده می شود با افزایش غلظت موسیلاژ ریحان ویسکوزیته افزایش یافته است که دلیل آن را می توان به درگیری بین مولکولی که منجر به افزایش ویسکوزیته و افزایش محدودیت رانش بین مولکولی در اثر درگیری بین زنجیره های پلیمری دانست (رزمخواه و همکاران ۱۳۸۹).

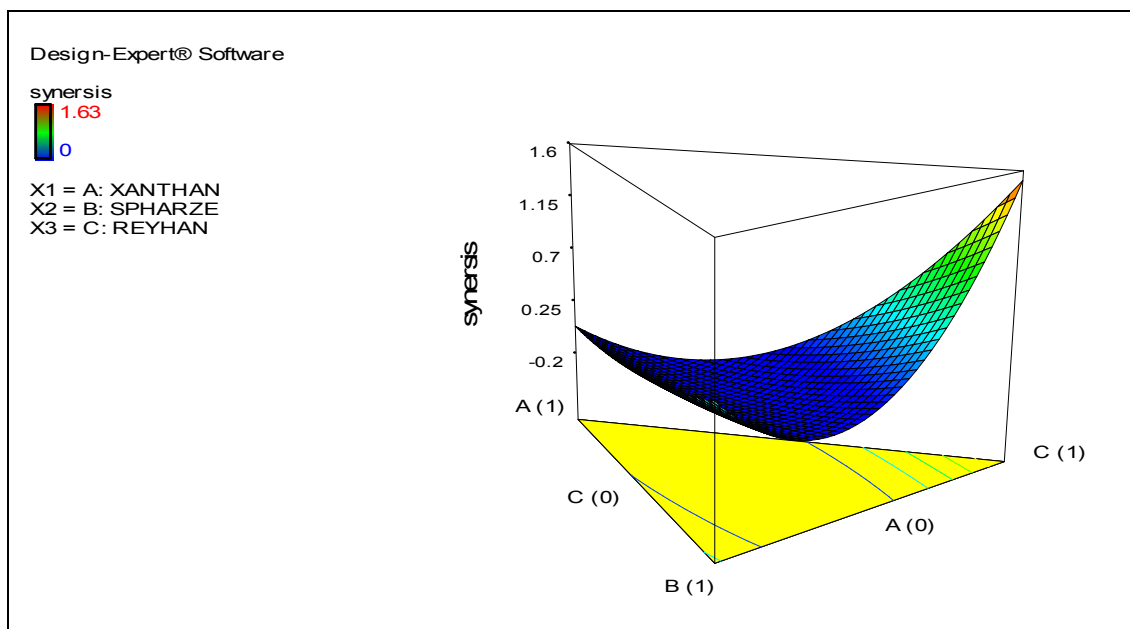
درصد آب اندازی نمونه های سس کچاپ

جدا شدن سرم کچاپ (آب اندازی)، یکی از بزرگترین مشکلات صنعت کچاپ است و کنترل آب اندازی آن در هنگام نگهداری بسیار حائز اهمیت می باشد، چرا که تأثیر منفی بر کیفیت و مقبولیت محصول از سوی مشتری دارد. نتایج مربوط به آب اندازی نمونه های مختلف سس کچاپ در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، به استثنای نمونه های $K2$ (یک درصد موسیلاژ دانه

به منظور تعیین تأثیر هریک از ترکیبات بر ویسکوزیته، نمودار سطح مخلوط مربوطه (شکل ۲) رسم گردید. با توجه به شکل، مشاهده می شود که با حرکت به سمت رأس با مقدار بالاتر زانتان، ویسکوزیته نمونه های سس کچاپ تولیدی نیز کاهش پیدا کرده است، در حالی که در طرف مقابل با افزایش میزان موسیلاژ اسفرزه و ریحان ویسکوزیته نمونه های تولیدی افزایش داشت. با توجه به پژوهش های صورت گرفته در ارتباط با ویژگی های رئولوژیکی موسیلاژ دانه اسفرزه و ریحان مشخص شده است که این هیدروکلوئیدها دارای قدرت تشکیل ژل می باشند، در حالی که صمغ زانتان طبق تحقیقات دیونگ و همکاران (۲۰۰۷) قادر به تشکیل مستحکم نبوده و ممکن است دلیل نتایج این پژوهش نیز همین امر باشد زیرا زانتان به دلیل داشتن زنجیره های طویل استیلی جانبی مولکول به صورت قابل توجهی مانع از تشکیل مارپیچ های دو رشته ای منظم در ساختار ژل می شود و

تبیین ۰/۹۲۴ نیز حاکی از رضایت بخش بودن مدل بود. با توجه به ضرایب مدل درجه دو بیشترین تأثیر بر کاهش آب‌اندازی مربوط به استفاده ترکیبی از صمغ زانتان و اسفرزه است و صرفاً استفاده از موسیلاژ دانه‌های ریحان و اسفرزه موجب افزایش آب‌اندازی شده است که بیشترین اثر در بین ضرایب مدل مربوط به استفاده تنها از صمغ ریحان بوده است. ممکن است دلیل این امر مربوط به ساختار صمغ زانتان باشد. صمغ زانتان پایداری بسیار خوبی نسبت به سینرسیس حتی در طول نگهداری دارد، زیرا صمغ زانتان هتروپلی‌ساکاریدی است که دارای واحدهای پنتاساکاریدی تکرارشونده است. این پنتاساکاریدها شامل ۲ واحد مانوز، ۲ واحد گلوکز و ۱ واحد اسید گلوکورونیک می‌باشد، به همین دلیل موجب پایداری و سختی این صمغ در مقابل اسید و گرما می‌شود. همچنین دلیل دیگر را می‌توان به اثر سینرسیسی بین زانتان با اسفرزه و ریحان اشاره کرد و هنگامی که زانتان به همراه هر یک موسیلاژهای ریحان و اسفرزه استفاده شود، باعث می‌شود میزان سینرسیس تا حد قابل قبولی کاهش می‌یابد. دلیل افزایش سرم برخی نمونه‌ها در طول نگهداری را می‌توان به دلیل ناهمگون بودن هیدروکلوئیدها یا هیدرولیز جزئی آنها دانست. این نتایج با مطالعات Sahin و همکاران (۲۰۰۷) و Stofors و همکاران (۱۹۹۰) و Gujral و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت داشت.

اسفرزه) و K4 (یک درصد موسیلاژ دانه ریحان) سایر نمونه‌ها پایدار بوده و هیچ‌گونه آب‌اندازی در آن‌ها مشاهده نشد. بطور کلی افزودن موسیلاژ ریحان و اسفرزه به تنهایی، قادر به جلوگیری از آب‌اندازی نمونه‌های سس نبوده است، اما زمانی که موسیلاژ دانه‌های مذکور در ترکیب با یکدیگر و به همراه صمغ زانتان مورد استفاده قرار گرفت، موجب جلوگیری از آب‌اندازی نمونه‌ها شد. در همین راستا در بررسی صورت گرفته توسط یوسفی و همکاران (۱۳۸۹) مشخص شد که افزودن هیدروکلوئید کربوکسی‌متیل سلولز منجر به کاهش میزان آب‌اندازی نمونه‌های سس کچاپ می‌شود و بین میزان کربوکسی‌متیل سلولز موجود در فرمولاسیون سس‌های کچاپ و میزان آب‌اندازی رابطه عکس وجود دارد. در پژوهشی دیگر نیز که گوجرال و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی تأثیر هیدروکلوئیدهای CMC، پکتین، آلژینات، صمغ آکاسیا، زانتان و گوار بر میزان آب‌اندازی نمونه‌های سس کچاپ پرداختند. نتایج این محققین نشان داد که افزودن همزمان صمغ گوار و زانتان میزان آب‌اندازی نمونه‌ها را طی ۱۲۰ روز نگهداری تا صفر درصد کاهش می‌دهد که حاکی از کارایی بالای این صمغ‌ها در کاهش آب‌اندازی سس است. نتایج تجزیه واریانس آب‌اندازی (جدول ۴) نشان می‌دهد که مدل درجه دوم جهت برازش درصد آب‌اندازی نمونه‌های مختلف تولیدی مناسب می‌باشد. ضریب



شکل ۳- نمودار سطح مخلوط درصد آب‌اندازی نمونه‌های سس کچاپ

زانتان درصد آب‌اندازی کاهش یافته و حتی به صفر درصد می‌رسد در حالی که با حرکت به سمت رأسی با بالاترین میزان موسیلاژ ریحان، درصد آب‌اندازی افزایش پیدا می‌کند.

به منظور تعیین تأثیر هریک از ترکیبات بر درصد آب‌اندازی، نمودار سطح مخلوط مربوطه رسم گردید (شکل ۳). با توجه به شکل، مشاهده می‌شود که با حرکت به سمت رأس‌هایی با مقادیر بالاتر

رنگ

اندازه‌گیری رنگ با استفاده از سیستم رنگ‌سنجی هانتربل^۱ دقیق‌ترین و ساده‌ترین روش برای تعیین تغییرات رنگ است (طیب لغمانی و همکاران، ۲۰۱۳). رنگ نمونه‌های مختلف سس کچاپ با تعیین فاکتورهای L^* ، a^* و b^* از سیستم هانتربل تعیین شد. L^* ، a^* و b^* استانداردهای بین‌المللی برای اندازه‌گیری رنگ هستند که توسط CIE^۲ در سال ۱۹۷۶ تعیین گردیده‌اند. فاکتور L^* نماینده‌ی میزان روشنی محصول بوده و در محدوده اعداد صفر (کاملاً تیره) تا ۱۰۰ (کاملاً روشن) قرار می‌گیرد. پارامترهای a^* و b^* به‌ترتیب نماینده قرمزی و زردی محصول بوده و در محدوده ی ۱۲۰- تا ۱۲۰ قرار می‌گیرند. نتایج مربوط به آزمون رنگ‌سنجی نمونه‌ها، در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، نمونه‌های سس کچاپ K8 (سس کچاپ با مقدار صمغ زانتان ۰/۶۶ درصد و موسیلاژ دانه‌های اسفرزه و ریحان ۰/۱۶ درصد برحسب گرم) و K9 (نمونه سس کچاپ با مقدار صمغ زانتان ۰/۱۶ درصد و موسیلاژ دانه‌های ریحان و اسفرزه به ترتیب ۰/۶۶ و ۰/۱۶ درصد برحسب گرم)، به‌ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار L^* بودند، همچنین نتایج حاصل از تجزیه واریانس نمونه‌ها (جدول ۴) نیز نشان داد که مدل درجه دوم برای برازش L^* مناسب می‌باشد و ضریب تبیین ۰/۹۹۴۳ حاکی از رضایت‌بخش بودن مدل بود. ضریب تبیین تصحیح شده مدل برای L^* نیز ۰/۹۸۷۱ بود. معنی‌دار شدن مدل خطی نشان می‌دهد که افزودن هر یک از هیدروکلوئیدهای زانتان، موسیلاژ اسفرزه و ریحان توانسته است به تنهایی فاکتور L^* نمونه‌های سس کچاپ تولیدی را تحت تأثیر قرار دهد. علاوه بر اثرات جداگانه صمغ‌ها، برهم‌کنش‌های زانتان-اسفرزه، ریحان-اسفرزه و زانتان-ریحان نیز توانسته‌اند اثر قابل توجهی بر روشنایی نمونه‌های سس کچاپ داشته باشند. دانه‌های اسفرزه پوسته تیره رنگی دارند که هنگام استخراج صمغ وارد محلول نهایی و در ادامه پودر صمغ تولیدی نهایی می‌شوند، این امر باعث تیره‌تر شدن رنگ سس‌های کچاپ تولید شده با بالاترین میزان موسیلاژ اسفرزه می‌گردد. در مورد ریحان نیز به نسبت رفتار مشابهی دیده شد اما تیرگی موسیلاژ حاصل از ریحان به مراتب کمتر از اسفرزه بود. بدیهی است که با انجام تصفیه بهتر و خالص‌سازی بهتر صمغ و یا استفاده از روش‌های جایگزین با قابلیت بالاتر در استخراج صمغ و تولید محصولی شفاف‌تر می‌توان بر این مشکل غلبه کرد (فرحناکی و همکاران، ۲۰۱۳). مصباحی و همکاران (۱۳۸۸) نیز نشان دادند که افزودن پودر تفاله گوجه‌فرنگی به نمونه‌های کچاپ منتهی به افزایش معنی‌داری میزان L و b محصولات و کاهش در میزان a آن‌ها می‌شود و دلیل آن را میزان

کمتر رنگدانه‌های قرمز (لیکوپن) در پودر تفاله گوجه‌فرنگی گزارش نمودند. طیب لغمانی و احسان دوست (۲۰۱۳) نشان دادند که افزودن صمغ بذر کتان به سس کچاپ می‌تواند منتهی به ایجاد تفاوت‌های معنی‌دار در اندیس‌های L^* ، a^* و b^* شود. در ارتباط با میزان قرمزی سس‌های تولیدی (a^*)، نمونه‌های K2 (موسیلاژ دانه‌های اسفرزه ۱ درصد) و K4 (موسیلاژ دانه‌های ریحان ۱ درصد) به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار عددی a^* بودند. همچنین وضعیت مشابهی در مورد میزان زردی نمونه‌ها (b^*) نیز مشاهده شد. همچنین نتایج تجزیه واریانس (۴) نشان می‌دهد، به‌منظور برازش فاکتورهای a^* و b^* مدل خطی مناسب می‌باشد. در رابطه با فاکتور a^* ، با توجه به نتایج مقادیر P ، حاکی از معنی‌داری مدل خطی بوده بنابراین هر کدام از صمغ‌ها به‌صورت جداگانه می‌توانند اثر معنی‌داری بر میزان a^* نمونه‌ها داشته باشند.

برای مشخص شدن تأثیر هر یک از ترکیبات بر مقادیر L^* ، a^* و b^* ، نمودار سطح مخلوط آن‌ها رسم گردید (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). با توجه به شکل‌های مربوط به کانتورهای سه اندیس L^* ، a^* و b^* مشاهده می‌شود که، در غلظت‌های بالاتر موسیلاژ دانه اسفرزه از میزان روشنی محصول کاسته شده است اما در طرف مقابل با افزایش تدریجی غلظت صمغ زانتان رنگ سس‌ها روشن تر گردیده و از میزان قرمزی آن کاسته می‌شود.

ارزیابی حسی

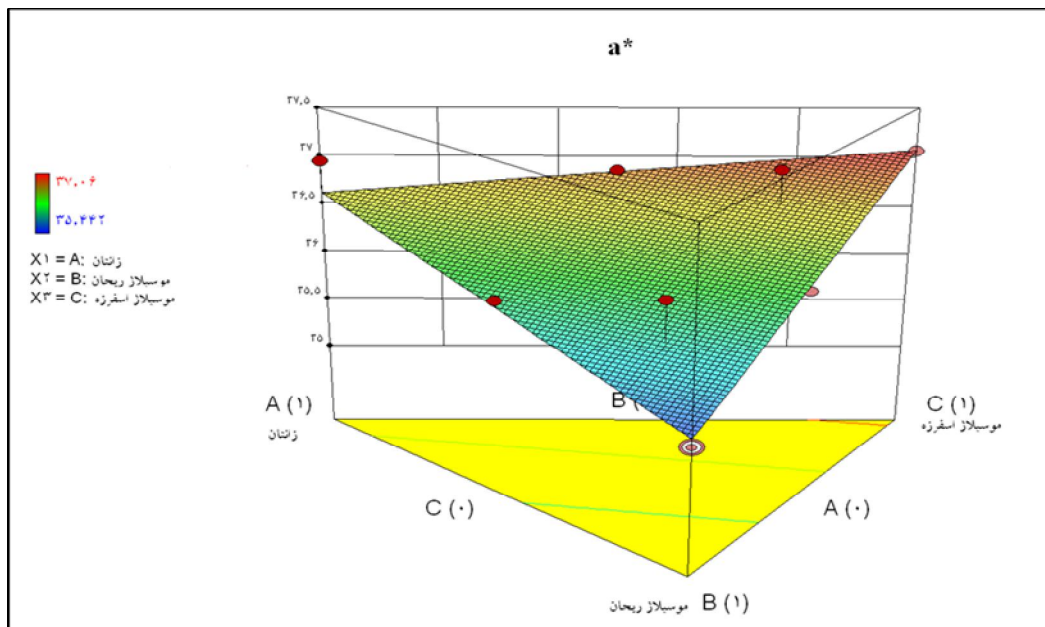
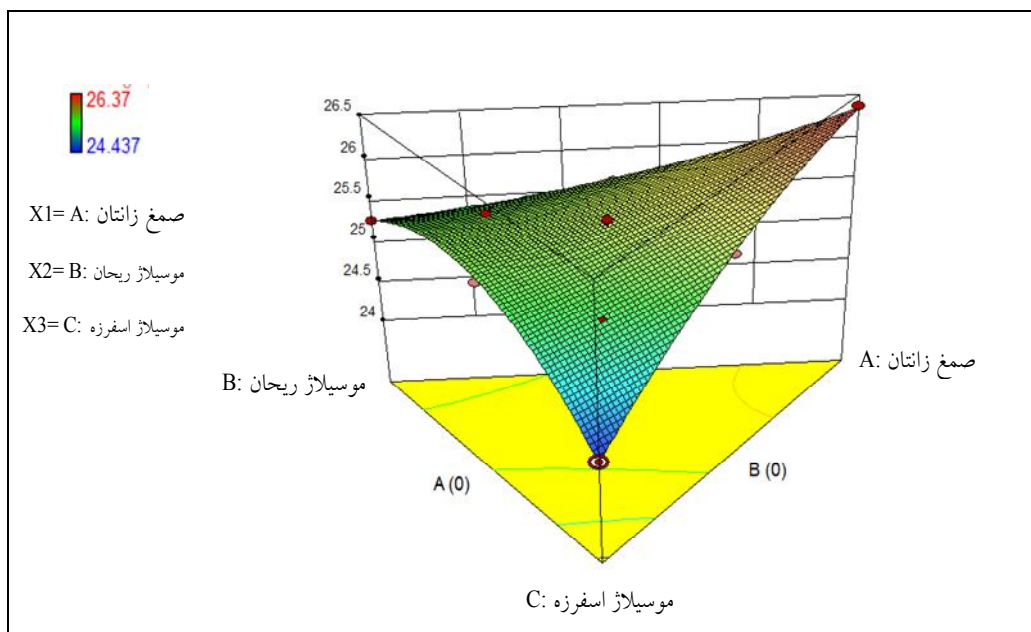
نتایج مربوط به پذیرش کلی نمونه‌های سس کچاپ تولیدی در بخش ارزیابی حسی در جدول ۳ گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در بین تمام تیمارها، نمونه سس کچاپ K4 (موسیلاژ دانه‌های ریحان ۱ درصد) دارای بالاترین میزان پذیرش در بین مصرف‌کنندگان بود در حالی که در طرف مقابل نمونه سس کچاپ K2 (موسیلاژ دانه‌های اسفرزه ۱ درصد) از کمترین میزان پذیرش برخوردار بود و دلیل آن حضور ناخالصی‌های موجود در موسیلاژ اسفرزه طی مراحل سانتریفوژ است که از ساختار صمغ خارج نشده اند، در نتیجه منجر به تیره‌تر شدن سس کچاپ تولیدی حاوی اسفرزه به تنهایی گردیده است و همچنین تا حدودی منتهی به ایجاد احساس دهانی نامطلوب در ارزیاب‌ها شد. این در حالی است که نمونه‌های سس کچاپ K4 از نظر تمام ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مورد آزمایش از وضعیت مطلوبی برخوردار بوده است. در تحقیقی مشابه، در بررسی صورت گرفته توسط مصباحی و همکاران (۱۳۸۸) افزودن پودر تفاله گوجه به سس‌های کچاپ منتهی به ایجاد تغییرات معنی‌داری در ویژگی‌های حسی سس‌های تولیدی گردید. همچنین امیدبخش و همکاران (۱۳۹۲) افزودن نشاسته اصلاح شده و صمغ زانتان را بر ویژگی پایداری، حسی و رئولوژیکی سس گوجه‌فرنگی

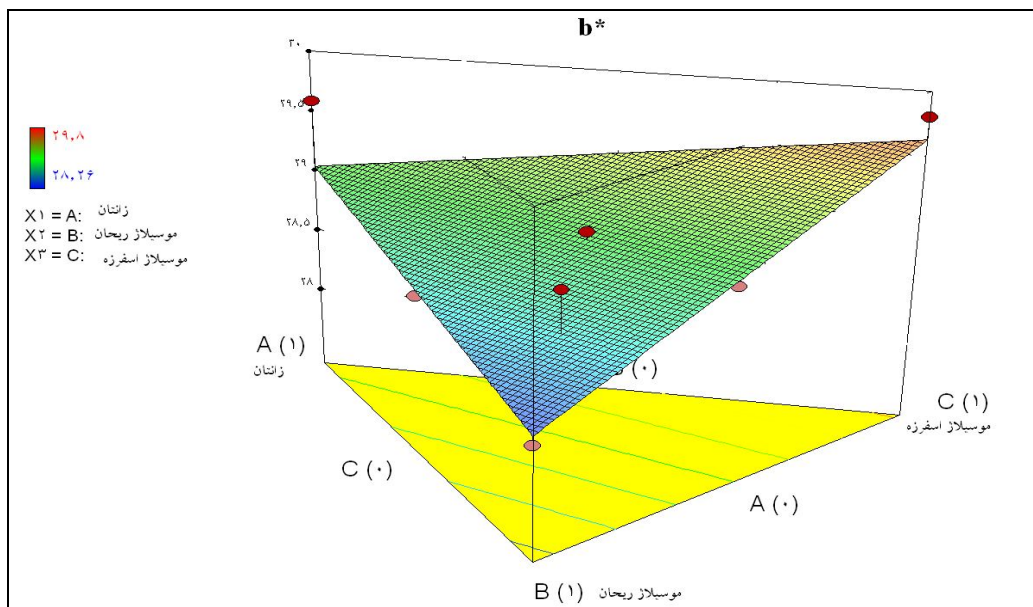
1 Hunter Lab

2 Commission International ed'Eclairage

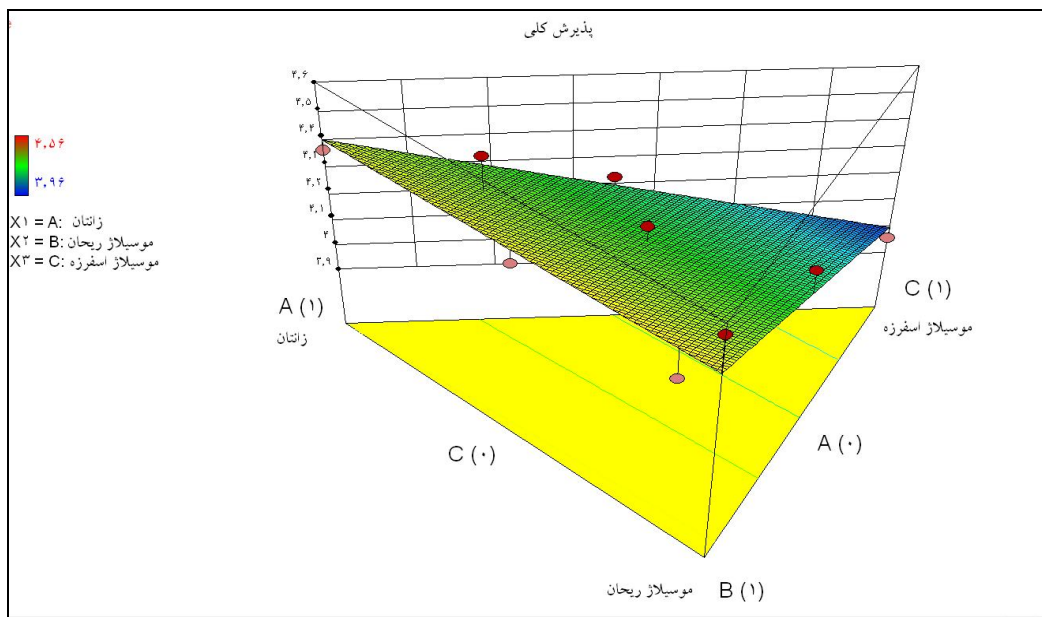
برازش پذیرش کلی نمونه‌های مختلف تولیدی مناسب می‌باشد. مقدار $P, 0.595 \pm$ حاکی از عدم معنی‌داری مدل بود.

بررسی کردند و مشاهدات نشان داد استفاده توأم این هیدروکلونیدها سبب افزایش پذیرش کلی بافت از نظر مصرف‌کنندگان شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان می‌دهد که مدل خطی جهت





شکل ۶- نمودار سطح مخلوط b^* نمونه‌های سس کچاپ



شکل ۷- نمودار سطح مخلوط پذیرش کلی نمونه‌های مختلف سس کچاپ

کند.

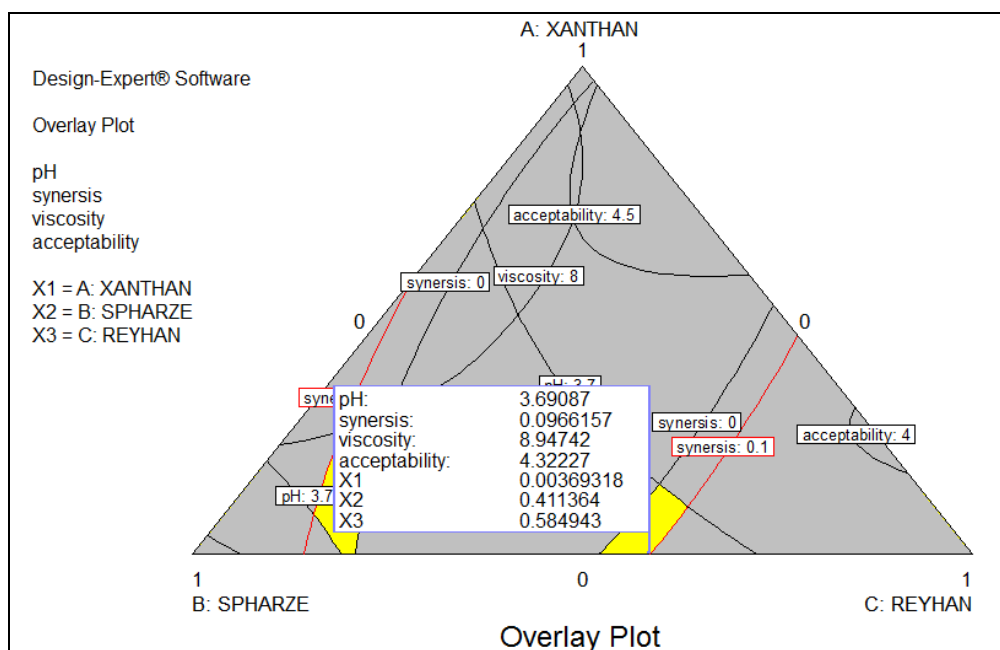
بهینه‌یابی فرمولاسیون

جهت بهینه‌یابی فرمولاسیون نمونه‌های سس کچاپ از بخش بهینه‌یابی نرم‌افزار 9 Design Expert استفاده شد. با توجه به این‌که

جهت تعیین تأثیر هر کدام از ترکیبات بر میزان پذیرش کلی، نمودار کانتور مربوطه رسم گردید (شکل ۷). همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود که با حرکت به سمت رأس‌هایی با مقادیر بالاتر زانتان و موسیلاژ ریحان، میزان پذیرش کلی نمونه‌های سس کچاپ تولیدی افزایش یافته، در حالی که با حرکت به سمت رأسی با بالاترین میزان موسیلاژ اسفرزه، میزان پذیرش کلی کاهش پیدا می‌-

به صورت شکل ۸ تعیین گردید. مطابق نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی فرمولاسیون مقادیر ۰/۴۲ اسفرزه و ۰/۵۸ ریحان، مقادیر بهینه جهت استفاده به عنوان پایدارکننده و بهبوددهنده سایر ویژگی‌های سس کچاپ می‌باشد. با استفاده از نمودار کانتور انطباق محدودی بهینه فرمولاسیون نشان داده شده است. منطقه زرد رنگ در شکل ۸ نشانگر محدوده‌ی بهینه به لحاظ استفاده از موسیلاژ دانه‌های اسفرزه و ریحان می‌باشد.

هدف از این پژوهش تولید سس کچاپ با استفاده از موسیلاژ اسفرزه و ریحان به عنوان جایگزین صمغ‌های تجاری وارداتی از قبیل کربوکسی متیل سلولز و زانتان و نیز بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و حسی سس کچاپ بوده است. لذا در بخش بهینه‌سازی استفاده از موسیلاژ اسفرزه و ریحان در سطح ۱ درصد در نظر گرفته شد. براساس حدود تعریف شده برای نتایج بدست آمده، ناحیه بهینه با استفاده از نمودار کانتور انطباق (کانتور همپوش)



شکل ۸- نمودار بهینه‌سازی (کانتور انطباق) فرمولاسیون سس کچاپ

می‌توان به منظور کاهش آب‌اندازی سس کچاپ استفاده کرد. استفاده ترکیبی از موسیلاژ ریحان و اسفرزه همراه با صمغ زانتان نتایج بهتری در ارتباط با افزایش ویسکوزیته و ممانعت از آب‌اندازی را نشان داد بطوری که به استثنای نمونه K2 (یک درصد موسیلاژ دانه اسفرزه) و K4 (یک درصد موسیلاژ دانه ریحان) در سایر نمونه‌ها هیچ گونه آب‌اندازی مشاهده نشد. اما استفاده تنها از موسیلاژ دانه ریحان و اسفرزه در ممانعت از آب‌اندازی تأثیر مثبتی نداشت. در نهایت با توجه به بررسی‌های انجام شده و بهینه‌سازی فرمولاسیون در این پژوهش، هیدروکلونیدهای برتر و قابل استفاده در تهیه فرمولاسیون سس کچاپ از نظر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی، استفاده ترکیبی از موسیلاژ دانه‌های ریحان و اسفرزه است که قابل توصیه جهت استفاده در صنعت می‌باشد.

نتیجه‌گیری

یکی از بزرگترین مشکلات صنعت در کنترل کیفیت سس کچاپ و مشتری‌پسندی آن، آب‌اندازی، پایداری کم و ویسکوزیته پایین می‌باشد. با توجه به اینکه این محصول، یک سوسپانسیون ناهمگن است و ذرات جامد و مایع به صورت جداگانه نباید در آن دیده شود، در نتیجه استفاده از هیدروکلونید به منظور کنترل آب‌اندازی و افزایش ویسکوزیته مهم می‌باشد. امروزه در صنعت تهیه کچاپ از هیدروکلونیدهایی نظیر کربوکسی متیل سلولز و زانتان بیشتر استفاده می‌شود. با توجه به وارداتی بودن این صمغ‌ها و قیمت بالای آن در صنعت غذا سعی شده است، برای حل این مشکل، از صمغ‌های بومی ایران که بهتر و بیشتر قابل دسترس می‌باشند و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است استفاده شود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که از هیدروکلونیدهای بومی ایران شامل موسیلاژ دانه ریحان و اسفرزه

منابع

- استاندارد سس گوجه فرنگی، ویژگی‌ها و روش‌های آزمون، شماره ۲۵۵۰، ۱۳۶۴.
- امیدبخش، ه؛ نایب زاده، ک؛ محمدی فر، م؛ امیری، ز. ۱۳۹۲، بررسی اثر استفاده توام نشاسته اصلاح شده و صمغ زانتان بر ویژگی‌های پایداری، حسی و رئولوژیک سس گوجه فرنگی، مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۸: ۱۴۵-۱۵۵.
- امیری عقدایی، س.س.، اعلمی، م.، رضایی، ر.، دادپور، م.، خمیری، م. ۱۳۹۱، تأثیر موسیلاژ دانه‌های ریحان و اسفرزه بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیک و حسی بستنی نرم، نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۱(۱): ۳۸-۲۳.
- امیری عقدایی، س.س.، اعلمی، م.، خمیری، م.، رضایی، ر. (۱۳۸۹). تأثیر استفاده از موسیلاژ دانه ریحان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیک و حسی ماست کم چرب، نشریه الکترونیک فرآوری و نگهداری مواد غذایی، جلد ۲، شماره ۴، ص ۱-۱۷.
- امیری عقدایی، س.س.، اعلمی، م. و رضایی، ر. (۱۳۸۸). بررسی تأثیر هیدروکلوئید دانه اسفرزه بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی ماست کم چرب. نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران، جلد ۶، شماره ۳، ص ۲۰۱ تا ۲۰۹.
- امیری عقدایی، س.س.، اعلمی، م. (۱۳۹۰)، تأثیر موسیلاژ دانه ریحان بر ویژگی‌های رئولوژیک و پایداری دوغ. نشریه علوم و فناوری غذایی، جلد ۳، شماره ۳.
- داراب زاده، ن.، فرحناکی، ع.، مجذوبی، م.، مصباحی، غ. ۱۳۹۱، مقایسه رفتار صمغ دانه خرنوب محلی ایران با صمغ دانه خرنوب تجاری و کتیرا در فرمولاسیون سس کچاپ. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی ایران، ۲۲(۲): ۱۲۱-۱۱۳.
- رزمخواه شربانی، س.، رضوی، س.م.، ع.، بهزاد، خ. و مظاهری تهرانی، م. (۱۳۸۹). بررسی تأثیر استفاده از پکتین، صمغ دانه‌های مرو و ریحان بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی ماست چکیده بدون چربی. نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران، جلد ۶، شماره ۱، ص ۲۷ تا ۳۶.
- عربشاهی، س.، اعلمی، م.، امیری عقدایی، س.س. (۱۳۹۳)، تأثیر استفاده از موسیلاژ دانه ریحان به عنوان جایگزین چربی بر ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی، رئولوژیک، بافتی و حسی سس مایونز کم چرب، نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد ۲۴، شماره ۲، ۲۴۹-۲۶۵.
- عسکری، م.، فرحناکی، ع.، امین لاری، م.، مجذوبی، م. و مصباحی، غ.، ۱۳۸۷، استخراج هیدروکلوئید پوسته دانه اسفرزه و بررسی ویژگی‌های رئولوژیک آن، هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی.
- مصباحی، غ.، عباسی، ا.، جلالیان، ج.، فرحناکی، ع. (۱۳۸۸)، افزودن پوست و دانه گوجه فرنگی به سس کچاپ به منظور بهبود ارزش غذایی و خصوصیات رئولوژیک آن، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۸، ص ۶۹-۸۲.
- مصباحی، غ.، نیاکوثری، م.، سوادکوهی، س.، فرحناکی، ع. پاییز (۱۳۸۹). ارزیابی ویژگی‌های عملکردی کربوکسی متیل سلولز تولیدی از تنقاله چغندرقد در مقایسه با سایر قوام دهنده‌ها در سس کچاپ. دوره ۷، شماره ۳، صفحه ۶۲ تا صفحه ۷۳.
- یوسفی، م.، میزانی، م.، علیمی، م. و گرامی، ع. (۱۳۸۸). تأثیر غلظت‌های مختلف خردل بر ویژگی‌های شیمیایی، میکروبی و حسی سس کچاپ. مجله علوم غذایی و تغذیه، سال ششم، شماره ۴.
- Alexander R. 1999. Hydrocolloid gum: part I: Natural products. Cereal foods world;44(9): 684-6.
- Amiri Aghdaei, S. S., Aalami, M., Babaei Geefan, S. & Ranjbar, A. 2012, Application of Isfarzeh seed (Plantago ovate L.) mucilage as a fat mimetic in mayonnaise. *Association of Food Scientists & Technologists* (India).
- Bayoda, E.; Willers, E. and Tornberg, E. (2008): Rheological and structural characterization of tomato paste and its influence on the quality of ketchup. *LWT* 41 (2008) 1289-1300.
- chakraborty mk, patel kv. chemical composition of isabgol (plantago ovata fork.) 1992 seed. *j. food sci.*;389-90.
- Craeyveld, V.V., Delcour, J.A., Courtin, C.M., 2009. Extractability, chemical and enzymic degradation of psyllium (Plantago ovata Forsk) seed husk arabinoxylans. *Food Chemistry* 112, 812-819.
- Farahnaky, A., Bakhshizadeh-Shirazi, S., Mesbahi, G., Majzoobi, M., Rezvani, E., & Schleining, G. (2013). Ultrasound-assisted isolation of mucilaginous hydrocolloids from *Salvia macrosiphon* > seeds and studying their functional properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 182-190.
- Gujral HS, Sharma A, Singh N. Effect of hydrocolloids, storage temperature, and duration on the consistency of tomato ketchup. *International Journal of Food Properties*. 2002; 5(1):179-191.
- Guo, Q., Cui, S. W., Wang, Q., Goff, H. D., & Smith, A. (2009). Microstructure and rheological properties of psyllium polysaccharide gel. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1542-1547.
- Juszczak, L., Fortuna, T. & Kosla, A. 2003, Sensory and rheological properties of polish commercial mayonnaise. *Nahrung/food*, 47, (4), 232-235.
- Juszczak, L., Oczadly, Z., Gałkowska, D. 2013, Effect of Modified Starches on Rheological Properties of Ketchup, *Food Bioprocess Technology*, 6:1251-1260
- McCredie, R.j., and Whistler, R. L., 1965. Quince seed, psyllium seed and flaxseed gums, p. 433-457.

- Mesbahi, G., Niakoosari, M., Savadkoobi, S., F, Farahany. 2010. a Comparative Study on the Functional Properties of Carboxymethyle Cellulose Produced from Sugar-beet Pulp and other THickeners in Tomato Ketchup Iranian *Journal of Food Science and Technology*., 7:62-74.
- Rani, U., & Bains, G. S (1987). Flow behavior of tomato ketchups. *Journal of Texure Studies*, 18, 125-135.
- Razavi, S.M.A., Mortazavi, S.A., Matia- Mrino, L., Hosseini- Parvar, S,H. Motamedzadegan, A. and Khanipour, E. (2009). Optimization study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.) *International Journal Food Science and Technology*, 44: 1755-1762.
- Sahin H, Ozdemir F. 2007. Effect of some hydrocolloids on the serum separation of different formulated ketchup. *Journal of Food Engineering*.; 81(2)437-446.
- Sharoba, A, M, Senge, B.,El-mansy, H. A., Bahlol, H. E., & Blochwitz R. (2005). Chemical, sensory and rheological properties of some commercial German and Egyptian tomato ketchups. *European Food Research and Technology*, 220, 142-151.
- Sidhu Js, Bawa A, Singh N. Studies on the effect of hydrocollids on the consistency of tomato ketchup. *Jfood Sci teach* 1997: 34(5):423-4.
- Singh, B., N. Sharma and N. Chauhan. (2007). Synthesis, haracterization and swelling studies of pH responsive psyllium and methacrylamide based hydrogels for the use in colon specific drug delivery. *Carbohydrate Polymers*. 69: 631–643.
- Smith AF.(1996). Pure ketchup: a history of America'c national condiment, with recipes: Univ of South Carolina Pr, 3-12 p.
- Stoforos NG, Reid DS, A test for evaluation of the erum separation potential of tomato ketchup. *Jfood Sci* 1990; 55(6), 1626-9.
- Tabibloghmani F, Hojjatoleslamy M, Farhadian F.(2013). Ehsandoost, E. Effect of Linseed (*Linum usitatissimum* L.) hydrocolloid as edible coating on decreasing oil absorption in potato chips during Deep-fat frying. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*.6 (2) 63-69.



Effects of Ispharzeh hydrocolloids seeds (*Plantago ovata* L.) and basil gum (*Ocimum basilicum*) on physicochemical and sensory properties of ketchup sauce

S. Shakiba¹, M. Khomeiri²; Z. Ahmadi³; S. Amiri^{4*}

Received: 2015.08.30

Accepted: 2016.04.03

Introduction: Ispharzeh is a plant from genus *Plantago* whose seeds are used commercially for the production of mucilage. The plant is mainly cultivated in Iran and Middle East. Psyllium is mainly used as a dietary fiber to relieve symptoms of both constipation and mild diarrhea and occasionally as a food thickener. Research has also shown benefits in reducing cholesterol levels. Basil seed gum is a novel hydrocolloid extracted from *Ocimum basilicum* L. seeds. It has shown promising stabilizing and emulsifying properties, which makes it a potential functional ingredient for the food industry. Previous works pointed out that these gums can be used successfully for food industry. However, a detailed study on Ispharzeh hydrocolloids seeds and basil gum has not yet been done. Therefore, the objective of this study was to evaluate the ability of using Ispharzeh hydrocolloids seed and basil gum as replacing with imported gums as well as to evaluate physicochemical, and sensory properties of ketchup sauce contain these gum were evaluated.

Materials and methods: Mixture design was employed to investigate the variation of ketchup properties with respect to operating parameters including xanthan, Ispharzeh seeds and basil gum in the range of 0 to 0.1 % using design expert software. Experiments were randomized in order to minimize the effects of unexplained variability in the observed responses due to extraneous factors. The treatments were selected regarding combination of xanthan, Ispharzeh seeds and basil gum in the range of 0 to 0.1 % using Design expert software. After extraction of gums, ketchup formulation was prepared with the treatments contain Ispharzeh hydrocolloids seeds and basil gum. Control sample contained ketchup formulation without gums. pH, apparent viscosity, syneresis, color and sensory properties of produced ketchup were evaluated.

Results and discussion: The impact of Ispharzeh seeds and basil gum addition on the pH of ketchup showed that all the treatments were in the standard pH range (3.67-3.74) according to the Iran national standard of ketchup. In addition, the results showed that addition of these gum were not significantly effect on pH. The regression coefficients were calculated according to the multiple regression coefficients and a polynomial regression model equation was fitted as quadratic equation. Regarding syneresis, all the treatments were stable with no syneresis except K₂ (1% Ispharzeh) and K₄ (1% basil gum). Addition of Ispharzeh and basil alone, were not significantly effect on syneresis but when they used in combination and with xanthan, prevent syneresis significantly. The highest and the lowest viscosity were related to K₄ (1% basil gum) and K₁₀ (0.5 % xanthan+ 0.5% Ispharzeh), respectively. The regression coefficients were calculated according to the multiple regression coefficients and a polynomial regression model equation was fitted as quadratic equation. Hunter Lab colorimeter analyzing L*, a* and b* showed that K₂ and K₅ (1% xanthan) had the lowest and highest L* index. Variance analysis showed that quadratic model was fitted for L* value and coefficient correlation (0.9943) was satisfactory. In addition of effects of single gums, interaction of gums also had significant effect on lightness of ketchup. According to the results obtained from the sensory analysis, overall acceptability of K₄ (1% basil gum) gained the highest scores. K₂ (1% Ispharzeh) had the highest firmness so, led to unpleasant mouth feel in panelists. In addition, the presence of impurities in Ispharzeh seeds which not removed in centrifuge may darkening the produced ketchup hence got lower scores by panelists. Optimization evaluation by RSM evaluated the effects and interactions of the Ispharzeh hydrocolloids seeds and basil gum concentration to optimize ketchup

3 And 3. MSc Student and Associate professor, Department of Food Science and Technology, Islamin Azad University, Azadshahr branch, Iran.

2. Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources.

4. Educator, Department of Food Science, Baharan Institute of Higher Education, Gorgan, Iran

(* - Corresponding Author Email: amiri516@yahoo.com)

properties. Optimized treatments were 0.42% Ispharzeh hydrocolloids seeds gum and 0.58% basil gum. Therefore, the values for stability tests are very close to the experimental values demonstrating that the model are applicable, which showed determination coefficient (R^2) of 0.99. The formulation optimization showed that combination of 0.58% Ispharzeh and 0.42% basil gum as stabilizing agents in ketchup sauce, was a suitable replacer for imported commercial gums. Future studies on the Ispharzeh seeds and basil gum in other foods as well as the stabilization of these systems during the digestion process may help to understand the mechanism behind the functionality of these gums in food products.

Keywords: Ispharzeh seed, Basil gum. Hydrocolloid, Syneresis, Ketchup.



استخراج و ویژگی های ژلاتین پای مرغ و کاربرد آن در ژله طالبی

عاطفه رضایی زاده^۱ - زینب رفتنی امیری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۵

چکیده

در صنایع غذایی از ژلاتین به عنوان جایگزین چربی، به منظور بهبود الاستیسیته و قوام، شفاف سازی آب میوه، در تهیه ژله، شکلات، فیلم های خوراکی و غیره استفاده می شود. در این پژوهش، ژلاتین از پای مرغ به روش اسیدی استخراج شد و آزمون های pH، پروتئین، خاکستر، رطوبت، چربی، ویسکوزیته، قدرت ژل، رنگ و رئولوژی انجام شد و تأثیر ژلاتین استخراج شده در غلظت های ۰ تا ۱/۵ درصد بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی ژله طالبی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که متوسط عملکرد ژلاتین بر اساس وزن تر ۴/۸۰ درصد، pH قبل از خشک کردن ۳/۷، میزان پروتئین کل ۸۳/۹۵ درصد، خاکستر کل ۰/۸۹ درصد، رطوبت ۹/۶۶ درصد، چربی صفر درصد، ویسکوزیته ۲۱۶ سانتی پواز و قدرت ژل ۴۸۷ گرم بود. ژلاتین پای مرغ در طیف وسیعی از فرکانس مدول ذخیره بالاتر از مدول ویسکوز در آزمون نوسانی داشته که نشان دهنده ثبات بالای شبکه ژل تشکیل شده می باشد. با افزایش میزان ژلاتین به آب طالبی، شفافیت و سفتی بافت ژله طالبی افزایش یافت. در آنالیز حسی نمونه های ژله از نظر شدت شیرینی تفاوت معنی داری با هم نداشتند. از نظر پذیرش کلی بیشترین امتیاز را نمونه های حاوی ۱/۲۵ و ۱/۵ درصد ژلاتین کسب نمودند.

واژه های کلیدی: استخراج، پای مرغ، ژلاتین، ژله طالبی، رفتار رئولوژیکی

مقدمه

ژلاتین، پروتئین فیبری است که توسط هیدرولیز حرارتی از کلاژن بدست می آید (Shayni *et al.*, 2014) و پروتئین اصلی استخوان، غضروف و پوست می باشد. منبع، سن حیوان و نوع کلاژن از جمله فاکتورهای مؤثر بر خواص ژلاتین هستند. تا به امروز بیش از ۲۷ نوع ژلاتین شناسایی شده است. مولکول های کلاژن از سه زنجیره آلفا تشکیل شده و در هلیکس سه گانه درهم تنیده شده اند. این ساختار خاص که عمدتاً توسط پیوند هیدروژنی درون و بین زنجیره های تثبیت می شود حاصل تکرار پیوسته اسیدهای آمینه گلیسین، پرولین و هیدروکسی پرولین است. چهار تا هشت مولکول کلاژن به گونه ای ویژه کنار یکدیگر آرایش می یابند و یک ریزرشته را می سازند. تعداد زیادی از این ریزرشته ها به دور یکدیگر می پیچند و توسط پیوند کووالانسی تقویت می شوند تا واحد اساسی و پایه میو فیبریل های کلاژن تشکیل شود؛ بنابراین ماهیت قوی و محکم تاندون ها،

استخوان و پوست ناشی از ساختار پایه و اساسی است که توسط این میو فیبریل های کلاژن تشکیل می شود. درجه تبدیل کلاژن به ژلاتین تابعی از pH، دما و زمان استخراج است. دو نوع ژلاتین را بسته به روش پیش تصفیه می توان به دست آورد که به لحاظ تجاری آن را تحت عنوان ژلاتین نوع A و ژلاتین نوع B می شناسند که به ترتیب تحت شرایط تیمار اسیدی و قلیایی به دست آمده اند (Gomez *et al.*, 2011). کیفیت ژلاتین و کاربرد آن در صنعت عمدتاً به خواص رئولوژیکی آن بستگی دارد. انواع ژلاتین، خواص گرمایی و رئولوژیکی مختلفی از قبیل دمای تبدیل به ژل، دمای ذوب و قدرت بلوم^۳ دارند. این خواص تحت کنترل فاکتورهایی از قبیل طول زنجیره یا توزیع وزن مولکولی، ترکیب آمینواسید و غیر قطبی بودن اسیدهای آمینه قرار می گیرند (Shayni *et al.*, 2014). ویژگی قابل توجه ژلاتین، حلالیت آن در آب و برگشت پذیری ژل در مقابل حرارت^۴ است و معمولاً دمای ذوب آن از دمای بدن انسان کمتر است این ویژگی ذوب ژلاتین یکی از مهم ترین ویژگی های این پروتئین است که به طور گسترده در صنایع غذایی و دارویی مورد استفاده قرار می گیرد (Karim *et al.*, 2009). در صنایع غذایی از ژلاتین برای بهبود الاستیسیته و قوام، پایدار کننده، جایگزین چربی، در تهیه شکلات، ژله،

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ساری.

* - نویسنده مسئول: (Email: zramiri@gmail.com)

DOI: 10.22067/iftstrj.v1395i0.48995

3 Bloom

4 Thermally reversible

بلغ آسان در این موارد بکار می‌رود (Trachootam *et al.*, 2015). ترکیبات شیمیایی و خواص طبیعی میوه‌ها باعث کاهش بیماری سرطان می‌شود. علاوه بر ارزش تغذیه‌ای و درمانی خواص رتولوژی و بافتی نیز بر کیفیت کلی ژله میوه تاثیرگذار است. ژل از سوسپانسیون مواد اولیه طبیعی بدون هیچ گونه مواد شیمیایی فراوری شده تهیه می‌شود (Lee *et al.*, 2010). هدف از اجرای این پژوهش استخراج ژلاتین از پای مرغ، تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رتولوژی آن و در نهایت استفاده از آن در تهیه ژله طالبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش پای مرغ جوان از کارخانه طیور در مازندران و میوه طالبی از میوه فروشی و شکر پردیس از سوپر مارکت خریداری شد. تمام مواد شیمیایی و حلال‌های مورد استفاده با درجه خلوص تجزیه‌ای بوده و از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

تهیه ژلاتین از پای مرغ

بعد از توزین پای مرغ و جداسازی ناخن و پوست آن بدون حرارت دادن، با آب سرد شسته شد و با چاقو به قطعات ۳-۴ سانتی‌متر بریده شد و توسط خردکن آزمایشگاهی (مدل Germany- Bosch) به مدت ۴ دقیقه به خوبی خرد شد. در مرحله بعد پای خرد شده با آب به نسبت ۱: ۱۱/۲ (وزنی/ حجمی) شسته شد تا خون و دیگر باقی‌مانده‌ها حذف شوند. به پای مرغ خرد شده، اسید هیدروکلریک ۰/۵ نرمال به نسبت ۱: ۳/۲۲ (وزنی/ حجمی) اضافه شد و به مدت ۲ ساعت در این حالت با مگنت مکانیکی هم زده و pH آن به حدود ۱ رسید. بعد از این مدت اوسئین^۴ (تقاله) جدا شده و با آب مقطر به نسبت ۱: ۱۶/۱۲ (وزنی/ حجمی) در دو مرحله ۱۰ دقیقه‌ای شستشو داده شد تا از اسیدی بودن اوسئین کاسته شود و pH به حدود ۳ برسد. آب مقطر به نسبت ۱: ۱ (وزنی/ حجمی) را به دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد رسانده شد و اوسئین به آن اضافه شد و به مدت ۱ ساعت در همین دما با همزن مکانیکی هم زده شد. ژلاتین به‌دست آمده توسط پارچه فیلتر شد و pH آن با سود نرمال تا ۷ تنظیم شد. سپس مایع شفاف رویی ظرف جدا و در یخچال نگهداری و به مدت ۴ روز pH آن اندازه‌گیری شد سپس در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد ذوب شد و در آن با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۸ ساعت خشک شد (Poliana *et al.*, 2012).

تهیه ژله میوه طالبی

ابتدا میوه طالبی توسط آب شسته شد و بعد از جدا کردن کامل تخم و پوست آن، به اندازه‌های کوچک برش داده شد و آب طالبی

فیلم‌های خوراکی، شفاف سازی آب میوه، فراوری شیر، سوپ و غیره استفاده می‌شود (Shakila *et al.*, 2012). تقاضای جهانی برای ژلاتین طی چند سال اخیر به دلیل هزینه پایین آن و قابلیت انحلال در محیط بیولوژیک افزایش یافته است. متداول‌ترین فرم ژلاتین مورد استفاده در صنعت مواد غذایی، از منابع گاوی و خوکی استخراج می‌شود؛ اما در چند سال گذشته موضوع جایگزین کردن این ژلاتین به دلیل گیاه‌خواری و توسعه بازارهای حلال و همین‌طور بروز بیماری جنون گاوی یا گاو اسفنجی^۱ در راستای قرن بیستم مطرح شد. بنابراین ژلاتین ماهی و مرغ به عنوان جایگزین مناسب برای ژلاتین پستانداران شناخته شده است (Hanani *et al.*, 2012).

Sarbon و همکاران (۲۰۱۳)، برای اولین بار به تهیه و تعیین ویژگی ژلاتین پوست مرغ به عنوان جایگزینی برای ژلاتین پستانداران پرداختند و دریافتند که ژلاتین استخراج شده پوست مرغ نسبت به ژلاتین گاو، دارای مقدار بلوم، نقطه ذوب و وزن مولکولی بالاتری است. نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که ژلاتین پوست مرغ می‌تواند به عنوان جایگزینی برای ژلاتین‌های تجاری باشد (Sarbon *et al.*, 2013).

Almeida و همکاران (۲۰۱۲)، ساختار کلاژن پای مرغ و ژلاتین تجاری گاو را با استفاده از روش طیف‌سنجی FTIR^۲ مقایسه کردند و مشاهده کردند که طیف FTIR ژلاتین پای مرغ نسبت به ژلاتین تجاری گاو، میزان اسیدآمینه بیشتری دارد لذا، تولید ژل با استفاده از پای مرغ را به صنعت طیور پیشنهاد دادند و اعلام کردند قدرت ژلی و کیفیت تغذیه‌ای ژلاتین پای مرغ بیشتر از ژلاتین تجاری گاو است. امروزه تقاضا برای محصولات غذایی کم‌کالری مبتنی بر میوه‌ها با تولید آسان و حفظ ویژگی‌های اولیه مانند مزه، بافت و طعم در رژیم غذایی رو به افزایش است. ژله یکی از محصولات کم‌کالری تولید شده از میوه‌ها و دیگر مواد است که استفاده از آن افزایش یافته و برای حفظ سلامت انسان بکار می‌رود (Gaspar *et al.*, 1998). Trachootam و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی تاثیر خواص ژله بر روی بیماران مبتلا به سرطان که توسط لوله از راه بینی - معده تغذیه و پرتو درمانی می‌شوند، پرداختند. پرتو درمانی باعث موکوزیت دهانی، درد دهان، خشکی دهان، تشخیص ندادن عطر و طعم، مشکل در باز شدن دهان و فیبروز عضلات حلق می‌شود. علاوه بر این در طول درمان دندان‌های بیماران آسیب دیده و در جویدن و بلع مشکل ایجاد می‌شود. همچنین استفاده از لوله باعث بیماری پنومونی آسپیراسیون^۳ و مرگ و میر می‌شود. در سال‌های اخیر مکمل‌های غذایی تولید شده‌اند که بسیاری از این مشکلات را بهبود می‌بخشند. در نتیجه ژله به دلیل شباهتش به غذا (جامد مانند)، جویدن راحت، رطوبت بالا و

1 Bovine spongiform encephalopathy

2 Fourier Transform Infrared

3 Pneumonia aspiration

داده شد تا کاملاً حل گردد سپس این مخلوط در داخل ظرف مخصوص ویسکومتر که به حمام آب ۶۰ درجه سانتی‌گراد متصل است ریخته شد. ویسکوزیته توسط دستگاه ویسکومتر (Myr, V_L) (Viscotech, Spam با اسپندل شماره ۱ بر حسب سانتی‌پواز خوانده شد (Shayni et al., 2014).

رنگ‌سنجی

رنگ محلول ۶/۶۷ درصد ژلاتین و رنگ پودر ژلاتین با تصویر برداری در شرایط استاندارد در دستگاه IMG Pardazesh, Cam-system XI اندازه‌گیری شد و فاکتورهای L^* ، a^* و b^* مورد ارزیابی قرار گرفتند. فاکتور L^* ، طیف سیاه تا سفید (۱۰۰-۰)، فاکتور a^* ، طیف رنگی سبز تا قرمز (۱۲۰- تا ۱۲۰+) و فاکتور b^* ، طیف رنگی آبی تا زرد (۱۲۰- تا ۱۲۰+) را نشان می‌دهند (Lassoued et al., 2014).

خصوصیات رئولوژیکی

آزمون دینامیک نوسانی برای کنترل فرایند تشکیل ژل و خصوصیات ویسکوالاستیک ژل مورد استفاده قرار می‌گیرد. آزمایشات بر اساس روش نورزیا و همکاران (Norziah et al., 2009)، با رئومتر (مدل MCR- 301) شرکت آنتون پار اتریش مجهز به سیرکولاتور حرارتی برای کنترل دما و استفاده از پروب مخروط و صفحه (Cone and plate) با قطر ۵۰ mm، Gap (۲۰۸ μm) و زاویه ۲ درجه انجام گرفت. محلول ۶/۶۷ درصد نمونه ژلاتین بر روی صفحه رئومتر ریخته شد و برای جلوگیری از تبخیر سطحی، با یک لایه روغن معدنی پوشیده شد.

آزمون روبش فرکانس: در محدوده فرکانس ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز و کرنش ثابت ۱٪ در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. آزمون روبش دما: با روبش گرمایی (دمای ۶۰-۵ درجه سانتی-گراد)، روبش سرمایی (از ۵-۶۰ درجه سانتی‌گراد و فرکانس ثابت ۱ هرتز و کرنش ثابت ۴٪ انجام شد. آزمون رفتار جریانی (ویسکوزیته): سرعت برشی ۱/۳-۳۰۰-۰/۱ و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد.

آزمایش‌های مربوط به ژله طالبی

بریکس

برای اندازه‌گیری بریکس ۲۰ گرم از نمونه ژله طالبی و ۲۰ گرم نمونه شاهد با ۸۰ گرم آب ۵۰ درجه سانتی‌گراد مخلوط و تا حل شدن کامل در آب هم زده شد، سپس محلول تا دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد سرد و توسط رفراکتومتر، مقدار بریکس محلول خوانده شد (استاندارد ملی ایران شماره ۲۶۸۲).

توسط آبمیوه‌گیر (پارس‌خزر، مدل 700p) تهیه و تا هنگام تهیه ژله در دمای ۲-۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. آبمیوه در حمام آب-گرم قرار داده شد و به آن ۶ درصد شکر اضافه و همزده شد. وقتی آب میوه به دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد رسید ژلاتین با درصدهای مختلف (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵) به آن اضافه شد و تا دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد پاستوریزه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای محیط هم زده و بعد درون ظروف شیشه‌ای ریخته و در یخچال با دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. ۴۸ ساعت پس از تولید، نمونه‌ها از یخچال خارج شده و بعد از قرار گرفتن در دمای محیط به مدت ۲ ساعت، مورد آزمون قرار گرفتند.

آزمایش‌های مربوط به ژلاتین

آنالیز تقریبی ژلاتین

عملکرد ژلاتین، بر اساس وزن تر از طریق میزان ژلاتین خشک شده به وزن پای مرغ مورد استفاده در هر استخراج به‌دست‌آمد. رطوبت، خاکستر و چربی ژلاتین خشک شده با روش (AOAC, 2006)، تعیین شد. میزان پروتئین خام با برآورد میزان نیتروژن کل ژلاتین به روش (AOAC, 2006)، تعیین و از فاکتور ۵/۴۶ برای تبدیل نیتروژن به پروتئین استفاده شد (Sarbon et al., 2013).
(۱) $100 \times (\text{وزن تر پاهای مرغ} / \text{وزن خشک ژلاتین}) = \text{عملکرد}$

pH

برای اندازه‌گیری pH ۱ گرم ژلاتین در ۹۹ میلی‌لیتر آب مقطر حل و به مدت ۵ دقیقه در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و بعد از حل شدن و رسیدن دمای محلول به دمای اتاق، pH توسط دستگاه pH متر (مدل Jenway, UK) اندازه‌گیری شد (Shayni et al., 2014).

قدرت ژل

۶/۶۷ گرم نمونه ژلاتین با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه مخلوط شد. این مخلوط در درجه حرارت اتاق به مدت ۳ ساعت به حال خود گذاشته شد تا ژلاتین به‌طور کامل متورم گردد. سپس در حمام آب ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه حرارت داده شد تا ژلاتین حل شود. پس از خنک شدن تا دمای اتاق به مدت ۱۶ تا ۱۸ ساعت در حمام آب سرد با دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در نهایت قدرت ژل ژلاتین با دستگاه Txture Pro CT3 (بروکفیلد آمریکا)، پروب ۱۲/۷ میلی‌متر با طول ۳۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (Sarbon et al., 2013).

ویسکوزیته

محلول ۶/۶۷ درصد ژلاتین در حمام آب ۴۵ درجه سانتی‌گراد قرار

فرایند استخراج بستگی دارد (Karim *et al.*, 2009). میزان عملکرد ژلاتین پای مرغ به روش اسیدی بر اساس وزن تر، $4/80 \pm 0/18$ درصد بود. Sarbon و همکاران (۲۰۱۳)، میزان عملکرد ژلاتین پوست مرغ بر اساس وزن تر را $2/16$ درصد اعلام کردند. بنابراین میزان عملکرد ژلاتین پای مرغ نسبت به پوست مرغ بیشتر می‌باشد. ترکیب شیمیایی ژلاتین استخراج شده از پای مرغ در جدول ۱ نشان داده شده است. مقدار پروتئین ژلاتین پای مرغ $83/95 \pm 2/10$ درصد بود در حالی که میزان چربی صفر درصد، خاکستر $0/89 \pm 0/01$ درصد و رطوبت $9/66 \pm 0/58$ درصد به دست آمد. افزایش pH از ۱ به $3/7 \pm 0/11$ نیز نشان می‌دهد که مراحل شست و شو برای از بین بردن میزان باقی‌مانده اسید و دستیابی به محدوده pH مورد نظر کافی بود (Essays, UK., 2013). pH ژلاتین بعد از خشک کردن ۶ می-باشد. قدرت ژل، میزان ثبات و تراکم ژل را در دمای خاص نشان می‌دهد که به غلظت و وزن مولکولی و دمای استخراج بستگی دارد. قدرت ژل ژلاتین پای مرغ در مطالعه حاضر $487 \pm 3/61$ گرم می-باشد و در مقایسه با دیگر منابع جایگزین مانند ژلاتین پوست مرغ $355 \pm 1/48$ گرم، ژلاتین گاو $1/71 \pm 299$ گرم (Sarbon *et al.*, 2013)، ژلاتین ماهی مانند ماهی تیلاپیا ۱۸۱ گرم (Grossman & Bergman., 1992) و ۲۶۳ گرم (Jamilah & Harvinder., 2002)، اسب ماهی ماکرل ۲۸۰ گرم (Badi & Howel., 2006)، Sin croaker و Shortfin scad به ترتیب ۱۲۵ گرم و ۱۷۷ گرم (Cheow *et al.*, 2007)، می‌باشد. عمده‌ترین دلیل قدرت ژل پایین ژلاتین پوست ماهی، مقدار کم هیدروکسی پرولین است. بنابراین، می‌توان گفت قدرت ژل بالای ژلاتین پای مرغ به دلیل دمای استخراج کم، پیوند هیدروژنی قوی و احتمالاً میزان زیاد هیدروکسی پرولین است.

جدول ۱- تجزیه فیزیکوشیمیایی ژلاتین استخراج شده از پای مرغ

رطوبت (%)	$9/66 \pm 0/58$
خاکستر (%)	$0/89 \pm 0/01$
چربی (%)	۰
پروتئین (%)	$83/9 \pm 2/10$
pH قبل از خشک کردن (%)	$3/7 \pm 0/11$
pH بعد از خشک کردن (%)	$6/0 \pm 0/12$
قدرت ژل (گرم)	$487 \pm 3/61$
ویسکوزیته (سانتی پواز)	$216 \pm 1/73$
راندمان (%)	$4/80 \pm 0/18$

رنگ‌سنجی

رنگ ژلاتین با توجه به کاربرد آن در صنعت اهمیت زیادی دارد. نتایج این بررسی در جدول ۲ آمده است. رنگ این ماده پروتئینی به مواد خام مورد استفاده، روش استخراج و خشک کردن بستگی دارد.

رطوبت

درصد رطوبت نمونه‌های ژله آب طالبی و نمونه شاهد مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲۶۸۲ محاسبه گردید.

اسیدیته

مقدار اسیدیته در صد گرم نمونه، بر حسب اسید سیتریک محاسبه شد (استاندارد ملی ایران شماره ۲۶۸۲).

رنگ

رنگ نمونه‌های ژله و شاهد توسط دستگاه IMG Pardazesh, Cam- system XI اندازه‌گیری شد (Benali *et al.*, 2014).

بافت

سفتی بافت نمونه‌های با قطر $20/4$ میلی‌متر و ارتفاع $42/83$ میلی‌متر توسط دستگاه آنالیز بافت (ستام، ایران) با پروب استوانه ای ۲۲ میلی‌متر، عمق نفوذ ۴ میلی‌متر و سرعت ۲ میلی‌متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد (Sousa *et al.*, 1997).

ارزیابی حسی

ارزیابی ویژگی‌های حسی با استفاده از فرم‌های ارزیابی حسی و توسط ۱۰ نفر ارزیاب آموزش دیده انجام شد. ویژگی‌های مورد آزمون شامل شدت عطر، شیرینی، رنگ و ظاهر، حالت ژله‌ای، شفافیت، چسبندگی به ظرف و پذیرش کلی بودند. آزمون در مقیاس هدونیک پنج نقطه‌ای امتیازدهی شد. آنالیز داده‌ها برای امتیاز بسیار بد عدد ۱، بد عدد ۲، متوسط عدد ۳، خوب عدد ۴ و بسیار خوب عدد ۵ منظور گردید (Sousa *et al.*, 1997).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

ژلاتین از پای مرغ با سه تکرار استخراج شد و کلیه آزمایشات مربوطه با سه تکرار انجام شده و داده‌ها به صورت میانگین نشان داده شده‌اند. آزمایشات مربوط به ژله طالبی نیز در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شدند. میانگین‌ها جهت بررسی معنی‌دار بودن با نرم‌افزار SPSS 16.0 و بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند و به منظور ترسیم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ژلاتین

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی ژلاتین اسیدی پای مرغ در جدول ۱ نشان داده شد. عملکرد ژلاتین به نوع ماده اولیه و شرایط

رویش فرکانس

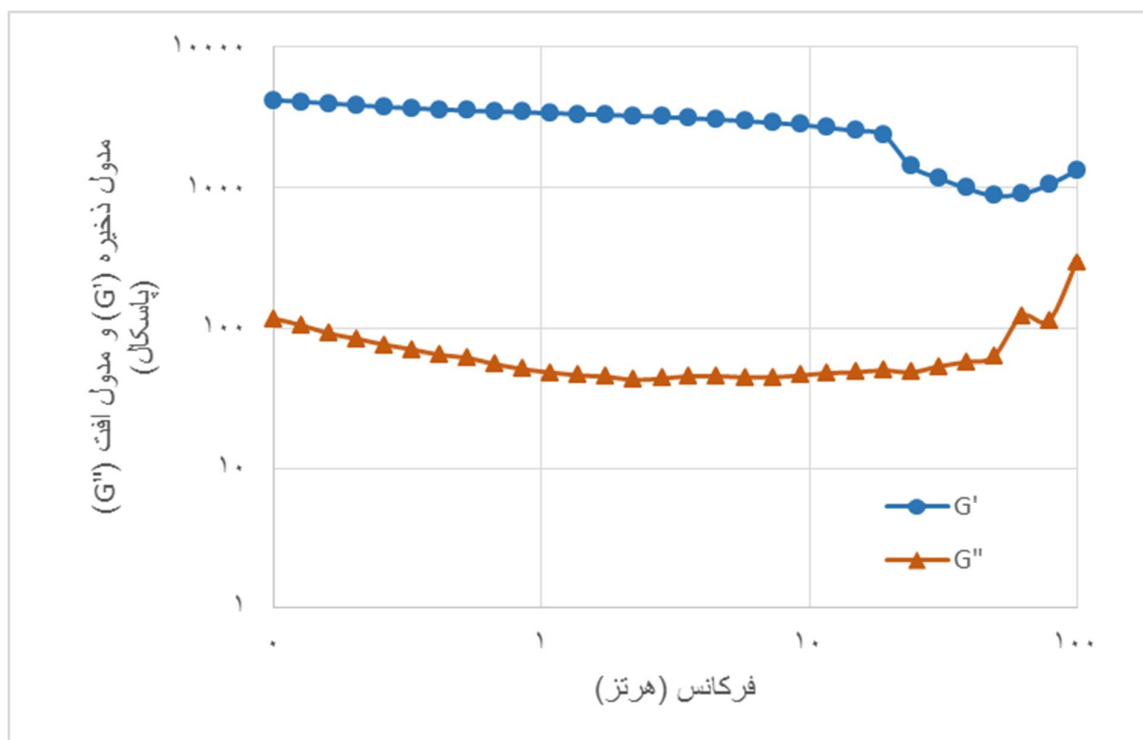
محلول‌های هیدروکلوئید معمولا ویسکوالاستیک بوده، میزان مدول‌های ذخیره (G') و افت (G'') در آن‌ها قابل اندازه‌گیری است. محلول‌های رقیق با غلظت کم، G'' بزرگتری نسبت به G' در اغلب فرکانس‌ها از خود نشان می‌دهند. G'' وابسته به فرکانس بوده در حالیکه G' وابسته به مجذور فرکانس می‌باشد. در نتیجه در فرکانس‌های بالا $G' > G''$ است. برخی از پلی‌ساکاریدها در محلول‌های آبی تشکیل زنجیره‌های بین مولکولی می‌دهند که در نتیجه آن شبکه سه بعدی ایجاد می‌شود، در این زنجیره‌ها نواحی اتصال در سرعت‌های برشی بسیار کم به راحتی شکسته می‌شود، در حالی که برخی دیگر از پلی‌ساکاریدها مانند آمیلوز، آگاروز، کاراگینان و ژلان توانایی تشکیل نواحی پایدار دارند و به راحتی شکسته نمی‌شوند در نتیجه تشکیل ژل‌های فوری می‌دهند. در این سیستم‌ها $G' > G''$ بوده و وابستگی به فرکانس ندارند. در شکل ۱ نمودار رویش فرکانس ژلاتین پای مرغ نشان داده شده است.

به طور کلی رنگ خواص عملکردی را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد و تنها برای استفاده از ژلاتین در صنعت غذا رنگ آن دارای اهمیت است (Shayni *et al.*, 2014). از نظر فاکتور L^* که نماینده روشنی نمونه می‌باشد، بین پودر ژلاتین و ژل ژلاتین اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P < 0/05$)، به این صورت که پودر ژلاتین نسبت به ژل ژلاتین رنگ روشن‌تری داشت. اما در مورد فاکتورهای a^* (طیف رنگی سبز تا قرمز) و b^* (طیف رنگی آبی تا زرد) نمونه‌های ژل و پودر ژلاتین اختلاف معنی‌داری ($P > 0/05$) نشان ندادند.

جدول ۲- رنگ ژل و پودر ژلاتین استخراجی

نمونه	L^*	a^*	b^*
ژل ژلاتین	$55/33 \pm 0/33^{b*}$	$-3/33 \pm 0/33^a$	$7/93 \pm 0/69^a$
پودر ژلاتین	$73/00 \pm 0/00^a$	$-2/33 \pm 0/33^a$	$8/66 \pm 0/33^a$

*حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ است.



شکل ۱- مدول ذخیره (G') و مدول افت (G'') ژل ژلاتین پای مرغ در دمای ثابت و محدوده‌ای از فرکانس

بالای شبکه ژل تشکیل شده در محدوده فرکانس مورد آزمایش می‌باشد (Sarbo *et al.*, 2013). در فرکانس‌های مختلف حتی در فرکانس ۱۰۰ هرتز مدول $G' > G''$ است. از فرکانس ۱۰۰ هرتز به بعد احتمالاً G'' و G' به یکدیگر نزدیک می‌شوند که نشان‌دهنده تضعیف شدن شبکه ژلی می‌باشد.

خواص رئولوژیکی

برای توصیف رفتار اتصالات عرضی مولکول ژلاتین، آزمون رئولوژیکی دینامیک در دمای ثابت مورد استفاده قرار گرفت. نمودار ۱ رفتار مدول‌های ویسکوالاستیک ژلاتین پای مرغ را در محدوده‌ای از فرکانس نشان می‌دهد. خطی بودن نمودار G' و G'' نشان دهنده ثبات

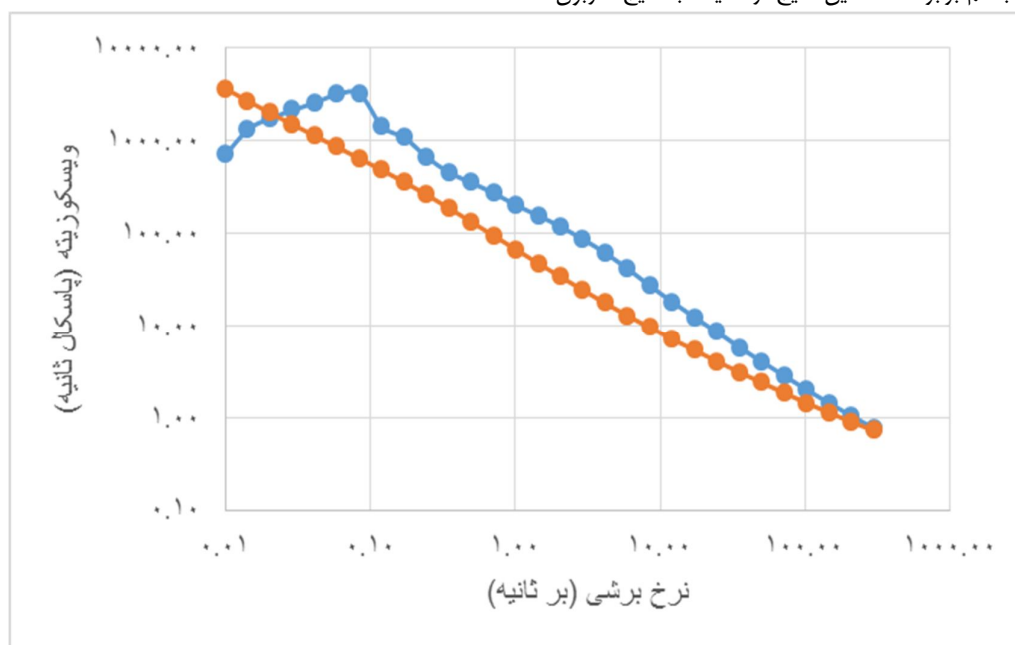
رفتار جریان (ویسکوزیته)

همانطور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود ژلاتین پای مرغ در ابتدا رفتار غلیظ شونده با برش نشان می‌دهد اما از سرعت برشی ۰/۱ به بعد رفتار غیرنیوتنی از نوع رقیق‌شونده با برش نشان می‌دهد. هرچه نرخ برش افزایش می‌یابد ویسکوزیته نمونه نیز کمتر می‌شود. همچنین نمودار برگشت در سرعت برشی ۰/۰۱ نسبت به نمودار رفت میزان ویسکوزیته بیشتری را نشان داد. در مطالعاتی Sarbon و همکاران (۲۰۱۳)، ویسکوزیته ژلاتین پوست مرغ و ژلاتین گاو را با ویسکومتر اندازه‌گیری کرده و گزارش نمودند ویسکوزیته ژلاتین مرغ بیشتر از ژلاتین گاو می‌باشد که دلیل آن را پیوندهای هیدروژنی قوی‌تر، میزان تیروزین کمتر و وزن مولکولی بیشتر ژلاتین مرغ نسبت به ژلاتین گاو اعلام کردند (Sarbon et al., 2013).

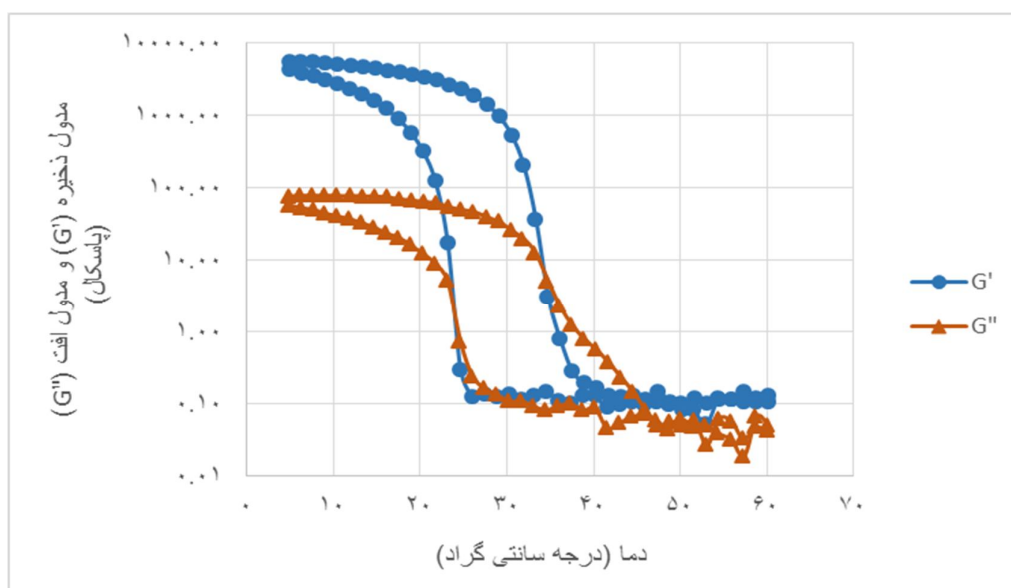
رویش دما

نمودار ۳ قدرت ژلی ژلاتین پای مرغ را از طریق رفتار مدول‌های ویسکوالاستیک، نشان می‌دهد. در دمای کمتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد، G' و G'' با افزایش دما کاهش پیدا کرده‌اند و $G' > G''$ می‌باشد. بالاتر بودن مدول ذخیره نسبت به مدول افت نشان‌دهنده این مسئله است که نمونه‌ها هنوز حالت ژله‌ای دارند. از دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به بعد با افزایش دما هر دو مدول G' و G'' به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا کردند. در بعضی نقاط از نمودار، G' و G'' همدیگر را قطع کرده که می‌تواند به عنوان نقطه ذوب تعریف شود که در این دما، G' و G'' با هم برابر شده‌اند. این نتایج در مقایسه با نتایج ساربون

و همکاران که رفتارهای رئولوژیکی ژلاتین پوست مرغ و گاو را بررسی کرده‌اند، مطابقت داشته است. ولی آن‌ها مشاهده کرده‌اند که در بالاتر از نقطه ذوب، G'' بیشتر از G' شده است اما G' ژلاتین پوست مرغ نسبت به G'' ژلاتین گاو محدوده کاهش کمتری را نشان داده است. به طور کلی دلیل کاهش G' و افزایش G'' از بین رفتن ساختار شبکه ژلی بود که تبدیل به محلول ژلاتین شده است. در حالی که در مطالعه ما در بالاتر از نقطه ذوب همچنان G' بالاتر از G'' است و می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً ژل هنوز به‌طور کامل ذوب نشده و حالت ویسکوالاستیک خود را حفظ کرده است که علت آن پایدار بودن پیوند هیدروژنی، ایجاد شبکه سه‌بعدی قوی ژلاتین پای مرغ نسبت به ژلاتین گاو و حتی ژلاتین پوست مرغ می‌باشد. نقطه ذوب ژلاتین پای مرغ ۳۹/۶۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد در حالی که در مطالعه Sarbon و همکاران (۲۰۱۳)، نقطه ذوب ژلاتین پوست مرغ ۳۳/۵۷ درجه سانتی‌گراد و ژلاتین گاو ۳۱/۵۵ درجه سانتی‌گراد بود. در رویش سرمایی G' و G'' افزایش یافته و این افزایش تا زمانی است که G' و G'' در بعضی نقاط یکدیگر را قطع کرده و $G' > G''$ برابر می‌شوند. که این نقطه در رویش سرمایی به عنوان نقطه بستن ژل تعریف شده است، نقطه بستن ژلاتین پای مرغ ۳۰/۱۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد ولی در بررسی Sarbon و همکاران (۲۰۱۳)، نقطه بستن ژل پوست مرغ و گاو به ترتیب ۲۴/۸۸ و ۲۴/۴۳ درجه سانتی‌گراد بود (Sarbon et al., 2013). در جدول ۳ نقطه ذوب و بستن ژل ژلاتین پای مرغ با دیگر منابع مختلف مقایسه شده است



شکل ۲- ویسکوزیته ژلاتین پای مرغ در غلظت ۶/۶۷ درصد



شکل ۳- مدول ذخیره (G') و مدول ویسکوز (G'') در روبش گرمایشی و سرمایشی ژلاتین پای مرغ در غلظت ۶/۶۷ درصد

جدول ۳- نقطه ذوب و نقطه بستن ژل ژلاتین با منشاء مختلف

منشاء ژلاتین	نقطه ذوب ($^{\circ}\text{C}$)	نقطه بستن ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	منابع
پای مرغ	۳۹/۶۴	۳۰/۱۹	۹/۴۵	حاصل از این پژوهش
پوست مرغ	۳۳/۵۷	۲۴/۸۸	۸/۶۹	Sarbon <i>et al.</i> , 2013
ژلاتین تجاری پوست گاو	۳۱/۵۵	۲۴/۴۳	۷/۱۲	Sarbon <i>et al.</i> , 2013
ژلاتین تجاری پوست گاو	۲۷	۱۸	۹	Khiari <i>et al.</i> , 2015
پوست ماهی کپور علفخوار	۲۶/۸	۱۹/۵	۷/۳	Ladislaus <i>et al.</i> , 2007
استخوان ماهی سرخو	۲۶	۱۶	۱۰	Shakila <i>et al.</i> , 2012
استخوان ماهی هامور	۲۵	۱۶	۹	Shakila <i>et al.</i> , 2012
کیسه شنای ماهی کاتلا کاتلا	۲۳/۳	۱۳/۷	۹/۶	Chandra <i>et al.</i> , 2015
پوست ماهی ماکرل	۱۸/۴ - ۲۰/۴	۱۱/۸ - ۱۲/۹	۶/۶ - ۷/۵	Khiari <i>et al.</i> , 2015
پوست ماهی بیگ آی	۱۶/۸	۱۰	۶/۸	Binsi <i>et al.</i> , 2009
سوریمی ماهی	۱۶/۷	۵/۱	۱۱/۶	Norzhiah <i>et al.</i> , 2009

ژله طالبی

بریکس

بریکس نمونه‌های ژله حاوی ۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ درصد ژلاتین ۱۰ و نمونه‌های ژله حاوی ۱، ۱/۲۵ و ۱/۵ درصد ژلاتین ۱۲/۵ بوده است.

اسیدیته

از لحاظ اسیدیته بین نمونه‌های ژله طالبی تفاوتی وجود نداشت و اسیدیته همه نمونه‌ها ۰/۰۶۴ درصد بر حسب اسید سیتریک بود. بنابراین سطوح مختلف ژلاتین در فرمولاسیون ژله تأثیری روی میزان

اسیدیته محصول نداشت.

درصد رطوبت

با افزایش درصد ژلاتین از صفر تا ۱/۵ درصد در فرمولاسیون ژله طالبی، مقدار رطوبت از حدود ۹۲/۵ درصد به ۸۵/۲ درصد کاهش معنی‌داری یافت.

رنگ

مطابق جدول ۴ نمونه شاهد که فاقد ژلاتین بوده، کمترین شفافیت و کمترین طیف رنگی را با توجه به پارامترهای a^* و b^*

ژلاتین مصرفی، سفتی بافت ژله طالبی به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافته است. Lee و همکاران (۲۰۱۰)، به بررسی بهبود خواص بافتی ژله پوست موز پرداختند و گزارش کردند که با افزایش پودر پوست موز و پکتین به آب حاوی شکر، سفتی بافت ژله تولیدی افزایش یافته و در مقابل چسبندگی آن کاهش می‌یابد.

اندازه‌گیری شده از خود نشان داد. اما با افزایش سطح ژلاتین اضافه شده به آب‌میوه در تهیه ژله طالبی رنگ نمونه‌ها شفاف‌تر شد و فاکتور a^* و b^* نمونه‌ها افزایش یافت.

سختی بافت

نتایج این بررسی در جدول ۴ نشان می‌دهد که با افزایش درصد

جدول ۴- تاثیر سطوح مختلف ژلاتین بر درصد رطوبت، سفتی بافت و رنگ نمونه‌های ژله طالبی

صفات اندازه‌گیری شده					
ژلاتین افزوده شده (درصد)	b^*	a^*	L^*	سفتی بافت	رطوبت
				(نیوتن)	(درصد)
۰	۳۳/۳۳ ^f	-۱۸/۶۶ ^c	۳۲/۰۰ ^d	-	۹۲/۵۲ ^{a*}
۰/۲۵	۳۶/۰۰ ^e	-۱۷/۰۰ ^d	۳۲/۰۰ ^d	۰/۳۱۵ ^f	۸۶/۵۹ ^b
۰/۵	۳۷/۶۶ ^d	-۱۰/۳۳ ^c	۳۷/۰۰ ^c	۰/۳۶۰ ^e	۸۶/۴۲ ^c
۰/۷۵	۳۸/۳۳ ^{dc}	-۸/۶۶ ^b	۳۷/۶۶ ^{bc}	۰/۳۹۰ ^d	۸۵/۸۶ ^d
۱	۳۹/۳۳ ^c	-۷/۳۳ ^b	۳۸/۳۳ ^{ab}	۰/۸۷۲ ^c	۸۵/۴۹ ^e
۱/۲۵	۴۱/۶۶ ^b	-۴/۶۶ ^a	۳۸/۶۶ ^{ab}	۱/۰۴۰ ^b	۸۵/۲۷ ^f
۱/۵	۴۵/۰۰ ^a	-۲/۶۶ ^a	۳۹/۳۳ ^a	۱/۱۶۳ ^a	۸۵/۲۵ ^f

*حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ است.

- غیر قابل اندازه‌گیری بود.

۱/۵ درصد امتیاز داده شده به شدت عطر کاهش یافت که دلیل آن حبس شدن مولکول‌های آروما در ساختار سه‌بعدی ژل می‌باشد (Gaspar *et al.*, 1999). با افزایش مقدار ژلاتین، امتیاز داده شده به حالت ژله‌ای افزایش پیدا کرد که با اندازه‌گیری سفتی بافت توسط دستگاه سنجش بافت تایید شد. با بیشتر شدن سطح ژلاتین فاکتور رنگ و شفافیت نمونه‌های ژله امتیاز بالایی کسب کرد. این نتیجه-گیری با نتایج آزمون رنگ سنجی با هانتربل مطابقت داشت. در راستای افزایش سفتی نمونه‌ها میزان چسبندگی ژله به ظرف کاهش یافت و امتیاز داده شده به نمونه‌های حاوی ژلاتین با سطوح بالاتر از نظر عدم چسبندگی بیشتر شد. از لحاظ پذیرش کلی بالاترین امتیاز به نمونه‌های حاوی ۱/۲۵ و ۱/۵ درصد ژلاتین داده شد.

ارزیابی حسی

نتایج حاصل از ارزیابی حسی ژله طالبی در ۴۸ ساعت پس از تولید در جدول ۵ نشان داده شده است. در این مطالعه میزان ژلاتین بر روی اسیدیت تاثیر معنی‌داری نداشت بنابراین ارزیابان به شیرینی نمونه‌های ژله طالبی امتیاز یکسانی دادند. اما در مطالعه‌ی Sousa و همکاران (۱۹۹۷)، میان اسیدیت و شیرینی نمونه‌های ژله انگور سفید حاوی پکتین با درجه متوکسیل پایین همبستگی منفی وجود داشت به این صورت که با افزایش اسیدیت شیرینی کاهش یافت که دلیل آن را پوشانده شدن طعم اسیدی توسط شکر اعلام کردند. با افزایش مقدار ژلاتین تا ۱ درصد در فرمولاسیون ژله طالبی، نمونه‌ها از نظر شدت عطر اختلاف معنی‌داری نداشتند ولی با افزایش بیشتر غلظت شکر تا

جدول ۵- ارزیابی حسی نمونه‌های ژله طالبی

پذیرش کلی	عدم چسبندگی به ظرف	شفافیت	حالت ژله‌ای	رنگ و ظاهر	شیرینی	شدت عطر	درصد ژلاتین در ژله طالبی
۱/۶۶ ^d	۱/۰۰ ^d	۳/۰۰ ^c	۱/۰۰ ^e	۳/۳۳ ^c	۳/۳۳ ^a	۴/۶۶ ^{a*}	۰/۲۵
۲/۰۰ ^d	۱/۶۶ ^c	۳/۳۳ ^c	۲/۰۰ ^d	۳/۶۶ ^c	۳/۳۳ ^a	۴/۶۶ ^a	۰/۵
۳/۰۰ ^c	۳/۰۰ ^b	۴/۰۰ ^b	۳/۰۰ ^c	۴/۰۰ ^{bc}	۳/۳۳ ^a	۴/۶۶ ^a	۰/۷۵
۴/۳۳ ^b	۴/۶۶ ^a	۵/۰۰ ^a	۴/۳۳ ^b	۴/۶۶ ^{ab}	۳/۶۶ ^a	۴/۶۶ ^a	۱
۵/۰۰ ^a	۵/۰۰ ^a	۵/۰۰ ^a	۵/۰۰ ^a	۵/۰۰ ^a	۳/۶۶ ^a	۳/۳۳ ^b	۱/۲۵
۵/۰۰ ^a	۵/۰۰ ^a	۵/۰۰ ^a	۵/۰۰ ^a	۵/۰۰ ^a	۳/۶۶ ^a	۳/۳۳ ^b	۱/۵

*حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ است.

نتیجه‌گیری

کند. همچنین به دلیل خواص تغذیه‌ای و اطمینان از سلامت و کیفیت، ژلاتین تولیدی می‌تواند برای تولید فراورده‌های ژله‌ای و ژله مورد استفاده قرار گیرد. استفاده بهینه از محصولات جانبی و راههای بهره‌گیری از ضایعات طیور نقش بسزایی در خود کفایی کشور ایفا می‌کند.

ژلاتین ماده پرمصرف در صنایع غذایی و دارویی است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که ژلاتین پای مرغ ارزش عملکردی بالایی داشته و با داشتن پتانسیل رقابت با ژلاتین حاصل از سایر منابع می‌تواند ژلاتین پوست خوک و غیره به کشور جلوگیری

منابع

- استاندارد ملی ایران، ۱۳۹۲، فراورده‌های ژله‌ای- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون، اصلاحیه شماره ۱، شماره ۲۶۸۲.
- Almeida, P., Silva Lannes, S., Calarge, F., Brito Farias, T. and Curvelo Santana, J. 2012. FTIR characterization of gelatin from chicken feet. *Journal of chemistry and chemical engineering*. 6(11): 1029-1032.
- AOAC. 2006. Official methods of analysis of AOAC international (18th ed.). Virginia, USA: Association of official and analytical chemists international.
- Badii, F., and Howell, N. K. 2006. Fish gelatin: structure, gelling properties and interaction with egg albumen proteins. *Food hydrocolloids*. 20, 630-640.
- Benali, S., Benamara, S., Bigan, M. and Madani, Kh. 2014. Feasibility study of date (*Phoenix dactylifera* L.) fruit syrup-based natural jelly using central composite design. *J. Food sci. technol.* DOI. 10. 1007/s13197-014-1529-x.
- Binsi, P.K., Shamasundar, B.A., Dileep, A.O., Badii, F. and Howell, N.K., 2009. Rheological and functional properties of gelatin from the skin of Bigeye snapper (*Priacanthus hamrur*) fish: Influence of gelatin on the gel-forming ability of fish mince. *Food hydrocolloids*. 23, 132-145.
- Boran, G. and Joe, M. 2010. Fish gelatin. *Advances in food and nutrition research*. DOI. 10.1016, s1043-4526 (10) 60005-8.
- Chandra, M.V. and Shamasundar, B.A. 2015. Rheological properties of gelatin prepared from the swim bladders of freshwater fish Catla catla. *Food hydrocolloids*. 48, 47- 54.
- Cheow, C. S., Norizah, M. S., Kyaw, Z. Y. and Howell, N. K. 2007. Preparation and characterisation of gelatins from the skins of sin croaker (*Johnius dussumieri*) and shortfin scad (*Decapterus macrosoma*). *Food chemistry*. 101, 386-391.
- Gaspar, C., Laureano, O. and Sousa, I., 1998. Production of reduced-calorie grape juice jelly with gellan, xanthan and locust bean gums: sensory and objective analysis of texture. *European food research and technology/ Z lebensm unters Forsch A*. 206, 169-174.
- Gómez-Guillén, M.C., Giménez, B., López-Caballero, M.E. and Montero, M.P. 2011. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food hydrocolloids*. 25, 1813-1827.
- Grossman, S., and Bergman, M. 1992. Process for the production of gelatin from the fish skins. US Patent . 5,093,474.
- Hanani, Z.A., Roos, Y.H. and Kerry, J. 2012. Use of beef, pork and fish gelatin sources in the manufacture of films and assessment of their composition and mechanical properties. *Food hydrocolloids*. 29, 144-151.
- Jamilah, B., and Harvinder, K. G. 2002. Properties of gelatins from skins of fish-black tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and red tilapia (*Oreochromis nilotica*). *Food chemistry*. 77, 81-84.
- Karim, A.A. and Bhat, R. 2009. Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food hydrocolloids*. 23, 563-576.
- Kasankala, L. M., Xue, Y., Weilong, Y., Hong, D.S. and He, Q. 2007. Optimization of gelatine extraction from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fish skin by response surface methodology. *Bioresource technology*. 98, 3338-3343.
- Kittiphattanabawon, P., Benjakul, S., Visessanguan, W. and Shahidi, F., 2010. Comparative study on characteristics of gelatin from the skins of brownbanded bamboo shark and blacktip shark as affected by extraction conditions. *Food hydrocolloids*. 24, 164-171.
- Lassoued, I., Jridi, M., Nasri, R., Dammak, A., Hajji, M., Nasri, M. and Barkia, Ahmed. 2014. Characteristics and functional properties of gelatin from thornback ray skin obtained by pepsin-aided process in comparison with commercial halal bovine gelatin. *Food hydrocolloids*. 41, 309-318.
- Lee, H.E., Yeom, J., Ha, S.M. and Bae, H.D. 2010. Development of Banana Peel Jelly and its antioxidant and textural properties. *Food sci. biotechnol.* 19(2): 449-455.
- Norziah, M.H., Al-Hasan, A., Khairulnizam, A.B., Mordi, M.N. and Norita, M. 2009. Characterization of fish gelatin from surimi processing wastes: Thermal analysis and effect of transglutaminase on gel properties. *Food hydrocolloids*. 23, 1610-1616.
- Sarboon, N., Abdi, F. and Howell, N. 2013. Preparation and characterisation of chicken skin gelatin as an alternative to mammalian gelatin. *Food hydrocolloids*. 30, 143-151.

- Shakila, R., Jeevithan, E., Varatharajakumar, A., Jeyasekaran, G. and Sukumar, D. 2012. Functional characterization of gelatin extracted from bones of red snapper and grouper in comparison with mammalian gelatin. *LWT - Food science and technology*. 48, 30-36.
- Shyni, K., Hema, G.S., Ninan, G., Mathew, S., Joshy, C.G. and Lakshmanan, P.T. 2014. Isolation and characterization of gelatin from the skins of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*), dog shark (*Scoliodon sorrakowah*), and rohu (*Labeo rohita*). *Food hydrocolloids*. 39, 68-76.
- Sousa, N.M., Matias, C. and Laureano, O. 1997. The texture of low calorie grape juice jelly. *European food research and technology/ Z Lebensm untersforsch A*. 205, 140-142.
- Trachootham, D., Songkaew, W., Hongsachum, B., Wattana, Ch., Changklungdee, N., Karapoch, J., Thiratsittirongnapumi, S., Meennuch, E., Klaitong, Ch., Sinthusek, T. and Lam-u bol, A. 2015. Nutri-jelly may improve quality of life and decrease tube feeding demand in head and neck cancer patients, *Support care cancer*. 23, 1421-1430.

Extraction and characterization of gelatin from chicken feet and its application in cantaloupe jelly

A. Rezaee Zadeh¹, Z. Raftani Amiri^{2*}

Received: 2015.03.08

Accepted: 2016.01.09

Introduction: Today, the demand for low calorie food based on fruits and easy production and keeping primary features including texture and taste is increasing. Jelly is one of low calorie products which is produced from fruits and other components, and its usage is increasing for human health. Chemical ingredients and natural features of fruits decrease the cancer. In addition to nutrition and medical values, rheological and texture features affect the general quality of fruit jelly. Gelatin is a protein which is obtained by thermal hydrolysis of collagen and is the main protein of bone, cartilage and skin. The source, animal age and the type of collagen are influential factors on gelatin characteristics. Different gelatins have different thermal and rheological characteristics such as transformation temperature to jelly and melting temperature. The melting temperature of gelatin is lower than human body temperature. In food industry, gelatin is used as an alternative for fat, to improve elasticity and transparency of fruit juices and also is used in production of jelly, chocolate, edible films, and so on. Gelatin quality and its application in industry are mainly because of its rheological features. Global demand for gelatin during recent years increases due to its low cost and solubility in biologic environments.

Materials and methods: In this study, the gelatin from chicken feet was extracted by acidic method using hydrochloric acid 0.5% normal with the rate of 1: 3.22 weight / volume. pH was adjusted to 7 by the use of sodium hydroxyl 1 normal and was dried in an incubator at 45° c for 28 hours. Different tests such as pH, protein, ash, moisture, fat, viscosity, jelly strength, color and rheology were done in gelatin molecule to measure of storage modules (G') and loss modules (G''). Then, the effect of extracted jelly in concentrations of 0 to 1.5 % on the physico-chemical (Brix, humidity, acidity, color, texture) and organoleptic properties of cantaloupe jelly (odor, sweetness, color, appearance, jelly status, transparency, adhesion) were investigated using five point Hedonic scale ranked. Experiments related to cantaloupe jelly were conducted in terms of a completely random design. 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 experimental data's. The result was performed using the SPSS version 16.0 windows program, and charts were plotted with Excel 2010.

Results and Discussion: The results showed that the average yield of gelatin based on the wet weight was 4.80%, pH value before drying is 3.7, the total amount of protein is 83.95%, the total amount of ash is 0.89%, moisture is 9.66%, fat is 0%, viscosity is 216 centipoise. The strength of jelly is 487g that in compare with other alternatives such as gelatin from chicken skin is 355±48.1 gr, cow gelatin is 299±71.1 gr, fish gelatin including 181 to 263 gr for tilapia, 280 gr for horse mackerel fish, 125 and 177 gram for Sin croaker and Shortfin scad, respectively. The main reason for low level of gelatin in fish skin is the low amount of hydroxyl proline. Thus, it can be claimed that the high gel strength in chicken feet gelatin might be due to lower extraction temperature, strong hydrogen bond and more probably hydroxyl proline. Hydrocolloid solutions are usually viscoelastic; therefore, the level of storage modules (G') and loss modules (G'') is measurable for them. Gelatin from chicken feet exhibited G' greater than the G'' in a wide range of frequencies of the oscillatory test, which have indicated the gel network is high stable. By increasing the amount of gelatin in the cantaloupe juice, transparency and firmness of cantaloupe jelly increased. In the sensory analysis, jellies had not significant differences in the intensity of sweetness. In terms of overall acceptability, the sample containing 1.25 and 1.5 percent of gelatin gained maximum score.

Keywords: Cantaloupe Jelly, Chicken Feet, Extraction, Gelatin, Rheological Behavior

1 And 2. M. Sc. Student, Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

(*Corresponding Author Email: zramiri@gmail.com).



پیش‌بینی ضرایب انتقال حرارت سطحی و کینتیک‌های انتقال جرم نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

صفیه خلیلیان^۱ - امان محمد ضیائی‌فر^{۲*} - علی اصغری^۳ - مهدی کاشانی‌نژاد^۴ - محبت محبی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۰

چکیده

انتقال رطوبت و روغن بر توزیع دما در سیستم نقش داشته و باعث ایجاد شار حرارتی متغیر در فرایند می‌گردد. لذا در این پژوهش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به بررسی و پیش‌بینی ضرایب انتقال حرارت سطحی و کینتیک‌های انتقال جرم (رطوبت و روغن) طی فرایند سرخ کردن نمونه‌های بادمجان پرداخته شد. اثر پیش تیمار خشک کردن با هوای داغ در چهار سطح دمایی (۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد) تا رسیدن به سطوح رطوبتی ۱۲ و ۵ گرم بر گرم ماده خشک، دماهای مختلف سرخ کردن (۱۳۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد) طی مدت زمان ۶ دقیقه در فواصل زمانی یک دقیقه-ای بر محتوی روغن و رطوبت برش‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق با سه بار تکرار مورد بررسی قرار گرفت. پروفیل‌های دمایی در سطوح بالا و پایین نمونه‌ها طی فرایند سرخ کردن عمیق با قرار دادن ترموکوپل نوع K نیز ثبت گردید. ارتباط بین ضریب انتقال حرارت سطحی و کینتیک‌های انتقال جرم نمونه‌های بادمجان، طی فرایند سرخ کردن عمیق با استفاده از تحلیل مولفه اصلی (PCA) نشان داد که داده‌های موجود در ۳ ناحیه مختصاتی PC، متفاوت قرار داشتند. نتایج حاصل از بررسی ضرایب انتقال حرارت سطحی و کینتیک‌های انتقال جرم نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار با ساختار پرسپترون چند لایه (MLP)، حاکی از وجود یک رابطه پیچیده بین پارامترهای انتقال حرارت سطحی و جرم نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق بود. شبکه مورد استفاده شامل تابع سیگموئید در لایه مخفی و الگوریتم آموزش لوببرگ-مارکوارت (ML) با توپولوژی سه لایه ۴-۵-۴ با ضریب تبیین R^2 ۰/۹۷ و متوسط مربع خطای (MSE) ۰/۰۰۱۳، بهترین شبکه برای پیش‌بینی کینتیک‌های انتقال رطوبت، روغن و ضریب انتقال حرارت سطحی به دست آمد. با توجه به نتایج فوق می‌توان بیان نمود که این شبکه امکان دستیابی به دما و زمان سرخ کردن با کمترین مقادیر رطوبت و روغن در نمونه‌های بادمجان سرخ شده را در کمترین زمان ممکن فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سرخ کردن، بادمجان، ضریب انتقال حرارت سطحی، انتقال جرم، شبکه عصبی مصنوعی.

مقدمه

در اکثر مقالات سرخ کردن، محققان به اصل وجود هم‌زمان انتقال حرارت و جرم اشاره کرده‌اند و آن را یکی از عوامل دشوارکننده مطالعه این فرایند و مکانیسم‌های دخیل در پدیده‌های انتقال حرارت و جرم معرفی نموده‌اند (Farkas *et al.*, 1996; Vitrac *et al.*, 2002; Baumann & Escher, 1995; Ahromrit, A., & Nema, 2010; Datta, 2007; Farid & Chen, 1998). در طی فرایند سرخ کردن حرارت از روغن به طریق جابجایی به سطح نمونه منتقل شده که باعث افزایش دمای ماده گردیده و تقریباً با رسیدن دما به ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، آب درون نمونه به صورت بخار از سطح ماده شروع به خارج شدن می‌کند و سطح نمونه را به صورت لایه‌های از حباب-هایی با توزیع و اندازه‌های مختلف می‌پوشاند (Saguy *et al.*, 1998). مرحله رشد، تحرک حباب‌های بخار و جدایش پیوسته آن‌ها از سطح نمونه به شکل پیچیده‌ای به شیب حرارتی روغن و نمونه،

شناخت ویژگی‌های حرارتی مواد غذایی حین فرایند سرخ کردن و مکانیسم‌های دخیل در انتقال جرم (رطوبت و روغن) می‌تواند کمک شایانی در کنترل کیفیت محصول سرخ شده باشد (Fiszman *et al.*, 2005).

۱، ۲ و ۴- دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۵- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

(* نویسنده مسئول: Email: ziaiiifar@gmail.com)

DOI: 10.22067/iftstrj.v13i5i0.49966

زمینیان بوده که بومی کشور هندوستان می‌باشد. بادمجان به لحاظ اقتصادی یک محصول مهم کشاورزی در آسیا و اروپا محسوب می‌شود (Van Eck & Snyder, 2006). طبق آمار منتشره سازمان خوار و بار و کشاورزی (FAO, 2011) ایران بعد از چین و هندوستان با تولید ۱/۲ میلیون تن در سال، مقام سوم تولید بادمجان در جهان را دارد. میزان ترکیبات اصلی بادمجان با استناد بر پایگاه اطلاعاتی مواد غذایی آمریکا در هر ۱۰۰ گرم به طور متوسط به صورت ذیل می‌باشد: آب ۸۶/۱۳، کربوهیدرات ۹/۴۱، فیبر ۳، پروتئین ۰/۹۸، چربی ۰/۱۸، ویتامین‌ها و مواد معدنی ۰/۳ گرم. بادمجان به دلیل جذب روغن فراوان حین فرایند سرخ کردن علی‌رغم طعم و محبوبیت زیاد در بین مصرف‌کنندگان، استفاده از آن را به گزینه‌ای نامطلوب برانگیز، تبدیل کرده است. بنابراین استفاده از روش‌های مناسب برای سرخ کردن و کاهش محتوی روغن آن ضروری به نظر می‌رسد.

بررسی منابع بیانگر آن است که تاکنون پژوهش‌های اندکی جهت فرآوری و یا افزایش مدت ماندگاری بادمجان صورت گرفته است. همچنین تحقیقات بسیار اندکی در خصوص رفتار جذب روغن بادمجان طی فرایند سرخ کردن و تاثیر ضرایب انتقال حرارت سطحی صورت پذیرفته است. از این رو بررسی ویژگی‌های حرارتی و کینتیک‌های انتقال جرم طی فرایند سرخ کردن عمیق بادمجان و مدل‌سازی آن با شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند گام موثری بر بهبود، بهینه‌سازی و پیش‌بینی شرایط فرایند سرخ کردن بادمجان باشد.

مواد و روش‌ها

بادمجان وارسته بلک بل^۵ از بازار محلی واقع در شهرستان گرگان، روغن آفتابگردان (لادن، ایران)، پترولیوم اتر از شرکت مرک^۶ آلمان خریداری شد.

آماده‌سازی برش‌های بادمجان

نمونه‌های بادمجان در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا شروع انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند. به منظور یکسان بودن قطر برش‌ها با استفاده از قالب دستی به قطر ۲/۵ و ضخامت ۱ سانتی‌متر با دقت زیاد، تهیه شد و در نهایت نمونه‌های با وزن یکسان جهت انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

کاهش محتوی رطوبت نمونه‌های بادمجان با استفاده از هوای داغ

مرحله پیش خشک کردن نمونه‌های بادمجان با استفاده از خشک‌کن هوای داغ در آزمایشگاه گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه

ماهیت سطح، خواص ترموفیزیکی سیال نظیر کشش سطحی مربوط می‌شود. از طرفی تشکیل حباب بخار بر ریز جریان‌های روغن نزدیک سطح نمونه موثر بوده و در نهایت یکی از عوامل مهم بر تعیین ضریب انتقال حرارت سطحی می‌باشد (Sahin et al., 1999). با توجه به نوع جریان روغن اطراف نمونه در اثر خروج حباب‌های بخار، لایه‌های مرزی گرمایی هم در روغن و هم در بافت نمونه ایجاد می‌گردد. به عبارتی در هر ناحیه از روغن و نمونه که شیب دما وجود داشته باشد در آن ناحیه لایه مرزی گرمایی ایجاد خواهد شد (Farinu & Baik, 2008). افزون بر این، خروج آب و بخار درون نمونه و نحوه ایجاد هسته‌های جوشش خود باعث ایجاد تغییرات ساختاری در بافت نمونه غذایی می‌گردد و به محض کاهش آب درون بافت، سطح ماده غذایی دچار تغییرات گسترده ساختاری شده که لایه‌ای با عنوان پوسته ایجاد می‌گردد (Farkas et al., 2000). بنابراین، آگاهی از رابطه بین شرایط در لایه‌های مرزی و ضریب انتقال حرارت سطحی در هر فاصله روغن از سطح نمونه و هر فاصله از درون نمونه تا سطح نمونه می‌تواند در تعیین رفتارهای حرارتی و کینتیک‌های انتقال رطوبت، روغن و کنترل فرایند جایگاه ارزشمندی داشته باشند.

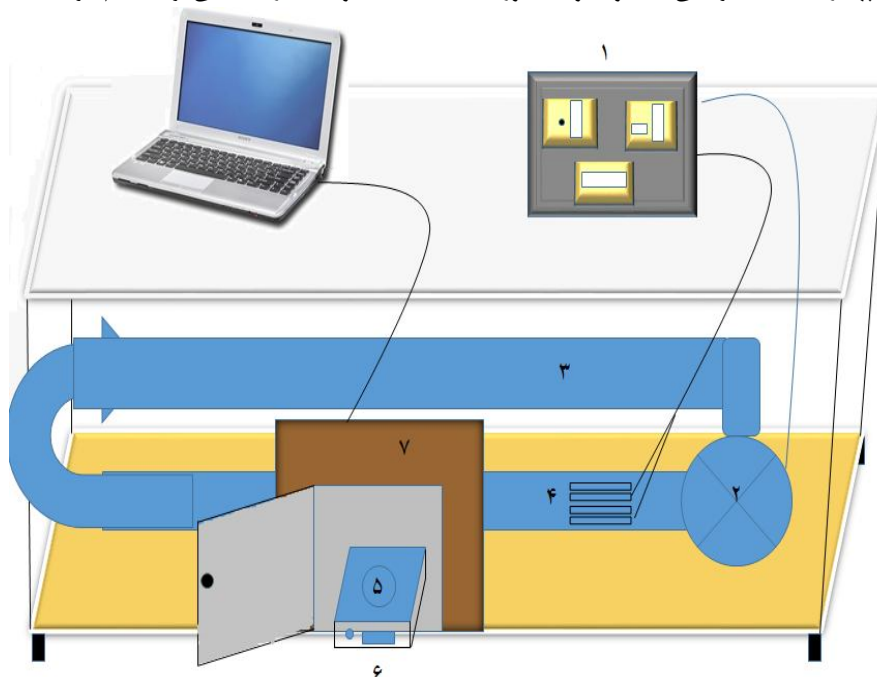
شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ (ANN) ابزارهایی مهم در میان مباحث هوش محاسباتی^۲ به حساب می‌آیند. انواع مختلفی از شبکه‌های عصبی مصنوعی معرفی شده‌اند، که عمدتاً در کاربردهایی همچون طبقه‌بندی، خوشه‌بندی، تشخیص الگو، مدل‌سازی، تقریب توابع، کنترل، تخمین و بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Rumelhart et al., 1986). مدل‌های شبکه عصبی بر خلاف مدل‌های ریاضی، بدون نیاز به استخراج رابطه بین پارامترها، قادر به شناسایی رابطه بین آن‌ها می‌باشد و از این نظر ابزار بسیار قدرتمندی در مدل‌سازی محسوب می‌گردند. در این روش، رابطه بین پارامترها در مرحله آموزش به شبکه معرفی می‌گردد و در مرحله بعد، شبیه مغز انسان عمل کرده و در صورت انجام یک آموزش مناسب، شبکه عصبی قادر خواهد بود پیش‌بینی فرایند را انجام دهد و مشکلات مربوط به استخراج رابطه بین پارامترها از بین می‌رود. بنابراین، مدل‌های شبکه عصبی معمولاً در مواردی مورد استفاده قرار می‌گیرند که رابطه بین پارامترها ناشناخته یا بسیار پیچیده است (Sreekanth et al., 1999; Sablani, 2001) متداول‌ترین شبکه‌های عصبی، نوع پرسپترون چند لایه^۳ (MLP) پس انتشار خطا^۴ (BP) می‌باشد و از سه نوع لایه (لایه ورودی، لایه مخفی یا میانی و لایه خروجی) تشکیل می‌شوند (Hernandez et al., 2003).

بادمجان با نام علمی *Solanum Melongena* از تیره سیب

- 1 Artificial Neural Networks
- 2 Computational Intelligence
- 3 MultiLayer Perceptron
- 4 Back Propagation Error

دمایی نوع K کنترل شد. سرعت جریان هوا ۱/۵ m/s در دماهای ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید.

کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، انجام شد (شکل ۱). دمای هوای درون خشک‌کن توسط چهار المنت الکتریکی ۵۰۰ وات و سنسور



شکل ۱- خشک‌کن هوای داغ (۱- سیستم کنترل‌کننده سرعت فن و دمای سنسورهای حرارتی، ۲- فن، ۳- مسیر حرکت هوای داغ، ۴- سنسورهای حرارتی، ۵- محل قرارگیری نمونه، ۶- ترازو، ۷- محفظه خشک کردن نمونه).

فرایند سرخ کردن

فرایند سرخ کردن در سرخ‌کن خانگی (Model BDZ-5A-1) مجهز به کنترل‌کننده دما، دارای ترموکوپل نوع K، انجام شد. قبل از فرایند سرخ کردن ابتدا ۱/۵ لیتر روغن در داخل سرخ‌کن ریخته و به مدت یک ساعت گرم شد. سپس نمونه‌های آماده شده در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ دقیقه سرخ شدند. در پایان هر یک از این زمان‌ها، نمونه‌ها بلافاصله از داخل روغن خارج شده و روی توری سیمی به مدت ۵ دقیقه به منظور سرد شدن، قرار گرفت و محتوی رطوبت و روغن آنها ارزیابی شد.

رطوبت

اندازه‌گیری میزان رطوبت نمونه‌های سرخ شده مطابق با روش استاندارد (AOAC, 1995)، با خشک کردن نمونه‌ها در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت انجام گرفت. نمونه‌ها پس از خروج از آون، داخل دسیکاتور سرد شدند و میزان رطوبت بر مبنای وزن خشک محاسبه گردید.

روغن

کارتوش‌های حاوی نمونه‌های خشک شده برای اندازه‌گیری محتوی روغن به روش سوکسله (AOAC, 1995) استفاده شدند. ابتدا نمونه‌های خشک شده درون کارتوش خرد شدند و سپس توسط حلال پترولیوم اتر با نقطه جوش ۴۰ درجه سانتی‌گراد، استخراج روغن نمونه‌ها به مدت ۶ ساعت انجام گرفت و در نهایت میزان روغن بر مبنای وزن خشک محاسبه شد.

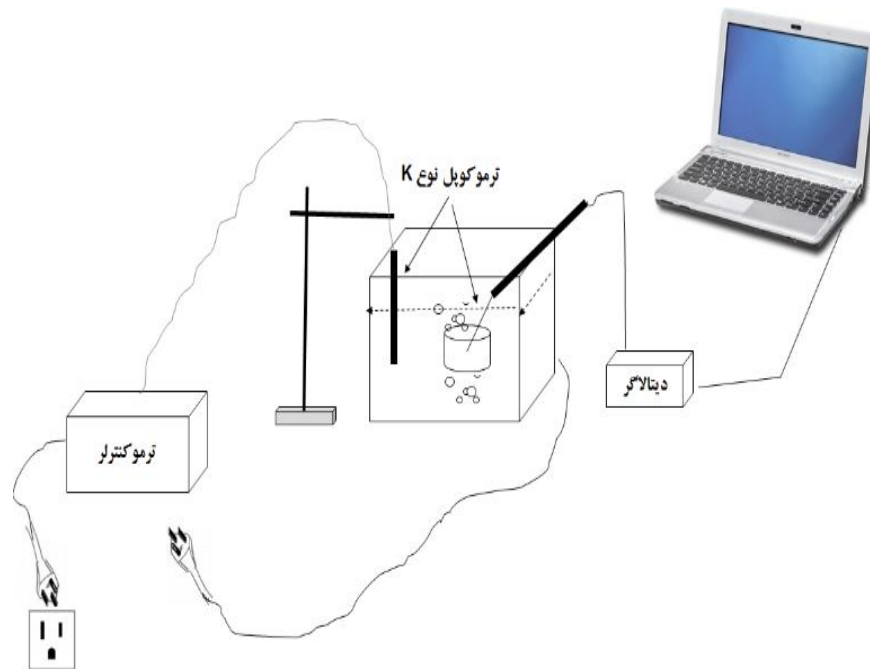
پروفیل دمایی سطح نمونه‌ها

به منظور مطالعه پروفیل‌های دمایی سطح نمونه‌های بادمجان حین فرایند سرخ کردن، ترموکوپل نوع K، به طور مستقیم در ناحیه سطحی نمونه قرار داده شد، به طوری که نوک ترموکوپل از بافت خارج نگردد و تغییرات دمای مرکز محصول در مدت ۳۶۰ ثانیه با فاصله زمانی ۱ ثانیه به وسیله دیتالاگر^۱ (Model TC-08 "RS") Pico technology (232) و نرم‌افزار پیکولاگ^۲ در کامپیوتر ثبت

1 Data logger

2 PicoLog software

گردید (شکل ۲).



شکل ۲- شماتیک سامانه ثبت پروفیل‌های دمایی نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق.

استفاده قرار گرفته است. الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا، یکی از رایج‌ترین الگوریتم‌ها جهت آموزش شبکه‌های عصبی چندلایه پیش خور می‌باشد. عمومیت یافتن الگوریتم BP، بخاطر سادگی و کاربردهای موفقیت آمیزش در حل مسائل فنی- مهندسی می‌باشد. از قانون یادگیری پس انتشار خطا (BP)، برای آموزش شبکه‌های عصبی چندلایه پیش خور که عموماً شبکه‌های چند لایه پرسپترون (MLP) هم نامیده می‌شود، استفاده می‌شود، به کار می‌رود. به عبارتی توپولوژی شبکه‌های MLP، با قانون یادگیری پس انتشار خطا تکمیل می‌شود. به منظور پیش‌بینی ضرایب انتقال حرارت سطحی و کینتیک‌های انتقال جرم نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. بنابراین از چهار ورودی شامل دما (۱۳۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان (۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ دقیقه) سرخ کردن، چهار دمای پیش تیمار خشک کردن با هوای داغ (۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد) تا رسیدن به دو سطح رطوبتی (۵ و ۱۲ گرم بر گرم ماده خشک) استفاده شد که پارامترهای خروجی شامل محتوی رطوبت، روغن، ضریب انتقال حرارت سطح بالا و پایین نمونه‌های بادمجان با دو تکرار بودند که در مجموع ۲۸۸ داده جهت تشکیل ساختار شبکه استفاده گردید. در شکل ۳، فلوچارت مراحل تعیین بهترین ساختار شبکه عصبی نشان داده شده است.

ضریب انتقال حرارت سطحی

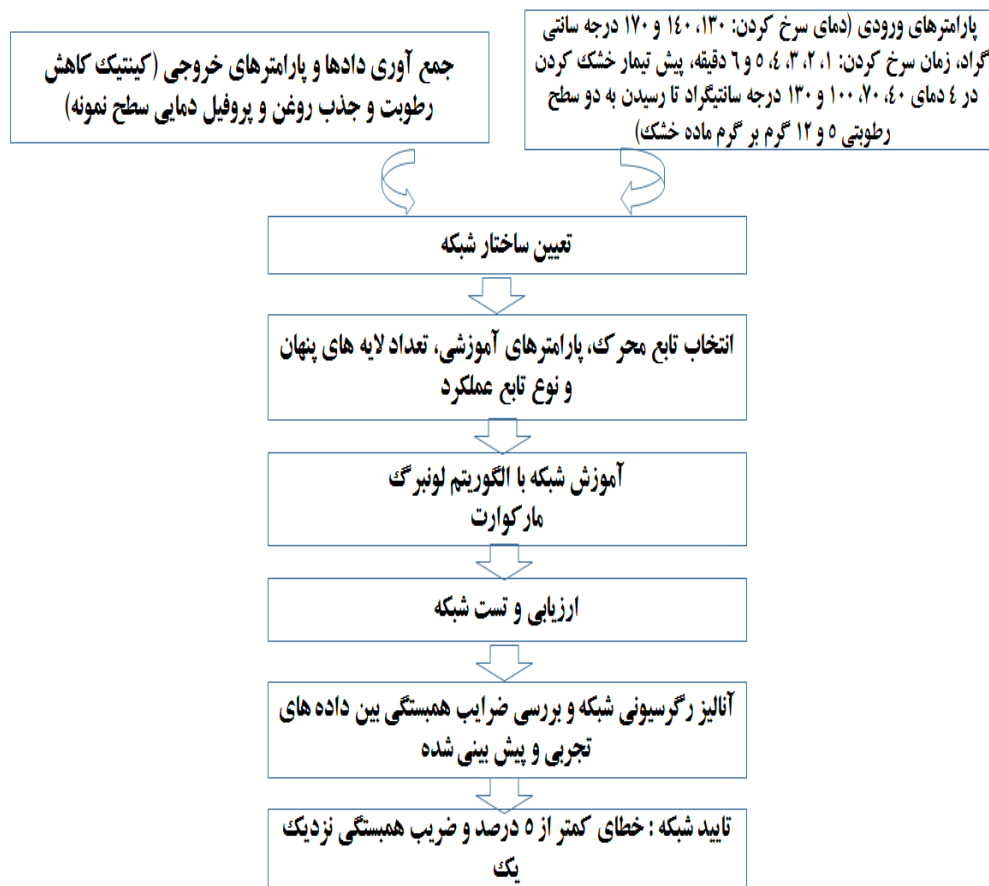
ضریب انتقال حرارت سطحی در این پژوهش از تبادل انرژی گرمایی بین نمونه و روغن محاسبه گردید (Farinu & Baik). بدین ترتیب که مجموع حرارتی که از طریق جابجایی به واسطه روغن به بادمجان منتقل می‌شود برابر با مجموع انرژی صرف شده برای تغییر دمای بادمجان و انرژی مصرف شده برای تبخیر آب درون بادمجان می‌باشد (معادله ۱):

$$hA(T_{\infty} - T_s) = MC_p \frac{dT}{dt} + L_v \frac{dW}{dt} \quad (1)$$

A: مساحت سطح مقطع نمونه‌های بادمجان، T_{∞} : دمای روغن، T_s : دمای نمونه در هر لحظه، M: جرم نمونه، C_p : ظرفیت حرارتی ویژه بادمجان (علی و همکاران، ۲۰۰۲)، $\frac{dT}{dt}$: اختلاف دمای اولیه نمونه‌های بادمجان و دما در هر لحظه از فرایند، L_v : گرمای نهان تبخیر آب (۲۲۵۶ kJ/kg)، $\frac{dW}{dt}$: میزان آب تبخیر شده در هر لحظه از فرایند سرخ کردن.

شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی چندلایه پیش خور در زمینه‌های متنوعی از قبیل طبقه بندی الگوها، پردازش تصاویر، تقریب توابع و غیره مورد



شکل ۳- شماتیک مراحل انتخاب و تعیین ساختار شبکه مناسب جهت مدل‌سازی کینتیک خروج رطوبت و جذب روغن و تخمین ضرایب انتقال حرارت سطحی.

نتایج و بحث

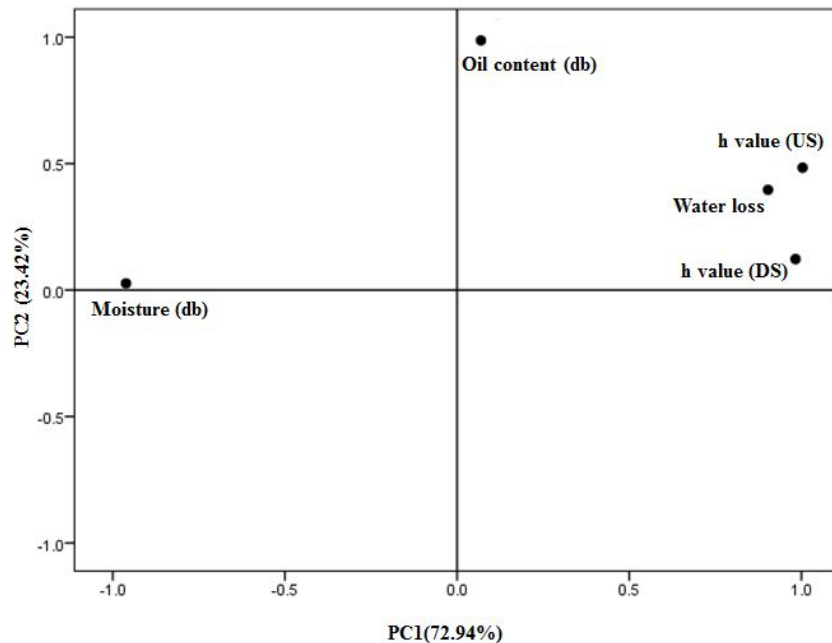
تحلیل مولفه اصلی

به منظور بررسی ارتباط بین ضرایب انتقال حرارت سطحی (سطح بالا و سطح پایین نمونه‌ها) با خروج رطوبت و جذب روغن از روش گرافیکی تحلیل مولفه اصلی استفاده شد. این روش اولین بار در سال ۱۹۰۱، توسط Pearson معرفی شد و هتلینگ (۱۹۳۳)، آن را به عنوان یک روش آماری قدرتمند جهت کاهش ابعاد داده‌های تجربی استفاده نمود. در روش تحلیل مولفه اصلی، داده‌ها از حالت خطی به یک سیستم مختصات متعام تبدیل شده که ارتباطات بین متغیرهای مد نظر در مجموعه داده‌های چند بعدی را به صورت گرافیکی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۴، مشاهده می‌گردد ضرایب انتقال حرارت سطح بالا و پایین نمونه‌های بادمجان با میزان کاهش وزن که همان میزان آب تبخیری از نمونه‌ها طی فرایند سرخ شدن می‌باشد، در ناحیه مختصاتی مجاور یکدیگر قرار گرفته‌اند که طبق انتظار با

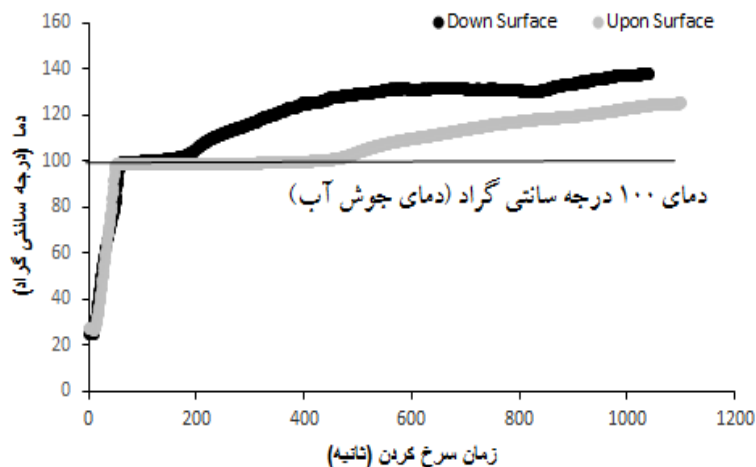
افزایش ضرایب انتقال حرارت سطحی، انرژی حرارتی از روغن به سطح نمونه‌ها منتقل شده و جریان حرارتی به درون نمونه شکل می‌گیرد که این انرژی حرارتی با تامین گرمای نهان تبخیر آب، باعث حرکت آب به سطح نمونه شده و به صورت حباب‌های بخار، نمونه را ترک کرده و وارد روغن می‌شود. در طی فرایند سرخ کردن با گذشت زمان، در نتیجه تبخیر آب نمونه‌های بادمجان، محتوی رطوبت نمونه‌ها کاهش می‌یابد که این نتیجه نیز در شکل ۴، قابل مشاهده است. ضرایب انتقال حرارت و میزان آب خروجی با محتوی رطوبت نمونه‌ها در دو ناحیه مختصاتی مخالف در فضای PC قرار گرفته‌اند که این حاکی از وجود یک رابطه معکوس بین این دو دسته از پارامترهای انتقال حرارت و جرم می‌باشد. در رابطه با تاثیر ضرایب انتقال حرارت سطحی و محتوی روغن، طبق آن چه در شکل ۴، مشاهده می‌گردد می‌توان این گونه بیان نمود که با افزایش ضرایب انتقال حرارت و خروج آب از نمونه‌ها طی فرایند سرخ کردن عمیق، محتوی روغن نمونه‌ها نیز افزایش می‌یابد که در مقایسه با تاثیر نرخ انتقال حرارت

کاهش سرعت نفوذ و جذب روغن به درون نمونه می‌گردد. از آن جایی که انتقال حرارت از سطح پایینی نمونه‌های بادمجان سریع‌تر رخ می‌دهد (شکل ۵) بنابراین مسیر حرکت و جذب روغن درون نمونه، بیشتر از سطح بالایی که هنوز حفرات سطحی باز بوده و مسیر خروج آب هستند، صورت می‌گیرد.

سطوح بالا و پایین نمونه‌ها، ضریب انتقال حرارت سطح بالایی نمونه‌ها، نقش مهمتری در افزایش محتوی روغن نمونه‌های بادمجان حین فرایند سرخ شدن دارد. طبق گزارش فارکاس و هابارد (۲۰۰۰) همزمان با افزایش ضریب انتقال حرارت سطحی، یک لایه خشک و پوخته مانند در سطح نمونه تشکیل می‌شود که به صورت مانعی باعث



شکل ۴- پراکنش ضرایب انتقال حرارت سطحی (US: Upon Surface و DS: Down Surface)، کاهش وزن، محتوی رطوبت و روغن نمونه‌های بادمجان سرخ شده طی فرایند سرخ کردن عمیق در فضای PC.



شکل ۵- تغییرات دمای سطوح بالا و پایین نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ شدن عمیق.

آزمایش مورد مقایسه قرار گرفته است (شکل ۷). همان‌طور که مشاهده می‌گردد کارایی شبکه در پیش‌بینی داده‌های تجربی مناسب و قابل قبول می‌باشد.

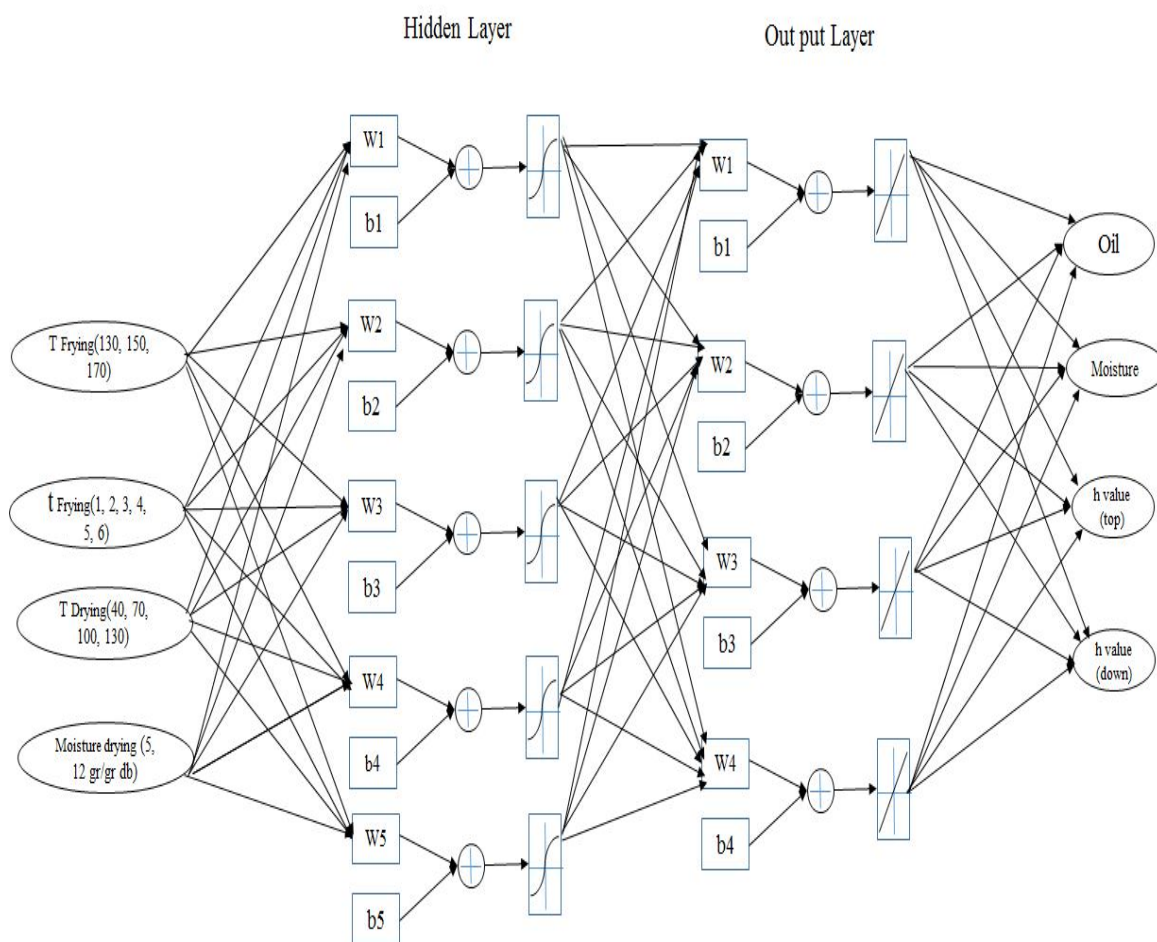
افزون بر این می‌توان معادله رگرسیونی مربوط به ضریب تبیین بین داده‌های تجربی و پیش‌بینی شده پاسخ‌های مورد بررسی (محتوی روغن، رطوبت و ضرایب انتقال حرارت سطحی) را نیز در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰، ملاحظه نمود.

روند تغییرات محتوی روغن، رطوبت و ضرایب انتقال حرارت سطحی در شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد مقادیر تجربی و پیش‌بینی شده تا حد قابل قبولی قادر به توصیف روند و رفتار تغییرات محتوی روغن، رطوبت و ضرایب انتقال حرارت سطحی در طی زمان سرخ کردن عمیق بوده است.

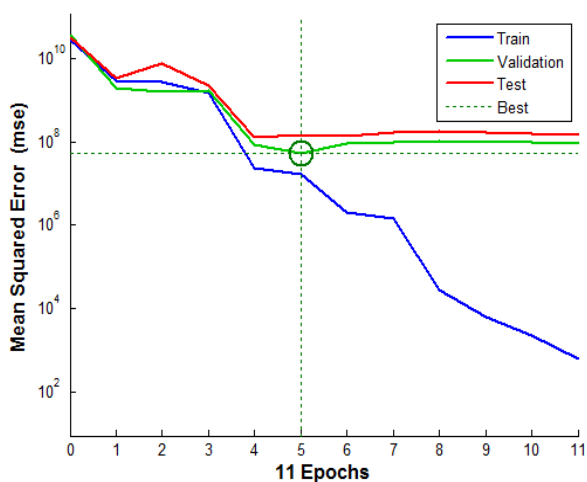
شبکه عصبی و فرایند مدل‌سازی

ساختار شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی محتوی روغن، رطوبت و ضرایب انتقال حرارت سطحی در شکل ۶ به‌صورت شماتیک آورده شده است. به‌منظور تعیین بهترین شبکه و توپولوژی مناسب از روش سعی و خطا استفاده شد به‌طوری که تابع سیگموئید در لایه مخفی و الگوریتم آموزش لونیگ-مارکوارت (ML) با توپولوژی سه لایه ۴-۵-۴ با ضریب تبیین (R^2) ۰/۹۷ و متوسط مربع خطای (MSE) ۰/۰۰۱۳، بهترین شبکه برای پیش‌بینی کینتیک‌های انتقال رطوبت، روغن و ضرایب انتقال حرارت سطحی به‌دست آمد.

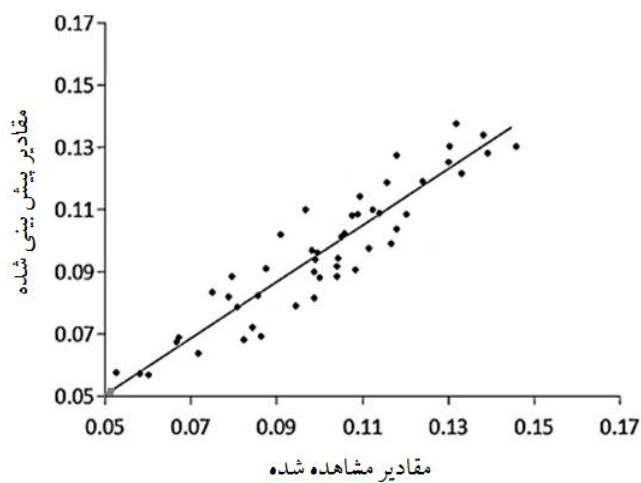
منحنی آموزش جهت تعیین میزان دقت مدل، داده‌های تجربی و پیش‌بینی شده به‌وسیله شبکه MLP در سه مرحله آموزش، ارزیابی و



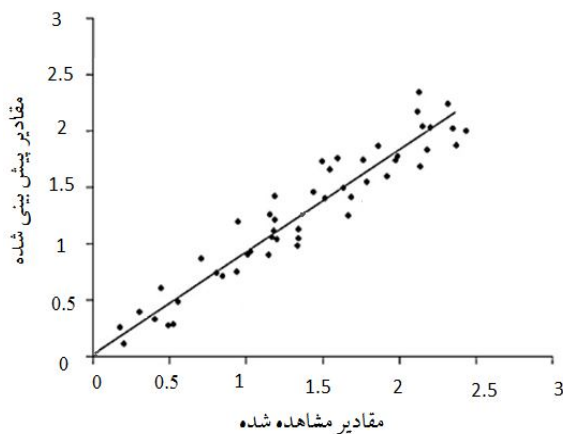
شکل ۶- ساختار شبکه پس انتشار با ساختار پرسپترون چند لایه (MLP) و تابع سیگموئید در لایه مخفی.



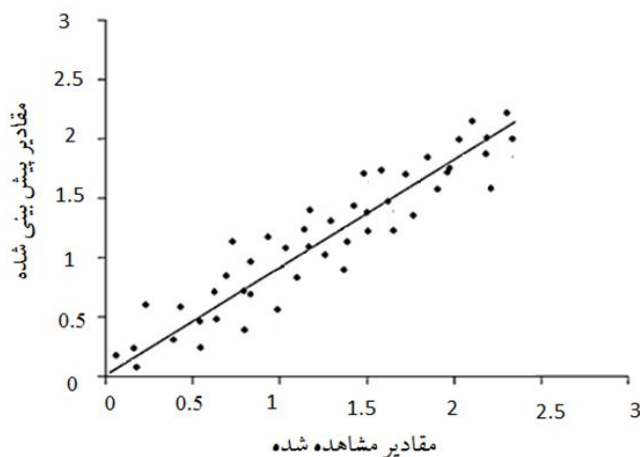
شکل ۷- منحنی آموزش شبکه MLP با یک لایه پنهان و ۵ نورون.



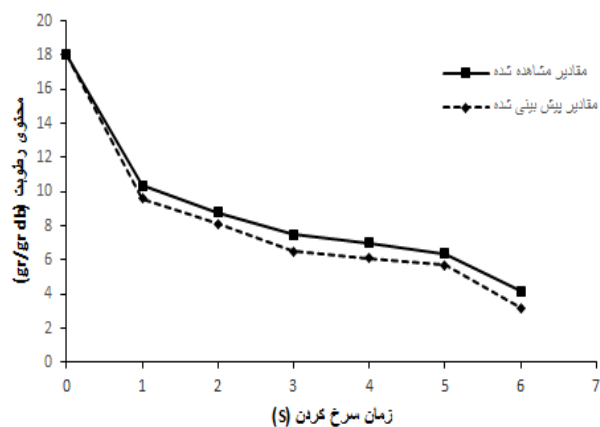
شکل ۸- نمودار معادله رگرسیونی بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده محتوی روغن نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق.



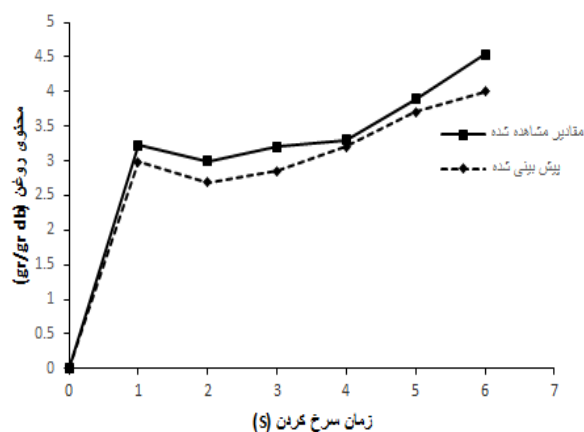
شکل ۹- نمودار معادله رگرسیونی بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده محتوی رطوبت نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق.



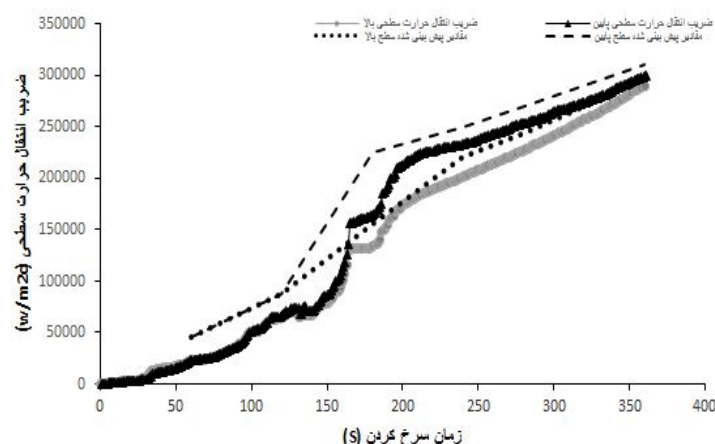
شکل ۱۰- نمودار معادله رگرسیونی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده ضرایب انتقال حرارت سطحی نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق.



شکل ۱۱- نمودار مقادیر میانگین رطوبت مشاهده شده و پیش‌بینی شده نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق در دمای 180°C .



شکل ۱۲- نمودار مقادیر میانگین روغن مشاهده شده و پیش‌بینی شده نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق در دمای 180°C .



شکل ۱۳- نمودار مقادیر میانگین ضرایب انتقال حرارت مشاهده شده و پیش‌بینی شده نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق در دمای ۱۸۰ °C.

نتیجه‌گیری

خود باعث تشکیل آهسته‌تر و دیرتر پوسته در سمت بالایی نمونه خواهد شد و در نهایت کانال‌ها و حفرات سطح بالایی بیشتر در معرض نفوذ روغن خواهند بود. همچنین نتایج حاصل از پیش‌بینی پارامترهای انتقال حرارت و جرم نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق، توسط شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه به عنوان یک روش غیرخطی، همبستگی نزدیکی با داده‌های تجربی نشان داد که این حاکی از عملکرد مناسب این روش برای مدل‌سازی و بررسی روابط بین پدیده‌های انتقال حرارت و جرم نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق می‌تواند باشد.

نتایج حاصل از پژوهش حاکی از آن بود که بین ضرایب انتقال حرارت سطحی و تغییرات محتوی رطوبت و روغن نمونه‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن عمیق روابط عمیق و تامل برانگیزی وجود دارد و علاوه بر این، مقادیر ضریب انتقال حرارت سطحی ناحیه سطح بالایی نمونه در مقایسه با ضریب انتقال حرارت سطحی سطح زیرین نمونه‌ها، نشان داد که جذب روغن از این ناحیه بیشتر صورت می‌گیرد. این پدیده را می‌توان به خروج بیشتر و طولانی مدت‌تر حباب‌های بخار آب از سطح بالایی نمونه نسبت داد که این

منابع

- AOAC., 1995, Official methods of analysis. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Ahromrit, A., & Nema, P. K., 2010, Heat and mass transfer in deep-frying of pumpkin, sweet potato and taro. *Journal of Food Science and Technology*, 47, 632-637.
- Baumann, B. & Escher, E., 1995, Mass and heat transfer during deep fat frying of potato slices. Rate of drying and oil uptake. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 28, 395-403.
- Chen, S. D., Chen, H. H., Chao, Y.C. & Lin, R. S. 2009. Effect of batter formula on qualities of deep-fat and microwave fried fish nuggets. *Journal of Food Engineering*. 95, 359-364.
- Datta, A. K., 2007, Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. I: Problem formulations. *Journal of Food Engineering*, 80, 80-95.
- FAO, 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Farid, M. M. & Chen X. D., 1998, The analysis of heat and mass transfer during frying of food using a moving boundary solution procedure. *Heat and Mass Transfer*, 34, 69-77.
- Farinu, A. & Baik, O.-D., 2008, Convective mass transfer coefficients in finite element simulations of deep fat frying of sweet potato. *Journal of Food Engineering*, 89, 187-194.
- Farkas, B. E., Singh R. P. & Rumsey T. R., 1996, Modeling heat and mass transfer in immersion frying. I, Model development. *Journal of Food Engineering*, 29, 211-226.
- Farkas, B.E. & Hubbard, L.J., 2000, Analysis of convective heat and mass transfer during immersion frying, *Drying Technology*, 18, 1269-1285.
- Fiszman, S. M., Salvador, A., & Sanz, T., 2005, Why, when and how hydrocolloids are employed in batter-coated food - A review. *Progress in Food Biopolymer Research*, 1, 55-68.

- Hernandez, J. A. Perez, Garcia, M.A. Alvarado, Trystran, G. & Heyd, B., 2004, Neural networks for the heat transfer prediction during drying of cassava and mango. *Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 57-64.
- Ngadi, M. , Dirani, K. , & Oluka, S., 2006, Mass transfer characteristics of chicken nuggets. *International Journal of Food Engineering*, 2, 1-16.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. & Williams, R. J., 1986, Learning internal representations by error propogation. *Parallel data Processing*, 1, 318-362.
- Sreekanth, S., Ramaswamy, H. S., Sablani, S. S., & Prasher, S. O., 1999, A neural network approach for evaluation of surface heat transfer coefficient, *J. Food Process. Preserv.* 23, 329-348.
- Sablani, S. S., 2001, A neural network approach for non-iterative calculation of heat transfer coefficient in fluid-particle systems, *Chem. Eng. Process.*, 40, 363-369.
- Sahin, S., Sastry S.K. & Bayindirli L., 1999, The determination of convective heat transfer coefficient during frying. *Journal of Food Engineering*, 39, 307-311.
- Saguy, I. S. & Pinthus, I. J., 1995, Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanisms. *Food Technology*, 49, 142-145, 152.
- Van Eck, J. & Snyder, A., 2006, Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Methods of Molecular Biology*, 343, 439-47.
- Vitrac, O., Dufour, D., Trystram, G., & Raoult-Wack, A. L., 2002, Characterization of heat and mass transfer during deep-fat frying and its effect on cassava chip quality. *Journal of Food Engineering*, 53, 161-176.



Prediction of surface heat transfer coefficients and mass transfer kinetics of eggplant samples during deep fat frying by artificial neural network

S. Khalilian¹, A. M. Ziaifar^{2*}, A. Asghari³, M. Kashaninejad⁴, M. Mohebbi⁵

Received: 2015.09.18

Accepted: 2016.01.30

Introduction: Thermal properties of food during the frying process and mass transfer mechanisms (water and oil) can help in controlling the quality of the fried product (Fizman et al., 2005). During the frying process, heat was transferred from the oil to the sample surface that it increases the temperature almost to 100 °C, the water evaporates and moved out. The sample surface was covered by bubble layers with various size and distribution. The formation of vapor bubbles on the samples surface have been effective on the micro-flows which is one of the important factor in the coefficient of heat transfer (Sahin et al., 1999). Therefore, knowledge of the relationship between the boundary layer and the surface heat transfer coefficient can determine the thermal behavior and kinetics of the migration of moisture and oil. Eggplant (*Solanum Melongena L.*) is one of the major agricultural crops of Asian and Mediterranean countries. Iran after China and India has achieved third place in eggplant production, which has made it remarkable, and economical. Eggplant absorbs high amounts of oil during the frying process due to its high moisture content (more than 90%) and high porous structure even if the residual water content is still quite high after frying.

Materials and methods: Fresh eggplants (*Solanum melongena L.* family Solanaceae) were obtained from the local market and stored at 4°C. Eggplant samples were washed with water tap and cut with manual mold into equal and similar cylindrical pieces (2.5×1cm). They were then washed with distilled water and surface water was removed using tissue paper. Finally, the samples were packed by poly-ethylene in order to prevent surface drying. A commercial sunflower oil was purchased from Ladan Factory, Iran.

Eggplant samples were dried at different temperature of hot air drying 40, 70, 100 and 130°C until moisture content 5 and 12 db%. Samples were drawn from the drier after drying, cooled at room temperature (25°C) and deep fat fried.

A domestic deep fat fryer with temperature control of $\pm 1^\circ\text{C}$ (Seb, France) was used for carrying out frying operations. The fryer was filled with 2.5 l sunflower oil. The eggplant to oil ratio was kept at 1:50 w/v to reduce temperature variation in the oil bath. The frying was performed at 130, 150 and 170 °C for regular interval times 1, 2, 3, 4, 5 and 6 min. The frying oil was changed after 10 h of frying time. The samples were immediately removed from oil and were located on wired plate for draining and remove excess oil on the surface, and allowed to cool at room temperature before analyses. All experiments were performed in triplicates and the presented results are the mean of the obtained values.

Oil and moisture content were determined according to AOAC, 1995.

K type thermocouples (copper-nickel) with accuracy of $\pm 1^\circ\text{C}$ were used to measure the temperatures of samples. Temperature acquisition TC-08, Pico® (Technology Limited, England) with accuracy $\pm 0.5^\circ\text{C}$ and temperature controller PID Rex- D-100® (RKC) were used to data collection and oil temperature control, respectively.

In this study, convective heat transfer coefficient was calculated between surface sample and oil according to Farinu and Baik (2008).

In order to predict surface heat transfer coefficients and mass transfer kinetic eggplant samples during deep frying was used artificial neural networks. Then, the 4 inputs including: frying temperature (130, 150 and 170 °C), frying time (1, 2, 3, 4, 5 and 6 min), 4 pre-treatments drying temperature by hot air (40, 70, 100 and 130 °C) until the two moisture levels (5 and 12 %db) were used and output parameters including moisture and oil content, heat transfer coefficient with two replications which in total of 288 data were used to form the network

1, 2 And 4. PhD Student, Associate professor and Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources

3. Assistant professor, Department of Biosystem Mechanical Engineering, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources.

5. Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.

(*Corresponding Author Email: ziaifar@gmail.com).

structure.

Results and discussion: Results of this study showed that there is some complicated relationship between convective heat transfer and moisture and oil content. In addition, the convective heat transfer coefficient in up and down surface of the sample showed that oil absorption will be from upper surface. This phenomenon can be attributed to upper surface due to more bubbles of vapor out of the sample. This leads would slower the formation of crust on the upper sample. Finally, channels and cavities of the upper level will be more susceptible to the contact of oil. The results of predictive parameters of heat and mass transfer during deep frying eggplant samples using artificial neural network multilayer perceptron as a non-linear method showed closely relationship with experimental data. It indicates that the proper functioning of this method for modeling and studying the relationship between heat and mass transfer phenomena during deep frying of eggplant samples.

Keywords: Frying, Eggplant, Surface Coefficient of Heat Transfer, Mass Transfer, Artificial Neural Network.

بررسی تاثیر آنتی اکسیدانی اسانس بخش های هوایی مریم گلی کبیر (*Salvia sclarea*) و ریحان (*Ocimum basilicum*) در پنیر سفید ایرانی

فهیمة توریان^{۱*} - مریم عزیزخانی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۰۹

چکیده

گیاهان دارویی مخلوط طبیعی پیچیده ای هستند که به عنوان جایگزین بالقوه آنتی اکسیدان های مصنوعی در مواد غذایی مطرح شده اند. در این مطالعه، تاثیر آنتی اکسیدانی اسانس های مریم گلی کبیر و ریحان بر ماندگاری پنیر سفید ایرانی، در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۹۰ و ۲۶ درجه سانتی گراد به مدت ۳۹ روز مورد بررسی قرار گرفت. نمونه ها، در سه سطح غلظتی ۰/۵، ۰/۷۵، ۱٪ (وزنی / حجمی) تیمار شدند، کنترل منفی، پنیر بدون آنتی اکسیدان و کنترل مثبت، نمونه ای با آنتی اکسیدان مصنوعی (BHT) ۰/۰۵٪ انتخاب شدند. ترکیب شیمیایی اسانس ها مورد بررسی و همچنین ظرفیت آنتی اکسیدانی با روش DPPH و پایداری اکسایشی با استفاده از تست های پراکسید و تیوباربیتریک اسید مورد ارزیابی قرار گرفت. بیشترین تاثیر در جلوگیری از اکسیداسیون چربی در روز نودم در غلظت ۰/۷۵ و ۱٪ ریحان و ۱٪ درصد اسانس مریم گلی کبیر مشاهده شد. در نهایت به نظر می رسد اسانس ریحان تاثیر بیشتری در مقایسه با اسانس مریم گلی کبیر داشت. عدد نهایی پراکسید (میلی اکی والان اکسیژن بر کیلوگرم) و تیوباربیتریک اسید (مالون دی آلدهید بر حسب میلی مول در ۱۰۰ گرم روغن) در غلظت ۱٪ برای اسانس مریم گلی کبیر به ترتیب ۱/۸۱۷ و ۰/۰۹۶ و برای اسانس ریحان ۱/۳۷۹ و ۰/۰۶۸۰ بود که اختلاف معناداری با نمونه کنترل داشتند ($p < 0.05$). غنی سازی با اسانس های طبیعی موجب افزایش ماندگاری و پایداری اکسایشی پنیر می شود. همچنین بر خواص ارگانولپتیکی تاثیر چندانی نمی گذارد، اما با توجه به ویژگی های ذاتی نگهدارندگی، موجب افزایش عمر ماندگاری پنیر می شود.

واژه های کلیدی: اسانس، ریحان، مریم گلی کبیر، پنیر، فعالیت آنتی اکسیدانی

مقدمه

فعالیت آنتی اکسیدانی شیر و محصولات لبنی انجام شده، اما تحقیقات عمیق تری جهت استفاده از پتانسیل آنتی اکسیدان ها بصورت کاربردی در فرآورده های لبنی و بویژه پنیرها، جهت افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی این فرآورده ها الزامی است. در دهه های اخیر، در راستای حذف یا کاهش ترکیبات سنتزی، تحقیقات زیادی برای جایگزینی مواد شیمیایی با انواع طبیعی انجام شد و گزارش های متعددی بیان شد که گیاهان دارویی، دارای ترکیباتی با خاصیت آنتی اکسیدانی و یا ضد رادیکالی می باشند (Kulic et al., 2004; Lee et al., 2002). در سال های اخیر با توجه به افزایش آگاهی مصرف کنندگان نسبت به ایمنی مواد غذایی، نیاز به شناسایی آنتی اکسیدان هایی با منشأ طبیعی روز به روز در حال افزایش است و تولید کنندگان مواد غذایی توجه زیادی به استفاده از نگهدارنده های طبیعی با منشأ گیاهی و میکروبی به جای نگهدارنده های شیمیایی در محصولات خود نموده اند (Moure et al., 2001). اکثر اسانس های گیاهی از صدها ترکیب پیچیده فیتوشیمیایی نظیر مونوترپن ها،

شیر و فرآورده های لبنی، به عنوان غذای عملکردی، ناشی از حضور ترکیبات آنتی اکسیدانی با اثرات سودمند بر سلامت مصرف کنندگان، مطرح است. فرآورده های اکسیداسیون در شیر و فرآورده های آن سبب ایجاد بو و طعم تند شده و منجر به کاهش کیفیت تغذیه ای و نیز کاهش ایمنی به علت ایجاد ترکیبات سمی می شوند (Basti et al., 2007). بنابراین علاوه بر ترکیبات شیر، بکار بردن ترکیباتی که منجر به پایداری اکسایشی شیر و محصولات لبنی شود از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشند. پنیر به عنوان یکی از مهمترین فرآورده های لبنی پرمصرف، از این قاعده استثناء نمی باشد. مطالعات زیادی در مورد

۱- استادیار، گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تخصصی فناوری های نوین آمل، آمل، ایران.

* - نویسنده مسئول: (Email: f.tooryan@ausmt@ac.ir)
DOI: 10.22067/iftstr.v1395i0.47142

مواد و روش ها

مواد

تمام مواد شیمیایی و حلال ها مورد استفاده با درصد خلوص بالا، از شرکت مرک (آلمان) و (BHT) Butylated hydroxyl toluene از شرکت سیگما آلد ریچ (آلمان) خریداری شدند.

تهیه و آنالیز اسانس ها

اسانس های مورد استفاده از شرکت Pronarom (بلژیک) تهیه گردیده و در تمام مراحل مطالعه از اتانول ۵۰٪ به عنوان حلال اسانس ها استفاده شد. آنالیز ترکیبات شیمیایی اسانس ها توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی مجهز به طیف سنج جرمی (GC/MS) انجام شد (Basti et al., 2007). اسانس ها تا زمان انجام آزمایش در یخچال ۴+ درجه سانتی گراد نگهداری شد.

تجزیه اسانس با GC/MS

اسانس ها توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی متصل به طیف سنج جرمی (GC/MS) موجود در پژوهشگاه گیاهان دارویی ایران تجزیه شد و با استفاده از محاسبه ضرایب بازداری هر یک از اجزای تفکیک شده و طیف جرمی آنها و مقایسه با استاندارد، ترکیبات تشکیل دهنده اسانس تعیین و شناسایی شد (Azizkhani et al., 2012).

تهیه پنیر

پنیر مورد استفاده در کارخانه گالا به روش مداوم فرا پالایش (UF) به شرح ذیل تولید گردید. پس از خامه گیری، باکتوفوگاسیون و استاندارد کردن، شیر توسط فیلتر شیر تا حدود ۳۸ درصد ماده خشک تغلیظ گردیده، پس از هموژنیزاسیون به تانک های استارتزنی منتقل شد. پس از افزودن ۱-۲٪ استارتر و کاهش جزئی pH، رتنتیت به دستگاه پرکن انتقال یافت که طی آن ابتدا آنتی استیک به داخل ظرف بسته بندی اسپری شده، پس از پر شدن قالب، ضدکف روی سطح مایع رتنتیت پاشیده شد، سپس ترکیبات ضدکف اضافه و در ظرف پر می شود. در این مرحله غلظت های ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد (حجمی/حجمی) از هر یک از اسانس های مریم گلی کبیر و ریحان که به وسیله روش فیلتراسیون استریل شده اند، با استفاده از سرنگ استریل به روش اسپری سطحی به صورت مخلوط با ضدکف به شیر اضافه گردید و به سرعت جهت مخلوط شدن، همزده شد، سپس به تونل انققاد منتقل شد، زمان عبور حداقل ۱۵ دقیقه و سپس ظروف حاوی پنیر به روی نقاله خروجی منتقل و پاشش نمک به میزان ۲/۵ درصد، قرار دادن پوشش کاغذی روی پنیر و اتصال فویل آلومینیومی انجام شد. در مرحله بعدی، گرمخانه گذاری به مدت ۲۴ ساعت و انتقال به سردخانه ۴ درجه سانتی گراد انجام شد. پنیر تولیدی حاوی ۱۵ تا ۱۷

دی ترین ها، سزکوئی ترین ها، مشتقات بنزن و.... تشکیل شده اند که اکثرا در کنار هم دارای پتانسیل آنتی اکسیدانی هستند (Tepe et al., 2007; Choi et al., 2007). که این ترکیبات می توانند علاوه بر افزایش ماندگاری، نقش مفیدی در ویژگی های حسی (طعم، بو و رنگ) مواد غذایی داشته باشند (Pokorny et al., 2001).

گیاه ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum* و مریم گلی کبیر با نام علمی *Salvia sclarea*، گیاهانی علفی متعلق به خانواده لابیاته^۱ (نعناعیان)، از گونه هایی با خصوصیت آنتی اکسیدانی قابل توجه می باشند (داوند سراب و همکاران، ۱۳۸۷؛ کاظمی زاده و همکاران، ۱۳۸۸) و در سراسر جهان رویشی وسیع دارند و ضمن برخورداری از خواص ارزشمند درمانی، به عنوان یک افزودنی طعم دهنده در انواع مواد غذایی مورد استفاده قرار می گیرند. این گیاهان در بررسی های آزمایشگاهی اثرات ضدباکتریایی، ضدقارچی، ضدتوموری، آنتی اکسیدانی و ضدالتهاپی از خود نشان داده اند (Ghasemi et al., 2005; Wannissorn et al., 2013). ترکیبات اسانس مریم گلی کبیر و ریحان توسط کمیسیون اروپایی جهت استفاده به عنوان طعم دهنده در مواد غذایی به ثبت رسیده است که خطری برای سلامت مصرف کننده ندارد (کاظمی زاده و همکاران، ۱۳۸۸). در تحقیقات پیشین خاصیت آنتی اکسیدانی برخی از گونه های ریحان و مریم گلی مشخص شده است (Tomaino et al., 2005; Lee et al., 2005). علاوه بر این، برخی از گونه های مریم گلی به عنوان ادویه برای طعم دادن به گوشت خوک، مرغ و سوسیس استفاده می شود و به عنوان ماده آنتی اکسیدان برای افزایش پایداری اکسایشی غذاهای چرب استفاده می گردد (Ebrahimabadi et al., 2010). Hussain و همکاران (۲۰۰۸) و Ozkan و همکاران (۲۰۱۰) به ترتیب به بررسی ترکیب شیمیایی، فعالیت ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی اسانس ریحان و اسانس و عصاره مریم گلی پرداختند و فعالیت آنتی اکسیدانی آن ها را با استفاده از روش DPPH مورد بررسی قرار دادند. همچنین Juntachote و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی تاثیر عصاره ریحان در گوشت چرخ شده خوک و Rasmy و همکاران (۲۰۱۲) به اثر عصاره مریم گلی بر سس مایونز پرداختند. اغلب تحقیقات آنتی اکسیدانی در محیط آزمایشگاهی انجام شده (Politeo et al., 2007) و یا به تاثیر عصاره ها در مواد غذایی اشاره شده، بدین ترتیب، به رغم بومی بودن و دسترسی آسان و ارزان این گیاهان در ایران، اطلاعات اندکی پیرامون تاثیر اسانس ها، در ماده غذایی طی دوره نگهداری در دسترس است. (Kristensen et al., 2001) لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی پایداری اکسایشی یک مدل غذایی (پنیر) در حضور اسانس های مریم گلی کبیر و ریحان انجام شده است.

درصد چربی بود.

برساند (Ye et al., 2009).

$$\text{Peroxide Value} = (A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}}) / 55/84 \times 2 \times m \times W_{\text{sample}} \quad (2)$$

جذب نمونه = A_{sample} جذب بلانک = A_{blank}

۵۵/۸۴ = وزن اتمی آهن

شیب خط منحنی کالیبراسیون غلظت های مختلف آهن $m = 2$

فاکتور تبدیل میلی‌اکی‌والان آهن به میلی‌اکی‌والان پراکسید

وزن نمونه = W_{sample}

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش TBARS^۲

برای تهیه محلول TBARS، حجم‌های مساوی از مخلوط اسید سیتریک و اسید فسفریک به نسبت (۱ به ۱) با معرف TBA مخلوط شد. ۵۰ ml معرف TBA (۰/۰۲۵ M) در محلول بی‌اثر NaOH و ۵۰ ml مخلوط ۲ M اسید فسفریک / ۲ M اسید سیتریک که دو اسید به‌عنوان چلاته‌کننده‌ی فلزات بکار برده شدند. ۶ گرم پنیر با ۱۸ ml TBARS مخلوط و مواد همگن شد. سپس مخلوط به قسمت‌های مساوی ۶ ml تقسیم و به لوله‌های آزمایش منتقل گردید و به هر یک از آن‌ها ۳/۵ ml کلروفرم اضافه شد. مخلوط به مدت ۵ دقیقه همگن شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق سانتی‌فیوژ گردید. مایه رویی جدا شده و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از خشک شدن نمونه جذب در طول موج ۵۳۲ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. اندازه‌گیری TBARS نمونه‌های نگهداری شده در دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد هر ۳ روز یک بار و برای نمونه‌های نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد هر ۶ روز یک بار انجام شد (Ye et al., 2009).

ارزیابی حسی

برای ارزیابی حسی نمونه‌های پنیر از ۸ نفر پانلیست استفاده شد. ویژگی‌های حسی (پذیرش کلی) با استفاده از مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای (۱: بسیار بد تا ۵: بسیار خوب) مورد ارزیابی قرار گرفت (Ozyurt et al., 2011).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

کلیه آزمایشات در سه تکرار در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی انجام شد و تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار ۲۰ Spss انجام شد و به‌صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار نشان داده شد. تجزیه و تحلیل واریانس با آزمون (One-Way ANOVA) و

استخراج چربی پنیر

در این روش ۲/۵ گرم از نمونه پنیر را به محلول ۵۰ ml کلروفرم/متانول (۱:۲ v/v) اضافه و مخلوط شد. سپس ۱۰ ml CaCl_2 (۱ mM) اضافه و به مدت ۱۵ ثانیه همگن شد، مخلوط بدست آمده به مدت ۳۰ دقیقه سانتی‌فیوژ گردید. فاز کلروفرم جدا شد و به باقی‌مانده آن ۳۰ ml کلروفرم اضافه شد و دوباره به مدت ۳۰ دقیقه سانتی‌فیوژ گردید. سپس فاز کلروفرم جدا شده و به کلرفرمی که در مرحله قبل جدا شده بود اضافه شد و در تبخیرکننده مدل 3000 Vr شرکت مهر تجهیز، ایران تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد. استخراج چربی پنیر و اندازه‌گیری عدد پراکسید از نمونه‌های نگهداری شده در دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد هر ۳ روز یک بار و برای نمونه‌های نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد هر ۶ روز یکبار انجام شد (Kristensen et al., 2001).

$$I\% = (A_{\text{Control}} - A_{\text{Extract}} / A_{\text{Control}}) \times 100 \quad (1)$$

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش DPPH

۲۰ گرم پنیر با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط، و کاملاً همگن شد. نمونه همگن شده را به مدت ۱۰ دقیقه ۲ بار سانتی‌فیوژ کرده و مایع رویی، جدا گردید و تا انجام مراحل بعدی آزمایش در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. ۳ میلی‌لیتر از محلول ۶۰ میکرومول DPPH در اتانول را با ۲۵۰ میکرولیتر مایع رویی جدا شده در مرحله قبل مخلوط کرده و جذب در ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. اندازه‌گیری DPPH از نمونه‌های نگهداری شده در دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد هر ۳ روز یک بار و برای نمونه‌های نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد هر ۶ روز یک بار انجام شد (Apostolidis et al., 2007).

اندازه‌گیری عدد پراکسید^۱

۰/۰۲ گرم روغن استخراج شده از پنیر با ۱۵ ml کلروفرم/متانول (۳:۷) مخلوط شد. سپس به آن ۲ ml ۰/۲ محلول کلرید آهن ۱٪ و ۱ ml ۰/۲ محلول تیوسیانات آمونیوم ۴ M اضافه شد و با کلروفرم/متانول (۳:۷) به حجم ۲۵ ml رسید. محلول را به مدت ۵ دقیقه در تاریکی نگهداشته سپس به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر جذب در ۵۰۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. نتیجه به‌عنوان میلی‌اکی‌والان اکسیژن در هر کیلوگرم چربی بیان شد. آزمایش فوق یک بار بدون نمونه به‌عنوان بلانک نمونه و یک بار بدون معرف به‌عنوان بلانک معرف انجام شد تا تاثیر رنگ معرف، برای خوانده شدن جذب محلول را به حداقل

حداقل تفاوت های معنی دار میانگین ها توسط تست چنددامنه ای دانکن در سطح ۵ درصد مشخص گردید و $p < 0.05$ مرز معنی دار بودن اطلاعات در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

تجزیه اسانس با GC/MS

امروزه برای جداسازی و تشخیص اجزاء موجود در اسانس از دو دستگاه کروماتوگرافی گازی و طیف سنجی جرمی (GC/MS) استفاده می شود. طبق نتایج GC/MS، ۲۳ ترکیب در مجموع ۹۹/۰۳٪ برای اسانس ریحان و ۳۴ ترکیب در مجموع ۹۸/۹۴٪ برای اسانس مریم گلی کبیر شناسایی شد (جدول ۱ و ۲).

مطابق نتایج حاضر، ترکیبات اصلی اسانس ریحان شامل لینالول (۵۸/۶۳٪)، آلفا-کادینول (۱۰/۰۱٪)، آلفا-برگاموتن (۷/۶۲٪) و اوژنول (۶/۹۲٪) و اسانس مریم گلی کبیر شامل لینالیل استات (۵۲/۸۳٪)، لینالول (۱۸/۱۸٪) و آلفا-تریپیتول (۵٪) گزارش شده که

عمده ترکیبات را مونوترپن های اکسیژن دار به خود اختصاص دادند و اکثرا در ساختمان خود دارای گروه هیدروکسیل می باشند. نتایج ما با کار Politeo و همکاران (۲۰۰۷)، تقریباً موافق بود، آنها ۲۲ ترکیب برای اسانس گیاه ریحان گزارش کردند و عمده ترین ترکیبات اسانس شامل لینالول، استراگول و آلفا-کادینول اعلام نمودند.

Hussain و همکاران (۲۰۰۸) ترکیبات شیمیایی اسانس ریحان را تحت تاثیر فصل، بررسی و اعلام نمودند بیشترین مقدار اسانس در فصل زمستان و کمترین مقدار در فصل تابستان استحصال گردیده است. آنها بیشترین ترکیبات موجود در تمام فصل ها را لینالول (۶۰/۶-۵۶/۷ درصد) اعلام نمودند. Rajabi و همکاران (۲۰۱۴)، بر روی ترکیب و بازده اسانس ۹ گونه مختلف مریم گلی کبیر در نقاط مختلف ایران، ترکیبات عمده اسانس را لینالول (۵۱/۵۸-۰/۶ درصد)، لینالیل استات (۰-۵۲/۶۱ درصد)، کاریوفیلین (۳/۰۸-۶۰/۵۸ درصد)، ژرماکیرین دی (۰-۲۵/۱۶ درصد)، اسپاتولنول (۰-۳۵/۴ درصد) و کاریوفیلین اکساید (۰-۳۷/۸۹ درصد) گزارش کردند.

جدول ۱- ترکیبات اسانس ریحان

ردیف	ترکیب (انگلیسی)	ترکیب (فارسی)	میزان (درصد)	اندیس کواتر (kI)
۱	Limonene	لیمونن	۰/۲۰	۱۰۳۱
۲	cis-β-Ocimene	سیس-بتا-اسیمن	۰/۶۱	۱۰۴۱
۳	1,8- Cineole	۱ و ۸- سینتول	۳/۱۴	۱۰۳۴
۴	Fenchone	فنچون	۰/۹۰	۱۰۸۸
۵	Linalool oxide	لینالول اکساید	۰/۰۱	۱۰۹۰
۶	Linalool	لینالول	۵۸/۶۳	۱۰۹۹
۷	Camphor	کامفور	۰/۱۱	۱۱۵۰
۸	α-Terpineol	آلفا-تریپیتول	۱/۰۷	۱۱۹۱
۹	eugenol	اوژنول	۶/۹۲	۱۳۵۵
۱۰	β-Caryophyllene	بتا-کاریوفیلین	۱/۴۰	۱۴۲۱
۱۱	α-Bergamotene	آلفا-برگاموتین	۷/۶۲	۱۴۳۹
۱۲	α-Humulene	آلفا-هومولین	۰/۴۶	۱۴۵۷
۱۳	γ-Murolene	گاما-مورولین	۰/۷۱	۱۴۸۳
۱۴	Germacrene D	ژرماکیرین دی	۲/۰۵	۱۴۸۹
۱۵	β-Selinene	بتا-سلینین	۰/۴۴	۱۴۹۱
۱۶	Bicyclogermacrene	بی سیکلوژرماکیرین	۰/۸۸	۱۵۰۳
۱۷	γ-Cadinene	گاما-کادینین	۴/۹۲	۱۵۱۵
۱۸	Calamenene	کالامنین	۰/۷۷	۱۵۱۹
۱۹	Spathulenol	اسپاتولنول	۰/۵۱	۱۵۸۰
۲۰	Caryophyllene oxide	کاریوفیلین اکساید	۰/۳۵	۱۵۸۴
۲۱	Viridiflorol	ویریدیفلورول	۳/۳۱	۱۵۹۵
۲۲	(epi-α) Cadinol	کادینول (ایپی مر آلفا)	۱۰/۰۱	۱۶۵۴
۲۳	β-Eudesmol	بتا-اودسمول	۰/۳۶	۱۶۵۶
-	Total	مجموع	۹۹/۰۳	-

جدول ۲- ترکیبات مریم‌گلی کبیر

ردیف	ترکیب (انگلیسی)	ترکیب (فارسی)	میزان (درصد)	اندیس کواتز (kl)
۱	α -pinene	آلفا- پینن	۴/۵۷	۹۳۹
۲	β -pinene	بتا- پینن	۰/۹	۹۷۹
۳	β -myrcene	بتا- میرسین	۱/۰۱	۹۹۱
۴	p-cymene	پارا- سیمین	۰/۱۸	۱۰۲۶
۵	limonene	لیمونن	۱/۵۵	۱۰۲۹
۶	1,8-cineole	۱ و ۸- سینئول	۲/۲۹	۱۰۳۱
۷	cis- β -ocymene	سیس- بتا- اسیمن	۰/۳۲	۱۰۳۷
۸	trans- β -ocymene	ترانس- بتا- اسیمن	۰/۶۶	۱۰۵۰
۹	Isoterpinolene	ایزوترپینولین	۰/۴۱	۱۰۸۹
۱۰	linalool	لینالول	۱۸/۱۸	۱۰۹۷
۱۱	Camphor	کامفور	۰/۳	۱۱۴۷
۱۲	β -terpineol	بتا- ترپینئول	۱/۱۹	۱۱۶۳
۱۳	borneol	بورنئول	۰/۶۴	۱۱۶۹
۱۴	α -terpineol	آلفا- ترپینئول	۵	۱۱۸۹
۱۵	γ -terpineol	گاما- ترپینئول	۰/۹	۱۱۹۹
۱۶	linalyl formate	لینالیل فرمات	۰/۱۴	۱۲۱۶
۱۷	nerol	نرول	۰/۲۶	۱۲۳۰
۱۸	linalyl acetate	لینالیل استات	۵۲/۸۳	۱۲۵۷
۱۹	bornyl acetate	بورنیل استات	۰/۸۳	۱۲۸۹
۲۰	α -terpinyl acetate	آلفا- ترپینیل استات	۰/۱۸	۱۳۵۰
۲۱	neryl acetate	نریل استات	۰/۵۲	۱۳۶۲
۲۲	α -copaene	آلفا- کوپائن	۰/۵۵	۱۳۷۷
۲۳	β -bourbonene	بتا- بوربونین	۰/۹۴	۱۳۸۸
۲۴	β -cubebene	بتا- کوببین	۰/۶۷	۱۳۹۰
۲۵	β -elemene	بتا- المین	۰/۳۵	۱۳۹۱
۲۶	β -caryophyllene	بتا- کاریوفیلین	۱/۸۳	۱۴۱۸
۲۷	α -hummulene	آلفا- هومولین	۰/۰۸	۱۴۵۴
۲۸	germacrene D	ژرماکرین دی	۰/۸۴	۱۴۸۵
۲۹	Bicyclogermacrene	بی سیکلو ژرماکرین	۰/۱۷	۱۵۰۰
۳۰	δ -cadinene	دلتا- کادینن	۰/۱۳	۱۵۲۳
۳۱	spathulenol	اسپاتولنول	۰/۱۳	۱۵۷۶
۳۲	caryophyllene oxide	کاریوفیلین اکساید	۰/۲۷	۱۵۸۱
۳۳	sclareole oxide	اسکلارنول اکساید	۰/۰۸	۲۲۲۰
۳۴	Sclareol	اسکلارنول	۰/۰۶	۲۲۲۳
	Total	مجموع	۹۸/۹۴	-

اوژنول، آلفا-کادینول، پاراسیمن و گاماترپینن وجود دارند و این گروه از ترکیبات با هم دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی هستند (Lee et al., 2005; Politeo et al., 2007) و همراه بودن این ترکیبات بخصوص اوژنول که یک مونوترپن فنلی است، با لینالول، نقش سینرژیستی در خاصیت آنتی‌اکسیدانی لینالول دارد (Khelifa et al., 2012). البته همانگونه که مشاهده می‌شود در

تمامی ترکیبات بیان شده در اسانس مریم‌گلی کبیر مورد استفاده در مطالعه حاضر نیز موجود می‌باشد. بسیاری از محققین بیان کردند ترکیبات عمده جنس ریحان و مریم‌گلی کبیر از مونوترپن‌های اکسیژن‌دار مثل لینالول^۱ و لینالیل استات^۲ می‌باشد که اغلب به همراه

1 Linalool

2 Linalyl acetate

مقدار و نوع این ترکیبات تفاوت هایی مشاهده می شود که دلایل مختلفی دارد، بطور کلی ترکیبات تشکیل دهنده اسانس های گیاهی بر حسب منطقه جغرافیایی رویش، رقم، سن گیاه در هنگام تهیه اسانس، شرایط محیطی و فصلی، نوع کشت، زمان برداشت، روش خشک کردن و استخراج اسانس، اسانس گیری از اندام های مختلف و در نهایت تفاوت ژنتیکی گیاه، می تواند تغییر کند و بر روی محتوای اسانس تاثیر گذار باشد (Kothari *et al.*, 2004).

ارزیابی فعالیت ضد رادیکالی اسانس های مریم گلی کبیر و ریحان به روش DPPH[•]

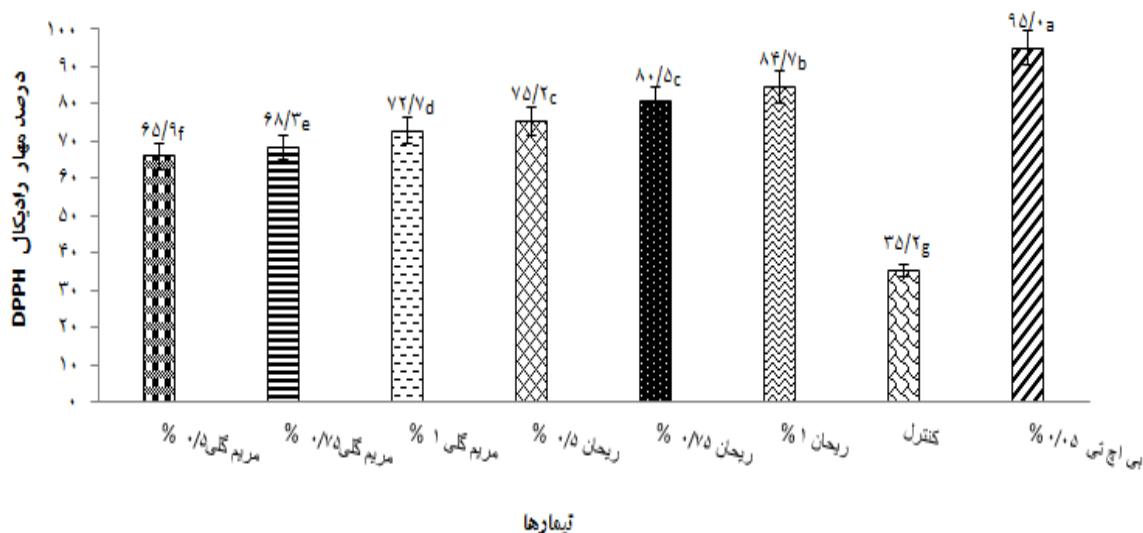
در روز صفر دوره نگهداری (شکل ۱) در دو دمای ۴ و ۲۶ سانتی گراد، مهار کنندگی رادیکالی اسانس های مریم گلی کبیر و ریحان با آنتی اکسیدان سنتزی BHT مورد مقایسه قرار گرفت. آنتی اکسیدان ها ترکیباتی هستند که بطور موثر و به طرق مختلف اثر زیان بخش رادیکال های آزاد را در سامانه های بیولوژیکی و غذایی کم می کند و موجب سمیت زدایی می شوند (Sharififar *et al.*, 2007). جهت بررسی خاصیت آنتی اکسیدانی اسانس های گیاهی، توانایی دادن اتم هیدروژن یا الکترون در این ترکیبات، با تست DPPH[•] که کاربرد زیادی دارد، مورد سنجش قرار می گیرد (Lee *et al.*, 2003). در این آزمون، با سنجش میزان بی رنگ شدن محلول بنفش رادیکال پایدار ۲ و ۲-دی فنیل -۱-پیکریل هیدرازیل DPPH[•] به عنوان معرف، فعالیت مهار کنندگی رادیکال (RSA) اسانس اندازه گیری می شود. درصد مهار کنندگی رادیکال های آزاد از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (Shahsavari *et al.*, 2008).

$$RSA \% = (A_{blank} - A_{sample} / A_{blank}) \times 100 \quad (3)$$

که در این رابطه A_{blank} ، جذب نوری کنترل منفی (دارای تمام معرف ها به جز غلظت مشخص از اسانس مورد نظر) می باشد. A_{sample} میزان جذب نوری غلظت های مختلف اسانس را بیان می کند. ارتباط مستقیمی بین غلظت های اسانس ها با میزان فعالیت آنتی اکسیدانی یا فعالیت مهار کنندگی رادیکال و پایداری اکسایشی آنها وجود داشت، به طوری که با افزایش غلظت و کاهش دمای نگهداری، فعالیت ضد رادیکالی و پایداری اکسایشی به طور معناداری افزایش یافت ($p < 0.05$). قدرت مهار کنندگی رادیکالی اسانس ها با BHT مورد مقایسه قرار گرفت. اسانس های گیاهی به علت دارا بودن ترکیبات مختلف گیاهی از قبیل مونوترپن های فنلی و الکلی که دارای عامل هیدروکسیل می باشند، دارای فعالیت آنتی اکسیدانی و ظرفیت بالایی برای اهدای اتم هیدروژن یا الکترون می باشند (Shon *et al.*,

2003). در روز صفر دوره نگهداری (شکل ۱) در دو دمای ۴ و ۲۶ سانتی گراد، تمامی غلظت های اسانس ها فعالیت آنتی اکسیدانی خوبی را از خود نشان دادند و نسبت به گروه کنترل اختلاف معناداری بین فعالیت این اسانس ها وجود داشت ($p < 0.05$). در بین اسانس ها، بیشترین اثر آنتی اکسیدانی در سامانه مهار رادیکال مربوط به اسانس ریحان در غلظت ۱٪ بود که اثر ضد رادیکالی بهتری را نسبت به سایر غلظت ها نشان داد ($p < 0.05$). کمترین میزان فعالیت، در روز صفر دوره نگهداری مربوط به کنترل و با مهار رادیکال ۳۵/۱۸٪ و بیشترین مقدار فعالیت ضد رادیکالی مربوط به غلظت ۱٪ ریحان با ۸۴/۶۶٪ بود (البته سطوح غلظتی ۰/۵ اسانس ریحان با ۰/۷۵٪ در سطح ۰/۵ درصد، اختلاف معناداری باهم نداشتند) ($p > 0.05$). علت فعالیت ضد رادیکالی را می توان به حضور ترکیبات مونوترپن اکسیژن دار نظیر لینالول و لینالیل استات نسبت داد که با افزایش غلظت آن ها، فعالیت مهار کنندگی آن ها نیز افزایش می یابد. این ترکیبات در حضور سایر ترکیبات موجود در اسانس، دارای فعالیت سینرژیستی آنتی اکسیدانی می باشند. برای مثال لینالول و اوژنول در حضور یکدیگر تاثیر سینرژیستی آنتی اکسیدانی دارند و نیز موجب افزایش تاثیر سایر ترکیبات فعال نیز می گردند که می توان قوی عمل کردن اسانس ریحان را به حضور اوژنول در این اسانس نسبت داد (Khelifa *et al.*, 2012). Shahsavari و همکاران (۲۰۰۸) فعالیت ضد رادیکالی کمتر غلظت های مختلف اسانس نسبت به BHT، را به حضور این ترکیب در اسانس نسبت دادند که به صورت همراه با سایر ترکیبات وجود دارد. نتایج بیانگر این است که اسانس ریحان نسبت به مریم گلی کبیر اثر مهاری خوبی را در مهار رادیکال از خود نشان داد و ظرفیت آنتی اکسیدانی نزدیکی با آنتی اکسیدان سنتزی BHT داشت. با افزایش غلظت هر دو اسانس مریم گلی کبیر و ریحان، فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH[•] به طور معناداری افزایش یافت. و فعالیت آنتی اکسیدانی در غلظت های بالاتر، به دلیل افزایش تعداد گروه های هیدروکسیل موجود در محیط واکنش، احتمال اهداء هیدروژن به رادیکال آزاد و به دنبال آن قدرت مهار کنندگی افزایش می یابد (Sanchez- Moreno *et al.*, 1999).

در طول مدت نگهداری، غلظت ۱٪ ریحان، در دو دمای نگهداری ۴ و ۲۶ درجه سانتی گراد بیشترین فعالیت ضد رادیکالی را نشان داد و غلظت های ۰/۵، ۰/۷۵٪ ریحان و ۱٪ مریم گلی بعد از غلظت ۱٪ ریحان به ترتیب بیشترین اثر را تا آخرین روز داشتند (جدول ۳). هرچند این فعالیت در مقایسه با ابتدای دوره نگهداری کاهش داشته است.



× حروف غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنادار تیمارها در سطح ۵ درصد است ($p < 0.05$)
 شکل ۱ - اثر غلظت‌های اسانس‌های مریم‌گلی، ریحان، کنترل و BHT بر درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH در روز صفر

جدول ۳ - مقایسه فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH بر حسب درصد در آخرین روز دوره نگهداری

دمای ۴ C°		دمای ۲۶ C°	
غلظت اسانس (%)		غلظت اسانس (%)	
آخرین روز دوره نگهداری (۹۰ ام)		آخرین روز دوره نگهداری (۳۹ ام)	
بازداری (%)		بازداری (%)	
مریم گلی		مریم گلی	
a7/32	a.	a7/32	a.
b45/12	b2/45	b2/45	b2/45
b49/45	c3/78	c3/78	c3/78
c61/15	d5/91	d5/91	d5/91
ریحان		ریحان	
a7/32	a.	a7/32	a.
d67/26	d6/34	d6/34	d6/34
c75/48	c8/12	c8/12	c8/12
f82/04	f13/23	f13/23	f13/23
BHT		BHT	
e90/5	e86/25	e86/25	e86/25

حروف غیر مشابه در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار تیمارها در سطح ۵ درصد است ($p < 0.05$)
 داده ها میانگین سه تکرار $\pm$ انحراف معیار است.

نسبت به آنتی‌اکسیدان سنتزی BHT داشت. علت آن را، بیشتر بودن درصد مونوترین‌های اکسیژن دار در فصل زمستان نسبت به فصل تابستان اعلام نمودند. آنها بیشترین ترکیبات موجود در تمام فصل‌ها را لینالول (۶۰/۶-۵۶/۷ درصد) اعلام نمودند و بیان کردند که با تغییرات زمان برداشت جهت اسانس‌گیری، می‌توان تولید موثر در فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد. آنها همچنین به اثر آنتی‌اکسیدانی اسانس کامل نسبت به لینالول خالص اشاره نمودند.

در حالیکه برای گروه کنترل در دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد، برای هر دو اسانس، کمترین فعالیت مهارکنندگی گزارش شد و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌طور معناداری کاهش یافت ($p < 0.05$) که علت این امر را می‌توان فساد اکسایشی پنی‌ر نگهداری شده در دمای محیط دانست. Hussain و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی اثر فصل بر فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH، اعلام نمودند اسانس ریحان در فصل زمستان فعالیت قابل توجهی در مهار رادیکال آزاد DPPH

بر کیلوگرم روغن) در طی نگهداری در دو دمای ۴ و ۲۶ درجه، در شکل های ۳، ۴ (الف و ب) مشخص شده است. داده ها نشان دادند که میزان پراکسید اولیه در تمامی نمونه ها پایین بود و در طی نگهداری افزایش یافت. در کنترل منفی میزان شکل گیری هیدرو پراکسید نسبت به بقیه تیمارها در تمامی روزهای نمونه گیری بالاتر بود ($p < 0.05$). این شاخص برای گروه کنترل منفی در شرایط یکسان، در روزهای ۳۹ و ۹۰ام، ۴/۲ - ۱/۲۶ میلی کی والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن گزارش شد در حالیکه افزایش شاخص پراکسید در کنترل مثبت (پنیر حاوی آنتی اکسیدان BHT) در حدود مرزی بود و کمترین میزان را نسبت به بقیه تیمارها داشت.

در مقایسه با کنترل منفی، نمونه های تیمار شده شاخص پراکسید کمتری را داشتند ولی در مقایسه با کنترل مثبت این شاخص بالاتر بود. قابل ذکر است پنیر با غلظت بالای اسانس ریحان ۱٪ در هر دو دمای نگهداری (شرایط محیط و شرایط یخچالی) پایین ترین میزان پراکسید داشت و شکل گیری هیدرو پراکسیدها را بطور معنادار به تعویق انداخت ($p < 0.05$) و در مقایسه با اسانس مریم گلی در همین غلظت، قوی تر عمل کرد، ولی تیمارهای هر دو اسانس نسبت به کنترل منفی بسیار قوی تر عمل کرده و شاخص پراکسید را کاهش دادند. در حقیقت افزایش غلظت اسانس سبب کاهش شاخص پراکسید شد ($p < 0.05$) و نتایج حاصل نشان داد که این تاثیر دارای الگوی وابسته به دوز بوده و با افزایش غلظت اسانس ها اثر آنتی اکسیدانی افزایش یافت. علت این امر را می توان افزایش غلظت ترکیبات موثره نظیر لینالول و لینالیل استات به همراه سایر ترکیبات بخصوص اوژنول دانست که این نتیجه با نتایج Khelifa و همکاران (۲۰۱۲) منطبق است و می تواند بطور موثرتری مانع فساد اکسایشی پنیر شود. این اثر با کاهش دمای نگهداری نیز، ارتباط مستقیمی داشت. در شرایط ۴ درجه سانتی گراد تفاوت معناداری در اثرات آنتی اکسیدانی غلظت ۰/۵٪ اسانس ریحان با غلظت ۱٪ مریم گلی کبیر دیده نشد ($p > 0.05$). بعد از دوره نگهداری در دو دمای ۴ و ۲۶ درجه سانتی گراد در شاخص پراکسید تفاوت معناداری بین تیمارهای ۰/۷۵ و ۱٪ اسانس ریحان با غلظت های ۰/۵ و ۰/۷۵٪ اسانس مریم گلی در پنیر دیده شد ($p < 0.05$). سایر محققین نیز نتایج مشابهی در ارتباط با افزایش غلظت اسانس و عصاره در جلوگیری از فساد اکسایشی مواد غذایی اعلام نمودند (Mohdaly et al., 2014; Abdolahi et al., 2011; اسماعیل زاده و مهدی پور، ۱۳۹۱).

در شرایط ۴ درجه سانتی گراد در طول مدت نگهداری، تا روز ۳۰ام، تغییرات پراکسید نامحسوس بود و اختلاف معناداری مشاهده نشد ($p > 0.05$). Ye و همکاران (۲۰۰۹) پیشنهاد نمودند علت عدم تغییر عدد پراکسید در ابتدای دوره در یخچال به علت کند شدن دوره کمون

در مطالعه Politeo و همکاران (۲۰۰۷) اسانس ریحان را به علت دارا بودن درصد بالای لینالول^۵ به همراه اوژنول^۶، چاویکول^۷ و آلفا ترپینول^۸ واجد فعالیت بالایی در مهار رادیکال آزاد DPPH در غلظت ۲۰g/l نسبت به آنتی اکسیدان سنتزی BHT معرفی نمودند اما در مطالعه حاضر، فعالیت آنتی اکسیدانی متوسطی را نشان داد. علت تفاوت می تواند به دلیل غلظت پایین تر آنتی اکسیدان سنتزی BHT در مطالعه حاضر (۰/۰۵ درصد) نسبت به مطالعه آنها و همچنین بالاتر بودن غلظت ترکیبات فنولی نظیر اوژنول در مطالعه آنها دانست.

Tenore و همکاران (۲۰۱۱) و Sepahvand و همکاران (۲۰۱۴) در اسانس مریم گلی، فعالیت مهار رادیکالی بالایی را به دلیل حضور ترکیباتی نظیر کارواکرول^۹ و توژن^{۱۰}، لینالول و بتا- کاریوفیلین^{۱۱} گزارش کردند و با توجه به فعالیت آنتی اکسیدانی بالای اسانس مریم گلی، می توان از این اسانس در پیشگیری از فساد اکسایشی مواد غذایی استفاده نمود. در مطالعه مطالعه حاضر، عمده ترکیبات اسانس مریم گلی، کموتایپ^{۱۲} لینالیل استات / لینالول گزارش شد که نسبت به کموتایپ لینالول / اوژنول در ترکیبات اسانس ریحان از اثر آنتی اکسیدانی ضعیف تری برخوردار بود (Khelifa et al., 2012). همچنین می توان به حضور اوژنول در اسانس ریحان اشاره کرد به طوری که کاهش درصد اوژنول در اسانس ریحان، باعث کاهش اثر آنتی اکسیدانی تا حدود ۸۷٪ می شود (Pripdeevech et al., 2012; Khelifa et al., 2010).

بررسی میزان شاخص های پراکسید و تیوباریتوریک اسید در پنیر

در تحقیق حاضر غلظت های مختلف از اسانس مریم گلی کبیر و ریحان به عنوان آنتی اکسیدان طبیعی در پنیر بکار گرفته شد. اثر آنتی اکسیدانی اسانس ها بر روی پایداری اکسایشی چربی پنیرها با اندازه گیری متناوب شاخص های اکسیداسیون اولیه و ثانویه (PV (TBA)، در شرایط نگهداری در یخچال دمای ۴ درجه و نگهداری در محیط دمای ۲۶ درجه سانتی گراد تعیین شد. نمونه پنیر با آنتی اکسیدان BHT به عنوان کنترل مثبت، و بدون افزودنی به عنوان کنترل منفی و تیمارهایی از غلظت های مختلف اسانس مریم گلی کبیر و ریحان ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱٪ (وزنی / حجمی) تهیه شد. شاخص پراکسید برای ارزیابی میزان اکسیداسیون اولیه چربی (میلی کی والان اکسیژن

- 5 Linalool
- 6 Eugenol
- 7 Chavicol
- 8 α -terpineol
- 9 Carvacrol
- 10 Thujene
- 11 β - caryophyllene
- 12 Chemotype

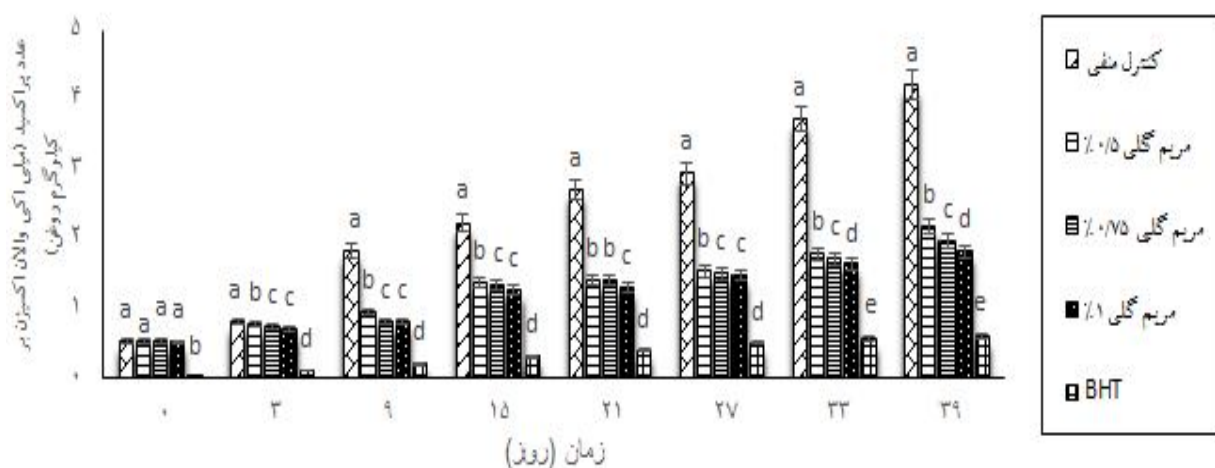
میزان انرژی فعال سازی اکسایش لیپید، هر چه دمای نگهداری بالاتر، انرژی سریع تر تأمین می شود و سرعت اکسایش افزایش می یابد. شعاعی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی تاثیر زمان و دما بر تغییرات عدد پراکسید دوغ غنی شده با امگا ۳ پرداختند و اعلام نمودند با افزایش زمان، میزان عدد پراکسید افزایش و این افزایش در دمای محیط بیشتر از دمای یخچال بوده است. نتایج مطالعات آنها با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. Rasmy و همکاران (۲۰۱۲) و Olmedo و همکاران (۲۰۱۳) با افزایش غلظت عصاره مریم گلی کبیر و اسانس های مرزنجوش و رزماری توانستند بطور موثرتری فساد اکسایشی سس و پنیر خامه ای را در طول مدت نگهداری به تعویق بیندازد.

اکسیداسیون در دمای یخچالی می باشد.

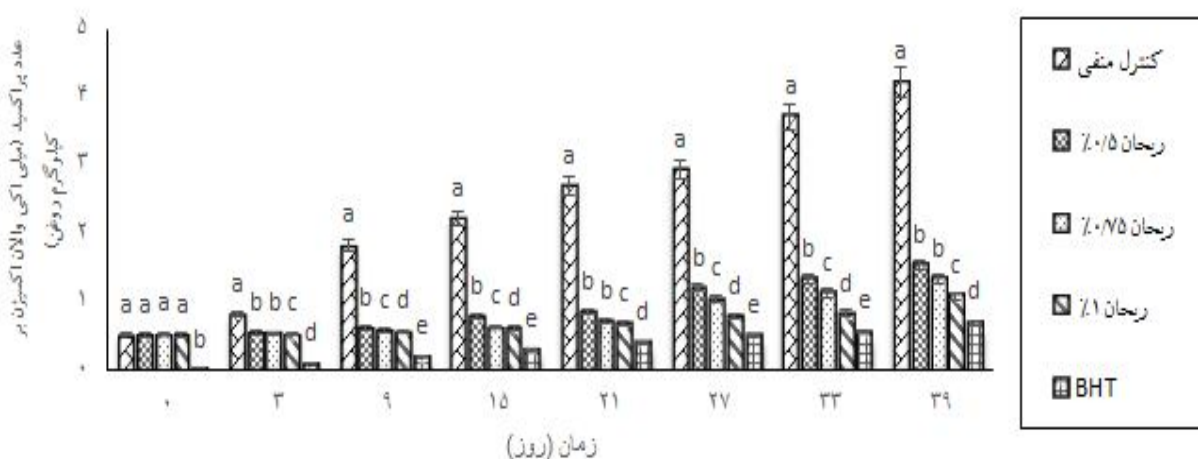
غلظت ۱٪ اسانس ریحان بطور معناداری در به تعویق انداختن اکسیداسیون لیپیدها موثر عمل نمود. و نسبت به اسانس مریم گلی کبیر در هر دو شرایط دمایی موثرتر بود. می توان علت فعالیت آنتی اکسیدانی آن را به درصد بالاتر لینالول و حضور اوژنول در اسانس ریحان و قوی تر عمل کردن کموتایپ لینالول / اوژنول نسبت به لینالیل استات / لینالول نسبت داد (2012; Pripdeevech *et al.*, 2010; Khelifa *et al.*).

در ارتباط با افزایش بیشتر میزان پراکسید در نمونه های نگهداری شده در دمای محیط باید گفت که اکسایش لیپید اساسا به دما و مدت زمان نگهداری وابسته است (Sathivel *et al.*, 2008). نمونه های نگهداری شده در یخچال با شیب ملایم تری نسبت به نمونه نگهداری شده در دمای محیط عدد پراکسیدشان افزایش یافت که با توجه به

(الف)

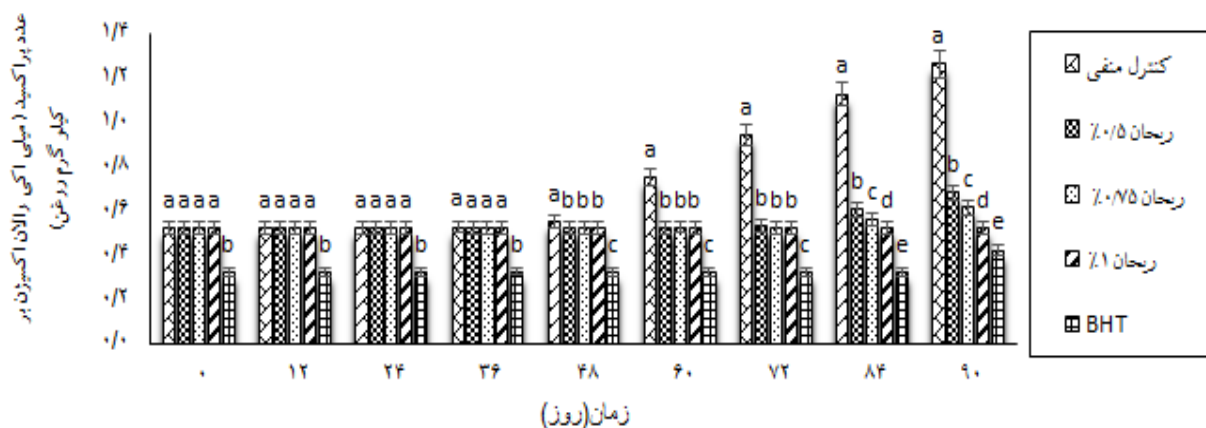


(ب)

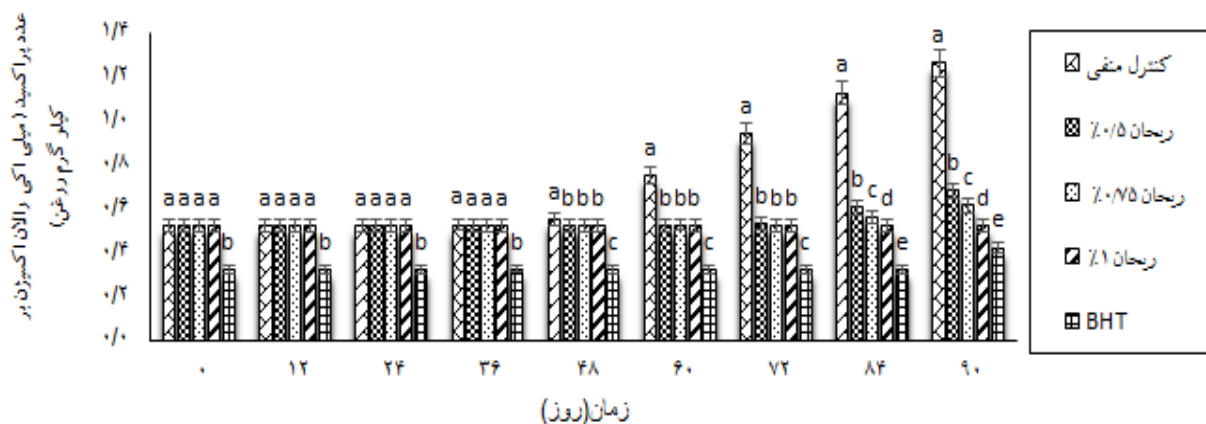


شکل ۲- تاثیر اسانس های مریم گلی کبیر و ریحان بر عدد پراکسید در مقایسه با کنترل در دمای ۲۶ °C در پنیر

(الف)



(ب)



شکل ۳ - تاثیر آنتی اکسیدانی اسانس های مریم گلی کبیر و ریحان بر عدد پراکسید در مقایسه با کنترل در دمای ۴ °C در پنبه

برای تیمارهای تهیه شده با اسانس های ریحان و مریم گلی کبیر در غلظت ۱٪ به ترتیب ۰/۰۱۱ و ۰/۰۳۲ بود که در دامنه قابل قبول قرار داشت، در حالیکه در روز صفر این شاخص ۰/۰۱ بود. در شرایط نگهداری در سرما (۴ درجه سانتی گراد) گروه کنترل تفاوت معناداری با بقیه تیمارها داشت ($p < 0.05$). بعد از کنترل، مریم گلی کبیر با غلظت ۰/۵٪ بیشترین مقدار را داشت. تا پایان دوره نگهداری، اسانس ریحان بخصوص در دو غلظت ۱ و ۰/۷۵٪ همگام با BHT موجب کاهش TBA شده و بین سطوح غلظتی اسانس ریحان نسبت به مریم گلی کبیر تفاوت معنادار بود.

به طور کلی اسانس ریحان به میزان بیشتری موجب کاهش TBA گردید. اسانس ها در هر سه سطح غلظت، نسبت به گروه کنترل، دارای تاثیر آنتی اکسیدانی بوده اند که این نتایج، مثل عدد

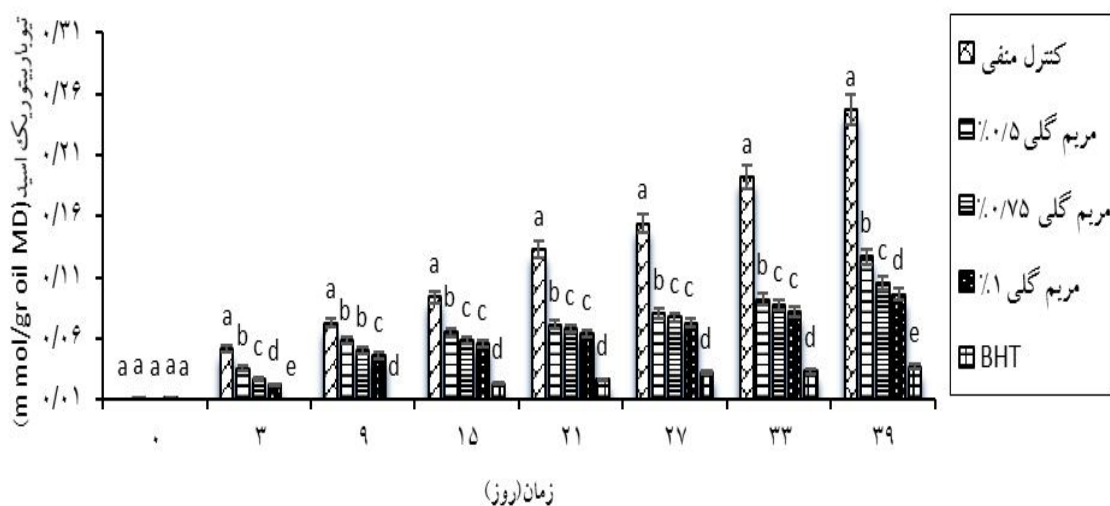
به منظور ارزیابی درجه اکسیداسیون لیپید در مواد غذایی بطور وسیعی از شاخص تیوباربیتوریک اسید (TBA)، استفاده می شود که میزان محصولات ثانویه اکسیداسیون بویژه آلدهیدها را نشان می دهد. در این مطالعه، تغییرات این شاخص در طول مدت نگهداری، برای غلظت های مختلف اسانس مریم گلی کبیر و ریحان (۰/۵، ۰/۷۵ و ۱٪) بر حسب مالون دی آلدهید بر حسب میلی مول در ۱۰۰ گرم روغن در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است.

میان غلظت های مختلف اسانس ها و آنتی اکسیدان BHT و نمونه کنترل منفی اختلاف معناداری در سطح احتمال ($p < 0.05$) وجود داشت. هر چند کنترل منفی بالاترین میزان این شاخص (۰/۲۴) مالون دی آلدهید بر حسب میلی مول در ۱۰۰ گرم روغن را در طول مدت ۳۹ روز در دمای ۲۶ درجه سانتی گراد نشان داد، ولی این شاخص

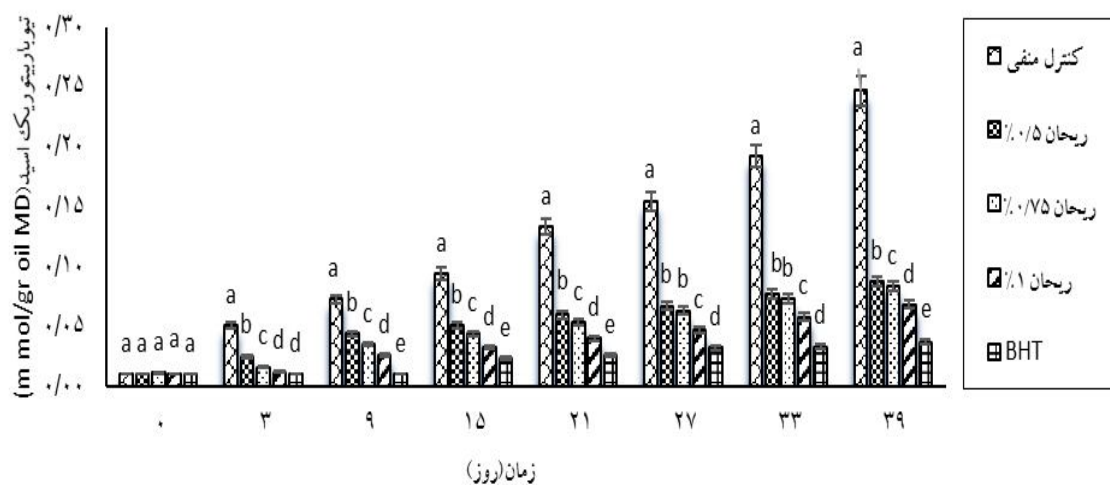
دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد بود ولی در رنج قابل قبول قرار داشت. Santos و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده نمودند با افزودن عصاره مرزنجوش و رزماری به پنیر سرعت تولید مالون‌دی‌آلدهید در پنیر کاهش می‌یابد.

پراکسید به ارتباط غلظت و اثر آنتی‌اکسیدانی اشاره می‌کند. در نمونه‌های پنیر تهیه شده با غلظت‌های مختلف اسانس‌ها، با کاهش غلظت اسانس‌ها شاخص TBA افزایش یافت که در این مورد اسانس مریم‌گلی کبیر ضعیف‌تر از اسانس ریحان عمل کرد و شاخص TBA بالاتری داشت. افزایش همین شاخص در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد برای هر دو اسانس در تیمارهای تهیه شده پایین‌تر از

(الف)

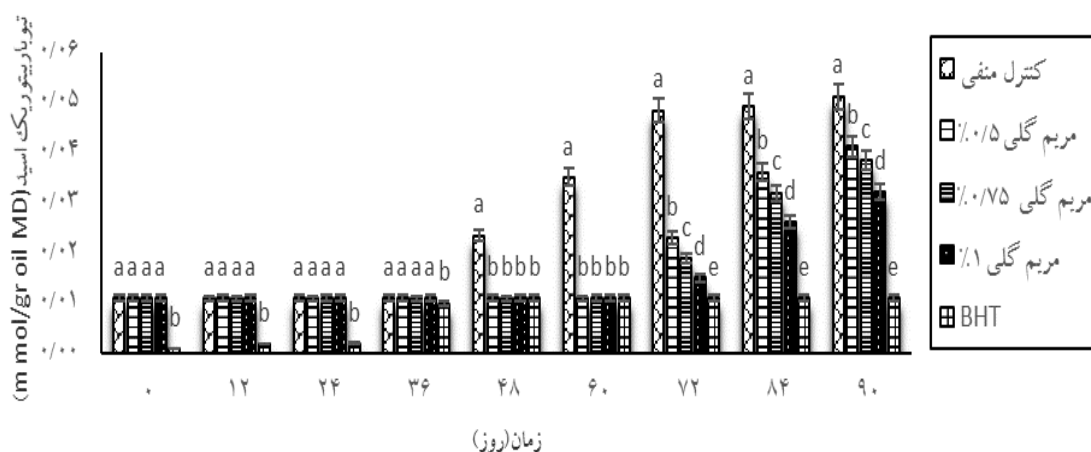


(ب)

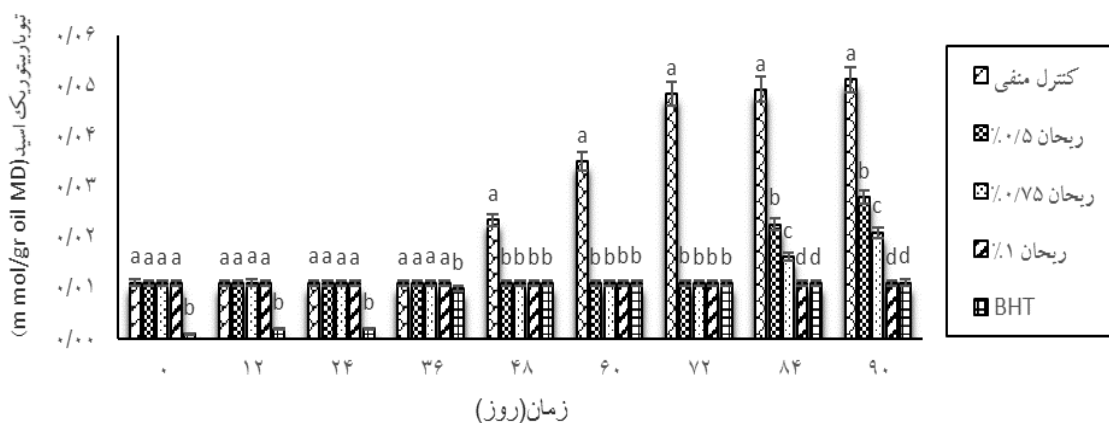


شکل ۴- تاثیر اسانس‌های مریم‌گلی کبیر و ریحان بر عدد تیو باربیتوریک اسید در مقایسه با کنترل در دمای ۲۶ C° در پنیر

(الف)



(ب)



شکل ۵- تاثیر اسانس های مریم گلی کبیر و ریحان بر عدد تیوباریتوریک اسید در مقایسه با کنترل در دمای ۴ °C در پنیر

مقایسه آن با آنتی اکسیدان سنتزی BHT گزارش کردند، تغییرات در تیمارهای هر سه نگهدارنده نسبت به تیمار کنترل کمتر بود، همچنین فعالیت دو اسانس نسبت به هم اختلاف معناداری نداشت اما نسبت به آنتی اکسیدان سنتزی BHT به طور موثرتری عمل نمودند که با نتایج ما در تناقض بود.

پنیر تهیه شده با BHT در مقایسه با کنترل منفی و تیمارهای مختلف از اسانس های مریم گلی کبیر و ریحان، اثر آنتی اکسیدانی قوی تری نشان داد ولی در مقایسه با کنترل منفی، اسانس ها به طور معناداری ($p < 0.05$) اثر داشتند و قوی ترین اثر مربوط به ریحان حتی

Shan و همکاران (۲۰۱۱) تاثیر عصاره های گیاهان مختلف را در پنیر، در طی دوره نگهداری، بر روی تغییرات تیوباریتوریک اسید در دمای محیط مورد مطالعه قرار دادند که در مطالعه آنان تمامی عصاره های طبیعی، به طور موثری فساد اکسایشی پنیر را به تعویق انداختند. علت این امر، بالاتر بودن ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی، پرو آنتوسیانیدها و تانن در عصاره ها اعلام گردید. Shan *et al.*, (2011). Estevez و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی تاثیر اسانس مریم گلی کبیر و رزماری بر تغییرات تیوباریتوریک اسید پاته جگر^{۱۳} و

تحقیق، با بررسی خواص ارگانولپتیکی قابل قبول بود. پنیرهای تیمار شده با غلظت ۱٪ اسانس‌ها، علاوه بر رتبه بالا در ارزشیابی خواص ارگانولپتیکی، دارای خواص آنتی‌اکسیدانی مناسب بودند و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن نسبتاً قابل توجه بود.

نتیجه‌گیری

نتایج بالا نشان داد که اسانس ریحان در غلظت ۱٪ خواص آنتی‌اکسیدانی بهتری در هر دو دمای نگهداری نسبت به اسانس مریم‌گلی کبیر نشان داد ولی نسبت به تیمار کنترل مثبت که پنیر حاوی BHT بود، ضعیف‌تر عمل کرد. البته ممکن است فعالیت آنتی‌اکسیدانی کمتر اسانس‌ها، نسبت به BHT، به علت حضور ترکیب موثره در اسانس و عدم استفاده از ماده موثره بصورت خالص باشد که بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن اثر بگذارد. باتوجه به نتایج بدست آمده و مقایسه با مطالعات سایر محققین مشخص شد که اسانس‌های مورد مطالعه، از فعالیت ضد رادیکالی و آنتی‌اکسیدانی قابل ملاحظه‌ای برخوردار بوده و می‌توان از آن‌ها، در صنعت بعد از انجام آزمایشات تکمیلی جهت افزایش عمر ماندگاری پنیر استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

این طرح تحقیقاتی با استفاده از اعتبارات ویژه پژوهشی دانشگاه مازندران انجام شده است. بدینوسیله از حمایت‌های مالی معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه مازندران صمیمانه قدردانی می‌شود.

در غلظت‌های پایین بود. نتایج ما نشان داد که اسانس‌های بکار گرفته شده در تیمارها، بخصوص در دمای پایین اثر آنتی‌اکسیدانی داشتند.

ارزیابی حسی نمونه‌های پنیر

ارزیابی کلی با در نظر گرفتن ویژگی‌های حسی (پذیرش کلی) در غلظت‌های مختلف اسانس‌ها طی مدت نگهداری در مقایسه با نمونه کنترل صورت گرفت. به عنوان نتیجه‌گیری کلی، اسانس ریحان بیشترین امتیاز پذیرش کلی را از نظر ارزیابی کنندگان در مقایسه با اسانس مریم‌گلی کبیر، در طی دوره‌ی نگهداری نود روزه، نشان داد و که اختلاف معناداری با نمونه کنترل و سایر تیمارها نشان داد در صورتی که نمونه کنترل پس از گذشت ۶۰ روز قابل مصرف نبود. از روز ۴۵ تا انتهای دوره نگهداری غلظت ۰/۷۵ و ۱ درصد اسانس ریحان بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داد ($p < 0.05$). Maria و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تاثیر اسانس ریحان بر پارامترهای حسی نوعی پنیر پرداخته و اعلام نمودند افزودن اسانس ریحان سبب بهبود خواص حسی پنیر می‌شود، همچنین اعلام نمودند اسانس ریحان سبب افزایش ماندگاری پنیر می‌گردد. Olmedo و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی اثر اسانس رزماری و پونه کوهی بر ویژگی‌های حسی پنیر خامه‌ای پرداختند. استفاده از دو اسانس باعث کاهش عطر و عطم ناشی از فرآیندهای اکسیداسیون چربی شد و از نظر رتبه بندی، طعم، رنگ و بو بالاتر از پنیر فاقد اسانس قرار گرفت. وقتی اسانس‌های گیاهی در مدل‌های غذایی مثل پنیر بکار می‌روند مقدار مورد نیاز اسانس برای اثرگذاری، بیشتر خواهد شد که می‌تواند بر خصوصیات ارگانولپتیکی اثر نامطلوب بگذارد. غلظت‌های بکار گرفته شده در این

منابع

- Abdollahi, M., Rezaei, M., & Farzi, G., 2014, Influence of chitosan/clay functional bionanocomposite activated with rosemary essential oil on the shelf life of fresh silver carp. *Food Science & Technology*, 49, 811-818.
- Abdollahzadeh, E., Rezaei, M., & Hosseini, H., 2014, Antibacterial activity of plant essential oils and extracts: The role of thyme essential oil, nisin, and their combination to control *Listeria monocytogenes* inoculated in minced fish meat. *Food Control*, 35, 177-183.
- Apostolidis, E., Kwon, Y.-I., & Shetty, K., 2007, Inhibitory potential of herb, fruit, and fungal-enriched cheese against key enzymes linked to type 2 diabetes and hypertension. *Innovative food science and Emerging Technologies*, 8, 46-54.
- Azizkhani, M., Basti, A., Misaghi, A., & Tooryan, F., 2012, Effects of *Zataria multiflora* Boiss., *Rosmarinus Officinalis* L. and *Mentha longifolia* L. essential oils on growth and gene expression of enterotoxins A, C and E in *Staphylococcus aureus* ATCC 29213. *Journal of Food Safety*, 32, 508-516.
- Basti, A.A., Misaghi, A., & Khaschabi, D., 2007, Growth response and modelling of the effects of *Zataria multiflora* Boiss essential oil, pH and temperature on *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus*. *Food Science and Technology*, 40, 973-981.
- Choi, Y., Jeong, H. S., & Lee, J., 2007, Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chemistry*, 103, 130-138.
- Dadvand Sarab, M., Naghdi Badi, H., Nasri, M., Makkizadeh, M. & Omid, H., 2008, Changes in Essential Oil Content and Yield of Basil in Response to Different Levels of Nitrogen and Plant Density. *Journal of medical plant*, 3, 60-70.
- Ebrahimabadi, A.H., Ebrahimabadi, E.H., Djafari-Bidgoli, Z., Jookar Kashi, F., Mazoochi, A. & Batooli, H., 2010,

- Composition and antioxidant and antimicrobial activity of the essential oil and extracts of *Stachys inflata* Benth from Iran. *Food Chemistry*, 119, 452-458.
- Esmailzadeh Kenari, R., & Mehdipour, Z., 2012, The antioxidant effect of Kiwi peel extract on stabilization of sunflower oil. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 8, 245-250.
- Estevez, M., Ramírez, R., Ventanas, S., & Cava, R., 2007, Sage and rosemary essential oils versus BHT for the inhibition of lipid oxidative reactions in liver pate. *LWT- Food Science and Technology*, 40, 58-65.
- Ghani, A., Ebrahimpour, A., Tehrani-far, A., & Hassanzadeh-Khayyat, M., 2010, Evaluation of growth and development adaptability and medicinal ornamental potential of Clary sage (*Salvia sclarea* L.) cultivated in Mashhad climatic conditions. *Journal of Plant Production*, 17, 77-90.
- Ghasemi Pirbalouti, A., Mahdad, E. & Craker, L., 2013, Effects of drying methods on qualitative and quantitative properties of essential oil of two basil landraces. *Food Chemistry*, 141, 2440-2449.
- Hussain, A.I., Anwar, F., Hussain Sherazi, S.T., & Przybylski, R., 2008, Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations. *Food Chemistry*, 108, 986-995.
- Juntachote, T., Berghofer, E., Siebenhandl, S., Bauer, F., 2006, the antioxidative properties of Holy basil and Galangal in cooked ground pork. *Meat Science*, 72, 446-456.
- Kazemizadeh, Z., Habibi, Z., Yousefzadi, M., As, habi, MA. & Heidari-Rikan, M., 2010, Chemical Composition and Antibacterial Activity of the Essential Oil of *Salvia macrochlamys* Boiss. & Kotschy, from West Azarbayjan. Province. *Journal of medical plant*, 1, 82-89.
- Khelifa, L. H., Brada, M., Brahmi, F., Achour, D., Fauconnier, M.L., & Lognay, G., 2012, Chemical composition and antioxidant activity of essential oil of *Ocimum basilicum* leaves from the Northern region of Algeria. *Journal of Herbal Medicine*, 1, 25-30.
- Kothari, S.K., Bhattacharya, A.K., & Ramesh, S., 2004, Essential oil yield and quality of methyl eugenol rich *Ocimum tenuiflorum* L.f. (syn. *O. sanctum* L.) grown in south India as influenced by method harvest. *Chromatography*, 1054, 67-72.
- Kristensen, D., Hansen, E., Arndal, A., Trinderup, R.A., & Skibsted, L.H., 2001, Influence of light and temperature on the colour and oxidative stability of processed cheese. *International Dairy Journal*, 11, 837-843.
- Kulisic, T., Radonic, A., & Katalinic, V., 2004, Use of different methods for testing antioxidative of oregano essential oil. *Food Chemistry*, 85, 633 -640.
- Lee, K.G., & Shibamoto, T., 2002, Determination of antioxidative potential of volatile extracts isolated from various spices and herbs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 4947 - 52.
- Lee, S.E., Hwang, H.J., Ha, J.S., Jeong, H.S., & Kim, J.H., 2003, Screening of medicinal plant extracts for antioxidant activity. *Life Sciences*, 73, 167-179.
- Lee, S. J., Umamo, K., Shibamoto, T., & Lee, K. G., 2005, Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Food Chemistry*, 91, 131-137.
- Maria, I., & Savva, N., 2013, Effect of packaging and basil essential oil on the quality characteristics of whey cheese "Anthotyros". *Food Bioprocess Technology*, 6: 124-132.
- Mohdaly, M., Smetanska, I., Ramadan, M., Sarhan, M., & Mahmoud, A., 2011, Antioxidant potential of sesame (*Sesamum indicum*) cake extract in stabilization of sunflower and soybean oils. *Industrial Crops and Products*, 34, 952-959.
- Moure, A., Cruz, J. M., Franco, D., Domínguez, J. M., Sineiro, J., Domínguez, H., José Nuñez, M. & Carlos Paraj, J., 2001, Natural antioxidants from residual sources. *Food Chemistry*, 72, 145-171.
- Olmedo, R.H., Nepote, V. & Grosso, N.R., 2013, Preservation of sensory and chemical properties in flavoured cheese prepared with cream cheese base using oregano and rosemary essential oils. *Food Science and Technology*, 53, 409-417.
- Ozkan, G., Sagdic, O., Gokturk, R.S., Unal, O. & Albayrak, S., 2010, Study on chemical composition and biological activities of essential oil and extract from *Salvia pisdica*. *Food Science and Technology*, 43, 186-190.
- Ozyurt, G., Kuley, E., Ozkutuk, S., & Ozogul, F., 2009, Sensory, microbiological and chemical assessment of the freshness of red mullet (*Mullus barbatus*) and goldband goatfish (*Upeneus moluccensis*) during storage in ice. *Food Chemistry*, 114: 505-510.
- Pokorny, J., 2007, Are natural antioxidants better and safer than synthetic antioxidants? *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109, 629-642.
- Politeo, O., Jukic, M. M., & Milos, M., 2007, Chemical composition and antioxidant capacity of free volatile aglycones from basil (*Ocimum basilicum* L.) compared with its essential oil. *Food Chemistry*, 101, 379-385.
- Pripdeevech, P., Chumpolsri, W., Suttiaporn, P., Wongpornchai, S., 2010, the chemical composition and antioxidant activities of basil from Thailand using retention indices and comprehensive two-dimensional gas chromatography. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 75, 1503-1513.
- Rajabi, Z., Ebrahimi, M., Farajpour, M., Mirza, M., & Ramshini, H., 2014, Compositions and yield variation of essential oils among and within nine *Salvia* species from various areas of Iran. *Industrial Crops and Products*, 61,

233-239.

- Rasmy, N., Hassan, A., Mervat, I., & El-Moghazy, M., 2012, Assessment of the Antioxidant Activity of Sage (*Salvia officinalis* L.) Extracts on the Shelf Life of Mayonnaise. *Dairy & Food Sciences*, 7 (1), 28-40.
- Rustaian, A., 1982, Essential oil of *Salvia lerifolia* and *Salvia sclarea*. *Phytochemistry*, 21, 1812-1813.
- Sanchez-Moreno, C., Larrauri, J.A., & Saura-Calixto, F., 1999, Free radical scavenging capacity and inhibition of lipid oxidation of wines, grape juices and related polyphenolic constituents. *Food Research International*, 32, 407-412.
- Santos, R., Shetty, K., Cecchini, A., & Miglioranza, D., 2012, Phenolic compounds and total antioxidant activity determination in rosemary and oregano extracts and its use in cheese spread. *Semina ciencias agarias*, 33, 655-666.
- Sathivel, S., Huang, J., & Prinyawiwatkul, W., 2008, Thermal properties and applications of the Arrhenius equation for evaluating viscosity and oxidation rates of unrefined pollock oil. *Journal of Food Engineering*, 88, 187-193.
- Sepahvand, R., Delfan, B., Ghanbarzadeh, S., Rashidipour, M., Hassan Veiskarami, G., & Ghasemian-Yadegari, J., 2014, Chemical composition, antioxidant activity and antibacterial effect of essential oil of the aerial parts of *Salvia sclareoides*. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 7, 491-496.
- Shahsavari, N., Barzegar, M., Sahari, M.A., & Naghdibadi, H., 2008, Antioxidant activity of essential oil of *Zataria multiflora* Boiss. In soy oil. *Journal of Medical Plants*, 28, 56 – 68.
- Shan, R., CAI, Y., John Brooks, D., & Corke, H., 2011, Potential Application of Spice and Herb Extracts as Natural Preservatives in Cheese. *Journal of Medicinal Food*, 14, 284-290.
- Sharififar, F., Moshafi, M., & Mansouri, S., 2007, in vitro evaluation of antibacterial and antioxidant of the essential oil and methanol extract of endemic *Zataria multiflora* Boiss. *Food Control*, 18, 800 -805.
- Shoaei, F., Abbasi, S., & Sahari, MA. 2013, Effects of various factotrs on the oxidative stability of ω -3 fatty acid-enriched Doogh (Iranian yoghurt drink). *Iranian journal of Nutrition science & Food Technology*, 7, 1-10.
- Shon, M. Y., Kim, T.H., & Sung, N.J., 2003, Antioxidants and free radical scavenging activity of *Phellinus baumii* (*Phellinus* of *Hymenochaetaceae*) extracts. *Food Chemistry*, 82, 593-597.
- Tenore, G., Ciampaglia, R., Apostolides Arnol, N., Piozzi, F., Napolitano, F., Rigano, D., & Senatore, F., 2011, Antimicrobial and antioxidant properties of the essential oil of *Salvia lanigera* from Cyprus. *Food and Chemical Toxicology*, 49, 238-243.
- Tepe, B., Daferera, D., Tepe, A., Polissiou, M., & Sokmen, A., 2007, Antioxidant activity of the essential oil and various extracts of *Nepta flavida* Hud.-Mor. From Turkey. *Food Chemistry*, 103, 1358_1364.
- Tomaino, A., Cimino, F., Zimbalatti, V., Venuti, V., Sulfaro, V., & De Pasquale, A., 2005, Influence of heating on antioxidant activity and the chemical composition of some spice essential oils. *Food Chemistry*, 89, 549–554.
- Wannissorn, B., Jarikasem, S., Siriwangchai, T., & Thubthimthed, S., 2005, Antibacterial properties of essential oils from Thai medicinal plants. *Fitoterapia*, 76, 233–236.
- Ye, A., Cui, J., Taneja, A., Zhu, X., & Singh, H., 2009, Evaluation of processed cheese fortified with fish oil emulsion. *Food Research International*, 42, 1093-1098.

Antioxidant effect of the aerial parts of basil (*Ocimum basilicum*) and clary sage (*Salvia sclarea*) essential oils in Iranian white cheese

F. Tooryan^{1*}, M Azizkhani¹

Received: 2015.05.27

Accepted: 2015.10.30

Introduction: There have been great efforts to find safe and potent natural antioxidants from various plant sources. There is, at present, increasing interest both in the industry and scientific research for spices and aromatic herbs because of their strong antioxidant and antimicrobial properties, which exceed many currently used natural and synthetic antioxidants. Medicinal plants are complex natural mixtures which contain compounds at quite different concentrations, have antioxidant activities. These properties are due to many substances, including some vitamins, flavonoids, terpenoids, carotenoids, phytoestrogens, minerals, etc. and render spices and some herbs or their antioxidant components as preservative agents in food and they were proposed as potential substitutes of synthetic antioxidants in food stuff. The number of contributions to isolation methods, techniques and activity testing of plant-origin antioxidants has significantly increased in recent years. Antioxidants are also widely used as additives in fats and oils and in food processing to prevent or delay spoilage of foods regarding to the harmful effects of synthetic preservatives on consumers' health, there is an increasing attention, both in food industry and authorities, to medicinal and aromatic plants as natural preservatives in food products. Oxidation is one of the major causes of chemical spoilage, resulting in rancidity and deterioration of the nutritional quality, colour, flavour, texture and safety of foods. Oxidation occurrence in cheese especially full-fat types causes rancid odor and taste and loss of nutritional quality. The objectives of the present study were evaluation of aerial parts of basil (*Ocimum basilicum*) and clary sage (*Salvia sclarea*) essential oils (EOs), study their antioxidant effect on the lipid oxidation and sensorial acceptability when applied to Iranian white cheese.

Materials and methods: Investigations were carried out to assess the efficiency of two plant essential oils; clary sage and basil as natural food preservatives. In this study, the antioxidant effect of clary sage (*Salvia sclarea*) and basil (*Ocimum basilicum*) essential oils in Iranian white cheese shelf-life, at 26 °C for 39 and 4 °C for 90 days, were examined. Samples at three levels 0.5%, 0.75%, 1% (w/v) were treated, negative control cheese without antioxidant and positive control sample with synthetic antioxidant (BHT) 0.05% were selected. The Essential oils chemical composition were determined by gas chromatography equipped with mass spectroscopy (GC/MS). GC-MS analysis of the essential oil was performed using Agilent-Technologies 6890N Network gas chromatographic (GC) system, equipped with Agilent Technologies 5975 inert XL Mass selective detector and Agilent-Technologies 7683B series auto injector (Agilent- Technologies, Little Falls, CA, USA). The antioxidant capacity of the essential oils were assessed by measuring their scavenging abilities to 2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl stable radicals using DPPH method and anti-oxidative stability with peroxide value (PV) and thiobarbituric acid (TBARS) test were evaluated.

Results & discussion: Main components of clary sage EO included linalyl acetate, linalool, α -terpineol and α -pinene and the major aroma constituents of basil EO consisted of linalool and α -cadinol, eugenol, α -Bergamotene and 1,8- Cineole. Linalyl acetate and linalool (oxygenated monoterpenes) showed stronger antioxidant activities than did the other components tested in the assays. Maximum free radical scavenging activity for clary sage and basil EOs at 1% concentration was 84.66% and 72.72% respectively that was weaker than (BHT) free radical scavenging activity (95%) by DPPH test. At 1% concentration, clary sage and basil EOs were most effective treatment at 4 and 26 °C, in free radical scavenging activity comparing to other concentrations. At 4 °C there is no any difference between all treatments up to 30th days in PV and TBARS number. The most effective treatment against lipid oxidation was at 0.75, 1% concentration basil and 1% salvia EOs at 90th days observed. Finally it seems that Basil EO was more effective than clary sage EO at both 0.75 and 1% concentration. At 1% concentration of basil EO according at 90th day storage time not observed significant difference in peroxide value and tio barbituric acid number comparing to first day. At 26 °C highest

14. Assistant professor, Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, Amol University of Special Modern Technologies, Amol, Iran.

(*Corresponding Author Email: f.tooryan@ausmt@ac.ir).

antioxidant activity was obtained at 1% concentration of basil EO. Final peroxide value (meq O₂/Kg oil) and tio barbituric acid (m mol/gr oil MD) number using basil and saliva EOs was 1.379, 0.0680 and 1.817, 0.096 respectively. That significant deference was observed comparing to control sample (p<0.05).

Finally it seems that basil EO was more effective than clary sage EO to protection against lipid oxidation and anti-oxidative activity was increased significantly by increasing the concentration of essential oils. In sensorial evaluation test best quality was obtained for 0.75% basil EO at 90 days storage time and obtained the highest score of overall organoleptic acceptance. Regarding to this study basil and clary sage EOs as natural antioxidant substances can be used to replace the synthetic antioxidants and fortification with natural EOs increased shelf-life and anti-oxidative stability of cheese and enhance the quality of white cheese. It also does not have much impact on the organoleptic properties but increasing food product shelf life resulting from their preservative inherent features.

Key words: Essential oil, Basi, Clary sage, Cheese, Antioxidant activity

تاثیر بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده و پوشش خوراکی کیتوزان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی خیار گلخانه‌ای رویال طی دوره نگهداری

علی شهدادی ساردو^۱ - ناصر صداقت^{۲*} - مسعود تقی زاده^۳ - الناز میلانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۳۰

چکیده

در این پژوهش به منظور جلوگیری از ضایعات پس از برداشت خیار گلخانه‌ای رویال، نمونه‌ها را در کیسه‌های پلاستیکی سه‌لایه PE/PA/PE قرار داده و از پلی‌ساکارید کیتوزان بعنوان پوشش (۱-۰ درصد) و تحت شرایط بسته‌بندی MAP (۳ و ۱۲ درصد اکسیژن) و اتمسفر معمولی (۲۱٪) بسته‌بندی نموده و در دماهای (۵، ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۲۱ روز نگهداری شدند. در آزمایشات انجام شده تأثیر این شرایط کنترل شده در مقایسه با نمونه‌های خیار بدون پوشش و نگهداری شده در شرایط اتمسفر معمولی بر روی خواص فیزیکی و کیفی خیار در طی دوره انبار مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی‌های مورد بررسی شامل کاهش وزن نمونه‌های خیار (٪)، خواص رنگی (مولفه‌های L^* ، a^* و b^*)، سفتی بافت (نیوتن)، چروکیدگی و خواص حسی (طعم و تازگی) بود. براساس نتایج، سفتی بافت و خواص ارگانولپتیکی با افزایش دما و زمان نگهداری کاهش در حالیکه افت وزن و چروکیدگی افزایش یافت که منجر به افت کیفیت نمونه‌های خیار طی دوره نگهداری شد. همچنین افزایش پوشش کیتوزان تا ۰/۵ درصد منجر به حفظ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی نمونه‌ها طی مدت زمان انبارداری شد ولی با افزایش بیشتر آن تا ۱٪ کیفیت محصول نهایی کاهش نشان داد. طبق نتایج نگهداری خیار در بسته‌بندی MAP منجر به حفظ رنگ سبز و خواص کیفی آن نسبت به نمونه‌های فاقد بسته‌بندی گردید. مقادیر متغیرهای مستقل در شرایط بهینه بسته‌بندی خیار شامل غلظت پوشش کیتوزان، میزان گاز اکسیژن، زمان و دما انبارداری به ترتیب ۰/۵٪، ۸/۵٪، ۱۴ روز و ۹°C بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: خیار گلخانه‌ای، بسته‌بندی MAP، کیتوزان، چروکیدگی، خواص حسی

مقدمه

سطح گلخانه کشورمان در حدود ۴/۵ هزار هکتار به کشت این محصول اختصاص دارد. مناطق عمده در کشت خیار گلخانه‌ای شامل جیرفت، یزد، اصفهان می‌باشد. طبق آمار گمرک جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۹۰ بیش از ۱۸۸ هزار تن خیار و خیارشور تازه یا سرد کرده به ارزش بیش از ۱۴۴ میلیون دلار به کشورهای عراق، روسیه، آذربایجان، افغانستان و امارات صادر شده است.

اگر چه عملکرد میوه عاملی مهم و کلیدی در تولید تجاری محصولات گلخانه‌ای است، ولی امروزه شاخص‌های کیفی نظیر طعم و مزه، اسیدیته، غلظت قندها، ویتامین C و عناصر معدنی مورد نیاز انسان به صورت روز افزونی مورد توجه مصرف‌کنندگان قرار گرفته و در واقع کیفیت نقش کلیدی در سیستم‌های گلخانه‌ای دارد. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که کیفیت از دو جنبه کیفیت خارجی و کیفیت داخلی قابل بررسی است. کیفیت خارجی در بازار پسندی محصولات کشاورزی نقش بسیار زیادی داشته، شامل ویژگی‌های ظاهری (مانند شکل، رنگ، اندازه، شادابی و طراوت میوه و نداشتن خسارت فیزیولوژیکی) و ویژگی‌های حسی (مانند طعم و مزه، مقدار ترکیبات معطر و خصوصیات بافت میوه) می‌باشد (سنایاستوار و

خیارگیاهی با نام علمی *Cucumis sativus* از خانواده Cucurbitaceae می‌باشد. به احتمال قوی این محصول بومی آسیا و افریقا است و در حدود هزاران سال است که کشت می‌شود. خیار در مقابل سرما حساس و طالب گرماست. چنانچه دمایش پائین‌تر از ۵°C باشد میوه‌ها به حد کافی تشکیل نمی‌شوند و یا اینکه اختلالات فیزیولوژیکی در آنها ظاهر می‌گردد. حداقل دما برای جوانه‌زدن بذر خیار ۱۲°C و برای رشد و نمو بالای ۱۰°C می‌باشد. زمان متوسط جوانه زنی بذر در شرایط ایده‌آل ۳ تا ۴ روز و طول دوره رشد تا میوه‌دهی پس از نشاء در حدود ۳۵ تا ۵۰ روز است. از ۸ هزار هکتار

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- استادیار، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی مشهد، خراسان رضوی.

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

DOI: 10.22067/iftstr.v1395i0.41901

همکاران، ۱۳۸۹).

Ruiz & Romero (۱۹۹۸) عملکرد و کیفیت بازارپسندی خیار گلخانه‌ای را در پاسخ به کود نیتروژن بررسی کرده و گزارش کردند که رابطه معنی‌داری بین مقدار نیتروژن مصرفی، عملکرد اقتصادی و کیفیت میوه وجود داشت. همچنین با بالا رفتن نیتروژن مصرفی مقدار اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها و مواد آلی افزایش یافته، در نتیجه درصد ماده خشک گیاه نیز افزایش می‌یابد. همچنین میزان قندهای محلول و کل ترکیبات جامد نیز که از ویژگی‌های مهم کیفی هستند ارتقا می‌یابد.

باید توجه داشت که بعد از برداشت میوه خیار در شرایط مناسب فقط کیفیت موجود آن حفظ می‌شود و امکان افزایش کیفیت خیار بعد از برداشت وجود ندارد (Huang et al., 2009). مشکل اصلی تولید خیار گلخانه‌ای در ایران مراحل پس از برداشت و مدت ماندگاری کوتاه آن است که ناشی از کاربرد روش‌های سنتی و غیربهداشتی می‌باشد. برای مثال چروکیدگی و از دست دادن آب و متعاقب آن کاهش ویتامین‌ها در خیار از مواردی هستند که در بازه زمانی برداشت محصول تا عرضه به مصرف کننده موجب کاهش کیفیت ظاهری و ارزش غذایی آن می‌گردند. از راهکارهای حل این مشکل می‌توان به استفاده از روش‌های بسته‌بندی ارتقاء یافته، شرایط نگهداری بهینه و تیمار با مواد نگهدارنده اشاره نمود (Guerra et al., 2011). بسته‌بندی از روش‌های ساده و موثر برای محافظت از سبزیجات و میوه‌ها می‌باشد که موجب محافظت در مقابل نفوذ عوامل خارجی و همچنین حفظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی می‌شود (اجاق و همکاران، ۲۰۰۵).

بسته‌بندی به روش MAP^۱ به معنی وارد کردن اتمسفر در یک پاکت یا بسته ماده غذایی با ترکیب خاص CO₂، N₂ و O₂ می‌باشد. در این روش رسیدن به یک تعادل گازی از اهمیت زیادی برخوردار است که این تعادل زمانی ایجاد می‌شود که در نتیجه ی تنفس محصول مقدار اکسیژن مصرف شده و دی‌اکسیدکربن تولید شده برابر با مقدار خارج شده از بسته‌بندی باشد. امروزه از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده به‌طور گسترده‌ای جهت افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات تازه مورد استفاده قرار گرفته است که مهمترین پارامترها در موفقیت این نوع بسته‌بندی، استفاده از ترکیب گازی بهینه، فیلم بسته‌بندی و دمای مناسب می‌باشد. این روش نگهداری کیفیت تازه فرآورده‌های غذایی را بدون عملیات حرارتی و شیمیایی مانند کنسرو کردن و خشک کردن میسر می‌کند (Manolopoulou et al., 2010).

بسته‌بندی کاهو در پوشش‌های پلیمری و استفاده از اتمسفر تعدیل یافته علاوه بر ایجاد اتمسفر مناسب و حفظ رطوبت در اطراف

محصول، باعث کاهش پلاسیدگی و اختلالات فیزیولوژیکی شده و اجازه نگهداری در سردخانه معمولی و حمل و نقل کم هزینه‌تر را به ما می‌دهد (Martinez & Artes, 1999). Barth و همکاران (۱۹۹۳) بیان کردند که استفاده از سیستم بسته‌بندی با اتمسفر تعدیل یافته، باعث حفظ بهتر اسید اسکوربیک، کلروفیل و رطوبت در کلم بروکلی می‌گردد. Nakhasi و همکاران (۱۹۹۱) دریافتند که در گوجه‌فرنگی‌های بسته‌بندی شده در اتمسفر تعدیل یافته فعال، تغییر در میزان اسیدیته، مواد جامد محلول، بافت، رنگ و فعالیت پلی‌گالاکتورناز، در مقایسه با میوه‌های بسته‌بندی نشده به تأخیر افتاده است.

پوشش‌های خوراکی یکی از نوآورانه‌ترین روش‌ها برای حفظ کیفیت و افزایش مدت ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات تازه می‌باشد. پوشش خوراکی موفق باید مانع‌کنندگی خوبی در برابر گازها به‌ویژه اکسیژن و بخار آب داشته باشد و از خصوصیات سطحی خوبی برخوردار باشد. شیوه‌ی مناسب پوشش‌دهی نیز باید با توجه به هدف مورد نظر انتخاب گردد که پوشش‌دهی به روش غوطه‌وری برای میوه‌ها و سبزیجات رایج‌تر می‌باشد. امروزه پوشش کیتوزان به دلیل دارا بودن خصوصیتی از قبیل غیرسمی، زیست‌تخریب پذیر و زیست سازگار بودن کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است (Dutta et al., 2009). پوشش‌دهی سطح میوه و سبزی با کیتوزان به علت کاهش افت وزن و کاهش سرعت تنفس (با تنظیم نفوذپذیری گازهای اکسیژن و کربن‌دی‌اکسید) مدت ماندگاری را افزایش داده، همچنین به دلیل دارا بودن اثر ضد میکروبی و ضد قارچی موجب کاهش پوسیدگی می‌گردد. استفاده از ترکیب کیتوزان با سایر روش‌های نگهداری میوه و سبزی تازه از جمله بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده کارایی بیشتری در مقایسه با استفاده از پوشش کیتوزان به تنهایی خواهد داشت، به گونه‌ای که کیتوزان به دلیل دارا بودن خواص نیمه تراوایی در پوشش‌های بسته‌بندی مواد غذایی که در آن‌ها به اتمسفر درونی نیاز است نیز کاربرد دارد (Jianglian & Shaoying, 2013). Minzhang و همکاران (۲۰۰۴) خیار حداقل پروسس شده (تکه شده) را با ۳ نوع پوشش ترکیبی و آب ازونه تیمار کرده و درون بسته‌هایی از جنس پلی‌ونیل‌کلراید در ابعاد ۲۰ در ۳۰ سانتی‌متر قرار داده و درب‌بندی نموده و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری کردند. خیار که با محلول C که حاوی کیتوزان ۱٪ تیمار شده بود ۴ تا ۶ روز زمان نگهداری آن افزایش یافت و این پوشش مانعی برای به تأخیر افتادن تنفس و کاهش وزن می‌باشد و همچنین بیان نمودند که پوشش‌های خوراکی هزینه‌ی کم و تأثیر بسزایی بر روی خیار پروسس شده دارند.

بررسی‌های انجام شده نشان داد که کار تحقیقاتی مناسبی در زمینه بهبود کیفیت و افزایش مدت ماندگاری خیار با استفاده از تکنیک‌های نوین بسته‌بندی و پوشش‌های خوراکی صورت نگرفته

نمونه‌ها ابتدا باید از نمونه‌ها زیر نور مناسب عکس‌برداری شود. برای این کار از دوربین دیجیتال (Canon, model Powershot A 520) استفاده شد. برای تصویرگیری نیز از اتاقکی که دیواره‌های آن با پارچه‌ی مشکی پوشیده شده بود (این کار از بازتاب نور جلوگیری می‌کند) استفاده شد. برای ایجاد نور نیز از پنچ لامپ فلوروسنت استفاده شد. دوربین در فاصله ۲۵ سانتی‌متری نمونه‌ها و موازی با آنها روی پایه ثابت شد. دوربین با پورت USB به رایانه متصل شد و تصویرگیری با نرم‌افزار ZoomBrowser EX 5.0 انجام شد. تصویرهای گرفته شده با فرمت JPEG ذخیره و توسط نرم‌افزار Photoshop CS6 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مناطقی که رنگ آن مد نظر بود انتخاب و فیلتر Blur/average روی آن اعمال شد و سپس مقدار b^* و a^* و L^* تصویر از پنجره info قرائت شد (خشنودی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲).

آزمون سفتی بافت

سفتی بافت توسط دستگاه بافت‌سنج^۱ مدل TA-plus ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری شد. برای این منظور نمونه‌های خیار در درون ظرفی بر روی صفحه دستگاه قرار داده شد سپس پروب استوانه‌ای دستگاه به قطر ۲ میلی‌متر و سرعت ۱ m/m تا عمق ۱۰ میلی‌متر فرو رفت. بیشترین نیروی لازم جهت فرو رفتن پروب در داخل نمونه توسط دستگاه به صورت یک نمودار در مانیتور ترسیم شده که سطح زیر نمودار توسط دستگاه محاسبه و تحت عنوان سفتی بافت (Fmax) گزارش شد.

چروکیدگی

سنجش میزان چروکیدگی نمونه‌های خیار به روش جابجایی سیال و با استفاده از تولون انجام گردید. در این روش چروکیدگی بر مبنای ریختن نمونه در حجم معینی از تولون درون استوانه مدرج و اندازه‌گیری میزان تغییر حجم انجام گردید (Pangavhane et al., 1999). برای این منظور قبل از بسته‌بندی، حجم نمونه اولیه با قرار گرفتن نمونه در داخل استوانه مدرج حاوی تولون سنجیده شد و همچنین بعد از باز شدن بسته در روز آزمون مجدداً حجم نمونه‌های خیار اندازه‌گیری گردید. میزان چروکیدگی (SH) بر اساس رابطه ۲ محاسبه شد. V_1 حجم نمونه اولیه و V_2 حجم نمونه بعد از پایان بسته‌بندی است.

$$SH = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100 \quad (2)$$

است، بنابراین هدف از انجام این پژوهش بکارگیری پوشش خوراکی کیتوزان و بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده، به‌منظور افزایش مدت ماندگاری خیار گلخانه‌ای با حفظ کیفیت آن تا حد ممکن بود.

مواد و روش‌ها

مواد

خیار رویال (رقم متداول کشت گلخانه‌ای ایران) از گلخانه تهیه گردید. کیتوزان نیز ساخت شرکت سیگما آلد ریچ بود.

روش کار

نمونه‌برداری از خیارهای تازه با روش نمونه‌برداری تصادفی انجام و سپس خیارها در شکل و اندازه یکسان انتخاب و نمونه‌ها با آب معمولی ۵ درجه سانتی‌گراد شستشو داده شد. در بسته‌بندی از پوشش کیتوزان (فاقد پوشش، ۰/۵ و ۱ درصد) استفاده شد. سپس نسبت‌های مشخص گازها به وسیله دستگاه مخلوط‌کننده گاز تهیه و درون بسته‌ها به دو روش فعال (۳٪ اکسیژن + ۹۷٪ ازت، ۱۲٪ اکسیژن + ۸۸٪ ازت) و غیرفعال (ترکیب هوای معمولی به‌عنوان نمونه شاهد، ۲۱٪ اکسیژن + ۷۸٪ نیتروژن، ۳٪ دی‌اکسیدکربن، ۰/۹٪ ارگون) تزریق شد. در این تحقیق از دماهای مختلف (۵، ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد) در مدت انبارداری (۳، ۱۲ و ۲۱ روز) استفاده گردید.

کاهش وزن

برای بررسی این آزمون پس از آماده‌سازی نمونه‌ها قبل از بسته‌بندی وزن اولیه نمونه‌ها را توسط ترازوی کفه‌ای با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری کرده و همچنین پس از پایان دوره‌ی نگهداری نمونه‌ها را توسط همان ترازو توزین و سپس افت وزن با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد:

$$W_L = \frac{W_0 - W_F}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

W_L درصد کاهش وزن، W_0 وزن اولیه (گرم) نمونه‌های خیار هر بسته در روز صفر و W_F وزن نهایی (گرم) نمونه‌های خیار بعد از باز شدن بسته در روز آزمون می‌باشد (Caleb et al., 2013).

اندازه‌گیری پارامترهای رنگی

در این پژوهش از روش پردازش تصویر کامپیوتری برای بررسی رنگ استفاده شد. اندازه‌گیری رنگ نمونه با استفاده از مدل (CIE LAB) صورت گرفت. این مدل، کامل‌ترین مدل رنگی است که رسماً برای توصیف همه رنگ‌های قابل مشاهده توسط چشم انسان بکاربرده می‌شود و با سه فاکتور L^* (روشنی/تیرگی)، a^* (قرمز و سبز)، b^* (زرد/آبی) سنجش می‌شود. برای اندازه‌گیری رنگ

1. Texture Analyzer, Model M350-10ct, Testometric, England

ارزیابی حسی

در ارزیابی حسی ۱۰ نفر از دانشجویان علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با حدود سنی ۳۰-۲۳ سال بعنوان پانلیست انتخاب شدند. از روش مقیاس هدونیک ۵ نقطه ای برای بررسی خواص حسی شامل طعم و مزه و تازگی محصول استفاده شد (خشنودی نیا و همکاران، ۱۳۹۲).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق، طرح مرکب مرکزی صاف (FCCD) با متغیرهای مستقل غلظت پلی‌ساکارید کیتوزان بعنوان پوشش (۱-۰ درصد، X_1)، غلظت گاز اکسیژن در بسته‌بندی (۲۱-۳ درصد، X_2)، دمای نگهداری (۲۵-۵ درجه سانتی‌گراد، X_3) و زمان انبارداری (۲۱-۳ روز، X_4) به کار گرفته شد. داده‌های به دست آمده در این طرح با استفاده از نرم‌افزار Design Expert مدل 6.0.2 (میناپولیس آمریکا) مدلسازی شده و شکل‌های سه‌بعدی (منحنی‌های سطح پاسخ) جهت بررسی رابطه میان پاسخ‌ها و متغیرهای مستقل رسم شد. توابع پاسخ (y)، شامل کاهش وزن، چروکیدگی، سفتی بافت، خواص رنگی (مولفه‌های L^* ، a^* و b^*) و خواص حسی (طعم و مزه و تازگی محصول) بود. سطوح متغیرهای مستقل به صورت حقیقی و کد شده در جدول ۱ ارایه شده است. برای داده‌های حاصل از آزمایش‌ها مدل چندجمله‌ای درجه دوم برازش داده شد. پس از برازش مدل، رابطه‌های بدست آمده در معرض الگوریتم Stepwise قرار گرفتند. با استفاده از الگوریتم مذکور، جملات مدل که از نظر آماری در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نبودند حذف شده و در نتیجه تعداد جملات مدل کاهش داده شدند.

جدول ۱- نمایش متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آنها

متغیر مستقل	نماد ریاضی	-۱	۰	+۱
پلی‌ساکارید کیتوزان (%)	X_1	۰	۰/۵	۱
غلظت گاز اکسیژن (%)	X_2	۳	۱۲	۲۱
دما (°C)	X_3	۵	۱۵	۲۵
زمان (روز)	X_4	۳	۱۲	۲۱

با توجه به مقادیر R^2 و R^2 -Adj مربوط به مدل درجه دوم که در جدول ۲ نشان داده شده است، مشاهده می‌شود که مدل چندجمله‌ای درجه دوم کاسته دارای مقادیر بالا و قابل قبولی است، بنابراین در برازش داده‌ها توان بیشتری را دارا می‌باشد. رابطه ۳، مدل تعریف شده برای هر پاسخ می‌باشد.

ضرایب مدل چندجمله‌ای به صورت b_0 (عبارت ثابت)، b_1 ، b_2 ، b_3 ، b_4 ، b_{11} ، b_{22} ، b_{33} و b_{44} (اثرات درجه دوم) و b_{12} ، b_{13} ، b_{14} ، b_{23} ، b_{24} و b_{34} (اثرات متقابل) بیان شده‌اند. معنی‌داری ضرایب

مدل با استفاده از آنالیز واریانس برای هر پاسخ تعیین شد. کفایت مدل با استفاده از R^2 ، R^2 اصلاح شده و آزمون Lack of fit مورد بررسی قرار گرفت. در یک مدل مناسب R^2 ، R^2 اصلاح شده بایستی بالا ($>0/80$) و آزمون عدم برازش غیرمعنی‌دار باشد.

نتایج و بحث

کاهش وزن خیار بسته‌بندی شده

تأثیر متغیرهای مستقل بر درصد کاهش وزن خیار بسته‌بندی شده به صورت شکل‌های سه‌بعدی رویه پاسخ در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که دما و زمان نگهداری تأثیر عمده‌ای بر کاهش وزن محصول بسته‌بندی شده داشته است ($p < 0/001$) در حالیکه اثرات خطی پلی‌ساکارید کیتوزان و غلظت گاز اکسیژن بر این پارامتر خیار طی نگهداری تأثیر کمتری داشت هر چند که معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج آنالیز واریانس و شکل‌های رویه پاسخ نشان می‌دهد در شرایط ثابتی از نظر زمان نگهداری (۱۲ روز) و پلی‌ساکارید کیتوزان (۵٪) افزایش دمای نگهداری از ۵ تا حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد، تأثیر زیادی بر روی کاهش وزن محصول داشته، در حالیکه با افزایش دما تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، درصد کاهش وزن خیار تغییر قابل توجهی نشان نمی‌دهد (شکل ۱). کاهش افت وزن در دماهای پایین به دلیل آهسته بودن فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند تنفس و تعرق می‌باشد. درجه حرارت بالا، سرعت تنفس و سایر فرآیندهای متابولیسمی را افزایش می‌دهد که باعث کاهش سوبستراهایی مانند قندها و پروتئین‌ها شده و منجر به افت وزن بیشتر می‌گردد (Nyanjage et al., 2005). همچنین نتایج نشان داد غلظت گاز اکسیژن نسبت به دما تأثیر کمتری بر درصد کاهش وزن خیار داشت، از سوی دیگر تغییر درصد پوشش دهی با کیتوزان تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش وزن نمونه‌های خیار نداشت. بررسی تأثیر زمان نگهداری بر درصد کاهش وزن محصول نهایی نیز روندی مشابه تأثیر دما نشان داد به‌طوری‌که با گذشت زمان نگهداری از ۳ تا ۲۱ روز، درصد کاهش وزن محصول افزایش یافت تا اینکه در روز ۲۱ام به بیشترین مقدار رسید (شکل ۱).

دلیل این کاهش وزن در طول زمان بویژه در دماهای بالاتر از دمای یخچال احتمالاً بدلیل افزایش تنفس و تعریق محصول و در نتیجه از دست دادن رطوبت بیشتر می‌باشد. کاهش وزن می‌تواند با از دست دادن کیفیت، از جمله کاهش سفتی و سایر تغییرات نامطلوب در رنگ، دلیپذیری و از دست دادن کیفیت تغذیه‌ای همراه باشد که به صورت بخار آب از فضاهای هوای داخل میوه (فضاهای بین سلولی) به فضای اطراف آن از دست می‌رود (Ding & Diana, 2013).

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{44} x_4^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{14} x_1 x_4 + b_{23} x_2 x_3 + b_{24} x_2 x_4 + b_{34} x_3 x_4 + \varepsilon \quad (3)$$

جدول ۲- نتایج آنالیز آماری مدل برازش یافته درجه دوم کاسته بر داده‌های پاسخ

متغیر	مدل پیشگو	میانگین	انحراف معیار	R ²	R ² -adj
افت وزن	$weightloss = 4.65 + 1.42 x_1 + 0.052 x_2 - 0.041 x_3 - 0.80 x_4 + 0.022 x_4^2 - 0.0106 x_2 x_3 + 0.038 x_3 x_4$	۵/۱۵	۱/۳۸	۰/۹۴	۰/۹۲
سفتی	$Hardness = 11.09 + 6.5 x_1 - 18 x_2 - 0.24 x_3 + 0.0041 x_4 - 5.03 x_1^2 + 0.0053 x_2^2 + 8 x_3^2 - 0.076 x_1 x_4 + 0.0022 x_2 x_4 - 0.0019 x_3 x_4$	۹/۳۵	۰/۲۹	۰/۹۲	۰/۸۸
چروکیدگی	$Shrinkage = 11.47 + 14.36 x_1 + 2.57 x_2 - 0.016 x_3 - 3.47 x_4 - 19.23 x_1^2 - 0.041 x_2^2 + 0.116 x_4^2 - 1.16 x_1 x_2 + 0.79 x_1 x_3 + 1.06 x_1 x_4 - 0.05 x_2 x_3 - 0.06 x_2 x_4 + 0.066 x_3 x_4$	۱۴/۳۴	۱/۶۵	۰/۹۹	۰/۹۸
L*	$L* = 58.87 - 9.25 x_1 - 0.38 x_2 - 1.65 x_3 - 1.37 x_4 + 0.045 x_3^2 + 0.022 x_4^2 + 0.48 x_1 x_3 + 0.28 x_1 x_4 + 0.014 x_2 x_3 + 0.032 x_2 x_4 + 0.02 x_3 x_4$	۴۰/۷۳	۱/۸۶	۰/۹۲	۰/۸۷
a*	$a* = -44.62 - 3.16 x_1 + 0.53 x_2 + 0.147 x_3 + 0.124 x_4 - 0.03 x_4^2 + 0.26 x_1 x_4 - 0.03 x_2 x_3 - 0.04 x_2 x_4 + 0.018 x_3 x_4$	-۳۴/۴	۲/۰۲	۰/۹۱	۰/۸۷
b*	$b* = 38.71 + 7.15 x_1 - 0.27 x_2 - 2.056 x_3 - 0.55 x_4 - 10.32 x_1^2 - 0.066 x_3^2 + 0.4 x_1 x_3 + 0.016 x_2 x_3 + 0.032 x_2 x_4 + 0.016 x_3 x_4$	۲۸/۳	۲/۴۵	۰/۸۵	۰/۷۸
طعم و مزه	$Flavour = 1.8 - 2.11 x_1 + 0.054 x_2 + 0.037 x_3 + 0.028 x_4 + 2.025 x_1^2 - 0.0099 x_4^2 - 0.027 x_1 x_4 - 0.0015 x_2 x_3 + 0.0022 x_2 x_4 - 0.0035 x_3 x_4$	۳/۴۵	۰/۲۷	۰/۹۳	۰/۹۰
تردی و تازگی	$Crispiness = 2.33 + 0.43 x_1 + 0.066 x_2 + 0.083 x_3 + 0.18 x_4 - 0.0035 x_3^2 - 0.0053 x_4^2 - 0.039 x_1 x_3 - 0.04 x_1 x_4 - 0.0018 x_3 x_4$	۳/۹۶	۰/۲۸	۰/۹۲	۰/۸۸

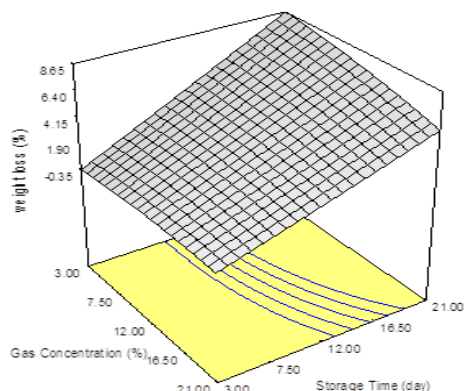
تغییرات سفتی بافت خیار

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که در غلظت ثابتی از پوشش کیتوزان و دمای نگهداری، با گذشت زمان انبارداری بافت خیار نرم‌تر شده و نیروی لازم برای نفوذ پروب دستگاه در محصول کاهش یافت بطوریکه نمونه‌های نگهداری شده در روزهای اول دارای بیشترین سفتی بافت بودند. همچنین مشخص شد که غلظت گاز اکسیژن تأثیر معنی‌داری بر سفتی بافت خیار داشت ($p < 0.05$). طبق نتایج در دمای ثابت انبارداری، افزایش غلظت گاز اکسیژن نیز منجر به کاهش سفتی بافت محصول شد به‌طوریکه نمونه‌های نگهداری شده در شرایط MAP دارای بیشترین استحکام بافت بودند (شکل ۲).

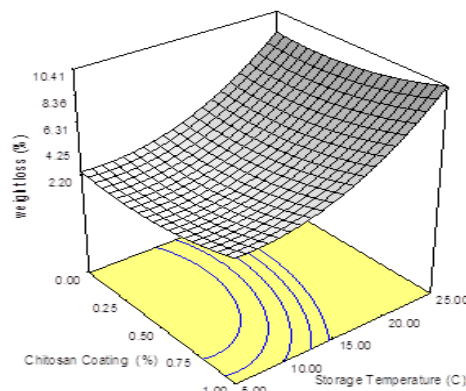
دما نیز تأثیر عمده‌ای بر انسجام بافت خیار بسته‌بندی شده داشت ($P < 0.01$) بدین معنی که نمونه‌های نگهداری شده تحت شرایط دمای یخچال نسبت به بسته‌بندی در دمای اتاق از استحکام بافتی مطلوب‌تری برخوردار بودند، بنابراین افزایش دمای نگهداری محصول تأثیر منفی بر سفتی بافت محصول نهایی داشت. طبق نتایج همچنین مشخص شد که نمونه‌های پوشش داده شده با ۰/۵ درصد پلی‌ساکارید کیتوزان نسبت به نمونه‌های بدون پوشش و غلظت ۱٪

در تحقیقی مشابه خورشیدی و همکاران (۲۰۱۱) افت وزن گیل‌های بسته‌بندی شده طی مدت زمان نگهداری را به دلیل فرآیند تعرق دانستند. احمدی و همکاران (۱۳۸۸) تأثیر بسته‌بندی MAP را بر روی دو رقم آلبالو بررسی کردند. افت وزن در نمونه‌های بسته‌بندی شده تحت MAP نسبت به نمونه شاهد کمتر بوده و بیان کردند که از دست دادن آبمیوه به نیروی ناشی از اختلاف فشار بخار آب بین بافت میوه و هوای اطراف و مقاومت بافت در برابر این نیرو بستگی دارد. این اختلاف فشار در اثر افزایش دما و کاهش رطوبت بالا می‌رود. بسته‌بندی آلو با اتمسفر اصلاح‌شده می‌تواند فشار بخار اطراف میوه‌ها را در حد بالایی حفظ نماید که مانع از دست دادن آب و کاهش وزن میوه‌ها خواهد شد. در واقع بسته‌بندی MAP به حفظ سطح بالایی از رطوبت نسبی در بسته کمک کرده و منجر به کاهش از دست دادن وزن می‌گردد (Suparlan, 2003). بر اساس مقادیر و معنی‌داری ضرایب مدل کاسته ترتیب اثرگذاری متغیرهای مستقل بر این پارامتر به‌صورت: زمان نگهداری < دمای نگهداری < پلی‌ساکارید کیتوزان < نوع بسته‌بندی بود (جدول ۲ و ۳).

کاسته برای میزان سفتی بافت، ترتیب اثرگذاری متغیرها به صورت: زمان نگهداری << دمای نگهداری < غلظت گاز اکسیژن < پلی ساکارید کیتوزان، بود (جدول ۳ و ۲).



دارای بیشترین استحکام بافت بودند (شکل ۲). بدین ترتیب بیشترین سفتی نمونه‌های خیار در روزهای اول نگهداری و در دمای یخچال تحت شرایط بسته‌بندی MAP و پوشش داده شده با ۰/۵ درصد کیتوزان بود. بر اساس نتایج آنالیز واریانس و معنی‌داری ضرایب مدل



شکل ۱- نمودار رویه پاسخ (الف) تاثیر دمای نگهداری و پلی ساکارید کیتوزان ($t=12$ days, $GC=12\%$) و (ب) تاثیر زمان نگهداری و غلظت گاز اکسیژن ($Chitosan=0.5\%$, $T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$) بر درصد کاهش وزن خیار گلخانه‌ای

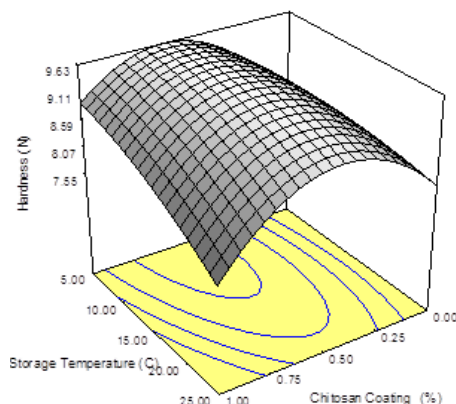
حساسیت به آن، کند شدن روند نرم شدن میوه شده و رسیدگی را به تاخیر می‌اندازد، همچنین باعث حفظ رنگ و ویتامین‌های میوه می‌شود.

Gorny و همکاران (۱۹۹۸) گزارش دادند که کاهش سفتی بافت در برش‌های تازه گلابی توسط دمای انبارداری و میزان رسیدگی اولیه آن تحت تاثیر قرار گرفت. همچنین Gorny و همکاران در تحقیقی دیگر (۱۹۹۹) به این نتیجه رسیدند که کاهش سفتی بافت خلال‌های هلو و شلیل نگهداری شده در ۱۰ درجه سانتی‌گراد به میزان بیشتر و سریعتر از نمونه‌های نگهداری شده در دمای صفر و ۵ درجه سانتی‌گراد بود که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

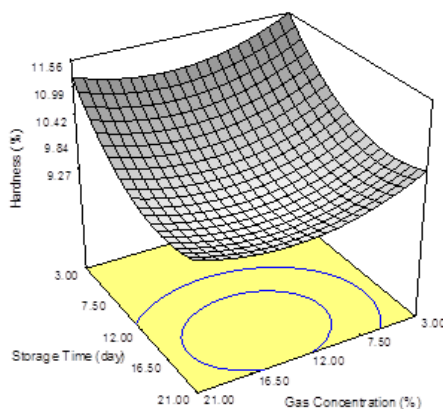
بررسی تاثیر متغیرهای مستقل بر خواص رنگی محصول نهایی
نتایج آنالیز واریانس مولفه L^* نشان داد که در بین متغیرهای مستقل فقط اثر خطی غلظت گاز اکسیژن و زمان نگهداری معنی‌دار بود ($p<0.01$) در حالیکه اثرات خطی دمای انبارداری و غلظت پلی ساکارید کیتوزان در مدل درجه دوم کاسته معنی‌دار نبود ($p>0.05$). ولی اثر کوادراتیک دما و همچنین اثر متقابل آن با هر سه متغیر دیگر در سطح بالایی از نظر آماری معنی‌دار بودند (جدول ۳). بنابراین رابطه بین پلی ساکارید کیتوزان و غلظت گاز اکسیژن با روشنی ظاهری محصول نهایی در شرایط ثابتی از زمان (۱۲ روز) و دمای انبارداری (۱۵ درجه سانتی‌گراد)، بصورت خطی بود به طوری که با افزایش غلظت گاز اکسیژن در بسته‌بندی میزان مولفه L^* نمونه‌های خیار افزایش نشان داد بدین ترتیب نمونه‌های بسته‌بندی

یکی از فاکتورهای اصلی مورد استفاده در تعیین کیفیت و عمر ماندگاری میوه‌ها و سبزیجاتی مانند خیار سرعت یا مقدار کاهش سفتی بافت آن در طول انبارداری می‌باشد (Patricia et al., 2005). مهمترین منافع بسته‌بندی تحت شرایط اتمسفر تغییر یافته، شامل کاهش تنفس، کاهش تولید و حساسیت به اتیلن، کند شدن روند نرم شدن میوه و تغییر ترکیبات داخل میوه می‌باشد. نرم شدن بافت میوه‌ها و سبزیجات به دلیل عوامل بسیاری از جمله تخریب ترکیبات دیواره سلولی و پلی ساکاریدها می‌باشد (Rungsinee and Patrati, 2008). رمز موفقیت روش بسته‌بندی تحت شرایط اتمسفر تغییر یافته دانستن ترکیب گازی صحیح درون بسته‌بندی و استفاده از مواد پوششی مناسب است. انتخاب صحیح شرایط گازی سبب افزایش عمر پس از برداشت محصول می‌گردد و شرایط نامناسب مانند غلظت اکسیژن پایین یا دی‌اکسید کربن خیلی زیاد سبب بروز تنفس بی‌هوازی در محصول و کاهش ماندگاری آن خواهد گردید (Manning, 1993; Manolopoulou et al., 2010). عنوان کرد که نرم شدن بافت میوه‌ها بدلیل تجزیه ترکیبات دیواره سلولی بویژه پکتین‌ها در اثر فعالیت اختصاصی آنزیم‌های پلی گالاکتورناز و پکتین استراز می‌باشد. Martinez و همکاران (۲۰۰۳) نیز بیان کردند که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و کاهش غلظت اکسیژن، شدت تنفس و فعالیتهای متابولیکی میوه‌ها را به حداقل می‌رساند و بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح شده با کاهش یا جلوگیری از فعالیتهای آنزیم‌های تجزیه‌کننده پکتین موجب حفظ سفتی بافت میوه، کاهش تولید اتیلن و

درصد پلی‌ساکارید کیتوزان و نگهداری شده تحت زمان انبارداری بالا، بیشترین میزان مولفه L^* را دارا بودند. بر اساس نتایج آنالیز واریانس و معنی‌داری ضرایب مدل کاسته برای مولفه L^* ، ترتیب اثرگذاری متغیرها به‌صورت: غلظت گاز اکسیژن < زمان نگهداری < دمای نگهداری < پلی‌ساکارید کیتوزان، بود (جدول ۲ و ۳).



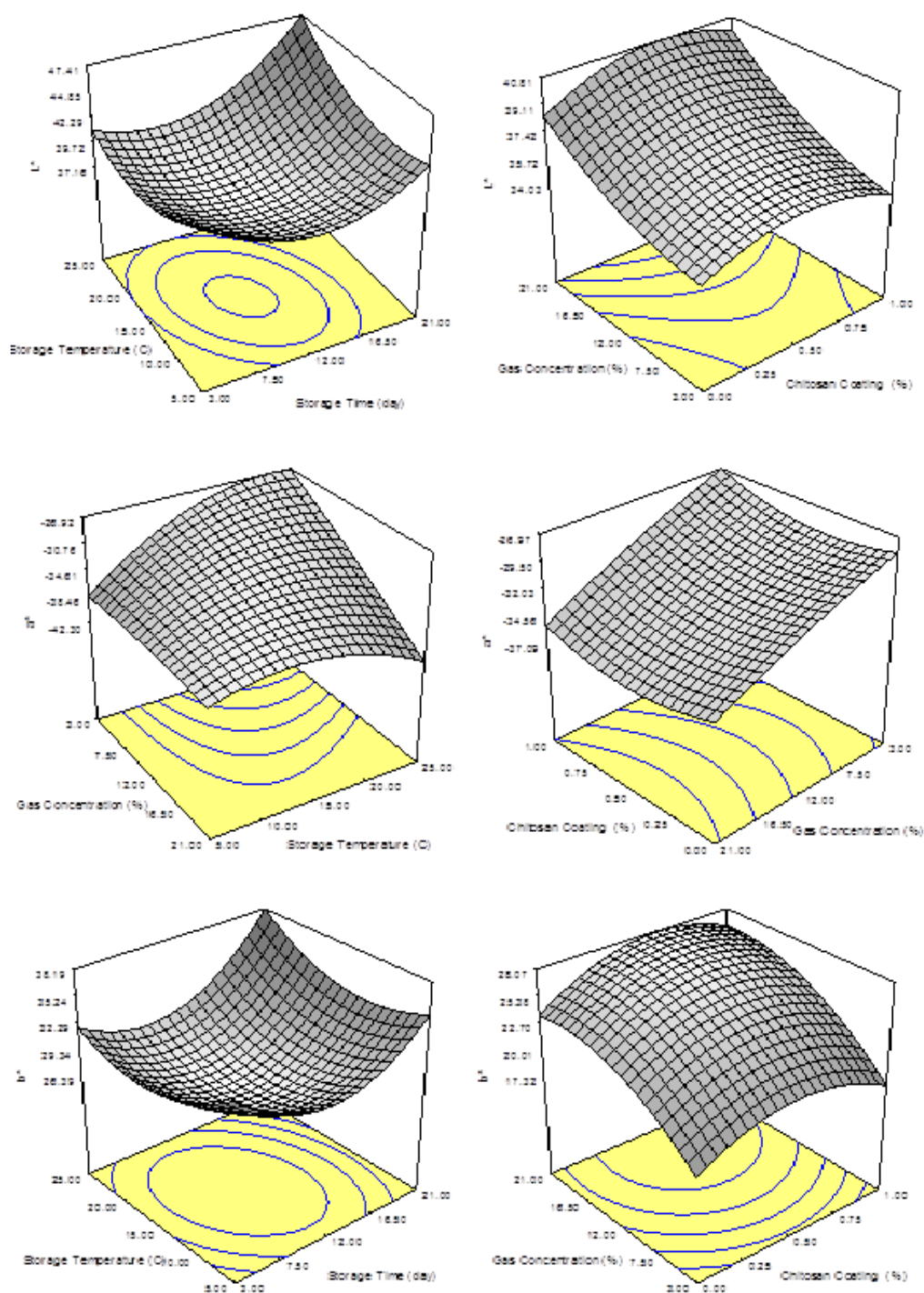
شده در شرایط معمولی دارای بیشترین روشنی ظاهری بودند (شکل ۳). همانطور که ذکر شد اگرچه پلی‌ساکارید کیتوزان تأثیر معنی‌داری بر این مولفه نداشت ولی نمونه‌های پوشش داده شده با ۰/۵ درصد کیتوزان روشنی ظاهری بیشتری نشان دادند. این در حالی بود که طبق نتایج آنالیز واریانس با گذشت زمان انبارداری در شرایط ثابتی از نظر گاز اکسیژن (۱۲٪) میزان مولفه L^* نمونه‌های خیار افزایش معنی‌داری نشان داد. بدین ترتیب نمونه‌های پوشش داده شده با ۰/۵



شکل ۲- نمودار رویه پاسخ (الف) تأثیر زمان و غلظت گاز اکسیژن ($T=15^\circ\text{C}$, Chitosan=0.5%) و (ب) تأثیر پلی‌ساکارید کیتوزان و دمای نگهداری ($t=12$ days, Chitosan=0.5%) بر میزان سفتی بافت خیار گلخانه‌ای

تأثیر متغیرهای مستقل بر مولفه b^* محصول نهایی به‌صورت شکل‌های سه‌بعدی رویه پاسخ در شکل ۳ نشان داده شده است. طبق نتایج اثرات خطی غلظت گاز اکسیژن، زمان نگهداری و عبارت درجه دوم پلی‌ساکارید کیتوزان و زمان نگهداری معنی‌دار بودند (جدول ۳). بر اساس نتایج آنالیز واریانس مشخص شد که غلظت گاز اکسیژن بیشترین تأثیر را بر این مولفه رنگی داشت به‌طوری که در شرایط ثابتی از دما و زمان نگهداری با افزایش غلظت گاز اکسیژن در بسته‌بندی از ۳ تا ۲۱ درصد میزان مولفه b^* افزایش معنی‌دار نشان داد ($p<0.05$). گذشت زمان نگهداری نیز بصورت سهمی منجر به افزایش مولفه b^* شد بطوریکه بیشترین میزان این مولفه زردی در اواخر دوره نگهداری حاصل شد (شکل ۳). از طرفی گرچه اثر خطی دما تأثیر معنی‌داری بر میزان مولفه زردی معنی‌دار نبود ولی اثر متقابل آن با گاز اکسیژن و زمان معنی‌دار بود. بر اساس نتایج آنالیز واریانس و معنی‌داری ضرایب مدل کاسته برای مولفه b^* ، ترتیب اثرگذاری متغیرها به‌صورت: غلظت گاز اکسیژن < زمان نگهداری < پلی‌ساکارید کیتوزان < دمای نگهداری، بود.

نتایج همچنین نشان داد اثرات خطی متغیرهای غلظت گاز اکسیژن، دمای نگهداری و عبارت درجه دوم دما در سطح بسیار بالایی در مدل درجه دوم کاسته برازش شده بر داده‌های مولفه a^* معنی‌دار بود ($p<0.05$) ولی اثر پلی‌ساکارید کیتوزان و زمان نگهداری معنی‌دار نبود ($p>0.05$) (جدول ۳). بر اساس آنالیز واریانس این نتیجه حاصل شد که در شرایط ثابتی از نظر زمان انبارداری (۱۲ روز) و پلی‌ساکارید کیتوزان (۰/۵٪) با افزایش دمای نگهداری میزان مولفه قرمزی (a^*) نمونه‌های خیار بصورت سهمی افزایش یافت در حالیکه با افزایش غلظت گاز اکسیژن در بسته‌بندی میزان این مولفه بصورت خطی کاهش یافت (شکل ۳) و به عبارت دیگر رنگ سبز نمونه‌های خیار افزایش نشان داد. پلی‌ساکارید کیتوزان نیز اگرچه تأثیر معنی‌داری نداشت ولی با افزایش درصد پوشش‌دهی کیتوزان رنگ سبز نمونه‌های خیار بیشتر حفظ شد بدین معنی که میزان مولفه a^* (مولفه قرمزی) کاهش نشان داد. بر اساس نتایج آنالیز واریانس و معنی‌داری ضرایب مدل کاسته برای مولفه a^* ، ترتیب اثرگذاری متغیرها به‌صورت: غلظت گاز اکسیژن < دمای نگهداری < زمان نگهداری < پلی‌ساکارید کیتوزان، بود.



شکل ۳- نمودار رویه پاسخ تاثیر متغیرهای مستقل بر خواص رنگی شامل (الف) مولفه L^* (ب) مولفه a^* (ج) مولفه b^* در خیار گلخانه‌ای

جدول ۳- نتایج جدول آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای داده‌های پاسخ

منبع تغییرات	مجموع مربعات	اندیس p	سفتی بافت	مجموع مربعات	اندیس p	L*	مجموع مربعات	اندیس p	a*	مجموع مربعات	اندیس p	b*	مجموع مربعات	اندیس p
Model	۶۸۰/۴۳	<۰/۰۰۰۱	۲۰/۲۳	۶۹۳/۹۳	<۰/۰۰۰۱	۳/۵۶	۰/۰۲۲۶	۰/۵۲	۰/۰۳۹۶	۹/۱۰	۰/۰۳۹۶	۱۲/۵۰	۰/۱۶۵	<۰/۰۰۰۱
(کیتوزان) A	۸/۲۶	۰/۰۴۹	۰/۶۳	۱۱۲/۵	۰/۰۱۳۲	۳۴/۷۲	<۰/۰۰۰۱	۹/۳۷	<۰/۰۰۰۱	۲۳۸/۴۹	۰/۰۰۰۱	۵۳/۳۹	۰/۰۰۷۶	<۰/۰۰۰۱
(گاز) B	۱۸۷/۹۲	<۰/۰۰۰۱	۱/۶۹	۵/۵۶	۰/۰۲۲	۴۶/۵۸	۰/۰۰۰۳	۴/۴۸	۰/۰۰۰۶	۶۸/۰۸	۰/۰۰۰۶	۱/۳۹	۰/۶۳۵	<۰/۰۰۰۱
C (دما)	—	—	—	—	—	—	<۰/۰۰۰۱	—	—	—	—	—	—	—
(زمان) D	—	—	—	—	—	—	۰/۰۲۲	۰/۵۲	—	—	—	—	—	—
A ²	—	—	—	—	—	—	۰/۰۰۱۳	۱/۱۹	—	—	—	—	—	—
B ²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C ²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D ²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
AB	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
AC	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
AD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
BC	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
BD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lack of fit	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pure error	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

O₂ و CO₂ و کاهش گاز نیتروژن) تاثیر معنی‌داری بر مولفه‌های L*, a* و b* نمونه‌های آلبالو نداشت (p>۰/۰۵) در حالیکه اثر دمای نگهداری بر روی مولفه L* معنی‌دار بود به‌طوری که میزان تیره شدن در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای صفر درجه بود، یعنی با افزایش دما میزان مولفه L* کاهش یافت.

موحدنژاد و همکاران (۱۳۹۳) نیز تأثیر شرایط مختلف بسته‌بندی را بر خواص کیفی سیب گلدن دلشیز تحت شرایط مختلف انبارداری (در طی ۶ ماه و در دو وضعیت دمایی ۲ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد) بررسی کردند. نتایج خواص رنگی سیب نشان داد که شدت روشنایی L* در شرایط محیطی روندی نزولی داشته و بیشترین افت مربوط به نمونه بدون پوشش می‌باشد. این محققان همچنین اعلام کردند که در شرایط سردخانه‌ای به دلیل شرایط کنترلی دما و رطوبت در هیچ کدام از پوشش‌ها تغییرات محسوسی طی زمان مشاهده نشد. در مورد مولفه a* به دلیل رسیدگی نمونه‌های سیب در طی انبارداری در هر دو روش نگهداری، رنگ سیب از سبزی به قرمزی متمایل گردید که این شدت تغییر در نمونه بدون پوشش در شرایط محیطی بیشتر مشاهده گردید. در مورد شدت زردی (مولفه b*) در شرایط سردخانه‌ای بعد از یک افزایش از زمان برداشت تا ماه اول روند برای تمام پوشش‌ها ثابت ماند. در شرایط محیطی پوشش واکس تقریباً

رنگ از جمله عوامل مهم و تاثیرگذار در کیفیت ظاهری و بازارپسندی محصولات بسته‌بندی شده است که تا حد زیادی متاثر از نوع ماده بسته‌بندی می‌باشد. در تحقیقی مشابه Xing و همکاران (۲۰۱۱) اثر پوشش کیتوزان غنی شده با روغن دارچین را بر ویژگی‌های کیفی فلفل شیرین نگهداری شده در دمای ۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۵ روز بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد تغییرات رنگ برای تمام فلفل‌های سبز پوشش داده شده در مقایسه با نمونه‌های ذخیره نشده (اولیه) ناچیز بود و نمونه‌های تیمار شده در پایان دوره نگهداری بعد از ۳۵ روز هنوز سبز بودند. آنالیز تغییرات مقدار کلروفیل نیز بعنوان یک روش عملی برای اندازه‌گیری تاثیر تیمار پوشش‌دهی در فلفل شیرین محسوب می‌شود. مقدار کلروفیل اولیه برای نمونه‌های فلفل ۱۶۳ µg/g بود. این مقدار کلروفیل در طول زمان انبارداری کاهش یافت، بطوریکه در نمونه‌های تحت تیمار به مقدار ۱۲۹-۱۱۹ µg/g رسید که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند در حالیکه در نمونه شاهد به مقدار ۸۸/۷ µg/g در پایان دوره انبارداری رسید. در تحقیقی دیگر احمدی و همکاران (۱۳۸۷) تاثیر بسته‌بندی MAP را بر روی نگهداری دو رقم آلبالو بررسی کردند، نتایج خواص رنگی نشان داد که تغییر در ترکیب گاز اتمسفر موجود در فضای درون بسته‌بندی (افزایش غلظت گاز

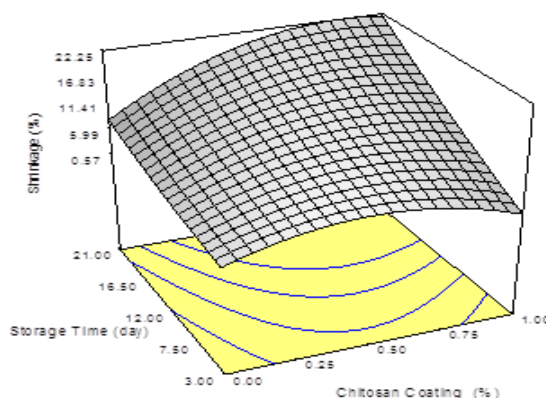
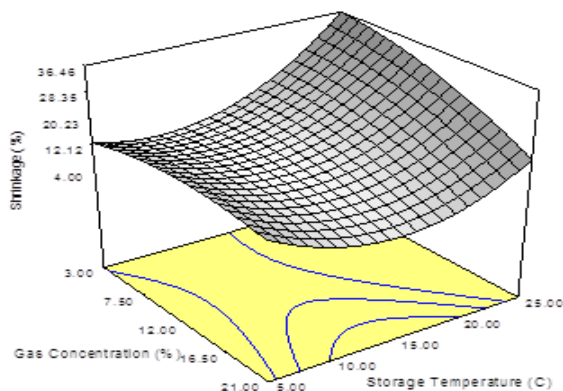
شیب این کاهش در روزهای انتهایی نگهداری بویژه در دماهای بالاتر بیشتر است.

اثر پوشش دهی بر پارامتر چروکیدگی نمونه‌های خیار نیز به این صورت بود که افزایش میزان پوشش دهی منجر به افزایش چروکیدگی نمونه‌ها شد بطوریکه کمترین میزان افت حجم مربوط به نمونه‌های بدون پوشش بود (شکل ۴). همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار چروکیدگی در شرایط بسته‌بندی MAP با ۳ درصد اکسیژن حاصل گردید و با افزایش غلظت گاز اکسیژن تا حدود اتسفر میزان چروکیدگی محصول با شیب بیشتری کاهش نشان داد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد مدل چندجمله‌ای درجه دوم برازش یافته برای چروکیدگی معنی‌دار می باشد و آزمون ضعیف برازش آن معنی‌دار نیست و همچنین مقادیر R^2 و R^2 اصلاح شده در این مدل برابر ۰/۹۹ و ۰/۹۸ بودند که قدرت بالای مدل را تایید می‌کند (جدول ۲). بر اساس مقادیر و معنی‌داری ضرایب مدل کاسته برای چروکیدگی، ترتیب اثرگذاری متغیرهای مستقل به این صورت بود: زمان نگهداری < دمای نگهداری < نوع بسته‌بندی (غلظت گاز اکسیژن) < پوشش کیتوزان.

بعد از ماه دوم تغییرات زیادی نداشت. بیشترین تغییرات نیز مربوط به نمونه بدون پوشش بود که از زمان برداشت تا ماه سوم روندی صعودی داشته سپس کاهش یافته شده است

تغییرات چروکیدگی (کاهش حجم) خیار

در شکل (۴-الف) تاثیر زمان نگهداری و پوشش کیتوزان (در حالی که غلظت گاز اکسیژن و دمای انبارداری ثابت و به ترتیب برابر ۱۲ درصد و ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد) و در شکل (۴-ب) تاثیر دمای نگهداری و غلظت گاز (در حالی که زمان انبارداری و غلظت پلی‌ساکارید کیتوزان ثابت و به ترتیب برابر ۱۲ روز و ۰/۵ درصد) بر تغییرات چروکیدگی نمونه‌های خیار بسته‌بندی شده آورده شده است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات خطی پلی‌ساکارید کیتوزان، غلظت گاز اکسیژن، زمان نگهداری و دمای نگهداری در سطح بالایی معنی‌دار بود (جدول ۳). همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان نگهداری از ۳ تا ۲۱ روز و افزایش دمای نگهداری از ۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان چروکیدگی و یا به عبارت دیگر میزان افت حجم در نمونه‌های خیار نگهداری شده افزایش یافته است و



شکل ۴- نمودار رویه پاسخ (الف) تاثیر زمان نگهداری و پلی‌ساکارید کیتوزان ($T=15^{\circ}\text{C}$, $\text{GC}=12\%$) و (ب) تاثیر دمای نگهداری و غلظت گاز اکسیژن ($t=12$ days, $\text{Chitosan}=0.5\%$) بر درصد چروکیدگی خیار گلخانه‌ای

کاهش وزن بین دو دمای نگهداری ۴ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد که فروشندگان خرماي برخی در مرحله خلال با کاهش دمای نگهداری میوه‌ها به طرق مختلف می‌توانند چروکیدگی، تلف شدن و کاهش قیمت میوه را ۷-۱۰ روز عقب بیاورند. در نهایت آن‌ها با مقایسه و بررسی صفات کیفی به این نتیجه رسیدند که با استفاده از پوشش بسته‌بندی مناسب و نگهداری در دمای پایین ترقق و از دست‌دهی آب به حداقل رسیده و مانع از چروکیدگی سریع میوه‌ها می‌شود.

مرتضوی و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیق خود با بررسی تاثیر بسته‌بندی تحت خلاء و شرایط اتمسفر تغییر یافته بر ماندگاری و کیفیت میوه خرماي رقم برخی، گزارش دادند که در میوه‌های بسته‌بندی شده تحت MAP و خلاء، مقدار کاهش وزن و چروکیدگی نسبت به میوه‌های شاهد (بدون بسته‌بندی) بسیار کمتر است، بطوریکه در این تیمارها وجود پوشش پلی‌اتیلنی بر روی میوه‌ها شدت ترقق، کاهش وزن و چروکیدگی میوه‌ها را به حداقل رسانده بود. همچنین وجود اختلاف قابل توجه از نظر درصد چروکیدگی و

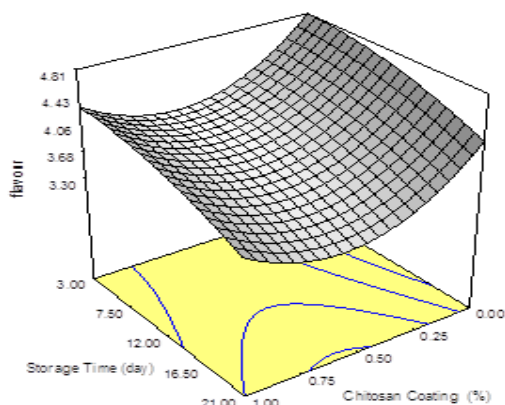
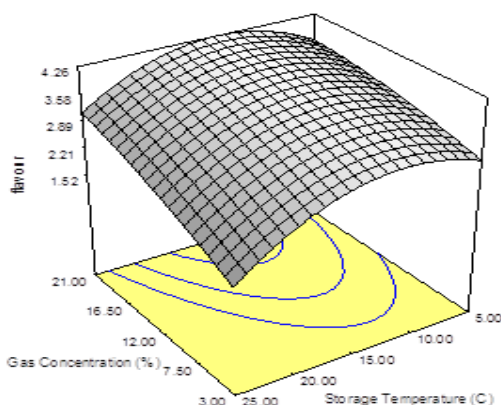
طعم و مزه خیار بسته‌بندی شده

نتایج نشان داد که اثرات خطی هر چهار متغیر غلظت کیتوزان، غلظت گاز اکسیژن، زمان نگهداری و دمای نگهداری در مدل کاسته برای پارامتر حسی طعم و مزه معنی‌دار بودند (جدول ۳). همان‌طور که از شکل‌های رویه پاسخ مشخص است در شرایط ثابت از نظر دمای نگهداری و گاز اکسیژن، با گذشت زمان نگهداری از ۳ تا ۱۲ روز، از امتیاز طعم و مزه محصول نهایی توسط ارزیابان کاهش چندانی نیافت ولی پس از آن با افزایش زمان انبارداری امتیاز حسی طعم و مزه نمونه‌های خیار کاهش یافت تا اینکه در روز ۲۱ام نگهداری به کمترین مقدار خود رسید (شکل ۴). در همین شرایط افزایش غلظت پلی‌ساکارید کیتوزان بعنوان پوشش نمونه‌های خیار، منجر به کاهش معنی‌داری در امتیاز طعم و مزه محصول شد بدین معنی که بالاترین امتیاز طعم و مزه به نمونه‌های فاقد پوشش کیتوزان داده شد. از طرفی بدلیل معنی‌دار بودن اثر کوادراتیک دما و همچنین اثر برهمکنش آن با هر سه متغیر دیگر، کاهش امتیاز این صفت حسی با دما بصورت سهمی بود.

نتایج آنالیز واریانس و شکل‌های رویه پاسخ نشان داد که در شرایط زمان و غلظت ثابتی از پلی‌ساکارید کیتوزان، با افزایش دمای انبارداری از ۵ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد، امتیازدهی محصول از نظر طعم و مزه نمونه‌های خیار نگهداری شده تحت شرایط مختلف نگهداری توسط داوران آموزش دیده روند افزایشی نشان داد، بدین ترتیب که بیشترین امتیاز طعم محصول به نمونه‌های نگهداری شده در این شرایط تعلق گرفت ولی با ادامه افزایش دمای بسته‌بندی امتیاز حسی محصول کاهش معنی‌داری نشان داد تا اینکه در دمای

۲۵ درجه سانتی‌گراد کمترین امتیاز طعم به محصول داده شد. از طرفی مشخص شد که افزایش غلظت گاز اکسیژن در بسته‌بندی تاثیر منفی بر امتیاز طعم از نظر مصرف کنندگان نداشت و امتیاز طعم نمونه‌ها بصورت خطی افزایش نشان داد (شکل ۵). بر اساس نتایج آنالیز واریانس و معنی‌داری ضرایب مدل کاسته برای صفت طعم و مزه، ترتیب اثرگذاری متغیرها به‌صورت: غلظت گاز اکسیژن < دمای نگهداری < زمان نگهداری < پلی‌ساکارید کیتوزان، بود.

Patricia و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی اثر فیلم خوراکی با پایه گلوتن گندم و انواع پوشش‌دهی را بر روی خواص حسی توت‌فرنگی در طول نگهداری در دمای یخچال بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که میوه‌های پوشش داده شده با فیلم خوراکی گلوتن و پوشش ترکیبی (مخلوط)، ویژگی‌های ظاهری و قابل مشاهده توت‌فرنگی را در طول انبارداری بهتر حفظ نموده و مصرف‌کنندگان طعم و مزه میوه‌های پوشش داده شده با گلوتن را تایید کردند. در تحقیقی دیگر Gorny (۲۰۰۱) گزارش داد که با استفاده از حداقل فراوری و بسته‌بندی MAP می‌توان فلفل سبز را در دماهای پایین بدون آسیب سرمایی نگهداری کرد. نتایج همچنین نشان داد با کاهش O_2 در بسته‌بندی در هر دو دمای صفر و $5^{\circ}C$ افت طعم در نمونه‌های فلفل از نظر پانلیست‌ها ایجاد نشد که این نتیجه موافق با کار González و همکاران (۲۰۰۴) بود که گزارش دادند مقدار ناچیزی اتانول و استالیدید در طول نگهداری برش‌های فلفل سبز در دمای $8^{\circ}C$ تولید شد که تاثیر منفی بر خواص حسی از جمله آروما و رایحه محصول نهایی نداشت.



شکل ۵- نمودار رویه پاسخ (الف) تاثیر زمان نگهداری و پلی‌ساکارید کیتوزان ($GC=12\%$, $T=15^{\circ}C$) و (ب) تاثیر دمای نگهداری و غلظت گاز اکسیژن ($Chitosan=0.5\%$, $t=12$ days) بر طعم و مزه خیار گلخانه‌ای

آموزش دیده، به‌صورت شکل‌های سه‌بعدی رویه پاسخ در شکل ۵ نشان داده شده است. طبق نتایج، در مدل کاسته برای پارامتر تازگی محصول اثرات خطی پلی‌ساکارید کیتوزان، غلظت گاز اکسیژن، زمان

تردی و تازگی محصول بسته‌بندی شده

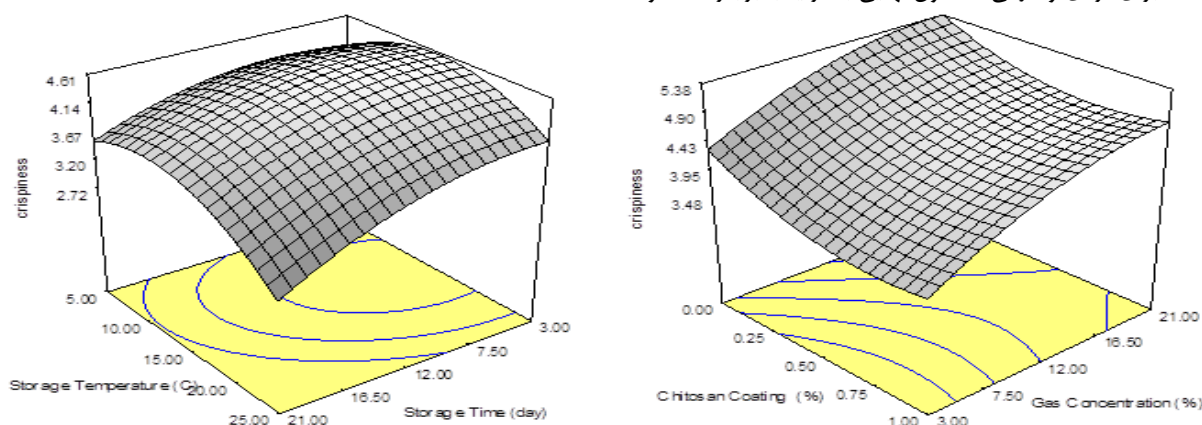
تاثیر متغیرهای مستقل بر امتیازدهی پارامتر تردی و تازگی نمونه‌های خیار بسته‌بندی شده در شرایط مختلف توسط داوران

۰/۸۸ بودند و آزمون ضعف برازش آن معنی‌دار نبود ($p > 0.05$) که قدرت بالای مدل را تایید می‌کند (جدول ۳). بر اساس نتایج آنالیز واریانس و معنی‌داری ضرایب مدل کاسته برای صفت تردی و تازگی محصول، ترتیب اثرگذاری متغیرها به صورت: غلظت گاز اکسیژن < زمان نگهداری < پلی‌ساکارید کیتوزان < دمای نگهداری، بود.

فعالیت‌های متابولیک در بافت زنده میوه شامل فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با پیری و سوخت و ساز است که هرچه سرعت بیشتری داشته باشند پیری و زوال میوه سریع‌تر اتفاق می‌افتد (Senesi et al., 2000). رمز موفقیت روش بسته‌بندی تحت شرایط اتمسفر تغییر یافته دانستن ترکیب گازی صحیح درون بسته بندی و استفاده از مواد پوششی مناسب است. انتخاب صحیح شرایط گازی سبب افزایش عمر پس از برداشت محصول می‌گردد و شرایط نامناسب مانند غلظت اکسیژن پایین یا دی‌اکسیدکربن خیلی زیاد سبب بروز تنفس بی‌هوازی در محصول و کاهش ماندگاری آن خواهد گردید (Manolopoulou et al., 2010). معمولاً اتمسفر اصلاح شده بصورت ترکیبی از مقادیر پایین اکسیژن و مقادیر متوسط به بالای دی‌اکسیدکربن در دماهای پایین برای گسترش عمر ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات تازه برش خورده استفاده می‌شود و شرایط بهینه انبارداری به ویژگی‌های متابولیکی محصول مورد نظر بستگی دارد (Hertog et al., 1998; Skog & Smith, 1998). در تحقیقی (2003) تاثیر بسته بندی با اتمسفر اصلاح شده را بر سه رقم گیلان مورد بررسی قرار دادند. این آزمایش نشان داد بسته بندی در اتمسفر اصلاح شده تا ۵۰٪ پوسیدگی را کاهش و سفتی بافت را افزایش داد، خشکیدگی میوه نیز کاهش یافت و در نهایت باعث حفظ کیفیت و تازگی سه رقم گیلان شد

نگهداری، دمای نگهداری و اثر کوادراتیک دمای نگهداری معنی‌دار بودند. همچنین عبارت‌های مربوط به برهمکنش پلی‌ساکارید کیتوزان با زمان و دمای نگهداری، دمای نگهداری و زمان نگهداری بودند ($p < 0.01$). در حالیکه اثر کوادراتیک پلی‌ساکارید کیتوزان، غلظت گاز اکسیژن و زمان نگهداری و اثرات برهمکنش سایر متغیرها به دلیل غیر معنی‌دار بودن در مرحله Stepwise از مدل حذف شدند و مدل کاسته ساده‌تری حاصل گردید (جدول ۳).

طبق نتایج در شرایط ثابت از نظر غلظت گاز اکسیژن (بسته‌بندی MAP با ۱۲٪ اکسیژن) و پوشش کیتوزان (۰/۵٪)، افزایش دما تا حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد تاثیر قابل توجهی بر امتیاز تردی و تازگی محصول توسط ارزیابان نداشت در حالیکه با ادامه افزایش دمای نگهداری پذیرش محصول از نظر این پارامتر حسی کاهش یافت. گذشت زمان انبارداری نیز تاثیری مشابه دمای نگهداری داشت بدین معنی که گذشت زمان تا حدود ۱۲ روز تاثیر منفی قابل محسوسی بر تازگی نمونه‌های خیار بسته‌بندی شده نداشت ولی پس از آن با افزایش زمان انبارداری امتیاز حسی تردی و تازگی محصول از نظر مصرف‌کنندگان کاهش معنی‌داری نشان داد تا اینکه در اواخر دوره نگهداری محصول امتیاز تازگی نمونه‌ها به کمترین مقدار رسید (شکل ۵). نتایج همچنین نشان داد که در شرایط ثابتی از نظر دما و زمان نگهداری، افزایش درصد پوشش‌دهی با پلی‌ساکارید کیتوزان تاثیر منفی بر امتیاز تردی و تازگی محصول داشت بدین ترتیب بیشترین امتیاز حسی تردی و تازگی خیار به نمونه‌های فاقد پوشش کیتوزان تعلق گرفت. غلظت گاز اکسیژن نیز در بسته‌بندی تا حدود ۱۲ درصد (بسته‌بندی MAP) تاثیر مثبتی بر امتیاز تردی محصول داشت ولی با ادامه افزایش گاز اکسیژن در بسته‌بندی، این پارامتر حسی تغییر قابل توجهی پیدا نکرد (شکل ۵). مقادیر R^2 و R^2 اصلاح شده در مدل کاسته برای تردی و تازگی محصول نهایی به ترتیب برابر ۰/۹۲ و



شکل ۶- نمودار رویه پاسخ (الف) تاثیر غلظت گاز اکسیژن و پلی‌ساکارید کیتوزان ($T=15^{\circ}\text{C}$, $t=12$ days) و (ب) تاثیر دمای نگهداری و زمان نگهداری (Chitosan=0.5%, GC=12%) بر تردی و تازگی خیار گلخانه‌ای

ادامه جدول ۳- نتایج جدول آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای داده‌های پاسخ

منبع تغییرات		چروکیدگی		طعم و مزه		تردی و تازگی	
مجموع مربعات	اندیس p	مجموع مربعات	اندیس p	مجموع مربعات	اندیس p	مجموع مربعات	اندیس p
Model	۴۹۹۳/۴۷	<۰/۰۰۰۱	۱۹/۳۳	<۰/۰۰۰۱	۸۰۹/۳۱	<۰/۰۰۰۱	
(کیتوزان) A	۱۹۷/۸۷	<۰/۰۰۰۱	۱/۱۰	<۰/۰۰۰۹	۲/۷۲	۰/۴۲۴	
B(گاز)	۳۹۰/۰۴	<۰/۰۰۰۱	۶/۷۸	<۰/۰۰۰۱	۲۸۰/۰۶	<۰/۰۰۰۱	
C(دما)	۸۹۰/۱۴	<۰/۰۰۰۱	۱/۷۱	۰/۰۰۰۱	۶/۷۲	۰/۲۱۴	
D(زمان)	۶۷۹/۲۱	<۰/۰۰۰۱	۳/۲۵	<۰/۰۰۰۱	۶۸/۰۸	۰/۰۰۰۶	
A ²	۶۵/۶۵	۰/۰۰۰۲	۰/۸۸	۰/۰۰۲۳	-	-	
B ²	۳۱/۳۶	۰/۰۰۳۷	-	-	-	-	
C ²	-	-	-	-	-	-	
D ²	۳۸۵/۰۲	<۰/۰۰۰۱	۳/۴	<۰/۰۰۰۱	۶۶/۰۱	۰/۰۰۰۷	
AB	۴۳۸/۶۹	<۰/۰۰۰۱	-	-	-	-	
AC	۲۰۳/۲۱	<۰/۰۰۰۱	-	-	-	-	
AD	۴۵۳/۰۵	<۰/۰۰۰۱	۰/۲۹	۰/۰۵۹	۳۷/۵۶	۰/۰۱۷۳	
BC	۲۶۳/۹۰	<۰/۰۰۰۱	۰/۲۴	۰/۰۸۴	۹۵/۰۶	۰/۰۰۰۱	
BD	۴۹۳/۹۵	<۰/۰۰۰۱	۰/۵۸	۰/۰۱۰۲	۲۱۷/۵۶	<۰/۰۰۰۱	
CD	۵۷۹/۶۱	<۰/۰۰۰۱	۱/۶۶	۰/۰۰۰۱	۴۵/۵۶	۰/۰۰۳۳	
Lack of fit	۳۸/۹۴	۰/۰۷۰۶	۱/۲۰	۰/۱۴۱	۶۷/۰۶	۰/۳۴۳	
Pure error	۴/۴۸	-	۰/۱۶	-	۱۴/۸۳	-	

بهینه‌سازی

شرایط عملیاتی بهینه برای بسته‌بندی خیار با استفاده از متغیرهای مستقل غلظت پلی‌ساکارید کیتوزان بعنوان پوشش (%)، غلظت گاز اکسیژن در بسته‌بندی (%، دمای نگهداری (درجه سانتی‌گراد) و زمان انبارداری (روز) بر روی پارامترهای کاهش وزن (%، چروکیدگی (%، سفتی بافت (نیوتن)، مولفه‌های رنگ (L^* ، a^* و b^*) و خواص حسی شامل (تردی و تازگی محصول و طعم و مزه) با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی نرم‌افزار Design Expert جستجو شد. برای این منظور سفتی بافت، مولفه L^* و خواص حسی

در حداکثر و میزان کاهش وزن محصول، چروکیدگی و مولفه a^* در حداقل مقدار خود در نظر گرفته شدند. مقادیر متغیرهای مستقل در شرایط بهینه بسته‌بندی خیار شامل غلظت پوشش کیتوزان، میزان گاز اکسیژن، دما و زمان انبارداری در جدول ۴ فهرست شده است. در حالت بهینه بیشترین مقدار برای سفتی بافت، مولفه L^* ، امتیاز طعم و تازگی محصول به ترتیب ۱۰/۴ نیوتن، ۴۸/۹، ۴/۳۵ و ۴/۵ و کمترین مقدار برای کاهش وزن، چروکیدگی و مولفه a^* به ترتیب ۲/۷۵، ۶/۲۵ و ۳۷/۲۸- بدست آمد. مقدار مولفه b^* نیز در رنج قرار داشت که برابر ۳۶/۳۹ بود.

جدول ۴- مقادیر بهینه پیشگویی شده متغیرهای مستقل فرآیند بسته‌بندی خیار گلخانه‌ای

متغیر مستقل	حداقل	حداکثر	مقدار بهینه
پوشش کیتوزان (%)	۰	۱	۰/۵
غلظت گاز اکسیژن (%)	۳	۲۱	۸/۵
زمان نگهداری (روز)	۳	۲۱	۱۴
دمای نگهداری (°C)	۵	۲۵	۹

نتیجه‌گیری

چروکیدگی و از دست دادن آب و متعاقب آن کاهش ویتامین‌ها و سایر مواد مغذی در خیار از مواردی هستند که در بازه زمانی برداشت

محصول تا عرضه به مصرف‌کننده موجب کاهش کیفیت ظاهری و ارزش غذایی آن می‌گردند. نتایج این تحقیق نشان داد با استفاده از بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده و نگهداری در دمای پایین می‌توان

اکسیژن) می‌توان زمان ماندگاری این محصول را با توجه به صفات سفتی بافت، حداقل افت وزن و چروکیدگی، رنگ سبز ظاهری و طعم و مزه قابل قبول و همچنین عدم فساد میکروبی تا ۱۵ روز افزایش داد و نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند برای دست‌اندرکاران صادرات این محصول مورد استفاده قرار گیرد.

علاوه بر کاهش سرعت تنفس خیار تازه از نرم شدن بافت و افت رطوبت جلوگیری نمود. به‌علاوه پوشش‌دهی خیار با کیتوزان نیز به شکل معنی‌داری از افت وزن، مواد مغذی و توسعه میکروبی جلوگیری می‌نماید. نتایج این تحقیق نشان داد که با بکار بردن ۰/۵ درصد پوشش کیتوزان و نگهداری خیار گلخانه‌ای در دمای زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد تحت بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده (۷-۱۰ درصد

منابع

- Ahmadi, M., Davarynejad, G.H., Azizi, M., Sedaghat, N., and Tehranifar, A. 2008. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality Properties and Storability Extending in Two Sour Cherry Cultivars. *Journal of Horticultural Science (Agricultural Science and Technology)*, 22(2): 156-166.
- Mortazavi, M. H., Arzani, K., Barzgar, M. 2005. The effect of modified atmosphere and vacuum packaging on shelf life and quality of the palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.). *Iranian Journal of Agricultural Science*, 29 (3): 125-137.
- Movahednejad, M. H., Khoshtaghaza, M. H., ZohouriyanMehri, M. J. Minaee, S. 2014. Effect of edible and nano biocompatibility coating on quality property of golden delicious apple during different storage conditions. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 45 (11): 13-24.
- Artes, F., Marin, J.G., Mart'inez, J.A. 1998. Permeability rates of films for modified atmosphere packaging of respiring foods. In: Nicola'i, B.M., Baerdemaeker, J.D. (Eds.), *Food Quality Modelling. European Commission*, pp. 153-158.
- Barth, M.M., Karbel, E.L., Perry, A.K. and Schmidt, S.J. 1993. Modified atmosphere packaging affects ascorbic acid, enzyme activity and market quality of broccoli. *Journal of Food Science*. 58, 140-143.
- Caleb, O.J., Opara, U.L., Mahajan, P.V., Manley, M., Mokwena, L., and Tredoux, A.G.J. 2013. Effect of modified atmosphere packaging and storage temperature on volatile composition and postharvest life of pomegranate arils (cv. 'Acco' and 'Herskowitz'). *Postharvest Biology and Technology*, 79: 54-61.
- Dutta P, Tripathi S, Mehrotra G, Dutta J. 2009. Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. *Food Chemistry*, 114(4):1173-82.
- González-Aguilar, GA., Ayala-Zavala, JF. Ruiz-Cruz, S., Acedo-Félix, E., Díaz-Cinco, ME. 2004. Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh-cut bell peppers. *LWT - Food Science and Technology*, 37: 817-826.
- Gorny, J. R., Gil, M. I., & Kader, A. A. 1998. Postharvest physiology and quality maintenance of fresh-cut pears. *Acta Horticulturae*, 464, 231-236.
- Gorny, J. R., Hess-Pierce, B., & Kader, A. A. 1999. Effects of fruits ripeness and storage temperature on the deterioration rate of fresh-cut peaches and nectarine slices. *Postharvest Biology and Technology*, 33, 110-113.
- Gorny, R. J. 2001. A summary of C.A and M.A requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables. In: *Optimal controlled atmospheres for Horticultural perishables*, (University of Davis, ed.) *Postharvest Horticultural series*, No 22^a, pp. 95-103.
- Guerra M, Magdalenro R, Casquero PA. 2011. Effect of site and storage conditions on quality of industrial fresh pepper. *Scientia Horticulturae* 130: 141-145.
- Hertog, M.L.A.T., Peppelenbos, H.W., Evelo, R.G., Tijskens, L.M.M. 1998. A dynamic and generic model of gas exchange of respiring produce: the effects of oxygen, carbon dioxide and temperature. *Postharvest Biology and Technology*. 14, 335-349.
- Huang, S.; Li, R.; Zhang, Z.; Li, L.; GU, X.; Fan, W.; Lucas, W.; Wang, X. 2009. The genome of the cucumber, *Cucumis sativus* L. *Nature genetics* 41 (12): 1275-1281.
- Jianglian, D., Shaoying, Z. 2013. Application of Chitosan Based Coating in Fruit and Vegetable Preservation: A Review. *Food Processing & Technology*, 4 (5) .
- Manning, K. 1993. Soft fruits. In: Seymour, G.B., Taylor, J.E., Tucker, G.A. (Eds.), *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman & Hall, London, UK, pp. 347-373.
- Manolopoulou H, Xanthopoulos G, Douros N, Lambrinos G. 2010. Modified atmosphere packaging storage of green bell peppers: *Quality criteria. Biosystems Engineering* 106: 535-543.
- Martinez, D. Guillen, S. Castillo, S. Valero, D. and Serrano, M. 2003. Modified atmosphere packaging maintains quality of table grapes. *Journal of Food Science*, 68: 1838-1843.
- Martinez, J.A., and Artes, F. 1999. Effect of packaging treatments and vacuum-cooling on quality of winter harvested Iceberg lettuce. *Food Research International*. 32:621-627.
- Minzhang, Xiao, G., Luo, G. X., Peng, J. and Salokhe, V. M. 2004. effect of coating treatments on the extension of the shelf-life of minimally processed cucumber. *International Agrophysic*, 97-102.
- Nakhasi, S., Schlimme, D. and Solomos, T. 1991. Storage potential of tomato harvested at the breaker stage using

- modified atmosphere packaging. *Journal of Food Science*. 56(1),172-176.
- Nyanjage, M.O., Nyalala S.P.O., Illa A.O., Mugo B.W., Limbe A.E., and Vulimu E.M. 2005. Extending postharvest life of sweet pepper (*Capsicum annum* L. 'California Wonder') with modified atmosphere packaging and storage temperature. *Agriculture Tropica ET Subtropica*, 38(2): 28–34.
- Pangavhane, D.R., Sawhney, R.L. & Saravardha, P.N. 1999. Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson seedless grapes. *Journal of Food Engineering*, 39, 2, 211-216.
- Patrícia S. Tanada-Palmu, Carlos R.F. Grosso. 2005. Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology* 36, 199–208.
- Ruiz, J. M. and L. Romero. 1998. Commercial yield and quality of fruits of cucumber plants cultivated under greenhouse conditions: Response to increases in nitrogen fertilization. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 46: 4171-417.
- Rungsinee, S., and Patratip, R. 2008. Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. *Postharvest Biology and Technology*, 47: 407-415.
- Senesi, E., Prinzivalli, C., Sala, M., & Gennari, M. 2000. Physicochemical and microbiological changes in fresh-cut green bell peppers as affected by packaging and storage. *Ital. Journal of Food Science*, 12(1), 55-64.
- Skog, S and Smith, P. 2003. On-farm Modified atmosphere packaging of sweet cherries. Acta improve fruit quality of cherries during subsequent storage. *Postharvest Biology and Technology*, 25:117-121.
- Suparlan, Itoh, K., 2003. Combined effects of Hot water treatment (HWT) and modified atmosphere packaging (MAP) on quality of tomatoes. *Packaging Technology and Science*. 16 (4):171–178.
- Xing Y, Li X, Xu Q, Yun J, Lu Y, Tang Y. 2011. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Food Chemistry* 124, 1443–1450.

Effect of packaging type and chitosan edible coating on the physico-chemical and sensory characteristics of Royal Greenhouse cucumber during storage conditions

A. Shahdadi sardo¹, N. Sedaght^{*2}, M. Taghizadeh³, E. Milani⁴

Received: 2014.12.01

Accepted: 2015.06.20

Introduction: In Iran, the main problem in greenhouse cucumber production and post-harvest shelf life is short due to the application of traditional packaging and storage methods. This research was carried out in order to investigate on the effects of packaging type and chitosan edible coating on the physicochemical and sensory characteristics of Royal Greenhouse cucumber during storage conditions, in order to prevent of Royal greenhouse cucumber postharvest losses.

Materials and methods: Royal greenhouse cucumbers placed inside the three-layer plastic bags of PE/PA/PE and the effect of different chitosan coating (0, 0.5 & 1 %), concentration of oxygen (3, 12 & 21%), storage temperatures (5, 15 & 25 °C) and storage time (3, 12 & 21 days) on cucumber quality and shelf life was studied. The quality of cucumber samples was evaluated by weight loss, firmness retention, surface color development (L^* , a^* , b^*), shrinkage and sensory evaluation (taste and freshness).

Results and discussion: The obtained results showed that firmness and organoleptic properties decreased with increasing temperature and time storage, while weight loss and shrinkage was increased, that Leading to loss of cucumber samples quality during storage. Increasing of chitosan coating to 0.5% also showed a beneficial effect on physicochemical and sensory characteristics of the samples during the storage time compared to the control fruit, but by increasing it to 1%, decreased the quality of the final product. The results showed that using modified atmosphere packaging and storage at low temperatures can be in addition to the slow breathing fresh cucumbers from softening and prevent moisture loss the maintenance of cucumber. MAP packaging leads to keeping cucumber green and quality properties compared to the control samples. The optimum condition was obtained at chitosan coating 0.5 %, O_2 concentration 8.5 %, storage temperatures 9°C and storage time of 14 days. At this optimum point maximum of firmness, L^* , taste, freshness and minimum of shrinkage, weight loss and a^* were found to be 10.4 (N), 48.9, 4.35, 4.5, 6.25 %, 2.75 % and -37.28 respectively.

Keywords: Greenhouse cucumber, MAP, Chitosan, Shrinkage, Sensory properties.

1, 2 and 3. Former MSc Student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Food Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

4. Assistant Professor, Food Additives, ACECR, Mashhad, Khorasan 91775-1376, Iran.

(*Corresponding author: E-mail: sedaghat@um.ac.ir)

آنالیز انتقال حرارت و جرم طی فرآیند سرخ کردن خلال سیب زمینی

حسن صباغی^۱ - امان محمد ضیائی فر^{۲*} - مهدی کاشانی نژاد^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۵

چکیده

در این پژوهش، انتقال حرارت و جرم در فرآیند سرخ کردن به طور جامعی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، عملیات سرخ کردن خلال سیب زمینی در یک سرخ کن مجهز به سیستم ترموکنترلر با ترموکوپل نوع K، در سه دمای مختلف روغن ۱۴۵، ۱۶۰ و ۱۷۵ °C به مدت ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه انجام گرفت. تغییرات دمای مرکزی محصول طی سرخ کردن با استفاده از ترموکوپل نوع T متصل به دستگاه ثبت داده در کامپیوتر ثبت گردید. محتوی رطوبت و روغن نمونه ها نیز در هر زمان و دمای فرآیند اندازه گیری شد. پارامترهای انتقال حرارت و جرم با استفاده از نمودارهای نسبت های دمای و غلظت بدون بُعد و معادلات تجربی با هدف توسعه روشی واقع بینانه در تخمین، برآورد شد. نتایج نشان داد، عدد بایوت انتقال جرم (Bi_m)، ضریب انتقال جرم و نفوذ موثر رطوبت با افزایش دمای روغن به طور معنی داری زیاد شد. در مدل های رگرسیونی، با افزایش دمای بستر فرآیند محتوی تعادلی روغن در زمان بی نهایت کاهش یافت و می توان گفت با افزایش دما، جذب روغن کاهش می یابد از طرفی ارتباط خطی بین ثابت های سنتیک کاهش آب و جذب روغن مشاهده شد که تأیید کننده تأثیر پیش تیمار خشک کردن جزئی در کاهش ثابت سنتیک جذب روغن نیز است. این تأثیر می تواند به دلیل فشردگی ماتریس ماده غذایی و در نتیجه کاهش نفوذ روغن بعد از خروج از سرخ کن طی سرد شدن باشد. در نهایت، با افزایش دمای فرآیند نیز عدد بایوت انتقال حرارت (Bi_h)، ضریب انتقال حرارت جابجایی و هدایت حرارتی محصول به طور معنی داری کاهش یافت.

واژه های کلیدی: سرخ کردن، خلال سیب زمینی، عدد بایوت، انتقال جرم، انتقال حرارت.

مقدمه

تحلیل این فرآیندها می باشند. به دلیل پیچیدگی استفاده این مدل ها، فرضیات مختلفی در جهت ساده سازی آن ها ارائه شده است. یک فرض معمول در این رابطه این است که فرآوری مواد غذایی تحت شرایط هم دما^۸ اتفاق می افتد که این امر مشکل انتقال دو جانبه رطوبت و گرما را مرتفع می سازد (Zheleva and Kamburova, 2009). همچنین قانون انطباق^۹ یا قانون مجموع^{۱۰} به ما اجازه می دهد می دهد تا با دانستن هندسه یک جسم از مجموع یا اختلاف برای بیان یک پدیده استفاده کنیم (Taler, 2014). بر این اساس شکل هندسی خلال سیب زمینی به صورت یک مکعب مستطیل می تواند یک صفحه محدود^{۱۱} و حاصل برخورد دو صفحه نامحدود^{۱۲} فرض شود (Yildiz et al., 2007).

به طور کلی، سرخ کردن یک فرآیند دو مرحله ای است: سرخ کردن جزئی^{۱۳} و سرخ کردن پایانی. طی سرخ کردن جزئی بخشی از

مواد غذایی اغلب دارای ساختار پیچیده ای هستند که می تواند به عنوان محیطی متخلخل با خاصیت موئینگی جاذب رطوبت^۴ در نظر گرفته شوند. مهاجرت رطوبت در مواد غذایی می تواند به مکانیسم های مختلفی از قبیل انتشار مولکولی^۵، موئینگی^۶، انتقال حجمی، تجمع^۷ و انتشار سطحی نسبت داده شود (Saravacos and Maroulis, 2001).

تبادل همزمان رطوبت و حرارت در بسیاری از عملیات فرآوری مواد غذایی از جمله خشک کردن، دوددهی، پختن و سرخ کردن مشاهده می شود و مدل های ریاضی ابزارهایی مفید در طراحی و

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

(*) - نویسنده مسئول: Email: ziaiiifar@gmail.com

DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.52271

4 Hygroscopic capillary

5 Molecular diffusion

6 Capillarity

7 Effusion

8 Isothermal

9 Superposition rule

10 Summation rule

11 Finite plate

12 Infinite plate

13 Par-frying

آب تبخیر شده و تشکیل پوسته^۱ و هسته^۲ شروع می‌گردد. بعد از این مرحله محصول منجمد و بسته‌بندی شده و توزیع می‌گردد. سرخ کردن پایانی در داخل رستوران‌ها یا خانه به‌طور مختصر قبل از مصرف اتفاق می‌افتد و محصول نهایی با بافت و طعم مطلوب را ایجاد می‌نماید (Andres *et al.*, 2012). طی سرخ کردن حرارت از روغن با انتقال حرارت جابجایی به سطح ماده غذایی منتقل شده و سپس بوسیله انتقال حرارت هدایتی به داخل ماده غذایی وارد می‌شود (Costa *et al.*, 1999). جذب روغن یک پدیده سطحی است و به مقدار آب جابجا شده و رطوبت از دست داده بستگی دارد (Ufheil and Escher, 1996).

پیچیدگی انتقال حرارت و جرم در فرآیند سرخ کردن بیشتر از سایر فرایندها خواهد بود، زیرا علاوه بر این پدیده‌ها، تغییرات شیمیایی و فیزیکی در بستر حرارتی و محصول نیز رخ می‌دهد که آنالیز این فرآیند را دشوارتر می‌نماید (Parkash and Gertz, 2004). سرخ کردن عملیات آب‌زدایی است که طی آن انتقال حرارت و جرم به‌طور همزمان اتفاق می‌افتد و در نتیجه دو جریان مخالف آب (به سمت خارج از محصول) و روغن (به سمت داخل محصول) اتفاق می‌افتد (Andres *et al.*, 2012). انتظار می‌رود که جوشیدن شدید آب و تولید بخار از نفوذ روغن به داخل ساختار و منافذ غذا جلوگیری کند، زیرا این دو جریان انتقال جرم در جهت مخالف هم هستند (Blumenthal and Stier, 1991). همان‌طور که آب خارج شده و کاسته می‌شود احتمال ورود و نفوذ روغن به منافذ افزایش می‌یابد. اگر نفوذ روغن در طی سرخ شدن محدود در نظر گرفته شود انتقال بخار آب ممکن است مستقل از انتقال روغن فرض شود. این فرض برای تجزیه و تحلیل انتقال حرارت در طی سرخ کردن در نظر گرفته می‌شود (Farid and Chen, 1998). در ابتدای فرآیند تنها آب آزاد محصول بخار می‌شود اما مرز تبخیر آب به‌عنوان سطح خشک کردن به تدریج به سمت داخل محصول حرکت می‌کند. در واقع، در هنگام سرخ کردن ماده‌ای نظیر خلال‌های سیب‌زمینی، آب از بخش مرکزی ماده به‌صورت شعاعی به طرف خارج حرکت کرده و جانشین آب از دست رفته در سطوح خارجی می‌شود (Pedreschi *et al.*, 2005). دما در این مرز از ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد تجاوز نمی‌کند. تشکیل پوسته باعث افزایش مقاومت در برابر انتقال بخار آب شده و موجب زیاد شدن فشار در ناحیه سطحی می‌گردد (Loon, 2007). در واقع، انتقال حرارت و جرم طی سرخ کردن بوسیله انتقال حرارت در سطح محصول کنترل می‌شود و سرعت تبخیر آب به اختلاف دمای بین روغن و نقطه جوش آب بستگی دارد (Vitrac *et al.*, 2002). به‌منظور تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی فرآیند سرخ کردن

پارامترهای انتقال حرارت و جرم مانند نفوذ حرارتی موثر^۳، ضریب انتقال حرارت، نفوذ رطوبت موثر، ضریب انتقال رطوبت یا جرم و ضریب انتقال حرارت هدایتی محصول باید بررسی گردند. اثر متقابل میان روغن و سطح ماده غذایی بسیار پیچیده است، زیرا جنبش شدید حباب‌های بخار آب خروجی از ماده غذایی به داخل روغن موجب تلاطم قابل توجهی شده و روی ضریب انتقال حرارت موثر خواهد بود (Ahromrit and Nema, 2010). بنابراین در فرآیند حرارتی سرخ کردن نفوذ حرارت و نفوذ جرم به‌صورت وابسته به یکدیگر می‌باشند. در واقع اگر عملیات انتقال جرم به صورت انتقال یک ماده به داخل ماده دیگر در مقیاس مولکولی تعریف شود، این نفوذ مولکولی در اثر حرکت مولکول‌های یک سیستم و به علت وجود انرژی حرارتی انجام می‌پذیرد. با مطالعه تئوری جنبشی گازها می‌توان این پدیده‌های نفوذی را از نظر کمی مطالعه کرد. در تئوری جنبشی گازها فرض بر این است که هر مولکول در مسیر مستقیم و با سرعت ثابت حرکت نموده و پس از طی مسافتی به مولکول دیگر برخورد می‌کند و بنابراین جهت و سرعت حرکت آن تغییر می‌کند. مقدار متوسط مسافتی که یک مولکول طی می‌کند تا با مولکول دیگر برخورد نماید، مسیر آزاد متوسط^۴ مولکول نامیده می‌شود. بدیهی است که سرعت متوسط حرکت مولکول بستگی به درجه حرارت خواهد داشت. به دلیل برخوردهای متعدد، مولکول یک مسیر پرپیچ و خم را طی می‌کند. مسافت خالصی را که مولکول در زمان معین و در جهت معین طی می‌کند، شدت نفوذ آن می‌نامند. البته این مسافت تنها جزئی از کل مسیر واقعی طی شده توسط مولکول می‌باشد و نفوذ مولکولی پدیده‌ای کند است. سرعت نفوذ مولکولی با کاهش فشار (که سبب کاهش تعداد برخوردها می‌شود) و یا با افزایش درجه حرارت (که سرعت مولکولی را زیاد می‌کند)، می‌تواند افزایش یابد (Treybal, 1995).

محاسبات انتقال جرم براساس سرعت کلی اتلاف آب، همچنین سهولت نسبی جابجایی آب از بین یک غذای در حال آب‌زدایی و از دیواره‌ها و لیه‌های آن است. علاوه بر انتقال آب، سه پدیده انتقال جرم دیگر نیز وجود دارند که از نظر کمیت کوچکترند که شامل جذب روغن به داخل غذا، حرکت آهسته مواد غذایی محلول در آب به سمت خارج در اثر پمپاژ آب در هنگام سرخ کردن و تراوش یا ذوب شدن ترکیبات غذا در اثر حرارت دادن و ورود آن‌ها به داخل روغن است. محققین زیادی کاهش آب ماده غذایی در طی سرخ کردن را براساس مدل قانون فیک^۵ برای انتشار بیان کرده‌اند. کاربرد این مدل در انتشار آب در مواد جامد به‌صورت ضریب موثر تعریف می‌شود که خصوصیت انتقال کلی بوده و شامل تمام مکانیسم‌های دخیل در انتقال آب

3 Effective thermal diffusivity
4 Mean free path
5 Fick's law

1 Crust
2 Core

طی سرخ کردن به کار گرفتند. روش‌های قبلی مطالعه انتقال حرارت وابسته به اندازه‌گیری دمای سطحی برش‌های سیب‌زمینی طی سرخ کردن بود. مشکل مطالعه براساس دمای سطحی این است که محل قرار گیری ترموکوپل بسیار اهمیت دارد و با تغییر اندک در محل ترموکوپل، دما تغییر زیادی کرده و دمای واقعی ثبت نخواهد شد. در این روش نیاز به دانستن محل دقیق ترموکوپل نبود که این امر پتانسیل خطا طی تخمین را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. نتایج آن‌ها نشان داد که طی سرخ کردن برش‌های سیب‌زمینی با افزایش دمای فرآیند ضریب انتقال جرم بر پایه رطوبت به‌صورت خطی افزایش یافت در حالی که انتشار رطوبت به شکل نمایی زیاد شد و ضریب انتقال حرارت نیز کاهش پیدا کرد.

Farinu و Baik (۲۰۰۷) تاثیر اندازه محصول و دمای روغن را روی ضریب انتقال حرارت جابجایی طی سرخ کردن برش‌های سیب زمینی بررسی کردند. ضریب انتقال حرارت با استفاده از موازنه انرژی بین روغن و نمونه طی سرخ کردن تخمین زده شد. نتایج آن‌ها نشان داد که حداکثر ضریب انتقال حرارت جابجایی در زمان‌های ابتدایی فرآیند (حدود ۱۲۰-۸۰ ثانیه) مشاهده شد. ضریب انتقال حرارت با دمای روغن رابطه مستقیم و با اندازه نمونه رابطه معکوس داشت. همچنین Farinu و Baik (۲۰۰۸) تاثیر دمای روغن و اندازه نمونه را روی ضریب انتقال جرم طی سرخ کردن برش‌های سیب زمینی نیز بررسی نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که ضریب انتقال جرم جابجایی نیز با افزایش دمای روغن زیاد شده اما با افزایش اندازه نمونه کاهش می‌یابد.

نتایج بدست آمده از مطالعات محققین با روش‌های مختلف دارای ناسازگاری می‌باشد. در این پژوهش، پدیده‌های انتقال در فرآیند سرخ کردن با هدف بررسی تاثیر دمای فرآیند مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین طی سرخ کردن علاوه بر اعداد بدون بعد جزئیات انتقال جرم به‌طور همزمان به صورت مدل‌های تجربی انتقال رطوبت و روغن نیز آنالیز می‌گردد. هدف از این پژوهش توسعه واقع بینانه مدل ریاضی ساده در بیان پدیده‌های انتقال است. تاکنون معادلات تجربی در کنار مدل‌های ریاضی انتقال جرم در فرآیند سرخ کردن تبیین نشده‌اند. پیش‌بینی هدایت حرارتی محصول به‌صورت مقایسه دو معادله تجربی برای نخستین بار انجام می‌گیرد. در نهایت ارتباط متغیرهایی مانند ضرایب سنتیکی انتقال رطوبت و روغن، ضریب انتقال جرم، ضریب نفوذ موثر و ضریب انتقال حرارت جابجایی با دمای فرآیند در قالب معادله آرنیوس به‌صورت همزمان بررسی می‌گردد.

می‌باشد. اگرچه علاوه بر انتشار، آب می‌تواند از طریق شیب هیدرودینامیک^۱ و جریان موینگی مطابق ساختار ماده نیز منتقل گردد (Saravacos and Maroulis, 2001) و احتمالاً تمامی این عوامل به‌طور کامل توسط ضریب موثر انتشار بیان نخواهد شد. همچنین تئوری انتشار برخی از جنبه‌های ساختاری مرتبط به آب‌زدایی محصول مانند چروکیدگی^۲ را در نظر نمی‌گیرد. به همین دلایل ضریب موثر انتشار برای آب به‌عنوان خصوصیت کلی انتقال جرم در هر سیستمی که تمام مکانیسم‌های انتقال آب را شامل می‌شود، می‌تواند مفروض گردد. البته به‌منظور جلوگیری از ساده‌سازی بیش از حد این فرآیند، می‌تواند استفاده از یک ضریب متغیر انتشار که تغییرات خصوصیات فیزیکی ماده طی سرخ کردن را نیز در نظر می‌گیرد، پیشنهاد گردد (Troncoso and Pedreschi, 2009).

ضریب انتقال حرارت از مهمترین پارامترها برای حفظ کیفیت محصول سرخ‌شده می‌باشد (Alvis et al., 2009). ضریب انتقال حرارت طی فاز جوشش نقش بحرانی در تشکیل خصوصیات حسی محصول، تحریک قهوه‌ای شدن (واکنش مایلارد) و واکنش‌های کاراملیزه شدن که موجب پخش شدن کامل عطر و طعم، رنگ و بافت ماده غذایی می‌شوند، دارد. کیفیت پوسته تشکیل شده در طی فاز جوشش عامل بسیار مهمی در نرخ انتقال حرارت و بافت مطلوب محصول می‌باشد. به‌علاوه جریان حرارتی در طول ماده غذایی نیازمند در نظر گرفتن شرایط مرزی برای معادلات انتقال حرارت با استفاده از ضریب انتقال حرارت جابجایی می‌باشد. بنابراین اندازه‌گیری ضرایب انتقال حرارت نقش مهمی در فهم پیچیدگی‌های فرآیند سرخ کردن دارد (Farkas and Hubbard, 2000).

Krokida و همکاران (۲۰۰۰) در پژوهشی با توجه به معادلات فیک و آرنیوس^۳ نتیجه گرفتند که انتقال جرم طی سرخ کردن تابعی از زمان و دمای سرخ کردن می‌باشد. همچنین بیان کردند که دمای سرخ کردن و ضخامت خلال‌های سیب‌زمینی تاثیر معنی‌داری بر روی جذب روغن و کاهش آب محصول دارد. به همین ترتیب در تحقیقی دیگر Gupta و همکاران (۲۰۰۰) نیز میزان کاهش آب محصول با زمان سرخ کردن در دماهای مختلف روغن را به رطوبت لحظه‌ای وابسته دانستند و در محتوی رطوبت بالاتر سرعت خروج آب محصول بیشتر مشاهده شد. Moyano و Pedreschi (۲۰۰۶) گزارش کردند که در دماهای بالاتر، بدلیل خروج شدیدتر رطوبت جذب روغن در چیس‌های سیب‌زمینی با توجه به وجود جریان‌های مخالف، انتقال جرم کمتر است.

Yildiz و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی به‌منظور مطالعه انتقال حرارت و جرم روشی را بر مبنای اندازه‌گیری دما و محتوی رطوبت

1 Hydrodynamic gradient
2 Shrinkage
3 Arrhenius

مواد و روش ها

بر مبنای وزن خشک بدون روغن محاسبه شد (AOAC, 2000).

تخمین پارامترهای انتقال جرم

داده‌های مربوط به تغییرات رطوبت-زمان برای خلال سیب زمینی در طی سرخ کردن برای تخمین پارامترهای انتقال جرم مانند عدد بایوت، ضریب انتقال جرم و نفوذ رطوبت استفاده شدند. خلال سیب‌زمینی به صورت صفحه نامحدود در نظر گرفته شد و همانند Yildiz و همکاران (۲۰۰۷) غلظت به عنوان تابعی از زمان و موقعیت برای یک صفحه نامحدود با در نظر گرفتن شرایط مرزی و مانگین تغییرات غلظت در حجم کلی محصول مطابق رابطه (۱) فرض شد.

$$\frac{\bar{C}(t) - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}} = \frac{2 \sin^2 \mu_1}{\mu_1 [\mu_1 + \sin \mu_1 \cos \mu_1]} \exp\left(-\mu_1^2 \frac{Dt}{L^2}\right) \quad (1)$$

در رابطه فوق $\bar{C}(t)$ میزان متوسط رطوبت محصول در زمان t برحسب گرم آب بر گرم ماده خشک (g/g, db)، C_i محتوی رطوبت اولیه محصول (g/g, db)، C_{∞} محتوی رطوبت تعادلی محصول (رطوبت محصول در زمان بی‌نهایت) یا رطوبت بستر فرایند است که می‌تواند صفر در نظر گرفته شود. L نصف ضخامت خلال سیب زمینی بر حسب متر، D ضریب نفوذ موثر (m^2/s)، k_c ضریب انتقال جرم (m/s)، μ_1 ریشه تابع غیر تجربی برای تیغه نامحدود و t زمان بر حسب ثانیه می‌باشد. مطابق قانون انطباق رابطه (۲) برای دو بُعد خلال سیب زمینی بدست می‌آید:

$$\ln\left(\frac{\bar{C}(t) - C_{\infty}}{C_i - C_{\infty}}\right) = 2 \ln E - 2\mu_1^2 \frac{Dt}{L^2} \quad (2)$$

$$E = \frac{2 \sin^2 \mu_1}{\mu_1 [\mu_1 + \sin \mu_1 \cos \mu_1]} \quad (3)$$

با رسم منحنی لگاریتم طبیعی تغییرات غلظت در برابر زمان و بدست آوردن عرض از مبدا خط حاصل، با استفاده از رابطه (۳) مقدار μ_1 و سپس با استفاده از شیب در رابطه (۲)، مقدار ضریب نفوذ موثر (D) محاسبه شد. در نهایت عدد بدون بُعد بایوت، انتقال جرم (Bi_m) و سپس ضریب انتقال جرم (k_c) نیز با استفاده از رابطه (۴) مطابق Dincer (۱۹۹۶) محاسبه شد.

$$Bi_m = \mu_1 \tan \mu_1 = \frac{k_c L}{D} \quad (4)$$

تخمین ضریب انتقال حرارت جابجایی

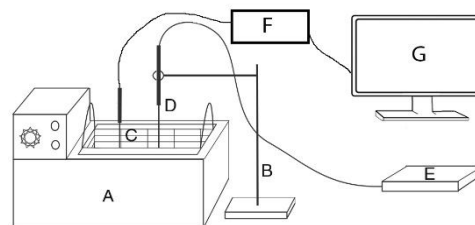
کسر دمایی انجام نشده در حالت صفحه محدود از حاصل ضرب کسر دمایی دو صفحه نامحدود مطابق رابطه (۵) بدست می‌آید.

آماده سازی خلال‌های سیب زمینی

برای انجام آزمایش سیب‌زمینی وارسته آگریا^۱ پاییزه از بازار محلی در استان گلستان تهیه شد. سپس به روش دستی خلال‌هایی در ابعاد $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}^3$ بعد از شستشو و پوست‌گیری‌ریال آماده شد. جهت ثبت وزن اولیه، خلال سیب‌زمینی قبل از شروع فرایند سرخ کردن توزین شد.

عملیات سرخ کردن و ثبت دمای محصول

فرایند سرخ کردن در یک سرخ‌کن (Deep fryer: Model BDZ-5A-1) حاوی دو لیتر روغن آفتابگردان و مطابق شکل (۱) مجهز به سیستم ترموکنترلر با ترموکوپل نوع K، که دمای روغن را در دمای 145°C ، 160°C و 175°C ثابت نگه می‌دارد، انجام گرفت. زمان فرایند برای هر نمونه آزمایشی در هر دما به مدت ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه در نظر گرفته شد. ثبت تغییرات دمایی مرکز محصول توسط ترموکوپل نوع T با فاصله زمانی ۲ ثانیه مشابه کار Sahin و همکاران (۱۹۹۹) بوسیله دستگاه ثبت داده (Data logger: Model TC-08 "RS-232" Pico technology) و نرم‌افزار پیکولاگ^۳ در رایانه انجام شد. این آزمایش در سه تکرار انجام گرفت.



شکل ۱- تجهیزات عملیات سرخ کردن و ثبت دما؛ سرخ‌کن (A)، پایه نگهدارنده (B)، ترموکوپل نوع T (C)، ترموکوپل نوع K (D)، کنترل‌کننده دما (E)، ثبت‌کننده داده (F)، رایانه (G)

اندازه‌گیری رطوبت و روغن

روغن سطحی خلال‌های سیب‌زمینی سرخ شده بعد از خروج از سرخ‌کن با کاغذ جاذب گرفته شد و سپس برای اندازه‌گیری رطوبت در آون (Binder FD53) با دمای 103°C به مدت ۱۶ ساعت قرار گرفت. سپس نمونه خشک برای استخراج روغن به روش سوکسله با حلال پترولیوم اتر به مدت ۶ ساعت استفاده شد. میزان رطوبت نمونه

1 Agria
2 Data logger
3 Picolog

تخمین ضریب انتقال حرارت هدایتی

ضریب هدایت حرارتی خلال سیب زمینی در حین سرخ کردن به عنوان تابعی از محتوی رطوبت با استفاده از معادلات آندرسن^۱ (رابطه ۱۰) و اسپل^۲ (رابطه ۱۱) مطابق رضوی و اکبری (۲۰۰۶) تخمین زده شد و تغییرات آن با دما و زمان فرآیند بررسی شد.

$$k = k_w X_w + k_s (1 - X_w) \quad (10)$$

$$k = 0.056 + 0.57 X_w \quad (11)$$

در معادلات فوق k ، k_w و k_s به ترتیب ضریب هدایت حرارتی محصول، آب و مواد جامد محصول بر حسب (W/m °C) می باشد. X_w کسر جرمی رطوبت بر حسب وزن مرطوب محصول است.

سنتیک انتقال رطوبت و ورغن

تغییرات رطوبت محصول در طی سرخ کردن از یک تابع نمایی کاهشی پیروی می کند. مدل سنتیک کاهش رطوبت در طی سرخ کردن مشابه Krokida و همکاران (۲۰۰۱) و همچنین Baik و Mittal (۲۰۰۵) نیز به صورت یک تابع نمایی به صورت رابطه (۱۲) در نظر گرفته شد:

$$\ln \left(\frac{m_i - m_\infty}{m_i - m_\infty} \right) = -K_w t \quad (12)$$

در رابطه فوق m_i رطوبت اولیه محصول (g/g, db) می باشد. مدل سنتیکی فوق روی داده های تجربی بررسی شده و با رسم $\ln(m_i/m_0)$ در برابر زمان و بدست آوردن شیب خط حاصل ثابت سینتیکی K_w برای دماهای مختلف آزمایش برآورد شد. مدل سنتیکی جذب روغن ارائه شده به صورت رابطه (۱۳) مطابق Krokida و همکاران (۲۰۰۱) می باشد:

$$O = O_{eq} [1 - \exp(-K_o t)] \quad (13)$$

در این معادله O محتوی روغن محصول (گرم روغن در گرم ماده خشک) در زمان t ، O_{eq} محتوی روغن در حالت تعادل یا حداکثر محتوی روغن در ماده خشک در زمان $t = \infty$ ، t زمان سرخ کردن و K_o نرخ ویژه یا ثابت سنتیک جذب روغن برای مدل بر حسب (۱/s) می باشد. در این مدل در زمان $t = 0$ محتوی روغن محصول صفر است و در زمان طولانی سرخ کردن محتوی روغن برابر با میزان تعادلی^۳ یا O_{eq} می شود. برازش مدل تجربی با استفاده از جعبه ابزار برازش منحنی در نرم افزار متلب نسخه ۲۰۰۹ انجام گرفت.

$$\left(\frac{T(x,y,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right)_{\text{finite plate}} = \left(\frac{T(x,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right)_{\text{infinite plate}} \times \left(\frac{T(y,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right)_{\text{infinite plate}} \quad (5)$$

در رابطه فوق $T(x, t)$ و $T(y, t)$ دمای محصول در هر نقطه و در هر زمان، T_i دمای اولیه محصول و T_∞ دمای بستر فرآیند بر حسب °C است. ضریب انتقال حرارت جابجایی با حل معادلات برای هدایت حرارت یک بُعدی در مختصات کارتزین مشابه Yildiz و همکاران (۲۰۰۷) مطابق رابطه (۶) با فرض شرایط مرزی برآورد شد.

$$\left(\frac{T(x,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right) \times \left(\frac{T(y,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right) = A \exp \left(-2\mu_1^2 \frac{\alpha t}{L^2} \right) \quad (6)$$

$$A = \left(\frac{2 \sin \mu_1}{\mu_1 + \sin \mu_1 \cos \mu_1} \right)^2 \times \cos \left(\mu_1 \frac{x}{L} \right) \times \cos \left(\mu_1 \frac{y}{L} \right) \quad (7)$$

در روابط فوق L نصف ضخامت خلال سیب زمینی بر حسب متر، α ضریب نفوذ حرارتی (m^2/s)، μ_1 ریشه تابع غیر تجربی برای تیغه نامحدود و t زمان بر حسب ثانیه می باشد. با گرفتن لگاریتم طبیعی از دو طرف رابطه (۶) به رابطه (۸) خواهیم رسید:

$$\ln \left(\frac{T(x,y,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right) = \ln A - 2\mu_1^2 \frac{\alpha t}{L^2} \quad (8)$$

با توجه به رابطه (۸) با رسم لگاریتم طبیعی کسر دمایی انجام نشده در برابر زمان فرآیند شیب بخش خطی منحنی برابر با $-2\mu_1^2 \frac{\alpha t}{L^2}$ خواهد بود. با توجه به اینکه نفوذ حرارتی α و نصف ضخامت خلال سیب زمینی مشخص است، μ_1 قابل محاسبه خواهد بود. در نهایت عدد بدون بُعد بایوت انتقال حرارت و h یا ضریب انتقال حرارت جابجایی ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$) با استفاده از رابطه (۹) قابل تخمین است. خصوصیات حرارتی سیب زمینی که ثابت فرض شده است در جدول (۱) آمده است.

$$Bi_h = \mu_1 \tan \mu_1 = \frac{hL}{k} \quad (9)$$

جدول ۱- ویژگی های حرارتی سیب زمینی

ویژگی حرارتی	میزان	منبع
هدایت حرارتی ($W/m \text{ } ^\circ C$)	۰/۵۵۴	Singh and Heldman (2001)
دانسیته (kg/m^3)	۱۰۹۰	Palaniappan and Sizer (1997)
ظرفیت گرمایی ویژه ($J/kg \text{ } ^\circ C$)	۳۵۱۷	Singh and Heldman (2001)

1 Anderson
2 Spell
3 Equilibrium value

ارتباط متغیرها با دمای روغن

ارتباط ضریب نفوذ موثر (D)، ضریب انتقال جرم (K_c)، ثابت‌های سنتیکی انتقال رطوبت (K_m) و روغن (K_o) و ضریب انتقال حرارت جابجایی (h) با دمای روغن با استفاده از معادله آرنیوس مطابق رابطه (۱۴) بررسی شد و نتایج آن جهت آنالیز همزمان انتقال حرارت و جرم استفاده شد.

(۱۴)

$$A = A_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

در رابطه فوق، A نشان

دهنده پارامتر مورد مطالعه می‌باشد. E_a نشان دهنده انرژی فعال‌سازی و R ثابت جهانی گازها برابر با ۸/۳۰۹ ژول بر مول بر کلوین ($J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$) می‌باشد. T دمای مطلق برحسب کلوین است (Troncoso and Pedreschi, 2009).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ با سطح اطمینان ۹۵٪ جهت بررسی تاثیر تیمار دمای روغن روی متغیرهای مورد مطالعه شامل ضریب نفوذ موثر (D)، ضریب انتقال جرم (K_c)، ثابت‌های سنتیکی انتقال رطوبت (K_m) و روغن (K_o) و ضریب انتقال حرارت جابجایی (h)، به صورت طرح کاملاً تصادفی^۱ (CRD) انجام شد. به منظور مقایسه معادلات هدایت حرارتی نیز آنالیز آماری دیگری با در نظرگیری تیمارهای دما*زمان و فرض معادلات به‌عنوان بلوک، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی^۲ (RCBD) انجام گرفت. مقایسه میانگین نیز به‌صورت آزمون دانکن^۳ انجام شد.

نتایج و بحث

انتقال جرم

شکل (۲) نمودار تغییرات غلظت بدون بعد را در برابر زمان فرآیند نشان می‌دهد. از این نمودار برای محاسبه پارامترهای انتقال جرم در جدول (۲) استفاده شد. هر سه پارامتر عدد بایوت انتقال جرم، ضریب انتقال جرم و ضریب نفوذ موثر با افزایش دمای روغن زیاد شد و اختلاف بین دماهای مختلف فرآیند از نظر هر سه پارامتر انتقال جرم معنی‌دار بود و شدت از دست رفت آب در دماهای بالاتر بیشتر بود.

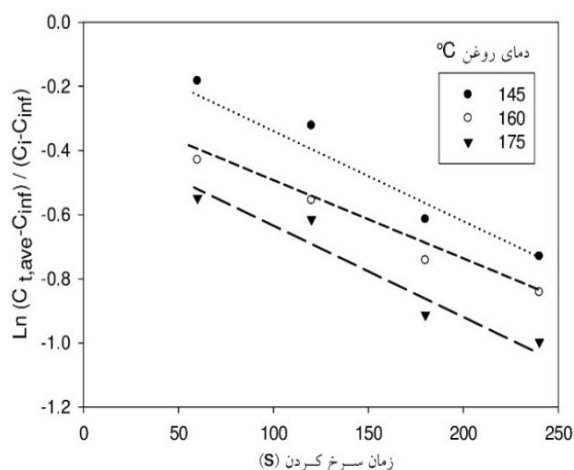
تغییرات بدست آمده برای پارامترهای انتقال جرم با نتایج پژوهش Yildiz و همکاران (۲۰۰۷) موافقت دارد، با این تفاوت که آن‌ها برای تغییرات عدد بایوت شکل منظمی را بیان نکردند در حالیکه در این پژوهش عدد بایوت انتقال جرم با افزایش دما به‌طور معنی‌داری، با

توجه به تمایل بیشتر رطوبت به خروج از محصول، زیاد شد. در همین راستا، Farinu و Baik (۲۰۰۸) گزارش کردند با کاهش نرخ از دست رفتن آب محصول در دماهای پایین‌تر ضریب انتقال جرم نیز به طور منظم کاهش یافت. آن‌ها این کاهش را همچنین با کاهش شیب رطوبتی محصول و کاهش خروج حباب با افزایش زمان در مراحل انتهایی فرآیند سرخ کردن توضیح دادند.

جدول ۲- پارامترهای انتقال جرم به‌همراه انحراف معیار برای دماهای مختلف روغن

دمای روغن (°C)	عدد بایوت (B_{im})	ضریب انتقال جرم ($K_c \times 10^{-5} m/s$)	ضریب نفوذ موثر ($D \times 10^{-9} m^2/s$)
۱۴۵	$2/35 \pm 0/11^C$	$1/06 \pm 0/11^C$	$11/36 \pm 0/57^C$
۱۶۰	$4/33 \pm 0/19^B$	$2/3 \pm 0/11^B$	$13/25 \pm 0/3^B$
۱۷۵	$6/31 \pm 0/28^A$	$4/07 \pm 0/24^A$	$16/13 \pm 0/33^A$

* حروف انگلیسی مقایسه بین دماها می‌باشد



شکل ۲- نمودار غلظت بدون بُعد (رطوبت) در برابر زمان سرخ کردن

سینتیک انتقال همزمان رطوبت و روغن

شکل (۳) نمودار میله‌ای مقایسه میانگین تغییرات رطوبت (الف) و میانگین تغییرات محتوی روغن (ب) محصول طی سرخ‌کردن را در دماها و زمان‌های فرآیند نشان می‌دهد.

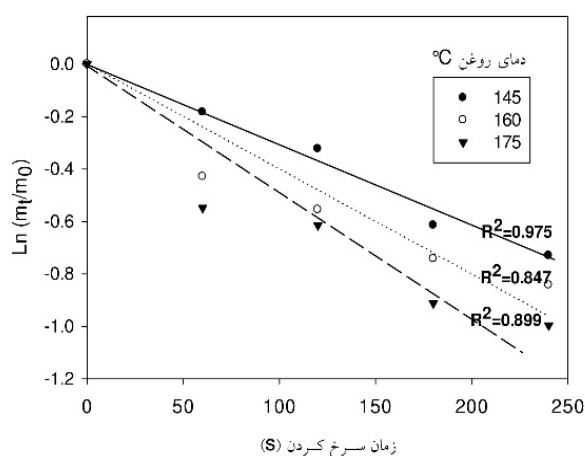
با مقایسه حروف معنی داری نشان داده شده در این شکل می‌توان ارتباط میان از دست رفتن آب محصول و جذب روغن با توجه به دمای روغن و همچنین زمان‌های ابتدایی فرآیند استنباط نمود. دمای ۱۴۵ °C با دو دمای دیگر مورد آزمون از نظر محتوی رطوبت و روغن اختلاف معنی‌داری داشت. این امر نشان‌دهنده تاثیر شدت تبخیر آب در دماهای بالا بر جذب روغن می‌تواند باشد. در زمان‌های ابتدایی فرآیند نیز اختلاف معنی‌داری تا زمان ۱۲۰ ثانیه میان محتوی رطوبت

1 Completely randomized design

2 Randomized complete block design

3 Duncan test

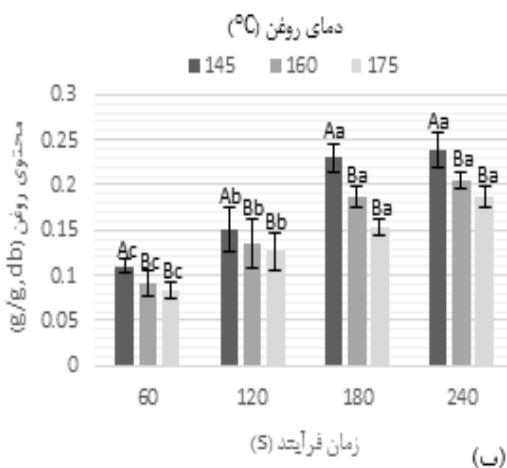
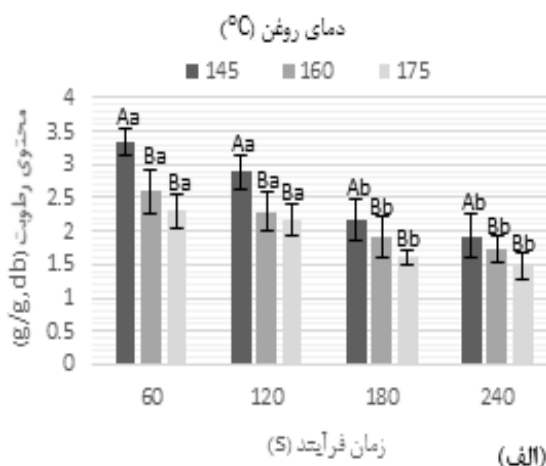
شکل (۴) خطی سازی مدل انتقال رطوبت بصورت تغییرات لگاریتم طبیعی رطوبت بدون بُعد را از ابتدای زمان فرآیند نشان می‌دهد. با محاسبه شیب خطوط برازش شده روی داده‌های لگاریتم طبیعی، مقدار ثابت سنتتیک کاهش آب (K_w) برای دمای ۱۴۵، ۱۶۰ و ۱۷۵°C به ترتیب 0.002 ± 0.003 ، 0.004 ± 0.002 و 0.005 ± 0.004 بدست آمد. همان‌طور که مشخص است با افزایش دمای سرخ کردن ثابت سنتتیک کاهش آب افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده سرعت خروج رطوبت بیشتر از محصول در دمای بالا نسبت به دماهای کمتر است. Mohebbi و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که محتوی رطوبت نهایی محصول با افزایش دمای فرآیند سرخ کردن، بدلیل خروج سریع‌تر جزء جرمی آب، کاهش می‌یابد و با افزایش زمان سرخ کردن نرخ کاهش آب محدود می‌گردد.



شکل ۴- برازش خطی مدل انتقال رطوبت بصورت تغییرات لگاریتم طبیعی رطوبت بدون بُعد از ابتدای زمان فرآیند

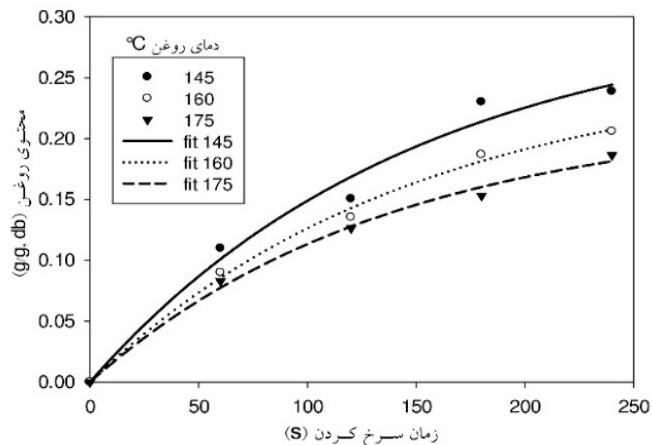
شکل (۵) برازش مدل سینتیکی جذب روغن را نشان می‌دهد. اطلاعات برازش مدل نیز در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به جدول ثابت سنتتیک جذب روغن K_o با افزایش دمای سرخ کردن نسبتاً زیاد می‌شود و از طرفی میزان تعادلی روغن O_{eq} با افزایش دمای سرخ کردن کاهش می‌یابد. مجموع اطلاعات حاصل از برازش منحنی، کاهش جذب روغن در دماهای بالا را تأیید می‌کند. این نتیجه با گزارش بسیاری از محققین مطابقت دارد (Duran *et al.*, 2007; Ahromrit and Nema, 2010; Kita *et al.*, 2007). صباغی و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که جذب روغن محصول نهایی با افزایش دمای سرخ کردن محدود می‌شود که علت آن خروج شدیدتر رطوبت در جهت جریان مخالف روغن در دماهای بالا ذکر شده است. تغییرات ثابت سنتتیک جذب روغن با زیاد شدن دمای روغن، افزایش ناچیزی نشان می‌دهد و پارامتر محتوی تعادلی روغن از این نظر

و روغن مشاهده نشد که دلیل آن با وجود نرخ تبخیر بالا تا این زمان قابل توضیح است. Romani و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند در حدود سه دقیقه پس از شروع فرآیند نرخ کاهش آب و جذب روغن تقریباً ثابت است. آن‌ها همچنین بیان کردند، جذب روغن یک افزایش نسبتاً سریع و معنی‌دار را در ۱۲۰ ثانیه ابتدایی آغاز فرآیند نشان می‌دهد که دلیل آن می‌تواند جانشینی آب تبخیر شده از محصول باشد. در بخش‌های انتهایی نمودارهای جذب روغن، محتوی روغن جذب شده در طی زمان معنی‌دار مشاهده نشد که علت آن طبق بیان Duran و همکاران (۲۰۰۷) می‌تواند ساختار فشرده شده محصول باشد که به عنوان مانعی برای نفوذ روغن عمل می‌کند. به‌منظور بررسی بهتر ارتباط انتقال اجزای جرمی رطوبت و روغن از ثابت‌های سینتیکی می‌توان بهره گرفت.



شکل ۳- نمودار میله‌ای مقایسه میانگین تغییرات محتوی رطوبت (الف) و تغییرات محتوی روغن (ب) محصول طی سرخ کردن

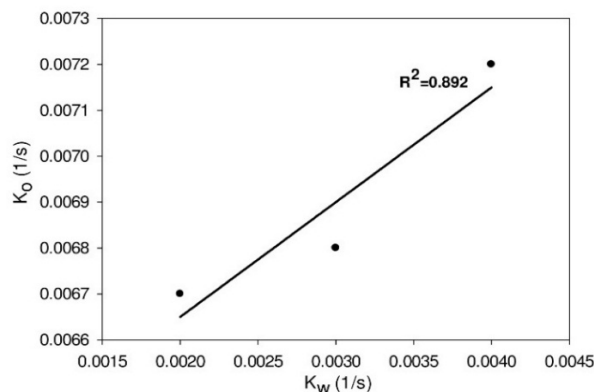
مطابق مدل ریاضی نقش تعیین کننده دارد.



شکل ۵- برازش مدل سینتیکی جذب روغن در دماهای مختلف آزمایش

جدول ۳- اطلاعات برازش مدل جذب روغن روی داده‌های تجربی

R ²	خطای استاندارد	پارامترهای تابع			دمای روغن (°C)
		K _o (1/s)	(g/g, db)	O _{eq}	
۰/۹۳۷۹±۰/۰۹۶۹	۰/۰۲۲۱±۰/۰۰۲	۰/۰۰۶۷±۰/۰۰۰۴	۰/۳۷۰۱±۰/۰۴۸۳		۱۴۵
۰/۹۷۶۶±۰/۰۲۶۱	۰/۰۱۲۶±۰/۰۰۸۷	۰/۰۰۶۸±۰/۰۰۰۵	۰/۲۶۰۲±۰/۰۴۸۲		۱۶۰
۰/۹۷۸۰±۰/۰۱۶۲	۰/۰۱۱۷±۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۷۲±۰/۰۰۰۸	۰/۲۲۱۲±۰/۰۱۶۸		۱۷۵



شکل ۶- ارتباط خطی بین ثابت‌های سینتیک کاهش آب و جذب روغن

میزان ضریب انتقال حرارت جابجایی

شکل (۷) نمودار تغییرات نسبت دمای بدون بعد را در برابر زمان برای دماهای مختلف سرخ کردن نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان نتیجه گرفت که نرخ حرارت‌دهی خلال سیب‌زمینی با توجه به دمای مرکزی با افزایش زمان سرخ کردن کاهش می‌یابد. با استفاده از بخش خطی این نمودار برای دماهای مختلف ضریب انتقال حرارت جابجایی تخمین زده شد. نتایج این تخمین در جدول (۴)

شکل (۶) ارتباط خطی بین ثابت‌های سینتیک کاهش آب و جذب روغن بدست آمده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. اگرچه ثابت سینتیک جذب روغن در محتوی نهایی روغن محصول نقش تعیین کننده از نظر مدل ریاضی ندارد، اما مطابق این شکل می‌توان گفت که افزایش ثابت سینتیک کاهش آب موجب افزایش جزئی ثابت سینتیک جذب روغن نیز می‌شود. این مشاهده با گزارش Debnath و همکاران (۲۰۰۳) نیز مطابقت دارد. آن‌ها همچنین بیان کردند افزایش زمان خشک کردن به عنوان یک پیش تیمار برای محصول قبل از سرخ کردن می‌تواند موجب کاهش ثابت سینتیک جذب روغن نیز شود. بنابراین آنچه استنباط می‌شود این است که علاوه بر سرخ کردن در دمای بالا، پیش خشک کردن جزئی نیز می‌تواند به عنوان راهکار کاهش جذب روغن تا حدی معرفی گردد. این تاثیر به دلیل فشردگی ماتریس مواد^۱ (کاهش تخلخل^۲) و در نتیجه کاهش نفوذ روغن بعد از خروج از سرخ کن و سرد شدن بیان شده است (Debnath et al., 2003).

- 1 Material matrix
- 2 Porosity

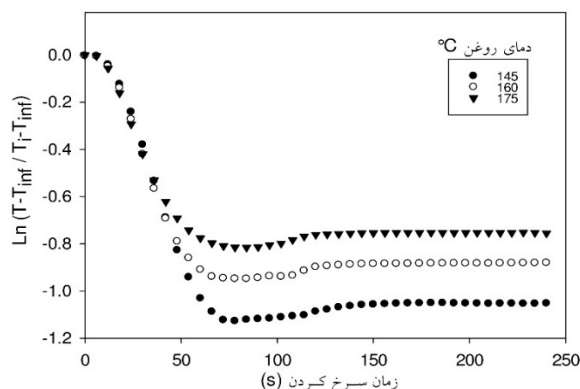
آورده شده است.

بر کاهش ضریب انتقال حرارت جابجایی در دمای کمتر روغن دانستند.

جدول ۴- پارامترهای انتقال حرارت به همراه انحراف معیار برای دماهای مختلف روغن

دمای روغن (°C)	عدد بایوت (Bi_h)	ضریب انتقال حرارت جابجایی ($W/m^2\cdot^{\circ}C$)
۱۴۵	0.54 ± 0.07^A	$12.0/31 \pm 15/6^A$
۱۶۰	0.5 ± 0.03^B	$111/4 \pm 6/68^B$
۱۷۵	0.44 ± 0.09^B	$97/85 \pm 20/05^B$

* حروف انگلیسی مقایسه بین دماها می‌باشد.



شکل ۷- تغییرات لگاریتم دمای بدون بعد در برابر زمان در دماهای مختلف روغن

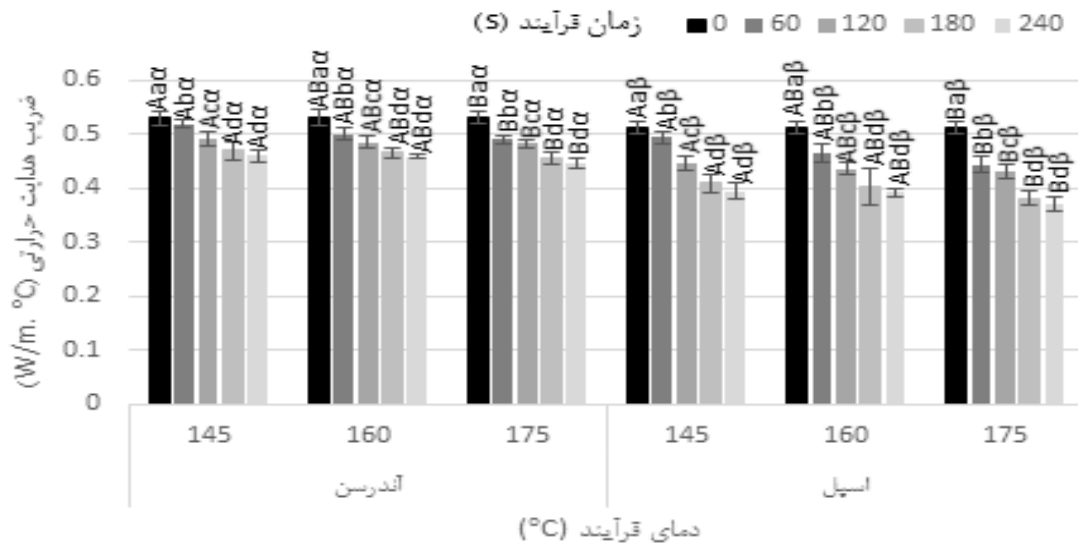
ضریب انتقال حرارت هدایتی محصول جدول (۵) نشان دهنده جدول آنوا برای مقایسه آماری است، با توجه به این جدول اختلاف میان دماهای فرآیند و زمان از نظر هدایت حرارتی محصول معنی دار شد. اختلاف دو معادله آندرسن و اسپل نیز از نظر پیش بینی هدایت حرارتی معنی دار مشاهده شد. روند تغییرات هدایت حرارتی هم با افزایش دما و هم با افزایش زمان فرآیند همواره کاهشی بود و در نتیجه اثر متقابل در آزمون آماری معنی دار نشد.

شکل (۸) مقایسه میانگین هدایت حرارتی محصول طی سرخ کردن در دماها و زمان‌های مختلف بر اساس معادله آندرسن (الف) و اسپل (ب) نشان می‌دهد. Sahin و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که هدایت حرارتی ماده غذایی به تخلخل و ساختار فیزیکی و شیمیایی آن بستگی دارد و با شروع فرآیند سرخ کردن و خروج آب از محصول و افزایش تخلخل در محصول هدایت حرارتی محصول به تدریج کاهش می‌یابد. در طی سرخ کردن آب از محصول تبخیر شده و روغن به محصول نفوذ می‌کند و از آنجا که هدایت حرارتی سیب زمینی و روغن از آب کمتر است، هدایت حرارتی محصول با کاهش رطوبت و با افزایش زمان و یا دمای سرخ کردن کاهش می‌یابد.

عدد بایوت انتقال حرارت (Bi_h) و در نتیجه ضریب انتقال حرارت جابجایی با افزایش دمای روغن کاهش یافت و بین دمای ۱۶۰ و ۱۷۵ °C از این نظر اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. کاهش این پارامترها مطابق گزارش Yildiz و همکاران (۲۰۰۷) می‌تواند به این دلیل باشد که نرخ کاهش رطوبت محصول در دماهای بالا بیشتر است. با افزایش نرخ کاهش رطوبت مقدار بیشتری از انرژی ورودی به محصول به تبخیر اختصاص می‌یابد. این امر موجب کاهش میزان انرژی در دسترس برای افزایش انرژی داخلی و در نتیجه کاهش ضریب انتقال حرارت جابجایی در دمای بالا می‌شود. این حالت با نتیجه محققین دیگر که از روش دمای سطحی استفاده کردند، موافقت ندارد (Costa et al., 1999; Sahin et al., 1999; Budzaki and Seruga, 2004). صباغی و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی کسر حرارتی مورد نیاز برای تبخیر و تعیین رابطه نمایی برای تغییرات آن طی سرخ کردن، بیان کردند که در روش دمای سطحی، با کاهش دمای روغن کسر حرارت مورد نیاز برای تکمیل فرآیند تبخیر تا خشک شدن کامل محصول بیشتر است. در نتیجه این امر را دلیلی

جدول ۵- جدول ANOVA برای مقایسه معادلات و تیمارها در محاسبه ضریب هدایت حرارتی

تیمار	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی داری (sig.)
مدل	۶/۵۱۵	۱۶	۰/۴۰۷	۱۹۹۹	۰/۰۰۰
دما	۰/۰۰۲	۲	۰/۰۰۱	۴/۰۶۵	۰/۰۴۱
زمان	۰/۰۴۰	۴	۰/۰۱۰	۴۹/۵۳۹	۰/۰۰۰
دما*زمان	۰/۰۰۱	۸	۰/۰۰۰	۰/۵۸۵	۰/۷۷۴
بلوک (معادله)	۰/۰۱۷	۱	۰/۰۱۷	۸۲/۳۵۹	۰/۰۰۰
خطا	۰/۰۰۳	۱۴	۰/۰۰۰		
کل	۶/۵۱۷	۳۰			



شکل ۸- نمودار میله‌ای مقایسه میانگین هدایت حرارتی محصول طی سرخ کردن در دماها و زمان‌های مختلف براساس معادله آندرسن (الف) و اسپل (ب)؛ حروف انگلیسی بزرگ مقایسه دماها، حروف انگلیسی کوچک مقایسه زمان‌ها، حروف یونانی مقایسه معادله‌ها می‌باشد.

آنچه از معادلات تجربی به کار رفته نتیجه می‌شود این است که هدایت حرارتی در حین سرخ کردن با توجه به نحوه تغییرات آن از یک معادله نیمه لگاریتمی یا نمایی کاهشی تبعیت می‌کند.

وابستگی پدیده‌های انتقال به دمای فرآیند

برای بررسی ارتباط متغیرهای انتقال حرارت و جرم با دمای فرآیند از معادله آرنیوس استفاده شد. جدول (۶) ثابت‌های محاسبه شده در معادله آرنیوس شامل مقدار موثر هر متغیر (A_0) و انرژی فعال‌سازی (E_a) را برای متغیرهای مختلف در این پژوهش به همراه ضریب همبستگی خطی نشان می‌دهد. تمام انرژی‌های فعال‌سازی گزارش شده در جدول (۶)، بجز انرژی فعال‌سازی برای ضریب انتقال حرارت، مثبت بدست آمدند. با استفاده از اطلاعات این جدول می‌توان متغیرهای انتقال حرارت و جرم را به‌عنوان تابعی از دمای فرآیند پیش‌بینی کرد. مطابق بیان Pedreschi و Troncoso (۲۰۰۹) انرژی فعال‌سازی برای فرآیندهای انتشار و انتقال شناساگر مکانیسم غالب می‌باشد. انرژی‌های فعال‌سازی بالا به‌طور معمول در موادی با رطوبت پایین ناشی از برهم‌کنش قوی آب-سوبسترا بدست می‌آید. انرژی‌های فعال‌سازی بدست آمده در این پژوهش به نتایج محققین از جمله Duran و همکاران (۲۰۰۷) نزدیک است.

با خشک شدن محصول و افزایش درصد ماده خشک آن تاثیر ماده خشک در هدایت حرارتی طبق معادله آندرسن بیشتر شده و در نتیجه معادله آندرسن میانگین هدایت حرارتی بیشتری را نسبت به معادله اسپل نشان می‌دهد. هدایت حرارتی محصول پس از ۲۴۰ ثانیه در دماهای ۱۴۵، ۱۶۰ و ۱۷۵ °C به ترتیب براساس معادله آندرسن ۰/۴۶، ۰/۴۵ و ۰/۴۴ W/m °C و طبق معادله اسپل ۰/۳۹، ۰/۳۸ و ۰/۳۷ W/m °C برآورد شد. هدایت حرارتی تخمین زده شده بر اساس معادله اسپل به نتایج مقالات نزدیکتر است. به‌طور کلی تغییرات هدایت حرارتی محصول در حین سرخ کردن ناچیز است و حداقل هدایت حرارتی محصول در دماهای مختلف به هم نزدیک می‌باشد اما دمای ۱۶۰ °C به عنوان مرز معنی داری اثرات دما (شکل ۸- روی میزان هدایت حرارتی طی زمان مشخص شد. Brennan و Wang (۱۹۹۲) نیز هدایت حرارتی سیب‌زمینی را به محتوی رطوبت آن ارتباط دادند و نتیجه گرفتند که هدایت حرارتی سیب زمینی با کاهش رطوبت آن کم می‌شود و مستقل از دما می‌باشد. همچنین Ziaifar و همکاران (۲۰۰۹) نیز بیان کردند که هدایت حرارتی موثر (k) برای ناحیه هسته با افزایش زمان سرخ کردن زیاد شده و به حداکثر خود ۰/۶ W/m °C در سه دقیقه سرخ کردن رسیده و سپس به ۰/۴ W/m °C در پایان فرآیند کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند مربوط به تغییرات فیزیکوشیمیایی در ناحیه هسته مانند ژلاتینه شدن نشاسته و کاهش رطوبت باشد. به‌طور کلی

جدول ۶- متغیرهای معادله آرنیوس ($A=A_0\exp(-E_a/RT)$) برای ثابت‌های مربوط به پدیده‌های انتقال

R^2 خطی	E_a (J/mol)	A_0	A
۰/۹۹۵	۶۹۹۲۱/۶۳۹	۵۹۷۲/۹۷۲	ضریب انتقال جرم (K_c)
۰/۹۹۱	۱۸۱۶۲/۹۹۲	$۲/۰۹۹ \times ۱۰^{-۶}$	ضریب نفوذ موثر (D)
۰/۹۷۲	-۱۰۶۸۸/۹۲۱	۰/۰۱۵	ضریب انتقال حرارت جابجایی (h)
۰/۹۹۳	۳۶۰۲۶/۹۵۹	۶۴/۶۵۰	ثابت سینتیکی انتقال رطوبت (K_w)
۰/۸۸۴۱	۳۷۰۸/۷۰۵	۰/۰۱۹	ثابت سینتیکی انتقال روغن (K_o)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش انتقال جرم و حرارت طی سرخ کردن خلال سیب‌زمینی بررسی شد. اختلاف بین دماهای مختلف فرآیند از نظر هر سه پارامتر عدد بایوت انتقال جرم، ضریب انتقال جرم و ضریب نفوذ موثر معنی‌دار بود. مدل‌های سینتیکی بخوبی توانستند تخمین پارامترهای انتقال جرم را تأیید نمایند. عدد بایوت انتقال حرارت و ضریب انتقال حرارت جابجایی با افزایش دمای روغن کاهش یافت و بین دمای ۱۶۰ و ۱۷۵ °C از این نظر اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد و با توجه به معنی‌دار نشدن اختلاف محتوی رطوبت در این دماها

می‌توان آن را تأییدی بر ارتباط مستقیم سرعت خروج رطوبت و ضریب انتقال حرارت دانست. با شروع فرآیند سرخ کردن و خروج آب از محصول و افزایش تخلخل در محصول هدایت حرارتی محصول به تدریج کاهش یافت از این نظر اختلاف سنجش دو معادله اسپل و آندرسن معنی دار بوده و نتایج معادله اسپل به نتایج مقالات نزدیکتر بود. طبق معادله آرنیوس برهم کنش آب و مواد جامد در محصولی مانند سیب‌زمینی تحت تأثیر دمای روغن، تعیین‌کننده رفتار پارامترهای پیش‌بینی شده در این پژوهش بود.

منابع

- Ahromrit, A., and Nema, P.K., 2010, Heat and mass transfer in deep-frying of pumpkin, sweet potato and taro. *Journal of Food Science and Technology*, 47, 632-637.
- Alvis, A., Vélez, C., Rada-Mendoza, M., Villamiel, M., and Villada H.S., 2009, Heat transfer coefficient during deep-fat frying. *Food Control*, 20, 321-325.
- Andres, A., Arguelles, A., Castello, M.L., and Heredia, A., 2012, Mass transfer and volume changes in French fries during air frying. *Journal of Food and Bioprocess Technology*, Doi: 10.1007/s11947-012-0861-2.
- AOAC, 2000, Official methods of analysis. 17th ed., Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, *Unites States*.
- Baik, O.D., and Mittal, G.S., 2005, Heat and moisture transfer and shrinkage simulation of deep-fat tofu frying, *Food Research International*, 38, 183-191.
- Blumenthal, M.M. and Stier, R.F., 1991, Optimization of deep-fat frying operations, *Trends in Food Science and Technology*, 2, 144-148.
- Budzaki, S. and Seruga, B., 2004, Determination of convective heat transfer coefficient during frying of potato dough. *Journal of Food Engineering. Journal of Food Engineering*, 66, 307-314.
- Costa, R.M., Oliveira, F.A.R., Delaney, O., and Gekas, V., 1999, Analysis of the heat transfer coefficient during potato frying. *Journal of Food Engineering*, 39, 293-299.
- Debnath, S., Bhat, K.K., and Rastogi, N.K., 2003, Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol*, 36, 91-98.
- Dincer, I., 1996. Modelling for heat and mass transfer parameters in deep frying of products. *Heat and Mass Transfer*, 32, 109-113.
- Duran, M., Pedreschi, F., Moyano, P., and Troncoso, E., 2007, Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling. *Journal of Food Engineering*, 81, 257-265.
- Farid, M.M., and Chen X.D., 1998, the analysis of heat and mass transfer during frying of food using a moving boundary solution procedure. *Journal of Heat and mass transfer*, 34, 69-77.
- Farinu, A. and Baik, O.-D., 2008, Convective mass transfer coefficients in finite element simulations of deep fat frying of sweetpotato. *Journal of Food Engineering*, 89, 187-194.
- Farinu, A., and Baik, O. D., 2007, Heat transfer coefficients during deep fat frying of sweetpotato: Effects of product size and oil temperature, *Food Research International*, 40, 989-994.
- Farkas, B.E., Sing R.P., and Rumsey T.R., 1996, Modelling heat and mass transfer in immersion frying. I, Model

- development. *Journal of Food Engineering*, 29, 211-226.
- Gupta, P., Shivhare, U.S. and Bawa, A.S., 2000, Studies on frying kinetics and quality of French fries. *Drying Technology*, 18, 311-321.
- Kita, A., Lisińska, G., and Gołubowska, G., 2007, The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps. *Food Chemistry*, 102, 1-5.
- Krokida, M.K., Oreopoulou, V., and Maroulis, Z.B., 2000, Water loss and oil uptake as a function of frying time, *Journal of Food Engineering*, 44, 39-46.
- Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B., and Marinos-Kouris, D., 2001, Effects of pre-drying on quality of French fries. *Journal of Food Engineering*, 49, 347-354.
- Loon, W.A.M.V., Visser, J.E., Linssen, J.P.H., Somsen, D.J., Klok, H.J., and Voragen, A.G.J., 2007, Effect of pre-drying and par-frying conditions on the crispness of French fries. *European Food Research and Technology*, 225, 929-935.
- Mohebbi, M., Fathi, M., and Shahidi, F., 2011, Genetic algorithm artificial neural network modeling of moisture and oil content of pretreated fried mushroom. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 603-609.
- Moyano, P.C., and Pedreschi, F., 2006, Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: Effect of pre-treatments. *LWT - Food Science and Technology*, 39, 285-291.
- Palaniappan, S., and Sizer, C. E., 1997, Aseptic process validated for foods containing particulates. *Food Technology*, 51, 60-68.
- Parkash, S., and Gertz, C., 2004, New theoretical and practical aspects of the frying Process, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106, 722-727.
- Pedreschi, F., Hernandez, P., Figueroa, C., and Moyano, P.C., 2005, modeling water loss during frying of potato slices. *International Journal of Food Properties*, 8, 289-299.
- Razavi, M., and Akbari, R., 2006, Biophysical properties of agricultural and food materials. Ferdosi university of Mashhad publication, pp. 255-256.
- Romani, S., Bacchiocca, M., Rocculi, P., and Rosa, M.D., 2008, Effect of frying time on acrylamide content and quality aspects of French fries. *European Food Research and Technology*, 226, 556-560.
- Sabbaghi, H., Ziaifar, A. M., Sadeghi Mahoonak, A., Kashaninejad, M., and Mirzaei, H., 2015, Evaluation of mathematical models to describe the effect of temperature. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 46(2), 135-145.
- Sabbaghi, H., Ziaifar, A. M. Sadeghi Mahoonak, A., kashaninejad, M., and Mirzaei, H., 2014, Estimation of convective heat transfer coefficient as function of the water loss rate during frying process. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 1394(11), 473-484. doi:10.22067/ijstrj.v1394i11.29653
- Sahin, S., Sastry, S.K., and Bayindirli, L., 1999, the determination of convective heat transfer coefficient during frying, *Journal of Food Engineering*, 39, 307-311.
- Saravacos, G. D. and Maroulis, Z. B., 2001, Transport Properties of Foods. Marcel Dekker, New York.
- Singh, R.P., and Heldman, D.R., 2001, Introduction to food engineering, (3rd Ed.). London, UK: Academic Press.
- Taler, J., 2014, Superposition method for multidimensional heat conduction problems, Hetnarski, R. B. (Ed.), Encyclopedia of Thermal Stresses, *Springer Netherlands*, pp. 4708-4718.
- Treybal, R.E., 1995, Mass-transfer operations, (3rd Ed.), McGraw Hill Publication. USA.
- Troncoso, E., and Pedreschi, F., 2009, Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT-Food Science and Technology*, 42, 1164-1173.
- Ufheil, G., and Escher, F., 1996, Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices, *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 29, 640-644.
- Vitrac, O., Dufour, D., Trystram, G. and Raoult-Wack, A.L., 2002, Characterization of heat and mass transfer during deep-fat frying and its effect on cassava chip quality. *Journal of Food Engineering*, 53, 161-176.
- Wang, N., and Brennan, J.G., 1992, Thermal conductivity of potato as a function of moisture content, *Journal of Food Engineering*, 17, 153-160.
- Yildiz, A., Palazoglu, K., and Erdogdu, F., 2007, Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices. *Journal of Food Engineering*, 79, 11-17.
- Zheleva, I., and Kamburova, V., 2009, modeling of heating during food processing. Costa, R., and Kristbergsson, K. (Eds.), *Predictive modeling and risk assessment*, Springer US, pp. 79-99.
- Ziaifar, A.M., Heyd, B., and Courtois, F., 2009, Investigation of effective thermal conductivity kinetics of crust and core regions of potato during deep-fat frying using a modified Lees method. *Journal of Food Engineering*, 95, 373-378.



Analysis of heat and mass transfer during frying process of potato strips

H. Sabbaghi¹, A. M. Ziaifar^{2*}, M. Kashaninejad³

Received: 2015.12.18

Accepted: 2016.03.15

Introduction: Frying phenomena occur during the immersion of the product in oil at a temperature of 150–200 °C, where a simultaneous heat and mass transfer take place. This is the most popular thermal processes of potato cooking. This fast drying is critical to improve the mechanical and structural properties of the final product. These conditions lead to high heat transfer rates, rapid cooking, browning, texture and flavor development. The fried potato is easier to transport and provides better texture. Researchers have assumed the existence of two regions for fried product, separated by an interface: the core (unfried) and crust (fried) regions. In general, frying process is very complex for two main reasons: i) due to the simultaneous heat and mass transfer between food material and frying oil, ii) due to the progressive deterioration of the oil and structural changes in foods (crust and core regions). The moving boundary problem may be found in many areas of frying research involving heat and/or mass transfer. In this study, heat and mass transfer is entirely investigated during frying of potato strips. The transport phenomena during frying are including: i) Heat convection from the hot oil to the interface via the crust region, ii) Water evaporation at the moving interface at a temperature of 100 °C, iii) The unsteady state heat conduction in both regions of crust and core, iv) The oil uptake into food. As a result, high temperature and low moisture conditions develop as frying proceeds. Water vapor bubbles escaping from the surface of the food cause considerable turbulence in the oil. Therefore, Heat and mass transfer are dependent on each other during frying process. In fact, heat and mass transfer during frying can be controlled by heat transfer at the product surface. Evaporation rate depends on the temperature difference between oil and boiling point of water. There is little information on modeling, both empirical and phenomenological, for moisture loss and oil uptake during frying. Knowledge of accurate heat and mass transfer parameters is important for modeling processes. Designing of frying processes is possible through the use of mathematical models. The aim of this study is to develop a more completely and realistic approach for determining of heat and mass transfer parameters and their relation to oil temperatures. The main process parameters influencing oil uptake are frying temperature and duration. Heat transfer coefficients for different oil temperatures determined using simple method. Mass transfer of water was assumed to be governed by Fick's law of diffusion. For more details, empirical models were used to describe the mass transport in forms of moisture and oil.

Materials and Methods: The frying operation of potato strips was performed in the fryer that was equipped by thermo controller system with K type thermocouple at three different oil temperature of 145, 160 and 175 °C for 60, 120, 180 and 240 seconds. The core temperature changes of product recorded on computer during process using T type thermocouple connected to data logger. The moisture and oil content of samples measured for each process time and temperatures. The heat and mass transfer parameters such as kinetic coefficients of moisture (K_m) and oil transfer (K_o), mass transfer coefficient (K_c), effective diffusivity (D) and heat transfer coefficient (h) were evaluated with dimensionless temperature and concentration ratio plots and also empirical equations. Relationship of these parameters to the temperature of the oil investigated using the Arrhenius equation. Thermal conductivity of potato strips during frying determined as a function of moisture content using the Anderson and Spell equations.

Results & Discussion: The results showed that mass transfer Biot number (Bi_m), mass transfer coefficient (K_c) and effective moisture diffusivity (D) increased significantly with increasing in oil temperature. In regression models, the linear correlation between kinetic constant of water loss and oil uptake was observed that is verification on effect of drying pretreatment on reducing oil uptake. In fact, with increasing of oil temperature the kinetic constant of water loss increased and caused increased in kinetic constant of oil uptake. Kinetic models could correctly confirm determination of mass transfer parameters. The heat transfer Biot number (Bi_h), convective heat transfer coefficient (h) and product thermal conductivity (k) decreased significantly with an

3, 2 and 3. Ph. D. Candidate, Associate Professor and Professor of Food Processing Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

(*Corresponding Author Email: ziaifar@gmail.com).

increase in process temperature. With increasing in the rate of evaporation, following greater amount of input energy used for water loss. This would reduce the amount of available energy to increase internal energy of product and thus reduce the convective heat transfer coefficient at high temperatures. Frying process caused remove of water from product and increasing of porosity, thus observed gradually fell in thermal conductivity. Although the minimum thermal conductivity at various temperatures are close together, but two equations of Anderson and Spell showed significant difference for values of thermal conductivity and Spell was more close to published papers. High activation energy is achieved for lower moisture content that is normally due to the strong water-substrate interaction.

Keywords: Frying, Potato strip, Biot number, Mass transfer, Heat transfer

بررسی ویژگی‌های ساختاری، ریخت‌شناسی، ساختمانی و حرارتی نشاسته سورگوم سفید

احمد احتیاطی^۱ - فخری شهیدی^{۲*} - آرش کوچکی^۳ - سید محمد علی رضوی^۲ - مهسا مجذوبی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۰

چکیده

در این پژوهش، نشاسته چهار لاین سورگوم سفید به روش خیساندن قلیایی استخراج گردید و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن‌ها تعیین شد. درصد پایین پروتئین ($<0.11\%$)، چربی ($<0.36\%$) و خاکستر ($>5.3\%$) نشان‌دهنده کیفیت مناسب استخراج نشاسته‌ها بود و درصد آمیلوز لاین‌های مختلف بین ۲۷ تا ۳۰ درصد بود. در تصاویر میکروسکوپ نوری و الکترونی گرانول‌های نشاسته سورگوم، عمدتاً کروی با قطر میانگین $12\mu m$ مشاهده شد. به لحاظ ظاهری، رنگ نشاسته سورگوم کاملاً سفید با زاویه فام 10.3° و اشباعیت ۳ درصد بود. الگوی پراش پرتو X نشاسته سورگوم نشان‌دهنده حضور کریستال نوع A بود و در برخی لاین‌ها کریستال نوع V نیز مشاهده گردید. همچنین درصد کریستال نشاسته سورگوم لاین‌های مختلف بین ۲۵ تا ۳۱ درصد متغیر بود. مشاهدات DSC نشان داد دمای شروع ذوب کریستال نشاسته بین 69 تا 70 درجه سانتی‌گراد و دمای حداکثر ذوب بین 73 تا 74 درجه سانتی‌گراد است و انتالپی ذوب بین $10-8 J/g$ تعیین شد. آنالیز FTIR نشان داد اگرچه مقدار جذب گروه‌های عملکردی برای نشاسته لاین‌های مورد مطالعه تفاوت محدودی دارد، اما الگوی جذبی آن‌ها مشابه بود. به‌طور کلی بین ویژگی‌های نشاسته‌های سورگوم لاین‌های مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و ویژگی‌هایی مشابه با نشاسته ذرت معمولی به‌عنوان منبع نشاسته تجاری مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: سورگوم، پراش پرتو X، طیف فوریه مادون‌قرمز، کالری متری روبشی افتراقی، نشاسته.

مقدمه

محدودکننده برای مصرف انسان است؛ به همین جهت تولید فراورده‌هایی مانند نشاسته و مشتقات آن می‌تواند راهکاری جهت افزایش ارزش افزوده سورگوم باشد. دانه سورگوم مشابه دانه ذرت، بیش از ۷۰ درصد نشاسته دارد (Sun *et al.*, 2014a). نشاسته به شکل گرانول در دانه غلات ذخیره می‌شود و ویژگی‌های گرانول به جهت فیزیکی و شیمیایی، تعیین‌کننده خواص عملکردی نشاسته و همچنین سرعت و کیفیت هضم آن در فراورده‌های غذایی است. وارپته یا ژنتیک دانه، شرایط داشت و آب‌وهوا بر ویژگی‌های گرانول‌ها مؤثر است (Chao *et al.*, 2014). نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین، اندازه گرانول، ساختار کریستالی و ژلاتینه شدن نشاسته جزو ویژگی‌های اختصاصی گرانول‌های نشاسته است (Cai *et al.*, 2014). در سال‌های اخیر، تحقیقاتی در زمینه استخراج نشاسته سورگوم و تعیین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و عملکردی آن در سایر کشورها انجام شده است (Sang, *et al.*, 2008; Boudries *et al.*, 2009; Ali *et al.*, 2011; Olayinka *et al.*, 2011). اما تاکنون، تحقیقی در زمینه نشاسته ارقام سورگوم کشت شده در ایران انجام نشده است؛ لذا هدف از این پژوهش، استخراج نشاسته از برخی منابع سورگوم سفید در حوزه شهر مشهد و سپس بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن به منظور مقایسه با ویژگی‌های منابع نشاسته تجاری بر اساس اطلاعات علمی معتبر منتشر شده است. با توجه به اینکه منابعی مانند

سورگوم (*Sorghum bicolor*) گیاهی از خانواده غلات است که پس از گندم، برنج، ذرت و جو، جایگاه پنجم تولید جهانی را دارد (FAOSTAT, 2014). سورگوم گیاهی مقاوم به کم‌آبی و خشکی است و در مناطق خشک آفریقا و آسیا، بخشی از غذای مردم است (Sang *et al.*, 2008). ایران نیز کشوری نیمه خشک است و با توجه به خشک‌سالی‌های پیاپی، برنامه‌ریزی برای منابع آب در آینده امری ضروری است (Saravi *et al.*, 2015). تولید غله سورگوم در مناطق با بارندگی کم و فراوری آن، می‌تواند سبب افزایش بهره‌وری کشاورزی در این مناطق گردد.

از نظر تغذیه‌ای، ترکیبات تانن موجود در پوسته داخلی سورگوم و اثرات ضد تغذیه‌ای آن در کاهش جذب مواد غذایی، عامل

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۴- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

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

DOI: 10.22067/iftstr.v1395i0.55234

بر اساس روش Adkins و همکاران (۱۹۶۶)، جهت جداسازی بیشتر پروتئین‌های متصل به گرانول و افزایش درجه خلوص نشاسته انجام شد و سپس در آن با دمای $35 \pm 1^\circ\text{C}$ به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. نشاسته حاصل به آرامی خرد و از الک با مش ۱۰۰ عبور داده شد.

ویژگی‌های شیمیایی

اندازه‌گیری رطوبت به روش آن‌گذاری، پروتئین به روش کجلدال، چربی به روش سوکسله و خاکستر به روش سوزاندن در کوره 550°C ، بر طبق روش‌های استاندارد (AACC (2000 و در سه تکرار انجام شد. جهت تعیین درصد آمیلوز ظاهری، ابتدا نمونه نشاسته با استفاده از پروپانول ۷۵ درصد به مدت ۹ ساعت با دستگاه سوکسله، چربی‌گیری و پس از تبخیر حلال و خشک شدن، برای تعیین نسبت آمیلوز مورد استفاده قرار گرفت. محتوای آمیلوز ظاهری بر اساس تشکیل کمپلکس رنگی ید و آمیلوز و با روش McGrance و همکاران (۱۹۹۸) در سه تکرار تعیین شد. $0/1$ گرم نشاسته در ۸ میلی‌لیتر محلول DMSO ۹۰ درصد در دمای 85°C به مدت ۱۵ دقیقه حل شد و پس از به حجم رساندن در ۲۵ میلی‌لیتر، ۱ میلی‌لیتر از این محلول به بالن ۵۰ میلی‌لیتری منتقل گردید و ۴۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه و ۵ میلی‌لیتر محلول ید ($0/025\text{mol/L}$) ید در $0/065$ یدید پتاسیم) اضافه گردید و به حجم رسانده شد. جذب محلول پس از ۱۵ دقیقه در طول موج ۶۰۰ نانومتر تعیین شد. از محلول حاوی تمام واکنش‌گرها بدون نمونه نشاسته به‌عنوان شاهد جذب استفاده شد. نمودار استاندارد با استفاده از آمیلوز و آمیلوپکتین خالص رسم شد.

تصویربرداری میکروسکوپ نوری و تعیین توزیع اندازه گرانول‌ها

سوسپانسیون حاوی ۳ درصد نشاسته در محلول آب و گلیسرول (۵۰:۵۰) تهیه و پس از یکنواخت کردن، یک قطره از آن به لام میکروسکوپی منتقل گردید و با لام پوشانده شد، سپس با استفاده از میکروسکوپ Olympus BX41 در بزرگمایی ۴۰۰ برابر مشاهده و با دوربین دیجیتالی (DP12, Japan) تصویربرداری گردید. بررسی توزیع اندازه گرانول نشاسته به روش پردازش تصویر انجام شد. بیشتر از ۴۰۰۰ گرانول نشاسته لاین‌های سورگوم در تصاویر میکروسکوپ نوری با استفاده از نرم‌افزار ImageJ مورد بررسی قرار گرفت و توزیع اندازه گرانول‌ها تعیین گردید. گروه بندی گرانول‌ها شامل گرانول نوع A (بزرگتر از ۱۰ میکرومتر)، گرانول نوع B (بین ۵ تا ۱۵ میکرومتر)، گرانول نوع C (کوچکتر از ۵ میکرومتر) انجام شد (Singh, et al., 2010a).

ذرت از جمله کالاهای وارداتی کشور می‌باشد، توسعه کشت سورگوم و استخراج صنعتی نشاسته آن می‌تواند نیاز کشور به واردات ذرت را جهت استخراج نشاسته کاهش دهد.

مواد و روش‌ها

مواد

چهار لاین^۱ سورگوم سفید از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه گردید. این لاین‌ها با نام‌های KDFGS1، KDFGS6، KDFGS9 و KDFGS20 نام‌گذاری شده و قابلیت تکثیر مجدد دارند. سورگوم‌های مورد بررسی از نوع دومنظوره است و هم به‌عنوان علوفه و هم به‌عنوان غله کاربرد دارند و از ارقام کرج متناسب با شرایط آب و هوایی شهر مشهد سازگاری یافته است. به دلیل اینکه سورگوم سفید نسبت به سورگوم رنگی ترکیبات تانن خیلی کمتری دارد (Awika et al., 2003)، به عنوان منبع استخراج، از سورگوم سفید استفاده شد. هیدروکسید سدیم صنعتی از شرکت‌های داخلی و سایر حلال‌ها و مواد مورد استفاده از شرکت‌های مرک^۲، اپلیکم^۳ و سیگما^۴ کشور آلمان تهیه شد.

استخراج نشاسته

استخراج نشاسته بر اساس روش Olayinka و همکاران (۲۰۱۱)، با کمی تغییرات انجام شد. ۲۰۰ گرم دانه سورگوم که دانه‌های شکسته، ناقص و علف‌های هرز آن جدا شده است در محلول NaOH با غلظت ۰/۲۵ درصد با نسبت ۵ به ۱، به مدت ۲۴ ساعت در دمای 5°C خیسانده شد. پس از حذف محلول اضافی، دانه‌ها را با آب شستشو داده و معادل وزن آن، آب مقطر اضافه و با خردکن آزمایشگاهی، خرد شد و با الک مش ۱۰۰ صاف گردید. ذرات باقی‌مانده روی الک دوباره خرد شده و از الک عبور داده شد. سوسپانسیون حاصل سپس از الک با قطر حفره $46\mu\text{m}$ عبور داده شد. با استفاده از محلول سود ۰/۵ مولار، pH روی ۸ تنظیم، ۳۰ دقیقه هم زده شد و به مدت ۲ ساعت در دمای یخچال نگهداری شد تا نشاسته ته نشین گردد. لایه شناور حذف شد و لایه ته نشین شده با آب مقطر مخلوط شد. این مخلوط در شتاب ۸۰۰ g به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ و سپس لایه شناور حذف گردید. لایه خاکستری رنگ که شامل فیبر، پروتئین و چربی است حذف و لایه نشاسته معلق و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ گردید و مجدداً لایه خاکستری حذف شد. مرحله اخیر سه بار تا عدم مشاهده لایه خاکستری تکرار گردید. تیمار تولوئن و استون

- 1 Line
- 2 Merck
- 3 Applichem
- 4 Sigma

مدت ۲۴ ساعت در دمای یخچال به تعادل رسید. پس از هم‌دم شدن ظرف با محیط، به وسیله دستگاه کالری‌متری روبشی افتراقی (DSC822e calorimeter, Mettler-Toledo, Switzerland) از دمای ۲۰ تا ۱۲۰°C با سرعت ۱۰°C/min حرارت‌دهی شد. گاز نیتروژن برای جلوگیری از میعان رطوبت درون محفظه با سرعت ثابت جریان یافت. در این آزمایش از ظرف آلومینیومی خالی به عنوان شاهد استفاده گردید. داده‌ها به وسیله نرم‌افزار STAR[®] جهت تعیین دمای شروع ژلاتینه شدن (To)، دمای اوج (Tp)، دمای انتهایی (Tc)، محدوده دمایی ژلاتینه شدن (Tc-To) و آنتالپی ذوب کریستال‌ها (ΔH) تحلیل شد (Pascoal *et al.*, 2013).

تبدیل فوری طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)

طیف‌سنجی مادون قرمز نشاسته یا استفاده از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز (Shimadzu6650, Japan) در محدوده عدد موجی ۴۰۰۰ تا ۴۰۰ cm⁻¹ انجام شد (Pascoal *et al.*, 2013). به منظور کمی‌سازی مقایسه ساختار نشاسته‌ها، درصد کریستالی به روش ارایه شده توسط Sun و همکاران (Sun *et al.*, 2014b) محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش‌ها در قالب فاکتوریل و آنالیز واریانس بر اساس فاکتور منبع نشاسته با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۷ انجام شد. میانگین بر پایه آزمون LSD در سطح ۹۵ درصد اطمینان، مقایسه گردید. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار MS-Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی

استخراج نشاسته و خالص‌سازی آن از برخی غلات مانند سورگوم به دلیل پیوستگی محکم‌تر گرانول‌های نشاسته با زمینه پروتئینی و ترکیبات دیواره سلولی (Boudries *et al.*, 2009) نسبت به دانه‌هایی مانند گندم، دشوارتر است. تفاوت روش‌های مختلف برای استخراج نشاسته سورگوم عمدتاً در محلول خیس‌اندن، به لحاظ اسیدی بودن (Ali *et al.*, 2011) یا قلیایی بودن (Sira *et al.*, 2004) می‌باشد. ترکیب شیمیایی نشاسته‌های سورگوم استخراج‌شده در جدول ۱ ارایه شده است. نتایج نشان می‌دهد میزان پروتئین نشاسته‌های موردبررسی تفاوت معنی‌داری نداشتند و در تمام نمونه‌ها کمتر از ۰/۳۶ درصد در ماده خشک بود، همچنین مقدار اندازه‌گیری شده کمتر از حد ناخالصی پروتئین برای نشاسته ایزوله، یعنی ۰/۶ درصد بود (Tester *et al.*, 2004). Sang و همکاران (۲۰۰۸) درصد پروتئین نشاسته سورگوم را ۰/۲۸ درصد گزارش کردند و پروتئین نشاسته ارزن تا ۰/۶۷ درصد نیز گزارش شده است (Wen *et al.*, 2014). با توجه به درصد پایین

تصویرگیری میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

سوسپانسیون ۱٪ نشاسته در اتانول تهیه و پس از یکنواخت شدن با همزن گردابی، یک قطره به پایه آلومینیومی منتقل و پس از خشک شدن، به وسیله دستگاه پوشش‌دهی طلا-پالادیوم SC7620 با شدت جریان ۹mA و خلا ۱۰-۳Pa پوشش‌دهی شد، سپس با میکروسکوپ الکترونی روبشی (LEO 1450VP, Germany) با ولتاژ شتاب‌دهنده ۲۰kV تصویربرداری انجام شد (Singh, *et al.*, 2010b).

رنگ

مولفه‌های رنگی سیستم CIE LAB شامل مولفه‌های a^* و b^* نشاسته با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج هانترلب (Color Flex, USA) در دو تکرار اندازه‌گیری شد. دو شاخص اشباعیت رنگ (C^*) و زاویه فام (h^*) به ترتیب با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید (Pérez-Pacheco *et al.*, 2014).

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (1)$$

$$h^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (2)$$

الگوی پراش پرتو X

جهت تعیین الگوی پراش پرتو X و درجه کریستالی، نمونه‌های نشاسته به مدت یک هفته درون دسیکاتور و در مجاورت محلول فوق اشباع کلرور سدیم در دمای ۲۵°C (رطوبت نسبی ۷۵ درصد) قرار گرفت تا رطوبت نمونه نشاسته با محیط به تعادل برسد. دستگاه پراش‌سنج پرتو X (Unisant, XMP300, Germany) در طول موج ۰/۵۷۱۸۴Å، ولتاژ ۴۵kV و شدت جریان ۰/۱۵mA برای تعیین شدت پراش پرتو X در محدوده زاویه (2θ) ۴ تا ۴۰° با فاصله زاویه ۰/۰۳° استفاده گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار X'Pert HighScore Plus به منظور اعمال فیلتر یکنواخت کننده تبدیل فوری و تعیین درصد کریستالی تحلیل شد. پس از حذف پس زمینه پراش دستگاه با ترسیم خط بین نقاط ابتدا و انتها، سطح کل نمودار (A_t)، محاسبه شد، سپس، پس زمینه ناحیه آمورف حذف گردید و سطح ناحیه کریستالی (A_c) محاسبه گردید. درصد کریستالی از رابطه ۳ محاسبه شد (Pascoal *et al.*, 2013).

$$\text{Crystallinity} = \left(\frac{A_c}{A_t} \right) \times 100 \quad (3)$$

کالری متری روبشی افتراقی (DSC)

به منظور بررسی ویژگی‌های حرارتی ژلاتینه شدن نشاسته، ۵mg نشاسته (بر مبنای وزن خشک)، با دقت درون ظرف آلومینیومی ۴۰μL توزین و پس از افزودن ۲۰μL آب دیونیزه درب ظرف بسته شد و به

نیتروزن، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روش استخراج بکار رفته، در جداسازی گرانول‌های نشاسته از پروتئین زمینه‌ای دانه سورگوم موثر بوده است. شاخص دیگر کیفیت استخراج نشاسته، محتوای چربی است که عمدتاً چربی سطح گرانول می‌باشد. با توجه به خطای ذاتی روش سوکسله در مورد نمونه‌های با چربی خیلی کم و همچنین کارایی پایین آن در استخراج چربی‌های قطبی و متصل (Schirmer *et al.*, 2013) خطای اندازه‌گیری در تکرارهای مختلف نسبتاً بالا بود. استخراج قلیایی، تیمار تولوئن و شستشو با استون، چربی سطحی گرانول نشاسته را تا حد زیادی کاهش داد و مقدار اندازه‌گیری شده کمتر از مقدار گزارش شده (۱/۴٪) توسط Olayinka و همکاران (2011) برای نشاسته سورگوم سفید بود. نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین محتوای چربی نمونه‌های نشاسته وجود نداشت و به‌طور کلی کمتر از ۰/۱۱ درصد در ماده خشک بود که به جهت مقایسه، مقدار چربی برای نشاسته ذرت تا ۰/۸ درصد نیز گزارش شده است (Waterschoot *et al.*, 2015). خاکستر، تابعی از مقدار

ترکیبات معدنی دیواره سلولی پوسته و لایه آلورون بوده و مقدار آن در نشاسته عموماً پایین است (Schirmer, *et al.*, 2013) و بالا بودن مقدار آن در نشاسته ناشی از ناخالصی‌های پوسته است که طی استخراج باقی مانده است. خاکستر نشاسته لاین‌های KDFGS1، KDFGS6 و KDFGS20 مشابه بودند درحالی‌که محتوای خاکستر نشاسته لاین KDFGS9 به‌طور معنی‌دار بیشتر از سایر نمونه‌ها بود که احتمالاً به دلیل نفوذ بیشتر سلول‌های پوسته طی استخراج بوده و بالاتر از مقدار گزارش شده (۰/۱۴٪) توسط Sang و همکاران (۲۰۰۸) و کمتر از مقدار گزارش شده (۰/۱۶٪) توسط Olayinka و همکاران (۲۰۱۱) برای نشاسته سورگوم بود. رطوبت نشاسته‌های استخراج شده تفاوت معنی‌داری نداشتند و در محدوده لازم برای نگهداری نشاسته (کمتر از ۲۰ درصد) بود. به‌طور کلی نتایج آنالیز شیمیایی نشان داد نشاسته‌های استخراج شده در این تحقیق از خلوص کافی برخوردار بودند.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی نشاسته‌های استخراج شده از لاین‌های سورگوم

شماره سورگوم	ترکیب شیمیایی (درصد)			
	آمیلاز	خاکستر*	چربی*	پروتئین*
KDFGS1	۲۸/۲±۰/۷ ^b	۰/۳۱±۰/۰۱ ^b	۰/۰۷±۰/۰۳ ^a	۰/۳۲±۰/۰۷ ^a
KDFGS6	۳۰/۷±۰/۹ ^a	۰/۳۷±۰/۰۲ ^b	۰/۰۶±۰/۰۱ ^a	۰/۲۸±۰/۰۵ ^a
KDFGS9	۲۸/۷±۰/۳ ^b	۰/۵۳±۰/۰۶ ^a	۰/۱۱±۰/۰۳ ^a	۰/۳۴±۰/۰۴ ^a
KDFGS20	۲۷/۲±۰/۰ ^b	۰/۳۴±۰/۰۵ ^b	۰/۰۹±۰/۰۲ ^a	۰/۳۶±۰/۰۵ ^a

*درصد پروتئین، چربی و خاکستر در ماده خشک محاسبه شده است. تفاوت اعداد با حرف مشترک در یک ستون، در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست.

درصد آمیلوز از شاخص‌های مهم شیمیایی نشاسته است، به‌طوری‌که تأثیر زیادی بر ویژگی‌های ساختمانی و عملکردی نشاسته مانند درجه کریستالی، قدرت تورم، حلالیت، دمای ژلاتینه شدن، ویسکوزیته خمیر، تشکیل ژل، و رتروگراداسیون نشاسته دارد (Li *et al.*, 2014). نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین نشاسته علاوه بر اینکه بین گونه‌ها و ارقام مختلف گیاهی متغیر است، به شرایط آب‌وهوا و خاک طی داشت نیز وابسته است (Chao *et al.*, 2014). درصد آمیلوز نشاسته‌های استخراج شده از سورگوم در محدوده ۲۷ تا ۳۰/۷ درصد قرار داشت و نشاسته استخراج شده از لاین KDFGS6 به‌طور معنی‌داری درصد آمیلوز بالاتری نسبت به نشاسته سایر لاین‌ها داشت که احتمالاً به دلیل تفاوت ژنتیکی لاین‌ها بود.

ریخت‌شناسی و اندازه گرانول

تصاویر میکروسکوپی (شکل ۱) نشان دادند که گرانول‌ها از توزیع شکلی یکنواختی برخوردار بودند و دارای گرانول‌های بزرگ (گرانول نوع A) چندضلعی یا شکل نامنظم و بیشتر دارای گرانول‌های کوچک

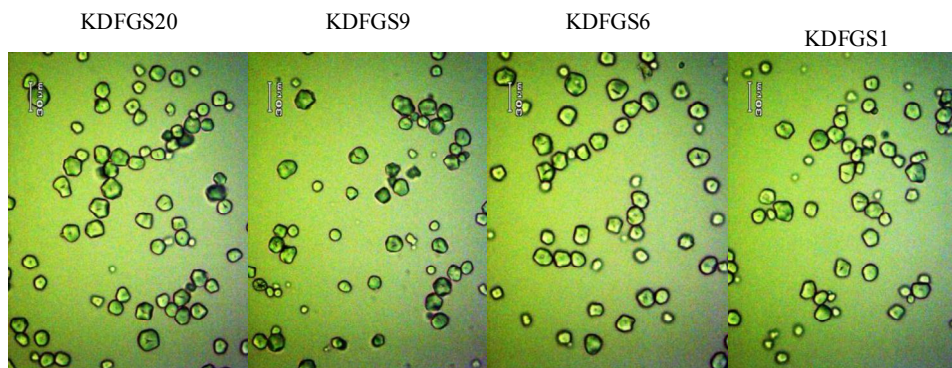
(گرانول نوع B) عمدتاً کروی بودند، همچنین تفاوت قابل توجهی بین گرانول‌های ایزوله شده از لاین‌های سورگوم به‌لحاظ شکل و توزیع گرانول‌ها در تصاویر میکروسکوپ نوری مشاهده نشد. برای مشاهده واضح‌تر گرانول‌ها از تکنیک SEM استفاده شد. تصاویر SEM نشاسته‌های سورگوم (شکل ۲) نشان دادند که به دلیل عدم وجود ذرات اضافی و چسبیده در سطح گرانول، کیفیت استخراج نشاسته قابل قبول بود و نتایج آنالیز شیمیایی نیز این ادعا را تأیید کرد (جدول ۱). مشابه با آنچه در تصاویر میکروسکوپ نوری مشاهده شد، گرانول‌های نشاسته سورگوم عمدتاً چندضلعی، کروی و برخی نیز با شکل نامنظم بودند. Cai و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند گرانول نشاسته ذرت معمولی نیز بیشتر به شکل چندضلعی مشاهده می‌شوند. به‌طور کلی سطح گرانول‌ها صاف بودند و شیار، ترک، تورفتگی یا گودی و همچنین خوردگی در گرانول‌ها مشاهده نشد. بررسی دقیق‌تر گرانول‌ها نشان داد حفرات خیلی ریزی به‌طور تصادفی در سطح برخی گرانول‌ها قابل مشاهده بودند که با پیکان مشکی در شکل ۲ مشخص شده است. این نقاط در سطح گرانول‌های نشاسته سورگوم و برخی

(Waterschoot *et al.*, 2015). توزیع اندازه گرانول‌های نشاسته به لحاظ سرعت جذب آب، تورم گرانول، ویسکوزیته حداکثر و همچنین در فرآورده نهایی، بر سرعت فعالیت و نفوذ آنزیم‌های تجزیه‌کننده آمیلوز به لحاظ نسبت سطح در دسترس در حجم‌های مساوی تاثیر گذار است (Chao *et al.*, 2014).

رنگ

مقادیر مولفه های فضای رنگی CIE Lab و همچنین مقادیر درصد اشباعیت و زاویه فام نشاسته‌های استخراج شده از لاین های سورگوم در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین مقادیر شاخص‌های رنگی نشاسته‌ها وجود نداشت. مقدار مولفه L^* در همه نشاسته‌های مورد مطالعه بالاتر از حداقل مقدار روشنی برای کیفیت قابل قبول نشاسته (Boudries *et al.*, 2009) و همچنین بالاتر از مقدار گزارش شده (۹۱/۳) توسط Sira و همکاران (۲۰۰۴) برای نشاسته سورگوم سفید بود. شاخص‌های اشباعیت و زاویه رنگ شاخص‌هایی هستند که درجه و عمق رنگ را مشخص می‌سازند. رنگ نشاسته‌های سورگوم مورد مطالعه بر اساس چارت رنگی استاندارد، کاملاً سفید و بر اساس منابع مشابه با نشاسته ذرت با درصد اشباعیت ۵/۶ و زاویه فام $95/6^\circ$ بود (Pérez-Pacheco *et al.*, 2014).

منابع مانند ذرت، گندم و جو نیز مشاهده شده؛ جزو ویژگی‌های ذاتی گرانول محسوب می‌شوند و در اثر استخراج یا روش آماده‌سازی گرانول برای مشاهده میکروسکوپی، ایجاد نمی‌گردند. احتمالاً این حفرات دسترسی آنزیم‌های تجزیه‌کننده نشاسته به مرکز گرانول را افزایش می‌دهند (Fannon *et al.*, 1992). نشاسته لاین KDFGS9 به‌طور محدودی دارای گرانول‌های با شکل نامنظم یا ظاهراً شکسته شده بود که مشاهده این گرانول‌ها می‌تواند ناشی از رسیدگی کمتر دانه‌های سورگوم این لاین به هنگام برداشت یا آسیب طی استخراج باشد که در سایر منابع نیز مشاهده شده است (Du *et al.*, 2014). محاسبات آماری توزیع گرانول‌های نشاسته سورگوم در جدول ۲ ارائه شده است. به‌جز لاین KDFGS9 که دارای درصد فراوانی بیشتری از گرانول‌های B است، تفاوت زیادی در توزیع اندازه گرانول نشاسته لاین های سورگوم وجود نداشت. همانطور که در ارتباط با تصاویر SEM نیز بحث شد، در نشاسته لاین KDFGS9 نسبتاً گرانول‌های کوچک‌تر بیشتری در مقایسه با سایر لاین‌ها مشاهده شد (شکل ۲) و توزیع اندازه گرانول‌ها به‌صورت کمی آن را تایید کرد. اندازه گرانول‌های نشاسته تابعی از ژنتیک، شرایط رشد و میزان رسیدگی غله است (Du *et al.*, 2014) و تنوع زیادی در گرانول‌های نشاسته منابع مختلف وجود دارد. نشاسته‌های سورگوم مورد مطالعه در این تحقیق به لحاظ اندازه گرانول و شکل مشابه با نشاسته استخراج شده از سورگوم توسط Singh و همکاران (۲۰۱۲) بود و با اطلاعات منتشر شده برای ذرت معمولی (۲۰-۵ میکرومتر) قابل مقایسه هستند

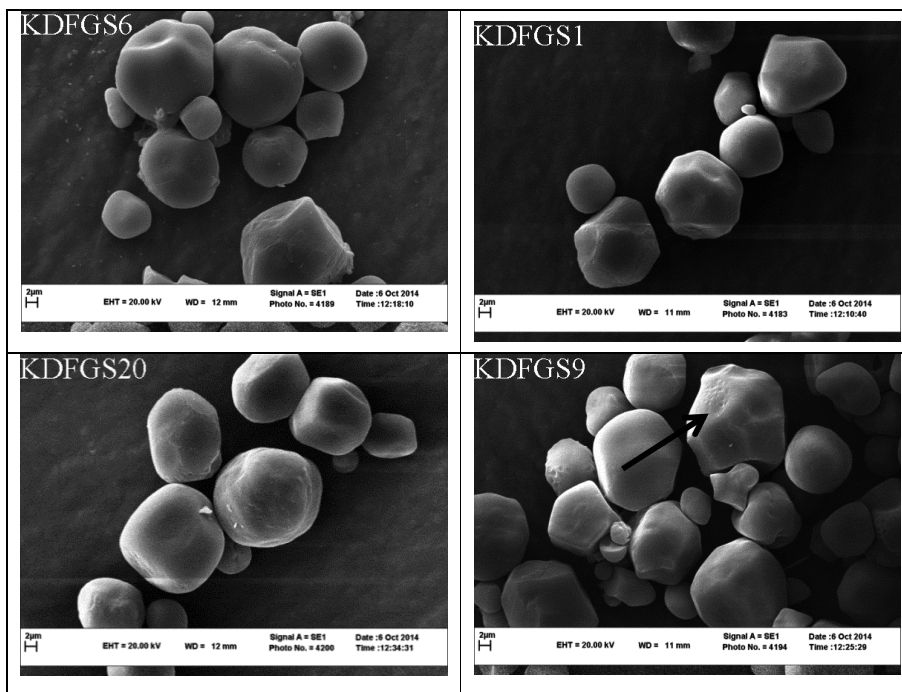


شکل ۱- تصویر میکروسکوپ نوری نشاسته‌های استخراج شده از لاین های سورگوم.

جدول ۲- شاخص‌های توزیع اندازه گرانول‌های نشاسته لاین های سورگوم

لاین سورگوم	اندازه گرانول (μm)	گرانول A (%)	گرانول B (%)	گرانول C (%)
KDFGS1	$12/07 \pm 4/86$	۲۸/۶	۶۴/۲	۷/۳
KDFGS6	$12/17 \pm 4/80$	۲۹/۵	۶۶/۱	۴/۴
KDFGS9	$11/09 \pm 4/24$	۱۹/۹	۷۳/۸	۶/۳
KDFGS20	$12/99 \pm 3/87$	۳۰/۹	۶۶/۵	۲/۶

*- گرانول نوع A ($10\mu\text{m}$ > اندازه گرانول)، گرانول نوع B ($5\mu\text{m}$ > اندازه گرانول $15\mu\text{m}$ >)، گرانول نوع C (اندازه گرانول $5\mu\text{m}$ >).



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشاسته لاین‌های سورگوم (خط مقیاس تصویر: ۲ میکرومتر)

جدول ۳- شاخص‌های رنگ نشاسته‌های استخراج شده از لاین‌های سورگوم

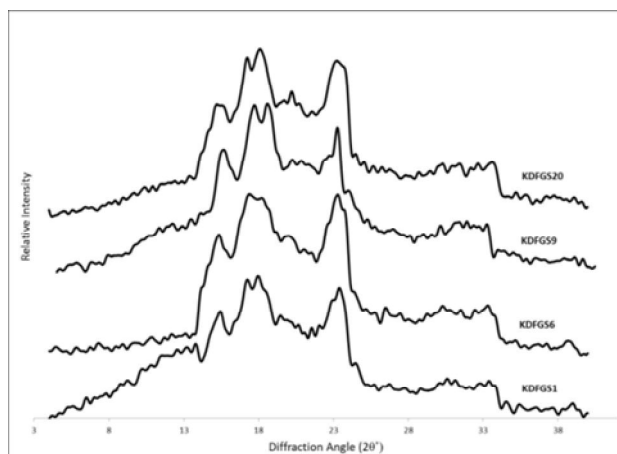
شماره سورگوم	L*	a*	b*	اشباعیت (%)	زاویه فام (°)
KDFGS1	۹۵/۴۵±۰/۰۲ ^a	-۰/۵۸±۰/۰۹ ^a	۲/۴۳±۰/۱۶ ^a	۲/۴۴±۰/۰۹ ^a	۱۰۳/۳۷±۰/۹۸
KDFGS6	۹۵/۴۶±۰/۱۶ ^a	-۰/۶۰±۰/۰۹ ^a	۲/۵۲±۰/۱۳ ^a	۲/۵۹±۰/۱۵ ^a	۱۰۳/۳۵±۱/۰۴
KDFGS9	۹۵/۹۹±۰/۷۰ ^a	-۰/۵۸±۰/۰۹ ^a	۲/۴۴±۰/۲۲ ^a	۲/۵۰±۰/۲۳ ^a	۱۰۳/۲۴±۰/۶۴
KDFGS20	۹۵/۹۸±۰/۶۵ ^a	-۰/۵۹±۰/۰۸ ^a	۲/۵۰±۰/۰۶ ^a	۲/۶۳±۰/۰۱ ^a	۱۰۳/۱۲±۰/۹۷

مختلف سورگوم در شکل ۳، ارایه شده است. با توجه به اینکه نقاط افزایش شدت پراش به‌طور واضحی در زاویه‌های پراش نزدیک به ۱۵، ۱۷، ۱۸ و ۲۳ درجه مشاهده شد، نتیجه‌گیری شد که نشاسته‌های مورد بررسی، حاوی کریستال‌های نوع A بودند (Lopez-Rubio et al., 2008). Singh و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که نوع کریستال نشاسته سورگوم معمولی از نوع A می‌باشد. الگوی پراش نشاسته‌های سورگوم نشان داد در زاویه ۲۰ درجه، پراش به میزان محدودی افزایش یافته است که مرتبط با حضور کریستال‌های نوع V بود و در نشاسته لاین KDFGS6 نسبت به سایر لاین‌ها شدت بیشتری داشت. با توجه به درصد آمیلوز بالاتر این لاین انتظار می‌رفت با چربی درون گرانولی کمپلکس‌های بیشتری تشکیل دهد. درصد کریستالی نشاسته لاین‌های سورگوم در محدوده ۲۴/۹ تا ۳۰/۸ درصد (جدول ۴) و مشابه با محدوده درصد کریستالی گزارش شده توسط سایر محققان برای نشاسته سورگوم (Sun et al., 2014a) و ذرت در منابع (Waterschoot et al., 2015) بود. در حالی که نشاسته‌های دارای

الگوی پراش پرتو X

گرانول نشاسته به دلیل ماهیت مولکول‌های تشکیل‌دهنده آن در تشکیل پیوندهای هیدروژنی دارای ساختاری نیمه کریستالی است. در بخشی از ساختار گرانول، زنجیره‌های پلیمری ماریپچ‌هایی را تشکیل داده، با نظم خاصی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و با آرایش مولکول‌های آب در فضای بین این ماریپچ‌ها، الگوی کریستالی تشکیل می‌شود و بین بخش‌های کریستالی، نواحی آمورف مشاهده می‌شود (Buleon et al., 1997). بررسی شدت پراش پرتو ایکس در زاویه‌های مختلف، ابزاری برای تعیین نوع الگوی کریستالی و میزان کریستاله بودن نشاسته است. دو آرایش کریستالی A و B چندشکلی‌های اصلی آرایش ماریپچ‌های دوگانه آمیلوز و آمیلوپکتین هستند و آرایش C مخلوط آرایش‌های A و B است. کریستال نوع V برخلاف کریستال‌های ذکر شده، از آرایش ماریپچ تک زنجیر آمیلوز و ترکیب آن با چربی‌های درون گرانولی تشکیل می‌گردد (Lopez-Rubio et al., 2008). الگوی پراش پرتو X نشاسته‌های لاین‌های

طول زنجیره‌های آمیلوپکتین، مقدار مارپیچ‌های دوگانه در ساختار کریستالی و جهت‌گیری‌های متفاوت این ساختارها، ابعاد کریستال و درجه فسفوریله بودن آمیلوپکتین علاوه بر درصد آمیلوز، بر درصد کریستال نشاسته موثر هستند (Jiang *et al.*, 2015). علاوه بر تفاوت در موارد ذکر شده، محتوای بالاتر کریستال نوع V نیز می‌تواند درصد کریستال را افزایش دهد.



شکل ۳- الگوی پراش پرتو X نشاسته‌های استخراج شده از لاین‌های سورگوم.

قرار داشت که محدوده گزارش شده برای نشاسته سورگوم معمولی بود (Sang *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2012; Sun *et al.*, 2014a). آنتالپی ذوب کریستال، شاخصی متفاوت با دمای ذوب کریستال‌های نشاسته، عموماً تابعی از فراوانی مارپیچ‌های دوگانه به‌عنوان اجزای کریستال‌ها و به بیان دیگر، به درصد کریستال نشاسته وابسته است (Lopez-Rubio *et al.*, 2008; Maaran *et al.*, 2014). اگرچه عوامل دیگری مانند درصد آمیلوز، اندازه و شکل گرانول، آسیب فیزیکی نشاسته و نیز شرایط آزمون مانند رطوبت و سرعت حرارت‌دهی می‌تواند بر آن موثر باشد (Chao *et al.*, 2014; Du *et al.*, 2014). بر اساس آنچه بیان شد، آنتالپی ذوب کریستال نشاسته لاین‌های KDFGS1 و KDFGS9 با درصد کریستال کمتر، آنتالپی ذوب کمتری داشت و گرمای بیشتری برای ذوب کریستال‌های نشاسته لاین KDFGS20 با درصد کریستال بالاتر، لازم بود. این در حالی بود که نشاسته لاین KDFGS6 با بیشترین مقدار درصد کریستالی، آنتالپی ذوب کمتر از انتظار داشت. در بحث الگوی پراش پرتو بیان شد که بالاتر بودن درصد کریستالی این لاین، احتمالاً مربوط به بالاتر بودن درصد آمیلوز و به تبع آن، تشکیل کریستال‌های نوع V بود.

با توجه به اینکه محدوده ذوب این نوع کریستال بالاتر از دمای 100°C بود، در مجموع، آنتالپی محدوده ذوب مارپیچ دوگانه

مقدار آمیلوز مشابه درصد کریستالی نزدیک نیز دارند، در تضاد با برخی گزارش‌ها (Chao *et al.*, 2014; Jiang *et al.*, 2015) مبنی بر اثر کاهش‌دهنده آمیلوز بر درصد کریستالی، همبستگی مثبت یا منفی بین درصد کریستالی با مقدار آمیلوز ظاهری مشاهده نگردید اما مشاهده شد که نشاسته لاین KDFGS20 با کمترین درصد آمیلوز، فراکسیون کریستالی نسبتاً بالایی داشت. عوامل متعددی مانند توزیع

کالری‌متری روبشی افتراقی

تکنیک کالری‌متری روبشی افتراقی، ابزاری مناسب برای تعیین شاخص‌های دمایی ذوب شدن بخش کریستالی نشاسته و به‌طور دقیق‌تر، مارپیچ‌های دوگانه شاخه‌های جانبی پلیمرهای خطی آلفا-گلوکان آمیلوپکتین است و همزمان گرمای ذوب این پدیده را نیز مشخص می‌سازد (Du *et al.*, 2014). نتایج این آزمون برای نشاسته‌های سورگوم مورد مطالعه در جدول ۴، ارائه شده است. دمای شروع ذوب کریستال‌ها تابع استحکام و یکپارچگی^۱ کریستال‌های آمیلوپکتین است. هرچه متوسط طول زنجیره‌های جانبی مولکول آمیلوپکتین بزرگ‌تر باشد، انتظار می‌رود کریستال‌های تشکیل شده در برابر ذوب مقاوم‌تر باشد و در مقابل، حضور زنجیره‌های کوتاه و نفوذ مولکول آمیلوز سبب نقص کریستال و کاهش دمای شروع ذوب می‌گردد (Du *et al.*, 2014)، چنین کریستال‌هایی به‌طور نسبی دامنه ذوب بالاتری نیز دارند (Maaran *et al.*, 2014). همان‌طور که انتظار می‌رود، لاین‌های KDFGS1 و KDFGS20 با کمترین T_0 ، بیشترین محدوده ذوب را نسبت به دو لاین دیگر داشت و کمترین محدوده ذوب مربوط به لاین KDFGS9 بود که بالاترین T_0 را داشت. به‌طور کلی دماهای شروع، حداکثر و پایان ذوب کریستال در چهار لاین مورد بررسی مشابه بودند و در محدوده 69°C تا 78°C

جدول ۴- شاخص‌های حرارتی ذوب کریستال و درصد کریستالی نشاسته سورگوم

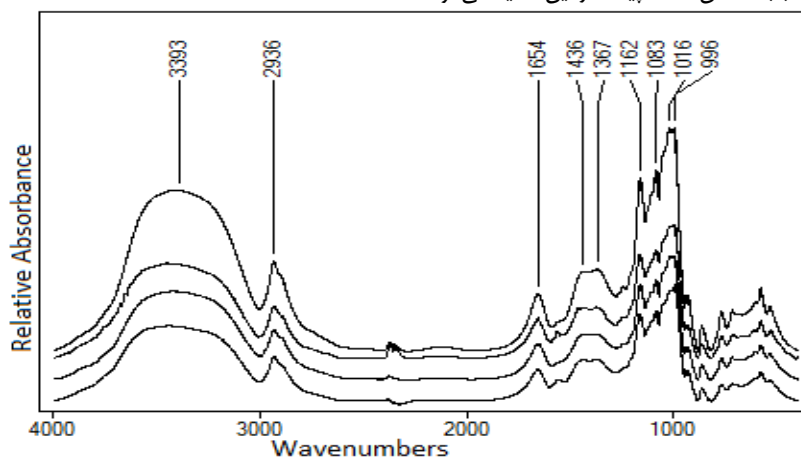
درصد کریستالی (FTIR)	درصد کریستالی (پراش پرتو X)	شاخص‌های ژلاتینه شدن					شماره سورگوم
		$\Delta H(J/g)$	$T_c - T_o(^{\circ}C)$	$T_c(^{\circ}C)$	$T_p(^{\circ}C)$	$T_o(^{\circ}C)$	
۲۳/۹	۲۵	۸/۳۳	۹	۷۸/۱۷	۷۳/۴۹	۶۹/۱۷	KDFGS1
۲۰/۵	۳۰/۸	۸/۰۹	۸/۵۱	۷۸/۷۹	۷۴/۰۱	۷۰/۲۸	KDFGS6
۲۲/۱	۲۴/۹	۸/۰۰	۷/۲۵	۷۷/۶۸	۷۳/۴۶	۷۰/۴۳	KDFGS9
۲۴	۲۹/۲	۹/۷۶	۹/۲۳	۷۸/۶۸	۷۳/۷۹	۶۹/۴۵	KDFGS20

زنجیره‌های آمیلوپکتین محاسبه نشده است، به همین دلیل آنتالپی ذوب آن مشابه با لاین‌های KDFGS1 و KDFGS9 بود.

طیف فوریه مادون قرمز

به منظور مقایسه ساختار مولکولی نشاسته‌های سورگوم مورد بررسی، طیف FTIR نمونه‌ها تهیه شد که در شکل ۴، ارایه شده است. طیف جذبی نشاسته در ناحیه مادون قرمز میانه، شامل سه ناحیه اصلی بود که البته پیک‌هایی خارج از این نواحی نیز مشاهده شد. ناحیه اصلی اول (3600 تا 3000 cm^{-1})، که پیک اصلی بزرگ سمت چپ نمودار، مربوط به کشش متقارن و غیرمتقارن گروه عاملی OH بود که به دلیل فراوانی این گروه عاملی در مولکول‌های سازنده نشاسته و همچنین حضور مولکول‌های آب باند شده، جذب گسترده‌ای در این ناحیه مشاهده شد (Pelissari *et al.*, 2012). ناحیه اصلی دوم (3000 تا 2800 cm^{-1}) مرتبط با کشش نامتقارن پیوند CH بود و با توجه به حضور گسترده مولکول گلوکز در ساختمان نشاسته، این پیک مشاهده شد. پیک ناحیه 1700 تا 1600 cm^{-1} ناشی از کشش مولکول‌های آب جذب‌شده در ناحیه آمورف نشاسته بود. افزایش نسبت ناحیه کریستالی سبب کاهش شدت پیک در این ناحیه می‌گردد.

(Andrade-Mahecha *et al.*, 2012). ناحیه سوم (1500 تا 800 cm^{-1}) که به عنوان ناحیه اثر انگشت شناخته می‌شود، از چند بخش تشکیل شده است. بخش 1500 تا 1300 cm^{-1} شامل پیک‌هایی مرتبط با تا شدن پیوند CH ، خمش پیوند CH_2 و کشش پیوند C=O بود (Pelissari *et al.*, 2012). محدوده 1200 تا 1000 cm^{-1} تحت عنوان قله کربوهیدراتی شناخته شده و متاثر از ارتعاشات گلوکز به عنوان واحد سازنده نشاسته و آرایش زنجیره آن، مانند تشکیل مارپیچ دوگانه و ناحیه کریستالی، شدت جذب در این ناحیه را تغییر می‌دهد. سه پیک اصلی در این ناحیه ناشی از ارتعاشات کششی پیوند C-O-C پیوند گلیکوزیدی و C-O-H در مجاورت این پیوند بود (Pascoal *et al.*, 2013). همچنین پیک مشاهده شده در عدد موجی 855 cm^{-1} مربوط به پیوندهای آلفای انومریک می‌باشد که پیوند اصلی در تشکیل پلیمرهای آمیلوز و آمیلوپکتین بود. بررسی طیف FTIR نشاسته‌های سورگوم نشان داد که تفاوت شاخصی در الگوها وجود ندارد و تنها در دو نمونه، پیک مربوط به آلودگی دی‌اکسید کربن هوای محیط حین نمونه‌گذاری مشاهده شد (2380 cm^{-1}).



شکل ۴- طیف فوریه مادون قرمز نشاسته لاین‌های سورگوم از بالا به پایین: KDFGS20, KDFGS9, KDFGS1, KDFGS6.

ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد نشاسته‌های استخراج شده از نوع معمولی با آمیلوز ظاهری بین ۲۷ تا ۳۱ درصد بودند. گرانول‌های نشاسته سورگوم اکثراً چندضلعی و از نوع گرانول B با میانگین قطر $12\mu\text{m}$ و به لحاظ ظاهری کاملاً سفید بودند. بررسی شدت پراش پرتو X نشان داد، درصد کریستالی نشاسته‌ها بین ۲۵ تا ۳۰ درصد و الگوی پراش مشابه با کریستال نوع A و در برخی موارد همراه با کریستال V بود. ساختار کریستالی نشاسته‌های سورگوم به لحاظ آنتالپی ذوب مشابه و در محدوده $8-10\text{J/g}$ بود و تفاوت محدودی بین ویژگی‌های حرارتی نشاسته‌های مورد بررسی مشاهده شد. بررسی طیف فوریه مادون قرمز، نشانگر این است که در سطح مولکولی تفاوت بارزی بین الگوی جذبی طیف مادون قرمز وجود ندارد. به‌طور کلی نشاسته‌های مورد مطالعه به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این قابلیت را دارند که به‌عنوان منبعی جدید از منابع مقاوم به خشکی، جایگزین نشاسته‌هایی مانند ذرت در صنایع مورد استفاده قرار گیرند. در ادامه این تحقیق بررسی ویژگی‌های عملکردی و رترورگاداسیون نشاسته سورگوم جهت مقایسه با منابع نشاسته رایج ضروری است.

نتایج محاسبه درصد کریستالی به روش ارایه شده توسط Sun و همکاران (Sun et al., 2014b) در جدول ۴، ارایه شده است. این نتایج نشان داد، در تضاد با نتایج آن محقق، اگرچه مقادیر محاسبه شده در محدوده درصد کریستالی محاسبه شده بر اساس پراش پرتو X بود، اما کاملاً منطبق بر آن نبود و از روند تغییر درصد کریستالی نیز پیروی نکرد. با این وجود بالاترین سطح کریستالی محاسبه شده با این روش مربوط به نشاسته لاین KDFGS20 بود که متناسب با بالاتر بودن آنتالپی ذوب کریستال و همچنین درصد بالای کریستالی آن، بر اساس نتایج پراش پرتو X، در مقایسه با سایر لاین‌های مورد بررسی بود. همچنین محاسبه رگرسیونی نشان داد که با کاهش درصد آمیلوز، درصد کریستالی کاهش یافت ($R^2=0.90$). با توجه به نتایج مشاهده شده در این پژوهش می‌توان اینطور نتیجه‌گیری کرد که درصد کریستالی محاسبه‌شده بر اساس این روش، شامل کریستال‌های آملیوپکتینی است و کریستال‌های نوع V را شامل نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، نشاسته چهار لاین سورگوم استخراج شد و

منابع

- Adkins, G.K. & Greenwood, C.T., 1966, The Isolation of Cereal Starches in the Laboratory, *Starch - Stärke*, 18(7), 213-218.
- Ali, T.M. & Hasnain, A., 2011, Functional and Morphological Characterization of Low-Substituted Acetylated White Sorghum (*Sorghum bicolor*) Starch, *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 16(3), 187-198.
- Andrade-Mahecha, M.M., Tapia-Blácido, D.R. & Menegalli, F.C., 2012, Physical-chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica* L.) flour and starch from different geographical origin, *Starch - Stärke*, 64(5), 348-358.
- Awika, J.M., Rooney, L.W., Wu, X., Prior, R.L. & Cisneros-Zevallos, L., 2003, Screening Methods To Measure Antioxidant Activity of Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Sorghum Products, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(23), 6657-6662.
- Boudries, N., Belhaneche, N., Nadjemi, B., Deroanne, C., Mathlouthi, M., Roger, B. & Sindic, M., 2009, Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria, *Carbohydrate Polymers*, 78(3), 475-480.
- Buleon, A., Gallant, D.J., Bouchet, B., Mouille, G., D'Hulst, C., Kossmann, J. & Ball, S., 1997, Starches from A to C (*Chlamydomonas reinhardtii* as a Model Microbial System to Investigate the Biosynthesis of the Plant Amylopectin Crystal), *Plant Physiology*, 115(3), 949-957.
- Cai, C., Zhao, L., Huang, J., Chen, Y. & Wei, C., 2014, Morphology, structure and gelatinization properties of heterogeneous starch granules from high-amylose maize, *Carbohydrate Polymers*, 102, 606-614.
- Chao, G., Gao, J., Liu, R., Wang, L., Li, C., Wang, Y., Qu, Y. & Feng, B., 2014, Starch physicochemical properties of waxy proso millet (*Panicum Miliaceum* L.), *Starch - Stärke*, 66(11-12), 1005-1012.
- Du, S.-k., Jiang, H., Ai, Y. & Jane, J.-l., 2014, Physicochemical properties and digestibility of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) starches, *Carbohydrate Polymers*, 108, 200-205.
- Fannon, J.E., Hauber, R.J. & BeMiller, J.N., 1992, Surface pores of starch granules, *Cereal Chemistry*, 69(3), 284-288.
- Faostat. "Fao Statistics Database For The Year 2014" Food United And Agriculture Organization of The Nations Statistics Division. [On-Line]. <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E> [27 Jun 2016].
- Jiang, Q.-Q., Gao, W.-Y., Shi, Y.-P., Li, X. & Wang, H.-Y., 2015, Comparison of starches from five plants of Sect. *Stenophora* Uline and Sect. *Lasiophyton* Uline of *Dioscorea* grown in China, *Journal of the Science of Food and*

- Agriculture*, 95(4), 836-842.
- Li, W., Xiao, X., Zhang, W., Zheng, J., Luo, Q., Ouyang, S. & Zhang, G., 2014, Compositional, morphological, structural and physicochemical properties of starches from seven naked barley cultivars grown in China, *Food Research International*, 58(7-14).
- Lopez-Rubio, A., Flanagan, B.M., Gilbert, E.P. & Gidley, M.J., 2008, A novel approach for calculating starch crystallinity and its correlation with double helix content: A combined XRD and NMR study, *Biopolymers*, 89(9), 761-768.
- Maaran, S., Hoover, R., Donner, E. & Liu, Q., 2014, Composition, structure, morphology and physicochemical properties of lablab bean, navy bean, rice bean, tepary bean and velvet bean starches, *Food Chemistry*, 152(491-499).
- McGrance, S.J., Cornell, H.J. & Rix, C.J., 1998, A Simple and Rapid Colorimetric Method for the Determination of Amylose in Starch Products, *Starch - Stärke*, 50(4), 158-163.
- Olayinka, O.O., Adebowale, K.O. & Olu-Owolabi, I.B., 2011, Physicochemical properties, morphological and X-ray pattern of chemically modified white sorghum starch. (*Bicolor-Moench*), *Journal of Food Science and Technology*, 50(1), 70-77.
- Pascoal, A.M., Di-Medeiros, M.C.B., Batista, K.A., Leles, M.I.G., Lião, L.M. & Fernandes, K.F., 2013, Extraction and chemical characterization of starch from *S. lycocarpum* fruits, *Carbohydrate Polymers*, 98(2), 1304-1310.
- Pelissari, F.M., Andrade-Mahecha, M.M., Sobral, P.J.d.A. & Menegalli, F.C., 2012, Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*), *Starch - Stärke*, 64(5), 382-391.
- Pérez-Pacheco, E., Moo-Huchin, V.M., Estrada-León, R.J., Ortiz-Fernández, A., May-Hernández, L.H., Ríos-Soberanis, C.R. & Betancur-Ancona, D., 2014, Isolation and characterization of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swartz Seeds, *Carbohydrate Polymers*, 101, 920-927.
- Sang, Y., Bean, S., Seib, P.A., Pedersen, J. & Shi, Y.-C., 2008, Structure and Functional Properties of Sorghum Starches Differing in Amylose Content, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15), 6680-6685.
- Saravi, M.M., Shahbazi, R. & Malekian, A., 2015, Drought and water scarcity in Iran: How to cope with and prepare for it? In: *Drought: Research and Science-Policy Interfacing*, CRC Press, London, 481-484.
- Schirmer, M., Höchstötter, A., Jekle, M., Arendt, E. & Becker, T., 2013, Physicochemical and morphological characterization of different starches with variable amylose/amylopectin ratio, *Food Hydrocolloids*, 32(1), 52-63.
- Singh, H., Sodhi, N.S. & Singh, N., 2012, Structure and Functional Properties of Acetylated Sorghum Starch, *International Journal of Food Properties*, 15(2), 312-325.
- Singh, S., Singh, N., Isono, N. & Noda, T., 2010a, Relationship of Granule Size Distribution and Amylopectin Structure with Pasting, Thermal, and Retrogradation Properties in Wheat Starch, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(2), 1180-1188.
- Singh, H., Sodhi, N. S. & Singh, N., 2010b, Characterisation of starches separated from sorghum cultivars grown in India, *Food chemistry*, 119(1), 95-100.
- Sira, E.E.P. & Lares Amaiz, M., 2004, A laboratory scale method for isolation of starch from pigmented sorghum, *Journal of Food Engineering*, 64(4), 515-519.
- Sun, Q., Han, Z., Wang, L. & Xiong, L., 2014a, Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment, *Food Chemistry*, 145, 756-764.
- Sun, Y., Wu, Z., Hu, B., Wang, W., Ye, H., Sun, Y., Wang, X. & Zeng, X., 2014b, A new method for determining the relative crystallinity of chickpea starch by Fourier-transform infrared spectroscopy, *Carbohydrate Polymers*, 108, 153-158.
- Tester, R.F., Karkalas, J. & Qi, X., 2004, Starch—composition, fine structure and architecture, *Journal of Cereal Science*, 39(2), 151-165.
- Waterschoot, J., Gomand, S.V., Fierens, E. & Delcour, J.A., 2015, Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches, *Starch - Stärke*, 67(1-2), 14-29.
- Wen, Y., Liu, J., Meng, X., Zhang, D. & Zhao, G., 2014, Characterization of proso millet starches from different geographical origins of China, *Food Science and Biotechnology*, 23(5), 1371-1377.

Evaluation of chemical, morphological, structural and thermal properties of white sorghum starch

A. Ehtiati¹, F. Shahidi^{2*}, A. Koocheki³, S. M. A. Razavi², M. Majzoobi⁴

Received: 2016.04.18

Accepted: 2016.09.10

Introduction: Sorghum (*Sorghum bicolor*) is a tropical plant and has the fifth ranking of world cereals production. One of the important aspects of sorghum is drought tolerance and little input need during growth which has made that suitable for cultivation in semiarid regions. Due to the presence of tannin compounds in internal part of sorghum grains and low digestion of cooked protein, sorghum flour consumption is limited. Sorghum grain contains more than 70% starch which is an important tasteless ingredient in food formulas, as the main source of energy and thickening and gelling agent. Extraction of starch from sorghum in regarding to its nutritional problems is a good solution for extension of sorghum uses in food industry. Starch is a semi crystalline structure consisted on linear amylose and branched amylopectin molecules packed in granules. Ratio of these two molecules and their molecular short order and macrostructure and size and shape of granules determine functional properties of starch in the final product. Starch properties is depended on genetic residues so that starches from tubers have distinct differences with cereal starches even obvious differences exists between cereal starches and varieties. In this study we have investigated chemical, morphological, structural and thermal properties of starches four white sorghum line.

Material and methods: White sorghum grains were prepared from local farms with line numbers KDFGS1, KDFGS6, KDFGS9 and KDFGS20. Starches were extracted sorghum lines using alkaline steeping method and further purified using toluene-water-salt solution. Chemical parameters were determined including protein by Kjeldahl digestion method, lipid by soxhlet extractor, ash by burning in furnace, moisture by oven drying and amylose content by iodine binding colorimetry. Light microscopy coupled with digital camera was used for granules shape and size determination moreover surface properties and morphology of granules was observed using scanning electron microscopy technique. Color of starches were determined with hunterlab colorimeter. To evaluate crystalline structure of sample i.e. type of crystals and degree of crystallinity, starches first were conditioned in desiccator containing saturated aqueous sodium chloride solution at 25°C for a week then X-ray diffraction of sample in diffraction angels from 4-40° was determined. Thermal properties of crystals melting or gelatinization were measured using differential scanning calorimetry of starch in deionized water in temperatures from 20-120°C with heating rate of 10°C/min. From heat flow changes over temperature, temperature of onset, peak and conclusion points of crystalline structure melting and its required enthalpy were calculated. Functional groups of starches were investigated using FTIR technique to observe.

Results & Discussion: Isolated starches had appropriate quality due to low amount of protein (<0.36%), lipid (<0.11%) and ash (<0.53%) and no significant difference was observed within starch samples about impurities, revealed that extraction method effectively separated starch granules from surrounding matrix. Since the apparent amylose contents were between 27.2-30.7%, these starches categorized as normal starches (versus waxy or high amylose starches) and starches from KDFGS6 line had significantly higher amylose content which arose from difference in genetic diversity which caused difference in starch synthetize enzyme led to different synthesizing activity to produce linear and branched alpha glucans. Starches were white with hue angle of 103° and 3% color saturation while no differences were observed with LAB color parameters. The color of starches was comparable to values reported for corn starch in literature. Light microscopy images showed that starch granules size distribution were nearly similar but starches from KDFGS9 line had more small granules (diameters lower than 15 µm). The average diameter of starches granules were in the range of 12.07-12.99 µm for different lines which is the smaller than other cereal starches like wheat starch. Scanning electron microscopy revealed that sorghum starches were more spherical or irregular shape and surface pores were also observed. X-ray diffraction analysis showed that starch crystallinity degrees were between 25-31% and all starches exhibited

2, 2 and 3. Ph. D. Candidate, Professor and Associate Professor, Department of Food Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

4. Associate Professor, Food Processing Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran.

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

A-type diffraction pattern due to strong diffraction at diffraction angles of 15, 17, 18 and 23°, as well as V-type crystal pattern were also observed alongside A type pattern, for some starches. In cereal starches, internal lipids, mostly phospholipids present which can complex with amylose molecules due to hydrophobicity of internal part of amylose helix and aggregation of these complexes can cause diffraction pattern, called V-type crystalline. Crystal melting onset and peak temperatures were 69-70°C and 73-74°C respectively and melting enthalpies were between 8-10 J/g. It was observed that starches with lower onset temperature, had higher gelatinization range because of crystal imperfection in that starches. FTIR spectra absorption patterns were similar for all starches with minor differences in absorption values. Also new method of crystallinity calculation based on the absorbance spectra in range of 800-1300 cm⁻¹ were applied on FTIR spectra of starched which not correlation with data had obtained from X-ray diffraction spectra.

Conclusion: Overall conclusion is that starches from white sorghum lines, were slightly different in some properties and for comparison with common industrial native starches, they were similar to normal corn starch according to data published in the literature.

Keywords: DSC, FTIR, SEM, Sorghum, Starch, XRD.

تاثیر فرآیند صمغ‌گیری بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پایداری اکسایشی روغن دانه مورینگا (گز روغنی)

افسانه صادقی^۱ - احمد غضنفری مقدم^{۲*} - حسن هاشمی پور رفسنجانی^۳ - حمیدرضا اخوان^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۲۳

چکیده

روغن دانه درخت مورینگا در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش روغن خام مورینگا با استفاده از آب و اسید فسفریک صمغ‌گیری و برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پایداری اکسایشی آن اندازه‌گیری و مورد مقایسه قرار گرفتند. آنالیز گاز کروماتوگرافی نشان داد که حدود ۷۱ درصد اسیدهای چرب روغن مورینگا را اسید اولئیک و ۲۴ درصد آن را اسیدهای چرب اشباع پالمیتیک، استئاریک و بهنیک تشکیل می‌دهند. صمغ‌گیری باعث کاهش عدد پراکسید از ۴ به ۲/۳۵ میلی‌اکی‌والان / کیلوگرم روغن؛ کاهش اسیدهای چرب آزاد از ۲/۰۵ به ۰/۰۷ درصد؛ کاهش عدد صابونی از ۱۹۰/۱۱ به ۱۸۰/۵۵ میلی‌گرم KOH/گرم روغن و کاهش جزئی عدد یدی گردید. همچنین صمغ‌گیری سبب افزایش ویسکوزیته و چگالی روغن حاصله گردید، اما تاثیری بر ضریب شکست نداشت. به‌علاوه در اثر صمغ‌گیری نقطه اشتعال روغن خام مورینگا از ۱۱۵ به ۲۰۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت، ولی در مجموع عدد پراکسید روغن خام بالاتر از روغن صمغ‌گیری شده بود. بر اساس نتایج حاصله با افزایش دما از ۳ به ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد عدد پراکسید روغن خام و صمغ‌گیری شده افزایش یافت. بطوریکه در حرارت‌های ۸۰ و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، روغن مورینگا پایداری خود را از دست داده و عدد پراکسید آن به‌صورت قابل توجهی افزایش یافت. همچنین قرار گرفتن روغن خام و صمغ‌گیری شده در معرض نور، سبب افزایش کند عدد پراکسید در ۴ روز اول و افزایش شدید آن از روز چهارم تا روز دوازدهم گردید. همچنین پایداری اکسایشی که با استفاده از دستگاه نسیمت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد برای روغن خام ۷/۳ ساعت و برای روغن صمغ‌گیری شده ۸/۹ ساعت بود.

واژه‌های کلیدی: پایداری اکسایشی، روغن مورینگا، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، صمغ‌گیری

مقدمه

جمله داروسازی، آرایشی و بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Abdulkarim et al., 2005).

روغن‌های خام گیاهی که به روش‌های مختلف استخراج می‌شوند دارای مقداری ناخالصی‌های هستند و ناخالصی‌های درشت نامحلول به آسانی توسط فیلتراسیون حذف می‌شوند. ناخالصی‌های محلول مانند اسیدهای چرب آزاد، هیدروکربن‌ها، کتون‌ها، توکوفرول‌ها، فسفولیپیدها، پروتئین‌ها، رنگدانه‌ها و رزین‌ها از طریق فیلتراسیون قابل حذف نیستند و می‌توانند اثرات نامطلوبی بر روی عطر، بو، ظاهر و عمر مفید روغن داشته باشند. اینگونه ناخالصی‌ها با صمغ‌گیری از روغن حذف می‌شوند (Verleyen et al., 2002, Zufarov et al., 2008).

از متداول‌ترین روش‌های صمغ‌گیری روغن می‌توان به صمغ‌گیری با آب اشاره نمود که در این روش تنها فسفاتیدهای هیدراته جدا می‌شوند. برای جدا کردن فسفاتیدهای غیرقابل هیدراته، روش‌های دیگری مانند صمغ‌گیری با اسید، روش‌های

مورینگا با نام علمی *Moringa peregrine Fiori*، درختی مقاوم به خشکی است که بومی مناطق گرمسیری و مرطوب هند و پاکستان می‌باشد (Odee, 1998). در ایران این درخت در استان‌های سیستان و بلوچستان و هرمزگان در سطح بسیار وسیع ولی با تراکم کم دیده می‌شود که در این مناطق با نام گاز رخ یا گز روغنی شناخته می‌شود. دانه مورینگا به طور میانگین حدود ۳۳ درصد روغن، ۳۸ درصد پروتئین، ۱۶ درصد کربوهیدرات، ۵ درصد فیبر و ۸ درصد رطوبت می‌باشد که علاوه بر مصارف خوراکی در صنایع مختلف از

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۳- استاد، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۴- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(*) - نویسنده مسئول: (Email: aghazanfari@uk.ac.ir)

مواد و روش‌ها

تهیه روغن خام و صمغ‌گیری شده

دانه‌های مورینگای مورد نیاز برای انجام آزمایش در مرداد ماه سال ۹۱ از درختان موجود در منطقه بشاگرد استان هرمزگان به صورت دستی برداشت و تمیز شدند. پس از جدا کردن پوست سخت، دانه‌ها را آسیاب کرده تا اندازه آن‌ها به کمتر از یک میلی‌متر کاهش یافت. دانه‌های آسیاب شده را به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در یک آون قرار داده شد تا رطوبت آنها به ۷/۵ درصد برسد. سپس نمونه‌های ۵۰ گرمی از آن‌ها در کاروش قرار داده شد و با استفاده از دستگاه سوکسله روغن آن‌ها گرفته شد. روغن‌گیری با استفاده از حلال n-هگزان در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ ساعت انجام گرفت (Anwar & Bhanger, 2003).

روغن خام بدست آمده به دو قسمت مساوی تقسیم و یک قسمت آن صمغ‌گیری شد. برای صمغ‌گیری روغن ابتدا آب (۵ درصد حجمی روغن) را به روغن اضافه و هم‌زده شد. مخلوط روغن و آب با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و سپس اسید فسفریک ۸۵ درصد به میزان ۰/۱ درصد وزنی/ وزنی) به آن اضافه گردید. مخلوط به مدت ۲۰ دقیقه در همان دما هم‌زده شد. سود ۹۵ درصد به مقدار ۰/۳ درصد وزنی/ روغن) به مخلوط اضافه گردید و دوباره به وسیله همزن به مدت ۲۰ دقیقه هم‌زده شد. سپس نمونه مورد آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور/ دقیقه سانتریفوژ گردید، سپس دو فاز از یکدیگر جدا گردیدند (Anwar & Bhanger, 2003).

اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های روغن

پس از تهیه روغن خام و صمغ‌گیری شده برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها شامل: ترکیب اسیدهای چرب با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی (مدل Younglin 2000، کره جنوبی)، عدد یدی با روش هانوس، عدد پراکسید، عدد صابونی، مواد غیر قابل صابونی و اسید چرب آزاد با استفاده از روش تیتراسیون، رنگ با استفاده از سیستم لایویناند (لاویناند F، انگلیس)، ضریب شکست با دستگاه رفراکتومتر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، چگالی با استفاده از پیکنومتر، ویسکوزیته با استفاده از ویسکومتر لوله ای U شکل، نقطه ذوب با استفاده از لوله موین، نقطه اشتعال و نقطه دود با استفاده از دستگاه کاپ تستر، نقطه ریزش و نقطه ابری شدن از طریق سرد کردن مورد ارزیابی قرار گرفت. تمام این آزمایش‌ها با روش‌های استاندارد (AOCS, 2009) و با استفاده از دستگاه‌های موجود در آزمایشگاه شرکت فرآورده‌های روغنی ایران (فریکو) انجام شد.

بررسی پایداری روغن خام و روغن صمغ‌گیری شده

به منظور بررسی پایداری روغن خام و صمغ‌گیری شده از نظر

الترافیلتراسیون، صمغ‌گیری با آنزیم و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد (Khabaz *et al.*, 2014). در فرایندهای تجاری مقدار آب مورد نیاز برای صمغ‌گیری روغن خام معمولاً معادل میزان فسفاتید روغن خام در نظر گرفته می‌شود. به طوریکه در کمتر از این مقدار صمغ‌گیری به خوبی انجام نشده و بیشتر از آن موجب تشکیل امولسیون آب در روغن می‌گردد در نتیجه راندمان صمغ‌گیری کاهش می‌یابد (Khabaz *et al.*, 2014).

از اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک و اسید فسفریک نیز برای صمغ‌گیری روغن‌های خوراکی استفاده شده است. در پژوهشی به مقایسه ۳ روش صمغ‌گیری شامل آب، اسید فسفریک و آب/ اسید فسفریک پرداخته شد. نتایج نشان داد که صمغ‌گیری با افزودن ۳ درصد آب و ۰/۷۵ درصد اسید فسفریک به روغن تاثیر بیشتری در کاهش فسفات‌ها، کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و رزین‌های موجود در روغن خام داشته است (Tyagi *et al.*, 2012). همچنین در پژوهشی دیگر صمغ‌گیری روغن آفتابگردان و کلزا در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول از آب در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد با مدت ۲۰ دقیقه هم‌زدن و در مرحله دوم از اسید فسفریک ۸۵ درصد به میزان ۰/۱ درصد وزنی روغن) با مدت ۲۰ دقیقه هم‌زدن و سود ۹۵ درصد به مقدار ۰/۳ درصد وزنی روغن) و ۲۰ دقیقه هم‌زدن استفاده گردید. روش دو مرحله‌ای باعث کاهش قابل توجه فسفر، منیزیم و کلسیم موجود در روغن خام شد (Zufarov *et al.*, 2008).

پژوهش‌های مختلف نشان داده است که روغن مورینگا دارای پایداری بسیار بالایی نسبت به سایر روغن‌های گیاهی می‌باشد و در مواردی این روغن با سایر روغن‌های خوراکی مخلوط می‌گردد تا پایداری آنها افزایش یابد. در این راستا، ۲۰ تا ۸۰ درصد روغن مورینگا با روغن‌های آفتابگردان و سویا مخلوط شد. مخلوط روغن موجب کاهش اسید لینولئیک و افزایش مقدار اسید اولئیک گردید و پایداری اکسایشی روغن‌ها به میزان قابل توجهی افزایش یافت (Anwar & Rashid, 2007).

همانطور که ذکر شد درخت مورینگا در دو استان جنوب شرقی ایران می‌روید و نظر به تفاوت بین گونه‌های مختلف این گیاه و شرایط اقلیمی خاص ایران لازم است تحقیقاتی در مورد روغن دانه این درخت صورت پذیرد. با توجه به مطالب ذکر شده اهداف این پژوهش در برگیرنده: (۱) استخراج روغن از دانه مورینگا به روش سوکسله و بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی روغن خام به موازات سنجش ترکیب اسیدهای چرب آن با روش گازکروماتوگرافی؛ (۲) بررسی تاثیر صمغ‌گیری بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی روغن مورینگا؛ (۳) مطالعه میزان پایداری اکسایشی روغن خام و صمغ‌گیری شده، می‌باشند.

جدول ۱- ساختار اسیدهای چرب روغن خام مورینگا

درصد	اسید چرب
۱۴/۳	اسید پالمیتیک (C۱۶:۰)
۴/۳	اسید پالمیتولئیک (C۱۶:۱)
۷۱/۱	اسید اولئیک (C۱۸:۱)
۴/۳	اسید استئاریک (C۱۸:۰)
۰/۵	اسید لینولئیک (C۱۸:۲)
۱/۴	اسید لینولئیک (C۱۸:۳)
۴/۱	اسید بهینیک (C۲۲:۰)

در جدول ۲، خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن خام و صمغ‌گیری شده مورینگا ذکر شده است. مواد غیر قابل صابونی به‌عنوان شاخص کیفیت یا کنترل تصفیه روغن‌ها و چربی‌های خوراکی استفاده می‌شود. میزان مواد غیرقابل صابونی در روغن‌های گیاهی بین ۰/۵ تا ۶ درصد گزارش شده است. مقدار این مواد در روغن مورینگا، در محدوده روغن‌های آفتابگردان و سویا می‌باشد (Gunstone, 2011). از عدد یدی می‌توان برای مشخص کردن میزان غیراشباعیت روغن و تخمین پایداری اکسایشی نیز استفاده کرد؛ زیرا هرچه میزان اسیدهای چرب اشباع روغن بیشتر باشد کمتر در معرض اکسایش خود به خودی قرار می‌گیرد (Sales and Franken., 1996). پایین بودن میزان عدد یدی روغن مورینگا در مقایسه با روغن آفتابگردان و سویا نشان‌دهنده درجه غیر اشباعیت کمتر و پایداری اکسایشی بیشتر آن می‌باشد. همچنین، حداکثر میزان عدد پراکسید قابل قبول روغن‌ها ۱۰ میلی‌اکی‌والان گرم در کیلوگرم روغن تعیین شده است و میزان این عدد برای روغن مورینگا، آفتابگردان و سویا کمتر از این مقدار می‌باشد. به علاوه، عدد صابونی در روغن‌های گیاهی معمولاً در محدوده ۱۷۰ تا ۲۵۰ می‌باشد (Gunstone, 2011). ضریب شکست برای شناسائی روغن‌های مختلف، تعیین درجه خلوص آن‌ها و همچنین برای پیشرفت واکنش‌هایی نظیر ایزومریزاسیون و هیدروژن دهی کاتالیتیک استفاده می‌شود (Alobo, 2001). نتایج حاصل از جدول ۲ نشان می‌دهد که صمغ‌گیری باعث کاهش عدد پراکسید از ۴ به ۲/۳۵ میلی اکی والان/ کیلوگرم روغن؛ کاهش اسیدهای چرب آزاد از ۲/۰۵ به ۰/۰۷ درصد؛ کاهش عدد صابونی از ۱۹۰/۱۱ به ۱۸۰/۵۵ میلی گرم KOH/ گرم روغن و کاهش جزئی عدد یدی گردید. همچنین صمغ‌گیری سبب افزایش ویسکوزیته و چگالی روغن حاصله گردید، اما تأثیری بر ضریب شکست نداشت.

در این راستا، تأثیر صمغ‌گیری بر افزایش معنی‌دار ویسکوزیته (از ۴۲/۸ به ۶۴/۶ پاسکال/ ثانیه) و چگالی (از ۰/۸۹ به ۰/۹۲ گرم/ میلی‌لیتر)، کاهش معنی‌دار اسیدیته (۱/۲۹ به صفر درصد) و پراکسید (از ۱ به ۰/۶ میلی اکی والان/ کیلوگرم)، همچنین عدم تأثیر صمغ‌گیری بر عدد یدی (۶۳/۹ گرم ید/۱۰۰ گرم روغن) و ضریب

ویسکوزیته و عدد پراکسید، روغن تحت تأثیر عوامل محیطی مانند نور، دما و میزان اکسیژن قرار گرفت. به‌منظور بررسی تأثیر دما بر ویسکوزیته و عدد پراکسید نمونه‌های روغن به مدت ۵ روز در دماهای ۳، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. جهت بررسی اثر نور آفتاب بر عدد پراکسید، روغن‌های خام و صمغ‌گیری شده به مدت ۱۰ روز و روزی ۵ ساعت بین ساعات ۱۰ صبح تا ۳ بعد از ظهر در مقابل نور مستقیم خورشید در دمای محیط قرار داده شدند (Abramovi and Abram, 2005). یک نمونه روغن خام نیز به‌عنوان شاهد تهیه و در تاریکی قرار داده شد و عدد پراکسید آنها هر دو روز یکبار مورد ارزیابی قرار گرفت.

همچنین میزان پایداری اکسایشی روغن‌های خام و صمغ‌گیری شده با استفاده از دستگاه رنسیمت^۱ مدل ۷۴۳ شرکت Metrohm سوئیس انجام گردید. برای بررسی میزان مقاومت روغن‌ها در سرعت جریان هوای ۲۰ لیتر بر ساعت، ۳ نمونه از هر روغن در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و سپس زمان پایداری نمونه‌های روغن بر حسب ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شد (Anwar & Bhanger, 2003).

نتایج و بحث

اسیدهای چرب و برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی روغن مورینگا

نتایج حاصل از آنالیز اسیدهای چرب روغن مورینگا در جدول ۱ نشان داده شده است. در مجموع می‌توان گفت که روغن مورینگا غیراشباع بوده، زیرا حدود ۷۶ درصد اسیدهای آن را اسیدهای چرب غیراشباع (پالمیتولئیک، اولئیک) تشکیل می‌دهد. اسیدهای چرب اشباع شده این روغن پالمیتیک، استئاریک و بهینیک بوده که حدود ۲۴ کل اسیدهای چرب آن را تشکیل می‌دهند. این روغن به علت دارا بودن مقدار بالای اسید اولئیک نسبت به سایر روغن‌های گیاهی از نظر ارزش غذایی و پایداری از پتانسیل مناسبی برای پخت و پز برخوردار می‌باشد. غالب بودن اسید اولئیک در ترکیب اسیدهای چرب روغن خام مورینگا قبلاً گزارش شده است (Sánchez-Machado et al., 2015). با توجه به غالب بودن اسید اولئیک در روغن مورینگا و توانایی این اسید در کاهش لیپوپروتئین با دانسیته کم (LDL) خون، می‌توان از این روغن به عنوان ماده غذایی فراسودمند نام برد (Sánchez-Machado et al., 2015; Anwar & Bhanger, 2003).

شکست (۱/۴۶۴) روغن خام مورینگا گزارش شده است (Sánchez-Machado *et al.*, 2015). باید توجه داشت که متفاوت بودن برخی خواص فیزیکوشیمیایی روغن‌ها می‌تواند ناشی از شرایط رشد، نوع رقم و همچنین شرایط استخراج روغن باشد (Sánchez-Machado *et al.*, 2015).

لازم به ذکر است که در روغن‌های خام به علت وجود برخی آنزیم‌ها، هیدرولیز تری‌گلیسیریدها موجب تشکیل اسیدهای چرب آزاد در روغن می‌شود که وجود آنها سبب تسریع هیدرولیز تری‌گلیسیریدهای دیگر خواهد شد. به علت افزایش حلالیت اکسیژن در حضور این ترکیبات و خاصیت پرواکسیدانی آن‌ها اکسایش روغن تسریع می‌گردد (Khoshtinat *et al.*, 2005).

بطور کلی در روغن‌های خوراکی، ویسکوزیته تحت‌تاثیر طول زنجیر اسیدهای چرب در تری‌گلیسیریدها، میزان غیر اشباعیت آن‌ها و خلوص تری‌گلیسیریدها می‌باشد و وجود برخی ناخالصی‌ها می‌تواند سبب کاهش ویسکوزیته گردد (Santos *et al.*, 2005). همچنین باید توجه داشت که ویسکوزیته مواد غذایی مایع تحت‌تاثیر دما و ترکیب ماده غذایی به موازات تیمارهای قبلی انجام شده در نمونه می‌باشد (Santos *et al.*, 2005). بنابراین به نظر می‌رسد بالاتر بودن ویسکوزیته روغن صمغ‌گیری شده نسبت به روغن خام می‌تواند در ارتباط با حذف برخی ناخالصی‌ها و افزایش خلوص تری‌گلیسیریدهای روغن صمغ‌گیری شده باشد.

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن خام و صمغ‌گیری شده مورینگا

ویسکوزیته (میلی‌متر مربع/ثانیه)	روغن خام	روغن صمغ‌گیری شده
مواد غیر قابل صابونی (درصد)	۰/۶۹	۰/۶۹
عدد پدی (گرم/ید/۱۰۰ گرم روغن)	۷۱/۵۳	۷۰/۵۳
عدد پراکسید (میلی‌کی‌والان O ₂ /کیلوگرم روغن)	۴	۲/۳۵
عدد صابونی (میلی‌گرم KOH/گرم روغن)	۱۹۰/۱۱	۱۸۰/۵۵
اسیدیته (درصد برحسب اولئیک اسید)	۲/۰۵	۰/۰۷
رنگ (واحد قرمز-زرد لاویناند)	۲۵-۲/۵	۳۲-۲/۳
چگالی در ۲۵ °C (میلی‌گرم/میلی‌لیتر)	۰/۹۵	۰/۹۲۰
ضریب شکست	۱/۴۵۹۶	۱/۴۵۹۶
ویسکوزیته (میلی‌متر مربع/ثانیه)	۵۵/۷۳	۸۳/۵

خصوصیات حرارتی اندازه‌گیری شده برای روغن خام و صمغ‌گیری شده مورینگا در جدول شماره ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که صمغ‌گیری باعث افزایش نقطه ذوب، نقطه اشتعال، نقطه دود، نقطه ریزش و ابری شدن می‌گردد. وجود ناخالصی‌ها سبب پایین آمدن دمای ذوب می‌شوند، لذا با حذف آنها نقطه ذوب افزایش می‌یابد (Ayoade *et al.*, 2015). روغن مورینگا به دلیل بالاتر بودن اسیدهای چرب غیراشباع در دمای معمولی مایع می‌باشد. نقطه دود قبل از ظهور نقطه اشتعال حاصل می‌شود که مقادیر آن در روغن خام و صمغ‌گیری شده مورینگا به ترتیب برابر با ۸۰ و ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نقطه اشتعال روغن خام و صمغ‌گیری شده مورینگا به ترتیب برابر با ۱۹۰ و ۲۰۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. روغن‌های تصفیه شده نقطه دود بالاتری نسبت به نوع تصفیه نشده دارند (Ayoade *et al.*, 2015).

باید توجه داشت که اسیدهای چرب آزاد موجود در روغن می‌توانند به‌عنوان پرواکسیدان عمل نمایند، از آنجائیکه اسیدهای چرب

آزاد نسبت به تری‌گلیسیریدها فشار بخار بالاتری دارند، حذف اسیدهای چرب آزاد سبب افزایش نقطه دود می‌گردد (Ghazani & Marangoni, 2013). افزایش معنی‌دار نقطه دود و نقطه اشتعال روغن صمغ‌گیری شده نسبت به روغن خام بیانگر حذف ترکیبات فرار موجود در روغن می‌باشد (Ayoade *et al.*, 2015). با افزایش نقطه دود و اشتعال می‌توان مناسب بودن روغن برای سرخ کردن را نیز بررسی نمود.

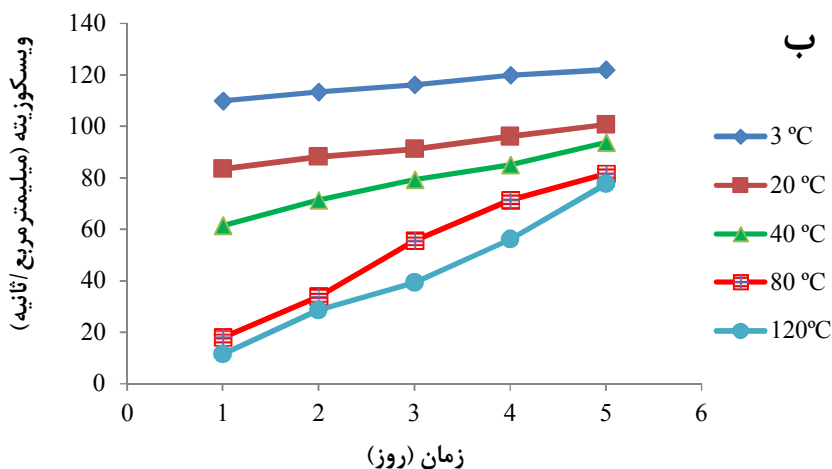
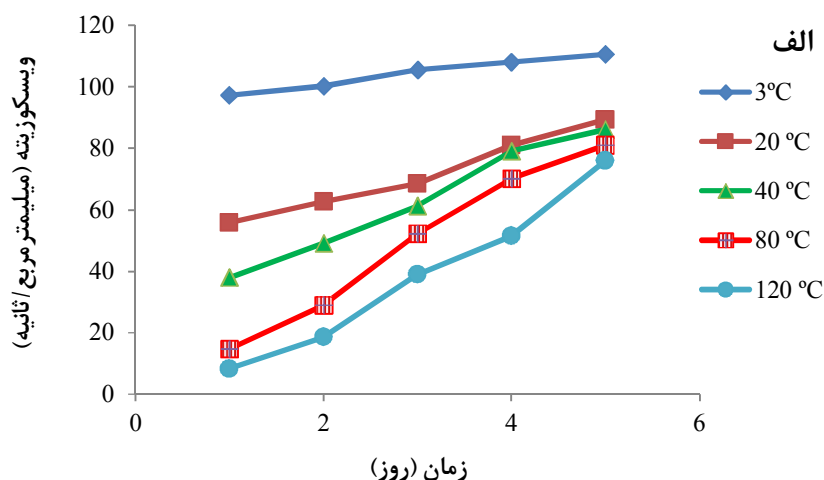
نقطه ابری شدن و نقطه ریزش به ترتیب در ارتباط با پیداش کدورت و ویسکوزیته می‌باشند. محتوای بالای اسیدهای غیراشباع می‌تواند سبب کاهش نقطه ابری شدن گردد (Gunstone, 2011). بنابراین افزایش نقطه ابری شدن می‌تواند در نتیجه حذف برخی اسیدهای چرب غیر اشباع، مونوگلیسیریدها و برخی ناخالصی‌های فرار در روغن صمغ‌گیری شده باشد که منجر به افزایش جزئی نسبت اسیدهای چرب اشباع در ساختار تری‌گلیسیریدها گردد.

جدول ۳- خصوصیات حرارتی روغن خام و صمغ‌گیری شده مورینگا		
خصوصیات	روغن خام	روغن صمغ‌گیری شده
نقطه ذوب (درجه سانتی‌گراد)	-۱۰	-۸
نقطه دود (درجه سانتی‌گراد)	۸۰	۱۱۵
نقطه اشتعال (درجه سانتی‌گراد)	۱۹۰	۲۰۵
نقطه ریزش (درجه سانتی‌گراد)	-۲	۱
نقطه ابری شدن (درجه سانتی‌گراد)	۱	۴

بررسی تأثیر دما، نور و اکسیژن بر پایداری اکسایشی روغن خام و صمغ‌گیری شده مورینگا

تأثیر دما قرار گرفت و با افزایش دما میزان ویسکوزیته آن کاهش یافت. ویسکوزیته این دو نوع روغن در دماهای ۸۰ و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد نزدیک به هم بود، زیرا افزایش دما تا حدودی می‌تواند خصوصیات دو روغن را به یکدیگر نزدیک نماید.

در شکل ۱ (الف و ب)، به ترتیب تغییر ویسکوزیته روغن خام و صمغ‌گیری شده مورینگا تحت تأثیر دما و زمان نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود ویسکوزیته روغن مورینگا تحت



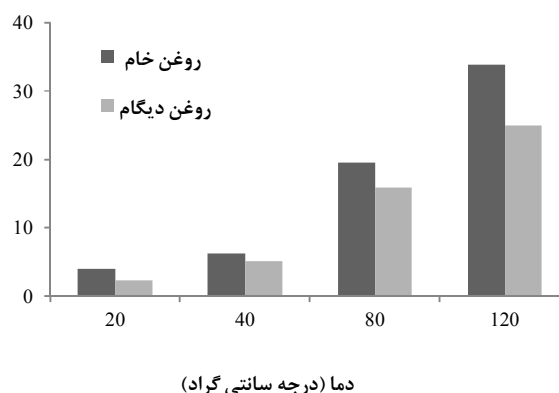
شکل ۱- تغییرات ویسکوزیته روغن مورینگا تحت تأثیر دما و زمان (الف) روغن خام، (ب) روغن صمغ‌گیری شده

صمغ‌گیری می‌تواند پایداری اکسایشی روغن را افزایش دهد (Ghazani & Marangoni, 2013). همچنین سرعت تشکیل رادیکال پراکسی و هیدروپراکسید تنها تحت تاثیر در دسترس بودن اکسیژن و دما می‌باشد که در دماهای بالا سرعت تجزیه رادیکال‌ها و واکنش‌های زنجیری اکسایش افزایش می‌یابد (Choe & Min, 2006). بطور کلی می‌توان گفت اتواکسیداسیون روغن‌ها و تجزیه هیدروپراکسیدها با افزایش دما افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که شکل‌گیری محصولات اتواکسیداسیون در طی دوره القاء در دمای پائین‌تر است، اما افزایش دما سبب افزایش غلظت رادیکال‌ها در طی این دوره شده و واکنش‌های اکسایشی با سرعت بیشتری انجام خواهند گرفت (Choe & Min, 2006).

روند تغییرات عدد پراکسید روغن خام و صمغ‌گیری شده تحت تاثیر نور در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با قرار گرفتن روغن خام و صمغ‌گیری شده در معرض نور، عدد پراکسید آنها افزایش یافت. میزان این افزایش در چهار روز اول آزمایش به کندی صورت گرفت اما بعد از این زمان میزان فساد پذیری روغن به سرعت افزایش یافت. کند بودن روند اکسایشی در ۴ روز اول می‌تواند ناشی از وجود ترکیبات ضداکسیدان طبیعی در روغن خام و صمغ‌گیری شده باشد. بنابراین می‌توان بیان کرد که عدم تغییر معنی‌دار عدد پراکسید روغن مورینگا بعد از قرارگیری در معرض نور آفتاب به مدت ۴ روز، بیانگر مقاومت روغن به اکسایش در این بازه زمانی است. با توجه به شکل ۳، عدد پراکسید روغن خام بیشتر از روغن صمغ‌گیری شده بوده که بیانگر پایداری کمتر آن نسبت به روغن صمغ‌گیری شده می‌باشد. با توجه به عدم قرارگیری روغن شاهد در معرض نور، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در عدد پراکسید آن با گذشت زمان مشاهده نگردید.

لازم به ذکر است که اکسیژن، نور، دما، یون‌های فلزی و ... از جمله عواملی هستند که سبب کاهش کیفیت روغن‌های خوراکی در نتیجه واکنش‌های اکسیداتیو و آبکافتی می‌گردند. در غیاب نور برخی رنگدانه‌های موجود در روغن ممکن است به‌صورت سینرژیک اثر ضداکسایشی ترکیبات فنولیک را افزایش دهند و مرحله آغازی اتواکسیداسیون را کند نمایند. اما در حضور نور، اکسایش نوری اتفاق افتاده، به‌طوری‌که با تجزیه برخی رنگدانه‌ها ممکن است اکسایش به میزان قابل توجهی افزایش یافته و در نتیجه عدد پراکسید زیاد شود (Méndez and Falqué, 2007). حتی گزارش شده است که نور در مقایسه با دما در اکسیداسیون توسط اکسیژن یگانه بسیار مهم‌تر می‌باشد و نور با طول موج‌های کوتاه اثر تخریبی بیشتری نسبت به نور با طول موج‌های بلند دارد. اکسیداسیون اکسیژن یگانه در حضور نور انجام می‌گیرد و نوع بسته‌بندی روغن عامل بسیار مهمی در جلوگیری از این نوع اکسایش می‌باشد (Méndez and Falqué, 2007). بالا بودن میزان پراکسید روغن خام در مقایسه با روغن صمغ‌گیری شده

همچنین ویسکوزیته روغن خام و صمغ‌گیری شده مورینگا در تمام دماهای مورد بررسی با گذشت زمان افزایش یافت. در واقع با افزایش دما معمولاً ویسکوزیته روند کاهشی خواهد داشت. در پژوهش حاضر افزایش ویسکوزیته در طول زمان و در دماهای مورد بررسی می‌تواند در ارتباط با واکنش‌های اکسایشی و بسپارش روغن باشد که با پژوهش‌های دیگر در ارتباط با افزایش ویسکوزیته در دماهای بالا مطابقت دارد (Santos *et al.*, 2005; Gunstone, 2011). بطور کلی در روغن‌های خوراکی، ویسکوزیته تحت تاثیر طول زنجیر اسیدهای چرب در تری‌گلیسیریدها، میزان غیر اشباعیت آنها و خلوص تری‌گلیسیریدها می‌باشد. از طرفی ویسکوزیته مواد غذایی مایع تحت تاثیر دما و ترکیب ماده غذایی و تیمارهای قبلی انجام شده بر روی نمونه می‌باشد (Santos *et al.*, 2005). به طور کلی، واکنش‌های اکسایشی منجر به شکل‌گیری گروه‌های کربونیل و یا هیدروکسیل پیوندیافته به زنجیره کربنی می‌گردند. همچنین اکسیژن ممکن است منجر به شکل‌گیری پیوندهای هیدروژنی شده که با افزایش نیروهای بین مولکولی سبب افزایش ویسکوزیته می‌گردد (Santos *et al.*, 2005). همچنین مقادیر عدد پراکسید روغن‌های خام و صمغ‌گیری شده و نگهداری شده دماهای مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است.

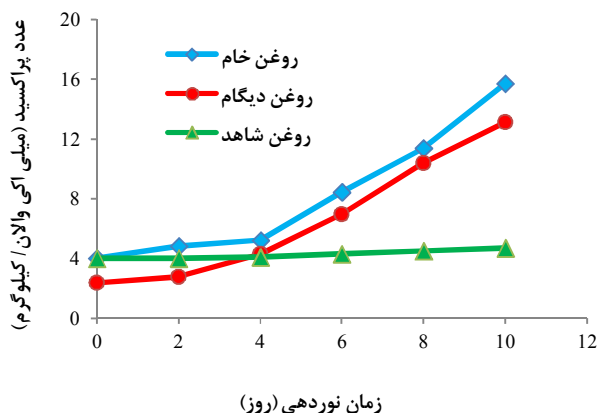


شکل ۲- تغییرات عدد پراکسید روغن‌های خام و صمغ‌گیری شده مورینگا تحت تاثیر دماهای مختلف نگهداری

بر اساس نتایج حاصله با افزایش دما عدد پراکسید روغن خام و صمغ‌گیری شده افزایش یافت. میزان عدد پراکسید در هر دو نوع روغن تا دمای ۴۰ درجه سانتی گراد افزایش قابل توجهی نداشت، اما در حرارت‌های ۸۰ و ۱۲۰ درجه سانتی گراد، مقاومت روغن در برابر اکسایش کاهش یافته، به‌طوری‌که روغن مورینگا با افزایش دما پایداری خود را از دست داده و عدد پراکسید آن به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. باید توجه داشت که اسیدهای چرب آزاد موجود در روغن می‌توانند به‌عنوان پرواکسیدان عمل نمایند که حذف آن‌ها در طی

تسریع کننده اکسایش از قبیل نور و برخی یون‌های فلزی قابل توجهی می‌باشد (Méndez and Falqué, 2007; Khoshtinat *et al.*, 2005; Ayoade *et al.*, 2015).

و روغن شاهد می‌تواند بواسطه حضور اسیدهای چرب آزاد باشد که سبب تسریع اکسایش روغن می‌گردد. افزایش عدد پراکسید در نمونه‌های روغن صمغ‌گیری شده نیز به علت فعالیت برخی آنزیم‌ها، حذف برخی ترکیبات ضد اکساینده در طی صمغ‌گیری و وجود برخی عوامل



شکل ۳- تغییرات عدد پراکسید روغن‌های خام و صمغ‌گیری شده مورینگا تحت تأثیر نور

شده مورینگا نشان داد که به علت بالا بودن درصد اسیدهای چرب غیر اشباع نسبت به اسیدهای چرب اشباع آن، یک روغن غیراشباع محسوب می‌شود. بنابراین پایداری اکسایشی این روغن با توجه به ماهیت غیراشباع آن کم می‌باشد. صمغ‌گیری باعث کاهش قابل توجه عدد پراکسید و اسیدهای چرب آزاد گردید در نتیجه این موضوع پایداری روغن حاصله در برابر برخی عوامل محیطی از قبیل دما، نور و اکسیژن افزایش یافت. باید توجه داشت که اسیدهای چرب آزاد موجود در روغن می‌توانند به عنوان پرواکسیدان عمل نمایند، از آنجائیکه اسیدهای چرب آزاد نسبت به تری‌گلیسیریدها فشار بخار بالاتری دارند، حذف اسیدهای چرب آزاد سبب افزایش نقطه دود و نقطه اشتعال می‌گردد.

افزایش ویسکوزیته در اثر افزایش زمان-دما می‌تواند در ارتباط با واکنش‌های اکسایشی و بسپارش روغن باشد. لازم به ذکر است که اکسیژن، نور، دما از جمله عواملی هستند که سبب کاهش کیفیت روغن‌های خوراکی در نتیجه واکنش‌های اکسیداتیو و آبکافتی می‌گردند. با قرار گرفتن روغن خام و صمغ‌گیری شده در معرض نور، عدد پراکسید آنها افزایش یافت. میزان این افزایش در چهار روز اول آزمایش به کندی صورت گرفت اما بعد از این زمان میزان فساد پذیری روغن به سرعت افزایش یافت. کند بودن روند اکسایشی در ۴ روز اول می‌تواند ناشی از وجود ترکیبات ضد اکساینده طبیعی در روغن خام و صمغ‌گیری شده باشد. همچنین سنجش پایداری روغن مورینگا به روش رنسیمت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد نشان داد که زمان پایداری اکسایشی روغن صمغ‌گیری شده بیشتر از روغن خام بود، که با توجه به ارزیابی محصولات ثانویه اکسایش در آزمون رنسیمت،

تعیین پایداری روغن و چربی‌ها در مقابل اکسایش به روش رنسیمت انجام گرفت که بر مبنای اندازه‌گیری محصولات ثانویه حاصل از اکسایش روغن‌ها و چربی‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از زمان پایداری اکسایشی روغن‌های خام و صمغ‌گیری شده مورینگا در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد بیانگر این بود که پایداری اکسایشی روغن صمغ‌گیری شده بیشتر از روغن خام می‌باشد. بطوریکه، پایداری اکسایشی روغن صمغ‌گیری شده ۸/۹ ساعت و روغن خام ۷/۳ ساعت بود. لازم به ذکر است که عدد پراکسید و میزان اسیدهای چرب روغن خام به میزان قابل توجهی از روغن صمغ‌گیری شده بیشتر بود و با توجه به اینکه در آزمون رنسیمت محصولات ثانویه اکسایش اندازه‌گیری می‌شود بالاتر بودن پایداری روغن صمغ‌گیری شده قابل توجه است. در پژوهشی پایداری اکسایشی روغن خام و صمغ‌گیری شده مورینگا به ترتیب حدود ۱۰ و ۸/۶ ساعت ذکر شده است (Anwar and Bhanger 2003) که با نتیجه پژوهش ما مطابقت ندارد. باید توجه داشت که روش صمغ‌گیری می‌تواند بر نتایج تأثیر گذار باشد. در پژوهش Anwar و Bhanger (۲۰۰۳)، از آب به تنهایی برای صمغ‌گیری استفاده شده است، در حالیکه مطابق با پژوهش ما پایداری بیشتر روغن صمغ‌گیری شده با استفاده از فسفریک و سیتریک اسید نسبت به روغن خام گزارش شده است (Gordon and Rahman 1991).

نتیجه‌گیری

بررسی ترکیب اسیدهای چرب روغن خام و روغن صمغ‌گیری

می‌تواند در ارتباط با میزان بالای عدد پراکسید و اسیدهای چرب آزاد ایران (فریکو) به دلیل همکاری در انجام آزمایش‌های مختلف و در روغن خام باشد. اختیار قرار دادن دستگاه‌های مورد لزوم و حمایت مالی از این پژوهش قدردانی نمایند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله لازم می‌دانند از شرکت فرآورده‌های روغنی

منابع

- Abdulkarim, S., Long, K., Lai, O., Muhammad, S. & Ghazali, H., 2005. Some physico-chemical properties of Moringa oleifera seed oil extracted using solvent and aqueous enzymatic methods. *Food Chemistry*, 93, 253-263.
- Abramovi, H. & Abram, V., 2005. Physico-Chemical Properties, Composition and Oxidative Stability of Camelina sativa Oil. *Food Technology and Biotechnology*, 43 (1), 63-70.
- Alobo, A. 2001. Effect of sesame seed flour on millet biscuit characteristics. *Plant Foods for Human Nutrition*, 56, 195-202.
- American Oil Chemists Society. 2009. Official methods and recommended practices of the AOCS, 6th ed. (edited by D. Firestone). Champaign. IL. AOCS Press.
- Anwar, F. & Rashid, U., 2007. Physico-chemical characteristics of Moringa oleifera seeds and seed oil from a wild provenance of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 39, 1443-1453.
- Anwar, F. & Bhanger, M., 2003. Analytical characterization of Moringa oleifera seed oil grown in temperate regions of Pakistan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6558-6563.
- Choe, E. & Min, D.B., 2006. Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 5, 169-186.
- Ghazani, S.M. & Marangoni, A.G., 2013. Minor components in canola oil and effects of refining on these constituents: A review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90, 923-932.
- Gordon, M.H. & Rahman, I.A., 1991. Effect of processing on the composition and oxidative stability of coconut oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 68, 574-576.
- Gunstone, F.D., 2011. Vegetable oils in food technology: Composition, properties and uses. 376 pages. Wiley-Blackwell, UK.
- Odee, D., 1998. Forest biotechnology research in drylands of Kenya: the development of Moringa species. *Dryland Biodiversity*, 2, 7-8.
- Khabaz, S., Gharachorloo, M., Azin, M., Ghavami, M. & Tarzi, B., 2014. Enzymatic degumming of crude soybean oil with lecithase ultra. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 9, 63-72.
- Khoshtinat Khadije, Parviz, K. & Parvin, Z., 2005. Determination of Fry-life of two formulated frying oils produced in pilot scale. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 2, 21-32.
- Méndez, A.I. & Falqué, E., 2007. Effect of storage time and container type on the quality of extra-virgin olive oil. *Food Control*, 18, 521-529.
- Sales, J. & Franken, L., 1996. Ostrich fat. Australian Ostrich Association Journal, 37, 39-45.
- Santos, J., Santos, I. & Souza, A., 2005. Effect of heating and cooling on rheological parameters of edible vegetable oils. *Journal of food Engineering*, 67, 401-405.
- Sánchez-Machado, D.I., López-Cervantes, J., Núñez-Gastélum, J.A., de la Mora-López, G.S., López-Hernández, J. & Paseiro-Losada, P., 2015 Effect of the refining process on Moringa oleifera seed oil quality. *Food chemistry*, 187:53-57
- Tyagi, K., Ansari, M., Tyagi, S. & Tyagi, A., 2012. A novel process for physically refining rice bran oil through degumming. *Advances in Applied Science Research*, 3, 1435-1439.
- Verleyen, T., Sosinska, U., Ioannidou, S., Verhé, R., Dewettinck, K., Huyghebaert, A. & De Greyt, W., 2002. Influence of the vegetable oil refining process on free and esterified sterols. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79, 947-953.
- Zufarov, O., Schmidt, S. & Sekretár, S., 2008. Degumming of rapeseed and sunflower oils. *Acta Chimica Slovaca*, 1, 321-328.



Measuring some characteristics of raw and degummed Moringa seeds and comparing their stabilities

Afsaneh Sadeghi^۲, A. Ghazanfari Moghaddam^{۲*}, H. Hashemipour Rafsenjani^۳, H. R. Akhevan^۴

Received: 2015.05.20

Accepted: 2015.11.14

Introduction: Moringa is a tree that grows in hot and humid regions and produces oil seeds that contain about 33% edible oil. The tree is native to the south-west regions of Asia and it is cultivated in Hormozgan and in Sistan and Bluchestan provinces of Iran. The oil extracted from these seeds is edible and has some various industrial applications. The extracted oil usually contains considerable amount of dissolved impurities which must be removed prior to industrial usages. Major part of impurities is removed by settling or filtering process. The fine impurities are removed through a degumming process using water, acids or enzymes. The degumming process affects the physico-chemical characteristics of the oil. In this research, various physico-chemical and heating properties of Moringa oil was measured and the stability of the oil under elevated temperatures were investigated

Material and methods: The Moringa seeds were collected from the wild trees that grow in Hormazgan province. The seeds were manually cleaned and ground to mean diameter of less than 1 mm and then were placed in an oven at 65°C for 24 h to reduce their moisture. Samples of 50 g ground seeds were placed in Soxhlet and n-hexane was used as the solvent. The oil extraction experiments were conducted at 60°C for 7 h retention time. The raw obtained oil was divided into two parts and one part was degummed. The degumming of the oil was performed by adding distilled water to it and raising the temperature to 80°C. Then, phosphoric acid was added to the mixture and stirred for 20 min at the same temperature and the mixture was centrifuged and the oil was separated from water and wax. Some characteristics of the raw and the degummed oils including: fatty acids, iodine value, peroxide value, chemical, color, saponification value, ignition and clouding points, density and viscosity were measured and compared. The stabilities of the viscosity of the two oils were investigated under different temperatures ranging from 3 to 120°C. The oxidative stability of oils was determined against temperature, light and air exposure. In these experiments temperature ranged from 20 to 120°C, light and air exposure time were 10 days, each. High temperature stability of the oils was also verified using a Rancimat instrument.

Results and discussion: The results of fatty acids analysis indicated that the Moringa oil is generally unsaturated oil containing a total of 76% palmitic and oleic acids. The major saturated oil content of Moringa oil was palmitic acids which accounted for 14.3% of the total fatty acids. High amount of unsaturated acids indicates that this oil is good for cooking purposes. The degumming process caused a significant decrease in peroxide value, saponification number and total fatty acids but the viscosity and the pH of the oil increased which all indicates that the degummed oil should be more stable than the raw oil. All heating properties of the degummed oil such as melting, combustion, pour, and cloudy points of the degummed oil increased which indicates that the degummed oil is more suitable for heating foods. In investigating the stability of the oil, the viscosity of the Moringa oil was decreased as the temperature of the oil was increased however, the viscosity increased with the holding time. The increase of the viscosity was more significant at higher temperatures due to the oxidation and degradation of the oil. Generally, increase in the viscosity of the degummed oil occurred at with lower rates. The peroxide value of the raw and the degummed oil was increased as the temperature of them was increased. The increase had higher rates when temperature of the oil exceeded 60°C. The peroxide value was also increased with the holding time. The change was not significant for the first four days but it rapidly increased after that. The peroxide value of the oil that kept away from the sunlight remained unchanged for the 10 days test period. The value of peroxide was also affected by aerating the oil. Degradation was initiated

2 And 2. Msc. Student and Professor, Department of Mechanics of Biosystems, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

3. Professor, Department of Chemical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

4. Assistant Professor, Department of Food Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(*Corresponding Author Email: aghazanfari@uk.ac.ir).

immediately as aeration was started but a steep increase was noticed after the second day. The highest peak was reached on the sixth days and after that the oil was completely degraded. A Racncimat test on the raw and degummed oil indicated that with increase in the oil temperature the stability of the oil decreased and when temperature was at 110°C the stability of the raw and the degummed oils were 19 and 31 hours. In general, all the tests indicted that the degummed Moringa oil had higher stability than the raw oil.

Keywords: Moringa tree, Oil, Degumming, Physio-chemical properties, Stability

تولید و بررسی خصوصیات کیک اسفنجی تولید شده با شیر انگور

بهاره شهیدی^۱ - مریم کلانتری^۱ - ساره بوستانی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۳۰

چکیده

شیره انگور منبع شیرین کننده طبیعی است که از تغلیظ آبمیوه به حدود غلظت ۷۰ درصد مواد جامد محلول بدست می آید. در این مطالعه چهار سطح متفاوت شیره انگور (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰٪ جایگزینی شکر با شیره انگور) در فرمولاسیون کیک به عنوان جایگزین طبیعی شکر مورد استفاده قرار گرفت و خصوصیات قوام و وزن مخصوص خمیر و رطوبت، حجم، بافت، رنگ و ویژگی های حسی کیک ها بررسی شدند. قوام خمیر و وزن مخصوص خمیر با افزایش سطح شیره انگور، افزایش یافت. میزان رطوبت کیک ها با افزودن شیره انگور بیشتر شد. جایگزینی شکر با شیره انگور در فرمولاسیون کیک ها موجب افت حجم کیک ها گردید. نتایج آنالیز بافت نشان داد کیک های حاوی شیره انگور در مقایسه با نمونه شاهد نرم تر شدند. با افزودن شیره انگور ارزش L در نمونه های کیک کاهش یافت و ارزش a بیشتر شد (کیک ها تیره تر شدند). نمونه کیک با ۴۰٪ شیره انگور جایگزین شده با شکر، بالاترین امتیاز را توسط پانلیست ها در فاکتورهای احساس دهانی، مرطوب بودن و پذیرش کلی کسب نمود.

واژه های کلیدی: خصوصیات حسی، کیک، شیره انگور، شیرین کننده طبیعی

کلباسی اشتری (۱۳۹۲).

مقدمه

کیک از جمله محصولات پرفرمدار صنایع نانوبی و قنادی است، آرد، شکر، تخم مرغ و چربی ترکیبات اصلی در تولید کیک محسوب می شوند و هر کدام نقش مهمی را در ساختار و کیفیت محصول ایفا می کنند (Mastakidou et al., 2010). شکر از ترکیبات اصلی و معمول مواد غذایی است که علاوه بر نقش شیرین کنندگی و ویژگی های عملکردی فراوانی در فرآورده ها ایفا می کند. حلالیت بالا در آب و در نتیجه کنترل نقطه انجماد در محصولات دسری و یخچالی مثل بستنی، تأخیر در دمای ژلاتیناسیون و کمک به حفظ حباب های هوا در خمیر کیک و نان، ایجاد رنگ بواسطه واکنش های کاراملیزاسیون و مایلارد، اثر حجیم کنندگی و شکل دهنده گی^۵، تثبیت آب و کاهش فعالیت آبی^۶ (موثر در زمان نگهداری) و غیره از اثرات مفید شکر در محصولات می باشد. با وجود تمام فواید ساکارز، بدلیل ارتباط با برخی مشکلات سلامتی مانند فشارخون، بیماری های قلبی عروقی، فساد دندان، چاقی، مضر بودن برای بیماران دیابتی، پژوهش های روزافزونی جهت تیافتن جایگزین های مناسب شکر در دست انجام است (Aahmed et al., 2001). از مشکلات پیش رو هنگام جایگزینی شکر با سایر شیرین کننده ها، یافتن شیرین کننده مناسب با ایجاد خصوصیات بافتی و عملکردی مشابه شکر، ایجاد طعم مطلوب و مشابه شکر در

شیره انگور^۳ یکی از محصولات جانبی این میوه است که از انگورهای سالم و رسیده درخت انگور^۴ و با استفاده از روش های فیزیکی تهیه می شود. کاهش فعالیت آبی محصول، عمدتاً از طریق تغلیظ توسط تبخیر و با کمک مواد ترسیب کننده جهت تکمیل رنگبری و تصفیه صورت می پذیرد. شیره انگور نقش مهمی به عنوان منبع طبیعی حاوی قند و مواد معدنی بالا در تغذیه انسان بهده دارد و به صورت سنتی و همچنین در صنایع مختلف از جمله فرآورده های آردی بکار می رود. قندهای عصاره انگور عمدتاً از فروکتوز و گلوکز است و از این نظر مشابه شیره خرما و عسل می باشد (توکلی پور و کلباسی اشتری ۱۳۹۲، Bilgicli and akbulut 2009, Alfarsi et al 2007). تولید انگور در ایران حدود سه میلیون تن است که از این نظر مقام هفتم را در جهان دارد و حدود ۵ تا ۲۰٪ انگورهای تولیدی در ایران برای تهیه شیره انگور مورد استفاده قرار می گیرد (توکلی پور و

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین پیشوا

۲- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

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

DOI: 10.22067/iftstrj.v1395i0.43529

3Grape molassess

4Vitis vinifera

5Bodding and bulking agent

6Water activity

بازار محلی خریداری شد و مورد استفاده قرار گرفت، خصوصیات آن منطبق با استاندارد ملی به شماره ۱۰۳ و مطابق جدول ۲ بود. سایر مواد مورد استفاده جهت فرمولاسیون کیک از بازار محلی تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.

تهیه کیک

فرمولاسیون کیک به صورت ۱۰۰٪ آرد، ۷۰٪ شکر، ۵۰٪ تخم مرغ، ۵۵٪ روغن، ۲/۵٪ بیکنگ پودر، ۴٪ شیر خشک، ۰/۵٪ وانیل، ۱٪ نمک و ۲۵٪ آب بود (درصد مواد اولیه بر اساس وزن آرد محاسبه شد). جهت تهیه کیک اسفنجی شیر انگور در چهار سطح صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد جایگزین شکر در فرمولاسیون کیک شد. تهیه خمیر به روش شکر خمیر صورت پذیرفت. پس از آن ۱۵۰ گرم خمیر کیک درون قالب ریخته و درون در دمای 180°C به مدت ۴۵ دقیقه (تا زمانی که رنگ پوسته قهوه‌ای طلایی شده و مغز کیک کاملاً پخته شود) قرار داده شد. سپس کیک‌ها از فر پخت خارج و در دمای محیط به مدت یک ساعت خنک شد. پس از آن کیک‌ها درون کیسه‌های پلی‌اتیلنی ضخیم بسته‌بندی شد و تا انجام آزمون‌های مختلف در دمای اتاق قرار گرفتند.

تعیین قوام خمیر

برای اندازه‌گیری قوام خمیر کیک، خمیر در قیفی با قطر داخلی دهانه گشاد (۱۰ سانتی‌متر) و قطر داخلی دهانه باریک (۱/۶ سانتی‌متر) ریخته شد. قیف بطور کامل با خمیر پر شده، سپس وزن خمیر خارج شده از قیف در مدت زمان ۱۵ ثانیه اندازه‌گیری و قوام خمیر بر حسب گرم بر ثانیه گزارش شد. در این آزمون اعداد بالاتر (مقدار خمیر عبور کرده از دهانه قیف در هر ثانیه) نشان‌دهنده قوام کمتر (شل بودن خمیر کیک) و اعداد پایین‌تر نشان‌دهنده قوام بیشتر خمیر است (Pierce and Walker, 1987).

تعیین وزن مخصوص خمیر

وزن مخصوص خمیر از طریق محاسبه نسبت وزن ۲۴۰ میلی‌لیتر از خمیر کیک به وزن ۲۴۰ میلی‌لیتر آب اندازه‌گیری شد (Lee et al., 2008).

تعیین رطوبت کیک

برای تعیین میزان رطوبت کیک مقدار ۵ گرم از قسمتهای پوسته و مغز کیک جدا و کاملاً با یکدیگر مخلوط شد و رطوبت آن با استفاده از روش خشک کردن در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت طبق روش استاندارد AACC به شماره ۱۵-۴۴ انجام شد.

محصول، حفظ کیفیت فرآورده طی دوره نگهداری، مواجه شدن با محدودیت‌های قانونی و امکان عدم استقبال مصرف‌کنندگان از محصولات با شکر جایگزین شده می‌باشد. بنابراین انتخاب نوع شیرین‌کننده جایگزین، چالش عمده تولید این محصولات می‌باشد (Specter and Setser 1994, Soukoulis and Tzia 2010).

شیره انگور در مقایسه با ساکارز دارای مزایایی می‌باشد از جمله: تمایل کم به قندک زدن (شکرک زدن)، دارا بودن خاصیت جذب رطوبت بالاتر و قدرت شیرین‌کنندگی بیشتر می‌باشد (Ahmed et al 2001, Alfarsi et al 2001). مطالعات مختلفی در زمینه استفاده از شیره انگور در محصولات غذایی صورت پذیرفته است. Karaca و همکاران (۲۰۱۲)، افزودن مقادیر مختلف شیره انگور بر خواص فیزیکی و کیفی ماست را مقایسه و بررسی کردند و مشاهده کردند که با افزایش میزان شیره در محصول، روشنایی (L value) کاهش می‌یابد، همچنین با افزایش شیره انگور جداشدن آب از ماست^۱ کاهش یافته و محتوی مواد معدنی افزایش می‌یابد. Akbulut و Bilgicli (۲۰۰۹) تاثیر افزودن شیره انگور بجای شکر بر خصوصیات فیزیکی کیک را مورد بررسی قرار دادند، با افزودن شیره انگور روشنایی و فعالیت آبی کیک‌ها کاهش یافت و محتوی مواد معدنی در محصول افزایش یافت. Yaser و Guzeler (۲۰۰۹) تاثیر افزودن شیره انگور و عسل از مقادیر ۲۵ تا ۵۰٪ بجای شکر بر افزایش محتوی مواد معدنی بستنی را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. Bilgicli و Akbulut (۲۰۱۰) تاثیر افزودن شیره انگور و سایر میوه‌ها بر خصوصیات رئولوژیکی و فیزیکی کیک را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند خمیر کیک حاوی شیره میوه رفتار سودوپلاست از خود نشان داده و با افزایش جایگزینی شیره میوه حجم کیک کاهش می‌یابد، بعلاوه افزودن شیره به کیک باعث افزایش تیرگی محصول شد.

با توجه به تمایل مصرف‌کنندگان به شیرین‌کننده‌های طبیعی بجای شکر در محصولات غذایی و کمی مطالعات صورت گرفته در زمینه استفاده از شیره انگور در کیک در داخل کشور، در پروژه پیش‌رو جایگزین کردن نسبی ساکارز با شیره انگور در تولید کیک اسفنجی و تاثیر آن بر خصوصیات فیزیکی و حسی محصول مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد

شیره انگور با بریکس ۶۸-۷۰ از بازار محلی تهیه شد، خصوصیات شیره از جمله، pH، اسیدیته، خاکستر، ساکارز منطبق با استاندارد ملی به شماره ۱۴۷۲۵ و مطابق جدول ۱ بود. آرد مخصوص تهیه کیک از

تعیین حجم کیک

اندازه‌گیری حجم کیک با روش جابجایی دانه‌های کلزا طبق

استاندارد AACC به شماره ۱۰-۰۵ صورت پذیرفت.

جدول ۱- ویژگی‌های شیره انگور

بریکس در 20°C (درصد)	اسید تارتاریک (درصد)	pH	خاکستر کل (درصد)	ساکارز (درصد)
۶۹/۳۵±۲/۱	۰/۸۱±۰/۰۷	۵/۴±۰/۳	۱/۷۶±۰/۲	۰/۴۵±۰/۰۵

* هر ستون نمایانگر میانگین ± انحراف معیار برای سه تکرار می‌باشد

جدول ۲- ویژگی‌های آرد گندم

رطوبت (درصد)	خاکستر (درصد)	پروتئین (درصد)	عدد زلنی (میلی لیتر)	اندازه ذرات	گلوتن مرطوب	ایندکس گلوتن
۱۳/۲۴±۰/۳	۰/۴۱±۰/۰۱	۸/۱۴±۰/۰۹	۱۵/۱۷±۰/۰۷	۴ درصد روی الک ۱۸۰ میکرون ۸ درصد روی الک ۱۲۵ میکرون ۸۷ درصد زیر الک ۱۲۵ میکرون	۲۱/۳±۱/۳	۸۹/۷۴±۱/۳

* هر ستون نمایانگر میانگین ± انحراف معیار برای سه تکرار می‌باشد

(Setser, 1983).

ارزیابی رنگ کیک

برای رنگ‌سنجی و بدست آوردن خصوصیات رنگی نمونه‌های مختلف، از روش عکس‌برداری با دوربین دیجیتال (مدل DSC-W570، ژاپن) و برنامه فتوشاپ ۸ استفاده شد. نمونه‌ها به‌منظور عکس‌برداری داخل جعبه به ابعاد ۵۰×۵۰×۵۰ با زمینه‌ای به رنگ سفید قرار گرفتند. جهت نورپردازی فضا از لامپ فلوئورسنت استفاده گردید. زاویه بین عدسی دوربین و محور منبع نوری حدود ۴۵ درجه بود تا نور منعکس شده به دوربین از منبع نوری نبوده و از نمونه‌ها باشد. همچنین فاصله نمونه‌ها از دوربین ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پس از عکس‌برداری، عکس‌ها توسط نرم‌افزار فتوشاپ مورد بررسی قرار گرفت و از مرکز هر نمونه یک مساحت ثابت انتخاب گردید و توسط نرم‌افزار فتوشاپ پارامترهای رنگی بررسی شدند (Afshari-Jouybari and Farahnaky, 2011).

ارزیابی خصوصیات بافتی کیک

برای تعیین خصوصیات بافتی کیک از ماشین عمومی اینتسرون استفاده شد. در این روش ابتدا یک سانتی‌متر از بالای کیک جدا شد تا سطح رویی کیک یکنواخت شود و قطعه مکعبی به ابعاد ۲/۵۴ سانتی‌متر از بافت مغز کیک جدا شده و پروب دستگاه به اندازه ۱ سانتی‌متر (۴۰٪) از بافت را فشرده کرد. نیروی وارد شده توسط دستگاه ۵ الی ۵۰ نیوتن، سرعت پروب دستگاه ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و سرعت چارت ۲۵۰ میلی‌متر بر دقیقه (نسبت چارت به پروب ۵ به ۱) در نظر گرفته شد. میزان نیروی فشاری وارد شده به نمونه بر حسب نیوتن گزارش شد. سفتی به‌عنوان حداکثر مقاومت در مقابل تغییر شکل به میزان ۴۰٪ فشرده‌گی در بافت در نظر گرفته شد (Hess and

ارزیابی حسی کیک

برای ارزیابی حسی نمونه‌ها خصوصیات (بافت کیک، رنگ کیک، مرطوب بودن، احساس دهانی و پذیرش کلی) بررسی شدند. امتیازدهی توسط ۳۰ نفر پانلیست آموزش دیده که بطور مقدماتی با اصول ارزیابی حسی مواد غذایی آشنا بوده و قدرت تشخیص آستانه‌ی چشایی چهار مزه‌ی اصلی را داشتند صورت پذیرفت. دامنه امتیازات از صفر (کمترین امتیاز) تا ۵ (بالاترین امتیاز) و به صورت عالی (۵)، بسیار خوب (۴)، خوب (۳)، متوسط (۲)، بد (۱)، بسیار بد (صفر) در نظر گرفته شد، لازم به ذکر است که ارزیابی برای هر فاکتور در جدولی جداگانه و برای تمامی نمونه‌ها بطور همزمان صورت پذیرفت. نمره نهایی بر اساس محاسبه میانگین مجموع امتیازات محاسبه گردید (Larmond, 1980).

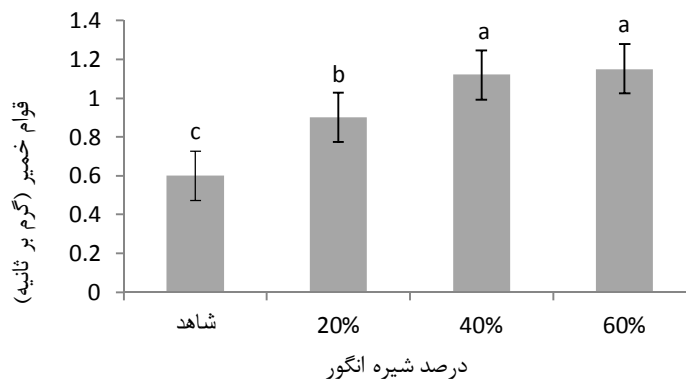
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به‌منظور آنالیز آماری داده‌ها و بررسی اطلاعات به‌دست آمده از آزمون‌های مختلف از طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. آزمون‌ها حداقل در سه تکرار انجام شده و سپس میانگین و انحراف معیار بدست آمد. به‌منظور تعیین وجود اختلاف بین میانگین اعداد، از آنالیز واریانس و برای گروه‌بندی آنها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۰/۰۵ استفاده شد. در تمام مراحل، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

قوام خمیر کیک

نتایج قوام خمیر در شکل ۱ نشان داده شده است. با افزایش میزان شیر انگور قوام خمیر افزایش می‌یابد. قسمت عمده‌ی قند موجود در شیر انگور شامل قندهای مونوساکاریدی احیاکننده (گلوکز و فروکتوز) و مقادیر بسیار کمی ساکارز می‌باشد. به‌طور کلی اکثر قندها به دلیل ویژگی آب‌دوستی شدید و حلالیت بالا، محلول‌های بسیار غلیظ ایجاد می‌کنند. قندها توسط گروه هیدروکسیل با مولکول‌های آب پیوند هیدروژنی برقرار می‌کنند (شهیدی و همکاران ۱۳۹۶، Bemiller and Whistler 1996, Alfarsi et al 2007). گوهری اردبیلی و همکاران (۱۳۸۴) گزارش کردند با جایگزینی شیر

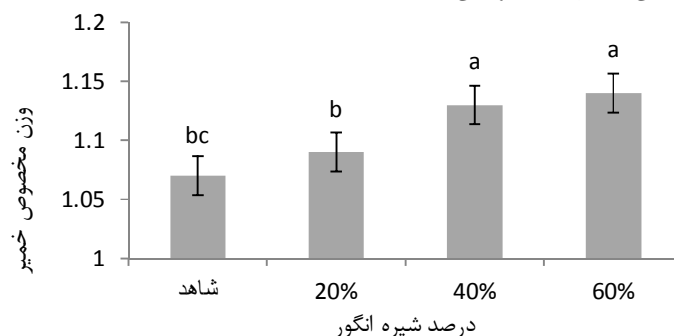


شکل ۱- قوام خمیر کیک حاوی درصدهای مختلف شیر انگور

(هر ستون نمایانگر میانگین $\pm$ انحراف معیار برای سه تکرار می‌باشد و حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد)

وزن مخصوص خمیر کیک

با افزایش مقادیر شیر انگور وزن مخصوص خمیر افزایش یافت (شکل ۲). میزان و حفظ هوا در خمیر، بستگی به فرآیند هوادهی



شکل ۲- وزن مخصوص خمیر کیک حاوی درصدهای مختلف شیر انگور

(هر ستون نمایانگر میانگین $\pm$ انحراف معیار برای سه تکرار می‌باشد و حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد)

خرما به‌جای شکر در فرمولاسیون مخلوط بستنی ویسکوزیته محصول افزایش می‌یابد و تغییر نوع قند بر تغییر ویسکوزیته‌ی سیستم مؤثر می‌باشد. با توجه به ساختار مولکولی قندهای ساکارز، فروکتوز و گلوکز به‌نظر می‌رسد با افزایش گروه‌های عاملی قندهای شیر انگور نسبت به ساکارز، اتصالات هیدروژنی بیشتر شده و با کاهش تحرک آب آزاد باعث افزایش ویسکوزیته‌ی مخلوط شده‌اند. از طرفی تمایل شیرین‌کننده‌ها به جذب آب باعث افزایش ویسکوزیته می‌شود. هرچه وزن مولکولی ساکاریدها کمتر باشد، تمایل به جذب آب افزایش می‌یابد و ویسکوزیته بیشتر می‌گردد (Bemiller and Whistler 1996).

(سرعت و طرح همزن) و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خمیر (ویسکوزیته و کشش سطحی) دارد که با توجه به فرمولاسیون تعیین می‌شود.

در بافت خمیر، می‌توان نتیجه گرفت که افزودن شیر انگور به خمیر کیک باعث کاهش قابلیت نگهداری گاز در خمیر کیک و بنابراین

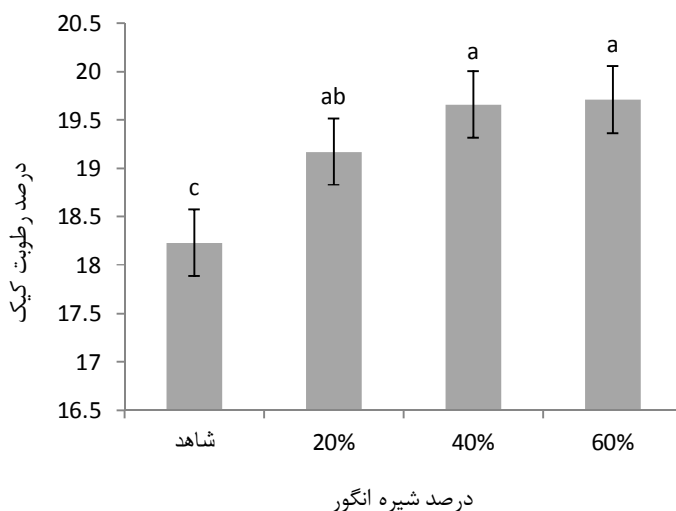
با در نظر گرفتن رابطه معکوس میان وزن مخصوص خمیر کیک و قابلیت ورود حباب‌های هوا به خمیر و میزان نگهداری حباب‌های هوا

عسل در فرمولاسیون نان کساوا مشاهده کردند با افزایش میزان عسل، رطوبت محصول افزایش می‌یابد. احمدی گاولیقی و همکاران (۱۳۸۹) مشاهده کردند با افزایش میزان قند خرما در فرمولاسیون کیک لایه‌ای میزان رطوبت افزایش یافت. افزایش رطوبت احتمالاً به دلیل رقابت ترکیبات جاذب آب در فرمولاسیون می‌باشد (Ablett 1986).

افزایش وزن مخصوص خمیر شده است (زارع نژاد و همکاران ۱۳۹۳، Baeva *et al.*, 2000).

رطوبت

میزان رطوبت با جایگزینی شیرهی انگور در نمونه‌های کیک افزایش یافت (شکل ۳). Babajide و همکاران (۲۰۱۴) با جایگزینی



شکل ۳- رطوبت کیک حاوی درصدهای مختلف شیره انگور

(هر ستون نمایانگر میانگین $\pm$ انحراف معیار برای سه تکرار می‌باشد و حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد)

نشان‌دهنده حجم بالاتر در کیک است (نور محمدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Baeva *et al.*, 2000). Akbulut و Bilgicli (۲۰۰۹)، Marx و همکاران (۱۹۹۰) با افزودن شربت ذرت با فروکتوز بالا^۲ به کیک، Babajide و همکاران (۲۰۱۴) با افزودن عسل به نان نتایج مشابهی را مبنی بر افت حجم گزارش کردند.

سفتی بافت کیک

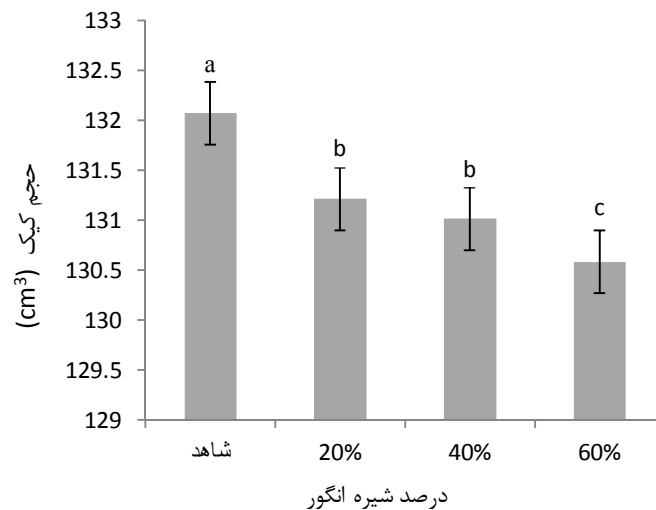
مطابق نتایج ارائه شده در شکل ۵ با افزایش میزان شیرهی انگور در فرمولاسیون کیک، سفتی کاهش و نرمی افزایش یافته و نیروی لازم برای فشردن کاهش می‌یابد. یکی از دلایل کاهش سفتی بافت این است که وقتی ساکارز با قندهای شیره انگور که عمدتاً قند گلوکز و فروکتوز می‌باشد جایگزین می‌شود، رطوبت کیک افزایش می‌یابد و در نتیجه سفتی کاهش می‌یابد (مجدوبی و همکاران، ۱۳۹۱). Fahloul و همکاران (۲۰۱۰) در توجیه علل کاهش سفتی با افزایش میزان پودر خرما در بیسکویت گزارش کردند سفتی بافت در اثر کریستالیزاسیون قندها در طول خنک کردن محصول اتفاق می‌افتد.

تغییرات حجم کیک اسفنجی

مطابق نتایج گزارش شده در شکل ۴ حجم کیک‌ها با افزودن شیره انگور کاهش یافت. قوام خمیر در حفظ فیزیکی هوا که به صورت اولیه در خمیر در طول مخلوط کردن ترکیب شده مهم است. اگر قوام خمیر خیلی پایین باشد حباب‌های هوا و گاز دی‌اکسید کربن که در اثر تجزیه پودر نانوائی^۱ (حاوی جوش شیرین) تولید می‌شود به سرعت در اثر پخت از کیک خارج می‌شوند و حجم کیک کاهش می‌یابد. از سوی دیگر قوام خیلی بالا برای تهیه کیک مناسب نیست زیرا امکان بوجود آمدن حباب‌های هوا در اثر مخلوط شدن خمیر و سپس خروج گازها در حین پخت و افزایش حجم کیک را فراهم نمی‌آورد و ممکن است حباب‌ها را در خمیر حفظ کند و انبساط را در طول پخت محدود کند (مجدوبی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Mastakidou *et al.*, 2010). بعلاوه مطابق نتایج ارائه شده در قبل وزن مخصوص خمیر با افزایش شیره انگور افزایش یافت، وزن مخصوص نشان‌دهنده میزان ورود حباب‌های هوا به خمیر در طول مخلوط کردن و میزان نگهداری این حباب‌ها در خمیر می‌باشد و وزن مخصوص کمتر در خمیر کیک

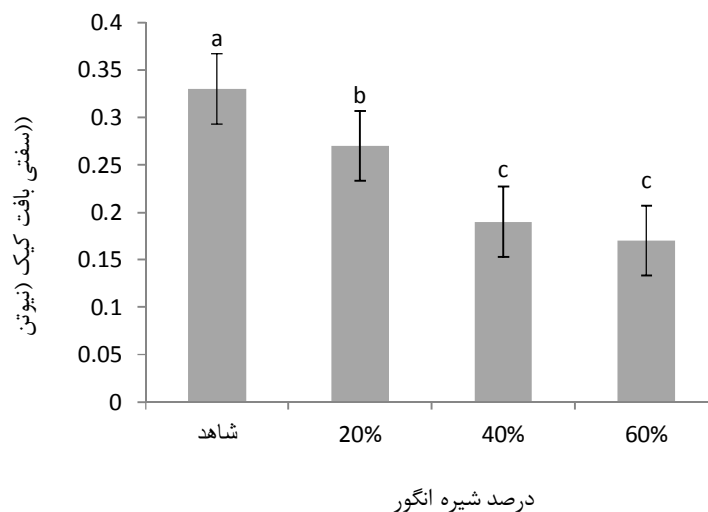
2 High fructose corn syrup

1 Baking powder



شکل ۴- حجم کیک حاوی درصدهای مختلف شیر انگور

(هر ستون نمایانگر میانگین $\pm$ انحراف معیار برای سه تکرار می باشد و حروف نامشابه در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف آماری معنی دار در سطح ۰/۰۵ می باشد)



شکل ۵- سفتی بافت کیک حاوی درصدهای مختلف شیر انگور

(هر ستون نمایانگر میانگین $\pm$ انحراف معیار برای سه تکرار می باشد و حروف نامشابه در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف آماری معنی دار در سطح ۰/۰۵ می باشد)

رنگ موجود در شیر باعث کاهش روشنایی کیک ها می شود (and Bilgicli Akbuluat, 2009; Karaca et al., 2012). مغز کیک دارای رنگ روشن تری نسبت به پوسته است که دلیل آن رطوبت بالاتر مغز کیک و عدم ایجاد شرایط مطلوب جهت انجام واکنش میلارد است. عوامل مختلفی بر رنگ پوسته کیک موثر می باشند که می توان به رطوبت پوسته کیک، شدت واکنش های میلارد و وجود ترکیبات رنگی در فرمولاسیون کیک اشاره نمود در حالی است که ترکیبات موجود در فرمولاسیون کیک عمدتاً بر رنگ مغز کیک موثر

بررسی رنگ کیک

مقادیر پارامتر L (میزان تیرگی محصول)، a (میزان قرمز بودن محصول) و b (میزان زرد بودن محصول) تقریباً در تمامی نمونه ها با نمونه شاهد (در پوسته و مغز) متفاوت بود (جدول ۳). به نظر می رسد که کاهش شکر و افزایش میزان شیر انگور امری طبیعی در تغییر این صفات است. با افزایش درصد جایگزینی شیر انگور مقادیر قندهای گلوکوز و فروکتوز در محصول بیشتر شده و امکان انجام واکنش قهوه ای شدن در مجاورت قندهای ساده بیشتر می شود و همچنین

1994). نتایج مشابهی توسط Karaca و همکاران (۲۰۱۲)، Bilgicli و Akbuluat (۲۰۰۹) و Babajide و همکاران (۲۰۱۴) گزارش شده است.

می‌باشند، بعلاوه در این مطالعه تفاوت در رنگ پوسته می‌تواند به دلیل اختلاف در رطوبت پوسته کیک و نیز میزان انبساط کیک باشد (تفاوت در حجم کیک) باشد (مجنوبی و همکاران، ۱۳۹۱، Hosenev).

جدول ۳- خصوصیات رنگی نمونه‌های کیک با درصدهای مختلف شیر خرم

درصد شیر انگور	رنگ پوسته کیک			رنگ مغز کیک		
	L	a	b	L	a	b
شاهد	۶۱/۱۱±۱/۱۹ ^a	۳۵/۲۷±۱/۱۱ ^c	۳۴/۱۹±۰/۱۴ ^a	۷۸/۲۱±۰/۱۰ ^a	۱۶/۱۱±۰/۱۱ ^c	۲۸/۳۳±۰/۱۱ ^c
%۲۰	۵۷/۲۳±۱/۱۴ ^b	۳۶/۱۲±۱/۱۲ ^b	۳۱/۱۲±۰/۲۱ ^b	۷۱/۲۳±۰/۱۹ ^b	۱۹/۲۲±۰/۱۷ ^b	۲۹/۱۶±۰/۱۹ ^b
%۴۰	۵۵/۴۱±۱/۱۴ ^c	۳۶/۴۳±۱/۲۱ ^b	۳۵/۱۶±۰/۲۳ ^a	۶۸/۱۳±۰/۱۱ ^c	۲۱/۱۶±۰/۱۳ ^{ab}	۳۰/۱۹±۰/۱۵ ^a
%۶۰	۵۳/۰۰±۱/۱۲ ^d	۳۹/۲۴±۱/۲۷ ^a	۳۴/۳۲±۱/۲۳ ^a	۶۷/۳۳±۰/۱۲ ^{cd}	۲۲/۶۶±۰/۱۹ ^a	۲۷/۰۰±۰/۱۲ ^d

*اعداد موجود در جدول میانگین سه تکرار ± انحراف معیار و حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

آنالیزهای حسی

نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های کیک حاوی مقادیر متفاوت شیر انگور در جدول ۴ ارائه شده است. با افزایش میزان شیر انگور رنگ نمونه‌ها افزایش پیدا کرده است (تیره تر شد) که به دلیل ترکیبات رنگی طبیعی در شیر انگور و همچنین افزایش واکنش‌های قهوه‌ای شدن بدلیل قندهای احیاکننده می‌باشد (Bilgicli, 2009 and Akbuluat). ارزیابی پذیرش بافت نمونه‌ها از نظر سفت بودن یا قابلیت ارتجاعی بافت که توسط فشار انگشت روی سطح کیک ارزیابی گردید، تفاوت معناداری را بین نمونه‌ها گزارش نکرد. احساس دهانی نمایانگر حالت تردی تا آدامسی نمونه‌های کیک می‌باشد، مطابق

جدول ۴ با افزودن شیر انگور تردی افزایش یافت. احمدی نیا و سحر (۱۳۸۷) گزارش کردند، افزایش فروکتوز موجب افزایش جذب آب و در نتیجه بهبود قابلیت جویدن می‌گردد، دی ساکاریدهایی مثل ساکارز نمی‌توانند به اندازه منوساکاریدها قابلیت جویدن ایجاد کنند بنابراین قابلیت جویدن محصولی که دارای فروکتوز بیشتری باشد بهتر است. با افزودن شیر انگور حالت مرطوب بودن کیک کمی افزایش می‌یابد. نتایج ارزیابی پذیرش کلی نشان داد که بطورکلی افزودن شیر انگور باعث بهبود طعم و افزایش پذیرش توسط مصرف‌کننده می‌شود و نمونه حاوی ۴۰٪ شیر انگور و خرما بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داد.

جدول ۴- ارزیابی حسی نمونه‌های کیک با درصدهای مختلف شیر انگور

درصد شیر انگور	رنگ ظاهری	بافت	احساس دهانی	مرطوبیت بافت	پذیرش کلی
شاهد	۳/۲۷±۲/۱۴ ^c	۳/۶۷±۲/۱۷ ^a	۴/۴۸±۱/۳۹ ^a	۳/۷۹±۲/۸۶ ^b	۴/۴۱±۱/۲۳ ^b
%۲۰	۴/۱۶±۱/۲۵ ^{ab}	۳/۶۹±۲/۵۶ ^a	۴/۱۳±۱/۸۴ ^{ab}	۴/۱۶±۲/۳۴ ^{ab}	۴/۴۹±۱/۹۲ ^b
%۴۰	۴/۶۱±۱/۷۶ ^a	۳/۶۴±۱/۶۲ ^a	۴/۷۸±۲/۱۹ ^a	۴/۴۱±۱/۷۷ ^{ab}	۴/۹۱±۲/۷۸ ^a
%۶۰	۴/۸۹±۲/۳۴ ^a	۳/۶۵±۲/۰۹ ^a	۳/۹۷±۲/۶۶ ^c	۴/۶۳±۱/۵۷ ^a	۳/۹۷±۲/۰۴ ^c

*اعداد موجود در جدول میانگین سه تکرار ± انحراف معیار و حروف نامشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه شیر انگور با درصدهای مختلف جایگزین ساکارز در فرمولاسیون کیک شد. با افزودن شیر انگور قوام و حجم مخصوص خمیر افزایش یافت. رطوبت کیک‌های حاوی شیر انگور در مقایسه با نمونه شاهد بیشتر شد و حجم کیک با افزایش شیر انگور کاهش یافت. سفتی بافت با افزودن شیر انگور کاهش یافت و افزودن شیر انگور موجب افزایش تیرگی و حالت قرمزی در محصول

گردید. نمونه با ۴۰ درصد شیر انگور جایگزین شده بالاترین امتیاز ارزیابی حسی را کسب نمود. انجام مطالعات بیشتر و یافتن مناسب‌ترین فرمول جهت ایجاد مطلوب‌ترین خصوصیات فیزیکی و حسی، با توجه به غنی بودن ایران از منابع انگور و تمایل مردم خصوصاً نسل جوان به سمت شیرین‌کننده‌های طبیعی در این زمینه کاربردی است.

منابع

- Ablett, S, Attenburrow, G.E, Lillford, P.J. 1986. The Significance of water in the Baking Process. In: Chemistry and Physics of Baking, Blanchard, J.M.V., Frazier, P.J., Galliard, T: *The Royal Society of Chemistry*, London, 30.
- AACC, 2000. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. St. Paul, Minnesota: *American Association of Cereal Chemists, Inc.*
- Ahmed, Z., Banu, H, Akhter, F, Faruquzzaman, M, Haque, S, 2001, Concept on Sugar- A Review, *Journal of Biological Sciences*, 1, 883-894.
- Ahmadnia, A.L, Sahari, M. A, Using date Powder in Formulation of Chocolate Toffee, 2008, *Journal of Food Science and Technology*, 5, 1-8.
- Al-Farsi, M, Alasalvar, C, Al-Abid, M, Al-Shoaily, K, Al-Amry, M, Al-Rawahy, F, 2007, Compositional and functional characteristics of dates, syrups, and their by-products. *Food Chemistry*, 104: 943-947.
- Afshari-Jouybari, H, Farahnaky, A, 2011. Evaluation of photoshop software potential for food colorimetry. *Journal of Food Engineering*, 106: 170-175.
- Akbulut, M., Bilgicli, N, 2010, Effects of different pekmet (fruit molasses) types used as a natural sugar source on the batter rheology and physical properties of cakes, *Journal of Food Process Engineering*, 33: 272-286
- Bemiller, J. N. Whistler, R. L, 1996. Carbohydrate. In: Food Chemistry, 3rd ed.; Fennema, O. R., Ed.; Dekker: New York. 321-330.
- Baeva, M. R., Panchev, I. N. and Terzieva, V. V. 2000. Comparative study of texture of normal and energy reduced sponge cakes. *Food/Nahrung*, 44: 242-246.
- Bilgicli, N., Akbulut, M., 2009, Effects of different pekmet (fruit molasses) types on chemical, nutritional content and storage stability of cake, *Journal of Food Quality*, 96-107.
- Babajide, J. M, Adeboye, A. S. Shittu, T. A. 2014, Effect of honey substitute for sugar on rheological properties of dough and some physical properties of cassava-wheat bread *International Food Research Journal*, 21: 1869-1875.
- Fahloul, D, Abdedaim, M, Trystram, G, 2010, Heat, mass transfer and physical Properties of biscuits enriched with date powder. *Journal of Applied Sciences Research*, 6: 1680-1686.
- Gohari Ardabili, M. B. Habibi Najafi, M. H. Haddad Khodaparast, M, 2005, Effect of date syrup as a substitute for sugar on the physicochemical and sensory properties of soft ice cream, *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 1, 23-32.
- Gavligi Ahmadi, H, Azizi, M.H, Jahanian, L, Amirkaveei, SH. 2010, Evaluation of replacement of date liquid sugar as a replacement for invert syrup in a layer cake, *Journal of Food Science and Technology*, 8, 57-64.
- Hess A, Setser, C. S. 1983, Alternative systems for sweetening layer cake using aspartame with and without fructose. *Cereal Chemistry*, 60: 337-341.
- Hoseney, R. C, 1994. Principals of cereal science and technology. 2nd Ed, American Association of Cereal Chemists Inc, St. Paul, Minnesota. Color.
- Iranian National Standard, 2012, Isno 14725.
- Iranian National Standard, 2006, Isno 103.
- Karaca, O. B, Saydam, I. B, Guven, M, 2012, Physicochemical, mineral and sensory properties of set-type yoghurts produced by addition of grape, mulberry and carob molasses (Pekmez) at different ratios, *International Journal of Dairy Technology*, 65: 111-117.
- Larmond, E. 1977. Laboratory Methods for Sensory Evaluation of Food. Publication 1637. Communications Branch, Agriculture Canada, Ottawa, p 74.
- Lee, C. C., Wang, H. F. and Lin, S. D. 2008. Effect of isomalto-oligosaccharide syrup on quality characteristics of sponge cake. *Cereal Chemistry*, 85: 515-521.
- Marx, J. T, Arx, B, M, Johnson, J, M, 1990. High-Fructose Corn Syrup Cakes Made with All-Purpose Flour or Cake Flour. *Cereal Chemistry*, 67: 502-504.
- Mastakidou, A, Blekas, G, Paraskevopoulou, A, 2010. Aroma and physical characteristics of cakes prepared by replacing margarine with extra virgin olive oil. *LWT-Food Science and Technology*, 43: 949-957.
- Majzoubi, M, Boostani, S, Farahnaki, A, 2012, Improvement of box cake quality using instant wheat starch, *Journal of Food Research*, 22, 421-429.
- Nourmohammadi, E, Peighambari, S.H, Olad Ghaffari, A, 2012, Effect of mixing methods on physicochemical properties of batter and quality characteristics of sponge cake, *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 7, 85-92.
- Pierce, M. M, Walker, C. E. 1987, Addition of sucrose fatty acid ester emulsifiers to sponge cakes. *Cereal Chemistry*, 64: 222-225.
- Specter, S.E., Setser, C.S, 1994. Sensory and physical properties of a reduced calorie frozen dessert system made with milk fat and sucrose substitutes. *Journal of Dairy Science*, 77: 708-717
- Soukoulis, C, Tzia, C, 2010, Response surface mapping of the sensory characteristics and acceptability of chocolate ice cream containing alternate sweetening agents, *Journal of Sensory Studies*, 25: 50-75.

- Shahidi, B., Kalantari, M., Boostani, S., 2015. Effect of date syrup as a sugar replacement on the rheological and physical properties of sponge cake, *Iranian Journal of food science and technology*. 14, 63-72.
- Tavakolipour, H., Kalbasi Ashtari, A., 2013, Determination of rheological properties of grape molasses. *Iranian Journal of food science and technology*. 10, 129-137.
- Yaşar, K., Güzeler, N., 2009, Utilization of honey and pekmez in Kahramanmaraş ice cream production as a source of mineral, 2009, *Journal Akademik Gıda*. 7: 62-65.
- Zare nejad, F, Peyghambardoost, S. H, Azad mardmirchi, S, 2012, Effect of addition raw and fixed wheat germ on the qualitative properties of the mold cake. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 10, 241-248.



Preparation and characterization of sponge cake made with grape juice

B. Shahidi¹, M. Kalantari¹, S. Boostani^{2*}

Received: 2014.01.18

Accepted: 2015.06.20

Introduction: Grape syrup is a natural sugar source that is obtained by concentration of fruit juice up to about 70% soluble dry matter concentration. Iran is ranked in seventh place in terms of grape production in the world, so there's good potential for converting grape waste to the valuable food products. Grapes with inappropriate appearance can be converted to grape syrup and used as an ingredient in formulation of many food products. Cake is one of the most popular products in bakery and confectionery industry. Cake composed of different components such as flour, oil, milk, baking powder and sugar. Sugar is the main ingredient for making cakes that besides the creating sweet taste, represents numerous functionalities in bakery products. Despite all the benefits of sucrose, because of the association with certain health problems like high blood pressure, cardiovascular disease, tooth decay, obesity and diabetes lots of research is underway to find a suitable replacement for sugar. The challenges ahead when replacing sugar with other sweeteners have forced the researchers to provide a sweetener with similar functional properties, taste and quality with sugar. The benefits of grape syrup compared with the sugar are having less crystallization problems, having higher water holding capacity properties and higher perceived sweetness in final product. Due to the mentioned challenges the present study aims to replace sugar with grape syrup in various amounts and to investigate the effects of the replacement on the physical properties of the resulting cakes.

Materials and methods: Grape juice with Brix 68-70 were obtained from local market. Cake flour was also purchased from the local market. In this research four different level of grape syrup (0, 20%, 40%, 60% replacing of sugar with grape juice) were used in cake formulations as a natural replacement for sugar. Preparation of cake batter was carried out using sugar dough method. Consistency and specific gravity of the batters and moisture content, volume, texture, color and sensory properties of the cakes were investigated according to the procedures described in standard methods.

Results & Discussion: The results showed that increasing grape syrup level caused an increase in batter consistency. The main component of the grape juice contains reducing sugars, monosaccharides such as glucose and fructose and there is a small amount of sucrose. Generally most sugars can cause highly concentrated solutions due to their highly water solubility and hydrophilic character. Sugars make hydrogen bonds with water molecules due to their hydroxyl groups, because of the molecular structure of the sugars like sucrose, fructose and glucose, it seems that increasing functional groups in grape sugars compared with sucrose, resulted in the formation of more hydrogen bonds, which caused the reduction in the mobility of free water and therefore make an increase in viscosity of the mixture. According to the results specific gravity of the cake batters increased as the grape syrup level increased. It can be concluded that the addition of the grape syrup to the cake formulation reduces gas storage capacity in the batter and therefore causes the increase in specific gravity of the system. Moisture content of cakes increased with grape syrup addition. Increasing the moisture content in the cake is probably due to competition between moisture- absorbing compounds in the formulation of cakes. The replacement of sugar with grape syrup in the cake formulations decreased the cake volumes. Cake volume is influenced by two main factors including consistency and the specific gravity of the batter. If the batter consistency be too low air bubbles and carbon dioxide that is produced by the decomposition of baking powder will leave the cake out quickly and cake volume will decrease. As mentioned before the saccharides with lower molecular weights tend to absorb more water and caused an increase in batter consistency of cakes prepared from grape syrup compared with the cakes prepared from sucrose. In addition specific gravity of the batter will increase with increasing grape syrup level, specific gravity represents the entry of air bubbles in the batter during

1. M.Sc. graduated, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Varamin-Pishva Branch, Varamin, Iran

2. Ph.D candidate, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

(*Corresponding Author Email: boostani.sareh@yahoo.com).

mixing and the maintenance of the bubbles in the batter during storage and baking, lower specific gravity of cake batter reflects higher volume of the cakes. The results of texture analysis indicated that grape syrup-added cakes were softer than control sample, one reason for reducing the hardness is that when sucrose replace with grape syrup (that is mainly composed of glucose and fructose), the cake moisture content will increase and as a result caused the reduction of the cake hardness. Evaluation of color parameters showed that L values of cakes decreased and a value increased with addition of natural sweetener (Samples got darker). Sensory evaluation results showed that the cake formulation with 40% grape syrup obtained the highest score by panelists in terms of mouth-feel, wetness, and overall acceptability. It can be concluded that grape syrup could be used as a natural replacer for sugar in preparation of bakery products although further studies are necessary in order to gain appropriate formulation.

Keywords. Cake, Grape syrup, Natural sweetener, Sensory quality

مقاله کوتاه پژوهشی

بررسی اثر حلال‌های مختلف بر استخراج کاروتنوئیدهای دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی از کدو حلوایی

جواد مهدی‌زاده مقدم^۱ - سمیه رحیمی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۳

چکیده

کدو حلوایی از جمله محصولات کشاورزی است که علیرغم قیمت بسیار پایین، به‌عنوان منبع غنی از انواع کاروتنوئیدها که خواص آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی دارند، شناخته می‌شود؛ بر این اساس در این پژوهش به‌منظور استخراج کاروتنوئیدها از کدو حلوایی که به چهار حالت خام، پخته، خشک‌شده و یا پخته و خشک شده بودند، از حلال‌های مختلفی نظیر هگزان، استون، اتانول، نسبت ۱:۱ و نسبت ۱:۱:۱ حجمی هر یک از حلال‌ها استفاده شد. در ادامه خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های کاروتنوئیدی حاصل شده نیز بر مبنای قدرت مهارکنندگی DPPH اندازه‌گیری و محاسبه گردید. بررسی نتایج نشان داد که حلال‌های مختلف اثر معنی‌داری بر استخراج کاروتنوئیدها از نمونه‌های مختلف کدو حلوایی داشته‌اند ($p < 0.05$) به‌طوری که بیشترین استخراج کاروتنوئیدها با استفاده از حلال هگزان در کدوی پخته و خشک‌شده برابر با ۱۶/۷۴ میکروگرم/ گرم حاصل گردید که پس از آن نسبت ۱:۱ (حجمی) از حلال‌های هگزان: استون بیشترین توانایی استخراج کاروتنوئیدها را در تمامی نمونه‌های کدو از خود نشان دادند. از لحاظ فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز اثر حلال در تمامی عصاره‌های کاروتنوئیدی استحصال شده معنی‌دار بود ($p < 0.05$) که عصاره کدوی خام به‌دست آمده از نسبت ۱:۱ (حجمی) هگزان: استون، فعالیت مهارکنندگی DPPH قابل توجهی را از خود نشان داد (۶۳/۱۴٪).

واژه‌های کلیدی: کدو حلوایی، استخراج، کاروتنوئید، حلال آلی، قدرت مهارکنندگی DPPH.

مقدمه

طبق گزارشات، تقاضای بازار جهانی برای کاروتنوئیدها دارای رشدی معادل ۲/۹٪ در سال است و اگرچه اغلب کاروتنوئیدهایی که به‌طور تجاری فروخته می‌شوند از سنتز شیمیایی مشتق شده‌اند و نمی‌توانند با انتظارات مصرف‌کنندگان مبنی بر مصرف کاروتنوئیدهای طبیعی انطباق داشته باشند؛ لذا محققان توجه خود را از سنتز شیمیایی کاروتنوئیدها، به جداسازی آن‌ها از منابع زیستی معطوف داشته‌اند (گو و همکاران، ۲۰۰۸). کاروتنوئیدها منبع مهمی از ویتامین آ هستند که برای دید عادی چشمان و رشد و نمو جنین مورد نیازند (سئو و همکاران، ۲۰۰۵)؛ علاوه بر این، می‌توانند موجب کاهش خطر ابتلا به برخی امراض مهلک مثل سرطان و بیماری‌های قلبی-عروقی گردند (نورسازایلا و همکاران، ۲۰۱۲؛ ایشیدا و چاپمن، ۲۰۰۸). کدو یک میوه گرد-شکل از خانواده Cucurbitaceae و جنس

رنگ‌های طبیعی ترکیباتی هستند که ممکن است به‌طور مستقیم از منابع طبیعی حاصل شوند و یا این که از طریق سنتز عصاره‌هایی با منشاء طبیعی، تهیه شوند و به‌طور کلی افزودن آن‌ها، به محصولات غذایی کاملاً مجاز و آزاد است (گریفیث، ۲۰۰۵). یکی از مهم‌ترین رنگ‌های طبیعی، کاروتنوئیدها هستند که به‌طور طبیعی در کلروپلاست و یا کروموپلاست گیاهان و برخی از ارگانیسم‌های فتوسنتزکننده مثل جلبک‌ها یافت می‌گردند (نورسازایلا و همکاران، ۲۰۱۲). کاروتنوئید یک رنگدانه آلی تتراترپنوئیدی است که به لیکوپن، بتا-کاروتن، لوتئین، زی‌زانتین، بتا-کریتوزانتین و آلفا-کاروتن تقسیم‌بندی می‌شود (ایشیدا و چاپمن، ۲۰۰۸).

(*) - نویسنده مسئول: (Email: s.rahimi@irost.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.48796

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم دارویی، تهران، ایران.

۲- استادیار، گروه صنایع غذایی، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران.

مواد و روش‌ها

کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق از شرکت Merck (آلمان) تهیه شدند.

آماده‌سازی نمونه‌های کدو

کدوهای رسیده (*Cucurbita moschata*) کشت شده در مزرعه شخصی، پس از شستشو، به قطعات کوچکی خرد شده، پوستگیری و دانه‌گیری شدند. از آن جایی که استخراج کاروتنوئیدها از چهار دسته کدو یعنی خام، پخته، خشک‌شده و پخته و خشک‌شده باید صورت می‌پذیرفت لذا بدین منظور اقدامات دیگری نیز جهت آماده‌سازی آن‌ها انجام شد. کدوهای خام و یا پخته، پس از آماده‌سازی درون خردکن (پارس خزر، ایران)، کاملاً به‌صورت خمیر در آمده و برای تهیه کدوی خشک‌شده نیز در ابتدا کدوها به‌صورت ورقه‌های باریکی برش داده شده و در دمای پایین خشک شدند که سپس کاملاً پودر شدند. برای تهیه نمونه‌های کدوی پخته و خشک شده نیز پس از پختن کدوها، نمونه‌ها خشک و سپس پودر شدند. کلیه نمونه‌های کدو درون ظروف شیشه‌ای تیره درب‌دار در یخچال جهت استخراج کاروتنوئید نگهداری شدند.

استخراج کاروتنوئیدها

به‌منظور استخراج کاروتنوئیدها، در ابتدا مقدار ۱۰ گرم از نمونه‌های کدو توزین شده و سپس حلال (هگزان، استون، اتانول، نسبت ۱:۱ استون: اتانول، نسبت ۱:۱ هگزان: استون، نسبت ۱:۱ هگزان: اتانول و نسبت ۱:۱:۱ هگزان: استون: اتانول) به آن اضافه شد (۲ برابر وزنی). برای افزایش سرعت استخراج نمونه‌ها به کمک همزن مغناطیسی (Heidolph، آلمان) همزده شدند و به‌منظور جلوگیری از واکنش کاروتنوئیدها با نور و یا تبخیر حلال، تمام اطراف بشر با فویل پوشانیده شد. پس از بیرنگ شدن کامل کدوها، حلال حاوی کاروتنوئید به دستگاه تبخیرکننده گردان (Heidolph، آلمان) منتقل شد تا محلول غلیظی به حجم تقریبی ۵ سی‌سی به‌دست آید که دور از نور و درون یخچال نگهداری شدند.

اندازه‌گیری مقدار کاروتنوئید کل

برای اندازه‌گیری مقدار کاروتنوئید کل از روش اسپکتروفتومتری مطابق با روش کاروالهو و همکاران (۲۰۱۲) استفاده شد. بدین منظور، میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۸۰ نانومتر (Unico، مدل UV-2150، آمریکا)، قرائت گردیده و با استفاده از رابطه زیر مقدار کاروتنوئید کل محاسبه شد.

$$\text{کل کاروتنوئید } (\mu\text{g/g}) = \frac{A \times V \times 10^4}{A_{1\%}^{1\text{cm}} \times P} \quad (1)$$

Cucurbita است که در تمام دنیا روییده و به‌عنوان غذا، خوراک دام و یا مصارف تزئینی کاربرد دارد (شی و همکاران، ۲۰۱۰). کدو محصولی است که به‌راحتی ذخیره و حمل و نقل شده، در تمام پائیز و زمستان با قیمت ناچیزی در دسترس است (سئو و همکاران، ۲۰۰۵). مسئول رنگ نارنجی کدو، حضور کاروتنوئیدها به‌صورت رنگدانه‌های طبیعی در ساختار آن است (عزیزه و همکاران، ۲۰۰۹) که عمدتاً شامل بتا-کاروتن و لیکوپن هستند (نورشازیلا و همکاران، ۲۰۱۲)؛ لذا علاقه صنعتی قابل توجهی برای استخراج کاروتنوئیدها از کدو به‌منظور توسعه ترکیبات غذایی طبیعی و عملگرا وجود دارد (شی و همکاران، ۲۰۱۰).

کاروتنوئیدها عموماً با استفاده از حلال‌های آلی از مواد گیاهی استخراج می‌شوند که علت آن نیز ماهیت آبگریزی آن‌ها و حلالیت محدودشان در آب است (ایشیدا و چاپمن، ۲۰۰۸). در خصوص استخراج انواع کاروتنوئیدها از بافت‌های گیاهی نظیر هویج (بارث و همکاران، ۱۹۹۵)، پودر گوجه‌فرنگی خشک و ذرت (ایشیدا و چاپمن، ۲۰۰۸) تحقیقاتی صورت پذیرفته‌اند. در مورد استخراج کاروتنوئیدها از کدو حلوانی نیز تاکنون تعداد اندکی از مطالعات گزارش شده‌اند. سئو و همکاران (۲۰۰۵) با روش‌های استخراج مایع-مایع و سیال فوق بحرانی، کاروتنوئیدهای کدو را استخراج و سپس با کمک کروماتوگرافی فاز معکوس آن‌ها را اندازه‌گیری نمودند. طبق نتایج آن‌ها بتا-کاروتن، کاروتنوئید غالب در کدو بوده (<۸۰٪) که همراه با آن مقادیر کمتری از سایر کاروتنوئیدها نیز اندازه‌گیری شدند (سئو و همکاران، ۲۰۰۵). شی و همکاران از روش استخراج با دی‌اکسید کربن فوق بحرانی و حلال آلی برای استخراج کاروتنوئیدها از کدو سود جستند که مطابق با نتایج آن‌ها بتا-کاروتن بیشترین مقدار (۳۱-۴۰ گرم در هر ۱۰۰ گرم از کاروتنوئید کل) را در بین تمامی کاروتنوئیدها به‌خود اختصاص داد (شی و همکاران، ۲۰۱۰). محققان در سال ۲۰۱۲ با استفاده از حلال استون و روش‌های کروماتوگرافی و اسپکتروفتومتری، کاروتنوئید کل، آلفا-کاروتن، بتاکاروتن و ایزومرهای آن‌ها را در دو نمونه از کدو مورد اندازه‌گیری قرار دادند (کاروالهو و همکاران، ۲۰۱۲).

لذا در این پژوهش تلاش شد تا از کدو به‌عنوان منبعی ارزان قیمت برای استخراج رنگ خوراکی طبیعی استفاده شود تا بلکه بتوان جایگاه کشت و تولید آن را در بخش کشاورزی کشور به‌عنوان محصولی مفید، مقاوم و سریع‌الرشد ارتقا بخشید. در این تحقیق کاروتنوئیدها با به‌کارگیری سه نوع حلال با قطبیت‌های مختلف (هگزان، استون و اتانول) و همچنین نسبت‌های ترکیبی آن‌ها در کدوهای خام، پخته، خشک و یا پخته و خشک‌شده استخراج شدند که در نهایت نیز فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های کاروتنوئیدی حاصل شده ارزیابی گردید.

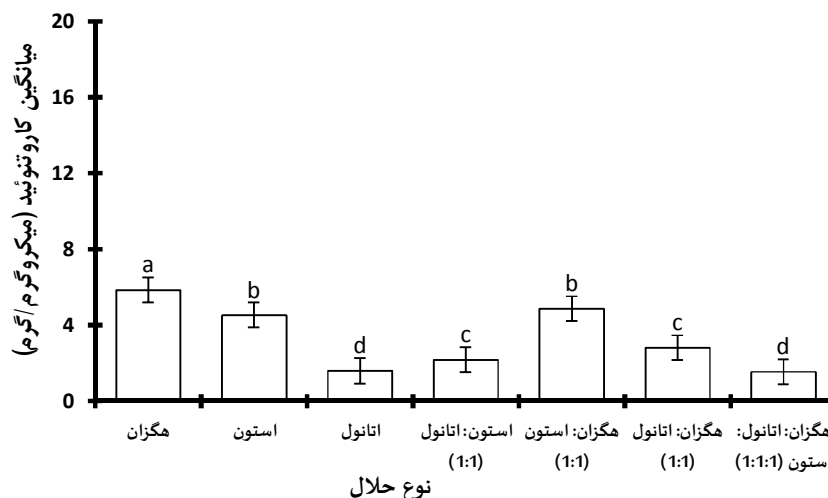
در این تحقیق، از طرح کاملاً تصادفی برای انجام کلیه آزمون‌ها با حداقل ۳ تکرار، استفاده شده و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز به روش تجزیه واریانس یک طرفه (ANOVA) و با کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) انجام شد که در صورت معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین داده‌ها، از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده گردید. برای ترسیم نمودارها نیز نرم‌افزار Excel (۲۰۰۷) به کار برده شد.

نتایج و بحث

نتایج استخراج کاروتنوئید از نمونه‌های کدو حلوایی

الف) کدو حلوایی خام

در نمودار شکل (۱) تاثیر معنی‌دار کاربرد حلال‌های مختلف در استخراج کاروتنوئیدها از بافت کدوی خام مشاهده می‌شود ($p < 0.05$). همانطور که مشخص است در خصوص کاربرد حلال‌ها به تنهایی، حلال هگزان بیشترین تاثیر را در استخراج داشته (۵/۸۶ میکروگرم/گرم) در حالی که حلال اتانول کمترین بازده استخراج (۱/۶۰ میکروگرم/گرم) را نشان می‌دهد. قابل توجه است که علیرغم انتظار، ترکیب حلال‌های مختلف با نسبت‌های ۱:۱ و یا ۱:۱:۱ نیز نتوانسته است بر راندمان استخراج کاروتنوئیدها بیفزاید و اختلاف معناداری بین آن‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۱- نمودار تاثیر نوع حلال‌های مختلف و نسبت‌های آن‌ها در استخراج کاروتنوئیدها از بافت کدوی خام (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد)

را در قیاس با سایر حلال‌های مورد استفاده نیز نشان می‌دهد (مشابه کدوی خام). این نکته قابل توجه است که قدرت استخراج کاروتنوئیدها از کدوی پخته بیش از کدوی خام بوده است که علت آن را می‌توان

که در آن A میزان جذب نمونه، V حجم کل عصاره (بر حسب میلی‌لیتر)، P وزن نمونه (بر حسب گرم) و $A_{1cm}^{1\%}$ نیز ضریب ثابت مربوط به بتاکاروتن و معادل عدد ۲۵۹۲ است (کاروالهو و همکاران، ۲۰۱۲).

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های کاروتنوئیدی به‌دست آمده از روش قدرت مهارکنندگی DPPH استفاده شد. بدین منظور مطابق با روش پراساد و همکاران (۲۰۱۱)، در ابتدا ۰/۵ سی‌سی از عصاره کاروتنوئیدی به لوله آزمایش منتقل و سپس ۱ سی‌سی از محلول ۰/۲ میلی‌مولار DPPH (تهیه شده در متانول) به آن اضافه گردید. سپس نمونه کاملاً با فویل پوشانیده شده و بر روی همزن مغناطیسی با دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه هم خورده و مخلوط شد. میزان جذب نمونه‌ها و نمونه شاهد با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت گشته و درصد قدرت مهارکنندگی DPPH با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$(2) \quad \text{قدرت مهارکنندگی DPPH} = \frac{(OD - \text{شاهد}) - (OD - \text{نمونه})}{OD - \text{شاهد}} \times 100$$

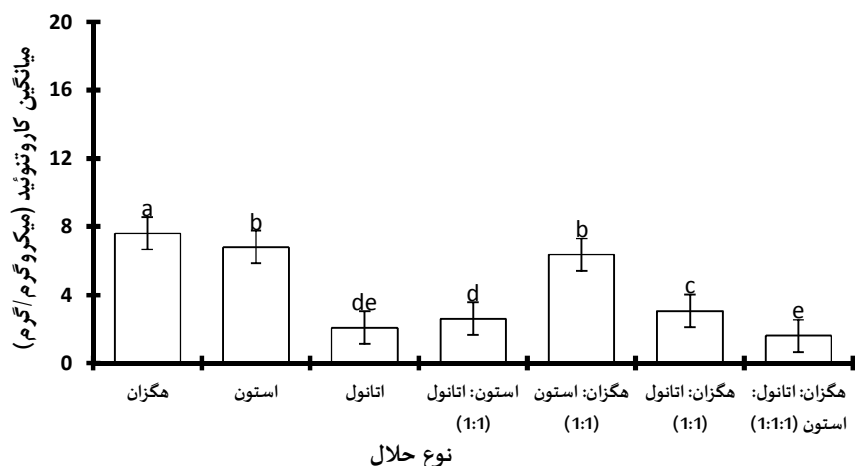
لازم به توضیح است که نمونه شاهد، نمونه عاری از کاروتنوئید می‌باشد (پراساد و همکاران، ۲۰۱۱).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

ب) کدو حلوایی پخته

مطابق با شکل (۲)، حلال هگزان قادر بوده است بیشترین مقدار کاروتنوئید را از بافت کدوی پخته استخراج نماید که بیشترین راندمان

به خروج مقداری از رطوبت و یا نرم‌تر شدن بافت کدو طی عملیات پخت نسبت داد که عملیات انتقال جرم و استخراج را تسهیل می‌نماید.

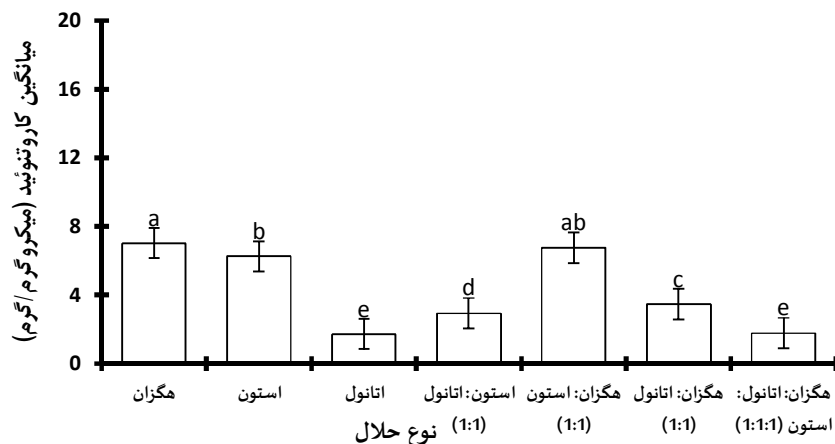


شکل ۲- نمودار تاثیر نوع حلال‌های مختلف و نسبت‌های آن‌ها در استخراج کاروتنوئیدها از بافت کدوی پخته (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد)

قابل توجه است که میزان استخراج کاروتنوئیدها در کدوی خشک‌شده در قیاس با کدوی پخته، قدری کاهش یافته است که علت آن می‌تواند درشت بودن اندازه ذرات کدو پس از خشک کردن و آسیاب کردن باشد که به علت کاهش سطح تماس، اثر منفی بر راندمان استخراج گذاشته است.

پ) کدو حلوایی خشک‌شده

مشابه موارد قبل، حلال هگزان (۷/۰۲ میکروگرم/ گرم) و ترکیب ۱:۱ حلال‌های هگزان: استون (۶/۷۶ میکروگرم/ گرم) توانایی بیشتری در استخراج کاروتنوئیدها از کدوی خشک‌شده نشان دادند.



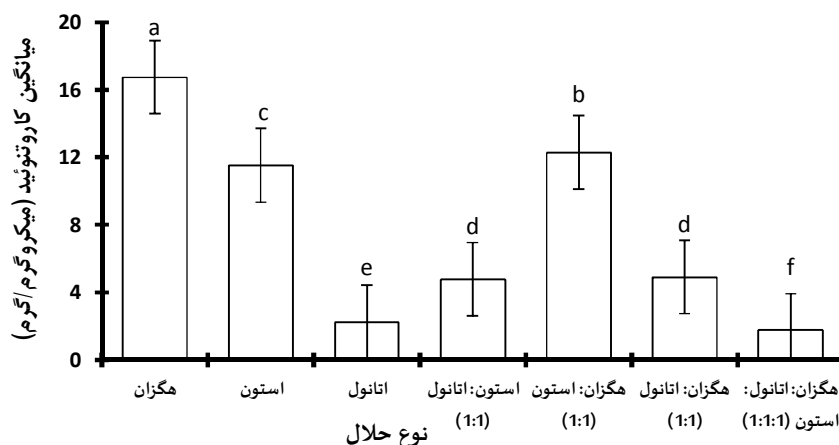
شکل ۳- نمودار تاثیر نوع حلال‌های مختلف و نسبت‌های آن‌ها در استخراج کاروتنوئیدها از بافت کدوی خشک‌شده (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد)

استخراج شده از کدوی پخته با استفاده از همین حلال است. پس از هگزان، ترکیب ۱:۱ هگزان: استون (۱۲/۳۰ میکروگرم/ گرم) و سپس حلال استون به تنهایی (۱۱/۵۳ میکروگرم/ گرم) بیشترین تاثیر را در استخراج نشان دادند. قابل توجه است که ترکیب سه حلال هگزان:

ت) کدو حلوایی پخته و خشک شده

مطابق با نمودار شکل (۴) و مشابه موارد قبل، حلال هگزان توانایی قابل توجهی در استخراج کاروتنوئیدها از خود نشان می‌دهد (۱۶/۷۴ میکروگرم/ گرم) که بیش از دو برابر مقدار کاروتنوئید

اتانول: استون دارای کم ترین توانایی استخراج در سطح اطمینان ۹۵٪ می باشد.



شکل ۴- نمودار تاثیر نوع حلالهای مختلف و نسبتهای آن ها در استخراج کاروتنوئیدها از بافت کدوی پخته و خشک شده (حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح اطمینان ۹۵٪ می باشد)

و سپس هگزان قرار دارند؛ به عبارت دیگر، به طور کلی هگزان به عنوان یک حلال کاملاً غیرقطبی شناخته می شود. به سبب آن که اغلب ترکیبات قطبی در حلال های قطبی و ترکیبات غیرقطبی در حلال های غیرقطبی حل می شوند، بنابراین انحلال و استخراج قابل توجه کاروتنوئیدهای غیرقطبی موجود در کدو که به طور عمده شامل بتا و آلفاکاروتن هستند، را می توان به خوبی در هگزان توجیه و تفسیر نمود. علیرغم انتظار، ترکیب حجمی حلال های فوق (نسبت های ۱:۱ و ۱:۱:۱) نیز نتوانست بازده قابل توجهی از استخراج را نشان دهد؛ البته قابل ذکر است که در اغلب موارد ترکیب ۱:۱ هگزان: استون که در مجموع قطبیت بسیار کمی دارد، نیز راندمان خوبی را در استخراج از خود نشان داد.

بررسی میزان استخراج کاروتنوئیدها از نمونه های مختلف کدو حلوایی شامل کدوی خام، پخته، خشک شده و پخته و خشک شده، موید این مطلب بود که کدوی پخته و خشک شده بیشترین توانایی استخراج را از خود نشان می دهد (بیش از دو برابر بازده استخراج از سایر نمونه ها) که پس از آن کدوی پخته و سپس کدوی خشک شده و در نهایت کدوی خام قرار دارند. علت بهبود فرآیند استخراج را با عملیات پخت می توان به نرم تر شدن بافت کدو نسبت داد که انتقال جرم و استخراج را تسهیل می نماید. خشک کردن نیز باعث خروج رطوبت از بافت کدو شده و در نتیجه چون مقدار ماده خشک افزایش یافته است، لذا بر میزان راندمان استخراج نیز افزوده می گردد. لذا ترکیب این دو عامل که برای کدوی پخته و خشک شده اعمال شده است، در مجموع سبب شده است تا راندمان استخراج در آن تا حد قابل توجهی افزایش یابد. تامپسون و همکاران (۲۰۰۰) گزارش نمودند

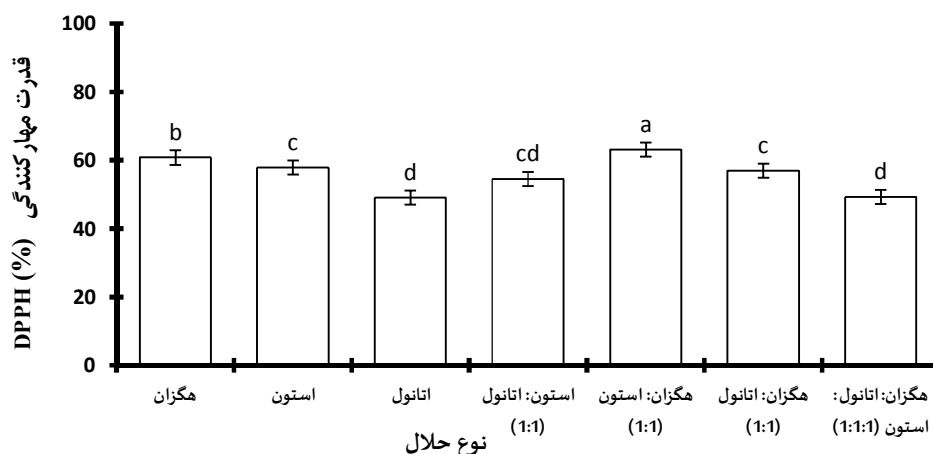
به طور کلی می توان بیان نمود که بیشترین استخراج کاروتنوئیدها در این تحقیق، با استفاده از حلال هگزان در کدوی پخته و خشک شده برابر با ۱۶/۷۴ میکروگرم/ گرم حاصل گردید که البته نتیجه حاصل شده متفاوت از نتایج سایر پژوهشگران است. محققان در سال ۲۰۱۲ بیشترین مقدار کاروتنوئید کل را در نمونه های کدو حلوایی خام گونه *Cucurbita moschata* (مشابه گونه کدوی مورد استفاده در این تحقیق) استخراج شده با حلال استون را برابر با ۴۰۴/۹۸ میکروگرم/ گرم گزارش نمودند؛ در حالی که در مطالعات قبلی مقدار کاروتنوئید کل در ۲۲ رقم از گونه کدوی فوق، در محدود ۷/۰۲ تا ۱۳۸/۵۶ میکروگرم/ گرم ثبت گردیده است (کاروالهو و همکاران، ۲۰۱۲). در تحقیق دیگری نیز مقدار استخراج کاروتنوئیدها از کدو با گونه مشابه فوق و با استفاده از نسبت ۱:۱ استون: پترولئوم اتر، برابر با ۱۲۱/۲۱ میکروگرم/ گرم به دست آمد (نورسازایلا و همکاران، ۲۰۱۲).

تاکنون از حلال های آلی مختلفی برای استخراج کاروتنوئیدها از منابع مختلف استفاده شده است که معمولاً پیشنهاد مناسب ترین حلال، به دلیل تفاوت در قطبیت انواع کاروتنوئیدهای مختلف، پیچیدگی ساختار ماتریکس (بافت) نمونه و ترکیبات موجود در آن، به سادگی امکان پذیر نیست. معمولاً حلال های غیرقطبی مثل هگزان انتخاب خوبی برای استخراج کاروتنوئیدهای غیرقطبی نظیر کاروتن ها هستند در حالی که حلال های قطبی مانند اتانول و استون برای کاروتنوئیدهای غیرقطبی نظیر گزانتوفیل ها مناسب تر هستند (آموریم- کاریلهو و همکاران، ۲۰۱۴). از میان حلال های مورد استفاده جهت استخراج کاروتنوئیدها در این پژوهش، اتانول بیشترین قطبیت را داشته (دارای یک سر قطبی و یک سر غیرقطبی) و پس از آن استون

حاصل‌شده از نمونه‌های کدو، از آزمون DPPH استفاده شد که در این روش، قدرت مهارکنندگی این ترکیب را به خواص آنتی‌اکسیدانی آن نسبت می‌دهند. همانطور که در نمودار شکل (۵) مشاهده می‌شود تمامی عصاره‌های کاروتنوئیدی حاصل‌شده از کدوی خام، خاصیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی از خود نشان دادند و بیشترین قدرت مهارکنندگی در ترکیب دو حلال هگزان: استون (۱:۱) برابر با ۶۳/۱۴٪ مشاهده گردید که اختلاف معناداری را با سایر نمونه‌ها نشان می‌دهد ($p < 0.05$).

که طی استخراج کاروتنوئید لیکوپن از گوجه‌فرنگی خام و پخته، مقدار لیکوپن در گوجه‌فرنگی‌های پخته شده بیشتر از گوجه‌فرنگی‌های خام بود ولی این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است (تامپسون و همکاران، ۲۰۰۰) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

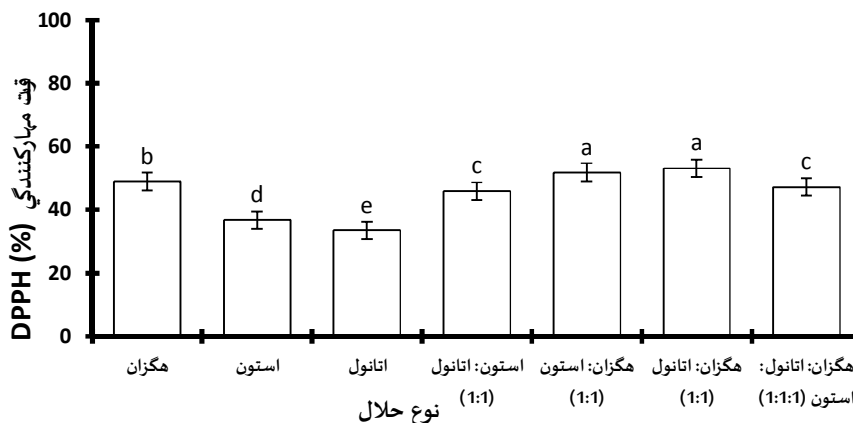
نتایج بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های کاروتنوئیدی نمونه‌های کدو حلوایی
الف) کدو حلوایی خام
به‌منظور ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های کاروتنوئیدی



شکل ۵- نمودار قدرت مهارکنندگی DPPH عصاره‌های کاروتنوئیدی حاصل‌شده از انواع حلال‌های مختلف و نسبت‌های آن‌ها در کدوی خام (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد)

آمده از کدوی پخته نیز خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالایی حاصل گردید که تفاوت کمی با نمونه‌های مربوط به کدوی خام دارد.

ب) کدو حلوایی پخته
مطابق با نمودار شکل (۶) مربوط به عصاره کاروتنوئیدی به‌دست

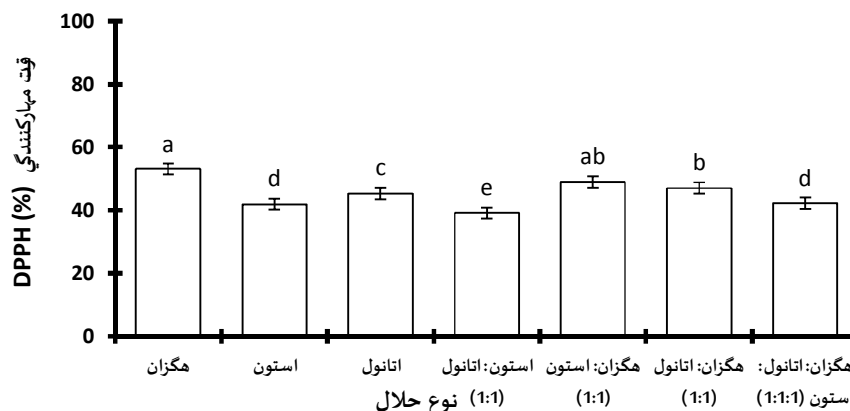


شکل ۶- نمودار قدرت مهارکنندگی DPPH عصاره‌های کاروتنوئیدی حاصل‌شده از انواع حلال‌های مختلف و نسبت‌های آن‌ها در کدوی پخته (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد)

قدرت مهارکنندگی DPPH قابل توجهی را نشان دادند و عصاره کاروتنوئیدی به‌دست آمده از هگزان در این راستا، قابلیت بالایی را

پ) کدو حلوایی خشک‌شده
عصاره‌های کاروتنوئیدی حاصل‌شده از کدوی خشک شده نیز

مشخص نمود (۵۳/۰۲٪).

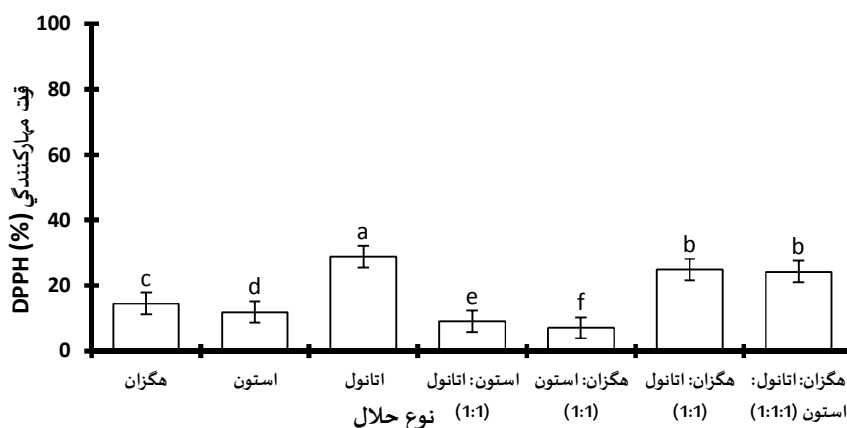


شکل ۷- نمودار قدرت مهارکنندگی DPPH عصاره‌های کاروتنوئیدی حاصل شده از انواع حلال‌های مختلف و نسبت‌های آن‌ها در کدوی خشک شده (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد)

این عصاره‌ها در قیاس با سایر نمونه‌های کدو، کاهش قابل توجهی یافته است و بیشترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به عصاره به‌دست آمده از اتانول می‌باشد (۲۸/۸۲٪) که علت آن می‌تواند مرتبط با ویژگی‌های شیمیایی خود عصاره حاصل شده باشد.

ت) کدو حلوایی پخته و خشک شده

در نمودار شکل (۸) قابلیت مهارکنندگی DPPH توسط عصاره‌های کاروتنوئیدی حاصل شده از کدوی پخته و خشک شده مشاهده می‌گردد. همانگونه که مشخص است خاصیت آنتی‌اکسیدانی



شکل ۸- نمودار قدرت مهارکنندگی DPPH عصاره‌های کاروتنوئیدی حاصل شده از انواع حلال‌های مختلف و نسبت‌های آن‌ها در کدوی پخته و خشک شده (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد)

نوع حلال نیز اختلاف معنی‌داری مابین آن‌ها مشاهده گردید ($p < 0.05$); به‌طوری که بیشترین قدرت مهارکنندگی DPPH در عصاره استخراج شده از کدوی خام با ترکیب ۱:۱ از هگزان: استون و برابر با ۶۳/۱۴٪ به‌دست آمد. نتایج بررسی قدرت مهارکنندگی DPPH توسط عصاره استخراج شده از کدوی گونه *Cucurbita maxima* با روش CO_2 فوق بحرانی و در دماهای ۵۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد، به

به‌طور کلی مولکول‌های کاروتنوئید در ماتریکس نمونه نسبتاً پایدار هستند اما در حالت محلول و پس از استخراج، نسبت به نور، گرما، اکسیژن و اسید بسیار حساس می‌شوند (آموریم- کاریلهو و همکاران، ۲۰۱۴). مطابق با نتایج به‌دست آمده، به غیر از عصاره استخراج شده از کدوی پخته و خشک شده، سایر نمونه‌های کدو تقریباً خاصیت آنتی‌اکسیدانی مشابهی را نشان دادند که البته متاثر از

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان دادند که مابین حلال‌های مورد بررسی در این تحقیق، هگزان و پس از آن نسبت ۱:۱ (حجمی) هگزان: استون به‌ترتیب بیشترین توانایی استخراج کاروتنوئیدها را از نمونه‌های کدو داشته و این در حالی است که مابین نمونه‌های کدوی مورد آزمون نیز، کدوهای پخته و خشک شده، بیشترین راندمان استخراج کاروتنوئیدها را از خود نشان دادند. از سوی دیگر قدرت مهارکنندگی DPPH یا فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره کدوی خام استخراج شده با نسبت ۱:۱ (حجمی) هگزان: استون، بیشتر از سایر نمونه‌ها به‌دست آمد.

ترتیب برابر با ۷۹/۹۰٪ و ۷۴/۸۹٪ گزارش شدند (شی، ۲۰۱۳) که نشان می‌دهد عصاره کاروتنوئیدی استخراج شده در این تحقیق با کمک حلال، دارای قدرت آنتی‌اکسیدانی قابل قبولی می‌باشد. از سوی دیگر، علت کاهش قدرت مهارکنندگی DPPH عصاره حاصل شده از کدوی پخته و خشک شده را می‌توان به استخراج ترکیبات کاروتنوئیدی مختلف با ساختارهای متفاوت در این نمونه نسبت داد (با توجه به بالاتر بودن راندمان استخراج کاروتنوئید از این نمونه کدو در مقایسه با کدوهای دیگر که در بخش‌های قبلی در مورد آن بحث شد) که خود باعث شده است تا در این نمونه، بیشترین قابلیت آنتی‌اکسیدانی در عصاره به‌دست آمده از حلال اتانول (۲۸/۸۲٪) که حلالی قطبی است، مشاهده شود.

منابع

- Amorim-Carrilho, K. T., Cepeda, A., Fente, C., & Regal, P. 2014. Review of methods for analysis of carotenoids. *Trends in Analytical Chemistry*, 56: 49–73.
- Azizah, A. H., Wee, K. C., Azizah, O., & Azizah, M. 2009. Effect of boiling and stir frying on total phenolics, carotenoids and radical scavenging activity of pumpkin (*Cucurbita moschato*). *International Food Research Journal*, 16: 45–51.
- Barth, M. M., Zhou, C., Kute, K. M., & Rosenthal, G. A. 1995. Determination of optimum conditions for supercritical fluid extraction of carotenoids from carrot (*Daucus carota* L.) tissue. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 43: 2876–2878.
- de Carvalho, L. M. J., Gomes, P. B., de Oliveira Godoy, R. L., Pacheco, S., do Monte, P. H. F., de Carvalho, J. L. V., Nutti, M. R., Neves, A. C. L., Vieira, A. C. R. A., & Ramos, S. R. R. 2012. Total carotenoid content, α -carotene and β -carotene, of landrace pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): A preliminary study. *Food Research International*, 47: 337–340.
- Griffiths, J. C. 2005. Coloring Foods & Beverages. *Food Technology*, 59: 38–44.
- Gu, Z., Chen, D., Han, Y., Chen, Z., & Gu, F. 2008. Optimization of carotenoids extraction from *Rhodobacter sphaeroides*. *LWT- Food Science and Technology*, 41: 1082–1088.
- Ishida, B. K., & Chapman, M. H. 2008. Carotenoid extraction from plants using a novel, environmentally friendly solvent. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 57: 1051–1059.
- Norshazila, S., Irwandi, J., Othman, R., & Yumi Zuhanis, H. H. 2012. Scheme of obtaining β -carotene standard from pumpkin (*Cucurbita moschata*) flesh. *International Food Research Journal*, 19(2): 531–535.
- Prasad, K. N., Chew, L. Y., Khoo, H. E., Yang, B., Azlan, A., & Ismail, A. 2011. Carotenoids and antioxidant capacities from *Canarium odontophyllum* Miq. Fruit. *Food chemistry*, 124: 1549–1555.
- Seo, J. S., Burri, B. J., Quan, Z., & Neidlinger, T. R. 2005. Extraction and chromatography of carotenoids from pumpkin. *Journal of Chromatography A*, 1073: 371–375.
- Shi, J., Yi, C., Ye, X., Xue, S., Jiang, Y., Ma, Y., & Liu, D. 2010. Effects of supercritical CO₂ fluid parameters on chemical composition and yield of carotenoids extracted from pumpkin. *LWT - Food Science and Technology*, 43: 39–44.
- Shi, X., Wu, H., Shi, J., Xue, S., Wang, D., Wang, W., Cheng, A., Gong, Z., Chen, X., & Wang, C. 2013. Effect of modifier on the composition and antioxidant activity of carotenoid extracts from pumpkin (*Cucurbita maxima*) by supercritical CO₂. *LWT - Food Science and Technology*, 51: 433–440.
- Thompson, K. A., Marshall, M. R., Sims, C. A., Wei, C. I., Sargent, S. A., & Scott, J. W. 2000. Cultivar, maturity, and heat treatment on lycopene content in tomatoes. *Journal of Food Science*, 65 (5): 791–795.



Brief report

Investigation on the Effects of Various Solvents on the Extraction of Carotenoids with Antioxidant Activity from Pumpkin

J. Mahdizade Moghaddam¹, S. Rahimi^{2*}

Received: 2015.08.02

Accepted: 2016.01.03

Introduction: Pumpkin is one of the agricultural products that despite its very low price, is known as a rich source of carotenoids with high antioxidant activity. Iran is one of the good producers of pumpkin at the world with fifth rank which is cultivated at provinces like Mazandaran, Guilan, Khorasan, and Hamedan and so on extensively. Pumpkin is almost available for entire the year but many of them is spoiled and perished because of low storage equipments; on the other hand, unfortunately this valuable vegetable which is full of many types of carotenoids with high nutritive values, is not consumed by most of Iranian peoples, because of its low sensory properties such as no pleasant taste or odor; whereas it is used at many cuisines at other countries, especially North America. The pumpkin carotenoids contain natural pigment, beta- carotene and lycopene which can be used as natural colorant at food processed products or dietary supplements. Nowadays, the positive health effect of carotenoids such as improvement of eyesight, fetus growth, prevention from cardiovascular disease and cancer, maintenance of skin health and whole of body, anti blood hypertension and cholesterol is known, well, hence it must more be emphasized at household food basket. There are many researches about extraction of carotenoids from tomato, carrot, yeast and so on, but studying the pumpkin carotenoids was done less. Generally, due to the hydrophobic characteristic of carotenoids and their little solubility at water, organic solvents such as hexane are applied for their extraction, which some researches had been done about its solubility at different organic solvents, yet.

Materials and methods: In this research the ripped pumpkins (*Curcubita moschata*) were cultivated at private farm at Khorasan were rinsed and chopped to same cubes. Then, pumpkin cubes were peeled off and the seeds were removed. For extraction of carotenoids, the pumpkin specimens prepared at four states of raw (mashed pumpkin), cooked (mashed pumpkin), dried (40 °C) (powder) and dry powder of cooked pieces (40 °C). Carotenoids were extracted from pumpkin samples by various organic solvents such as hexane, acetone, ethanol, at different volume ratio of them like 1:1(v) and 1:1:1(v). When the pumpkins became colorless, the extract had been evaporated at a vacuumed rotating evaporator to gain a thick extract without any solvent. The extract had been gathered and stored at black bottles and refrigerator to minimize the side effects of light and heat on nutritive characteristics of carotenoids. The total carotenoids content of the pumpkin extracts was measured by spectrophotometric method at 480 nm according to beta- carotene. The antioxidant activity of the extracts was calculated on the basis of DPPH scavenging activity of the samples at 517 nm. The project was done on a complete random design and one-way ANOVA and Duncan test were used for statistical data analysis and clearance the significant difference among treatments at 95% confidence level.

Results & Discussions: Statistical analysis of the results showed that various organic solvents, their volume ratio and also various state of pumpkin specimens had a significant effect on the carotenoid extraction from pumpkin samples ($p < 0.05$) which the most efficiency of carotenoid extraction equal to 16.74 µg/g, gained by hexane and dry powder of cooked pumpkins and secondly, the 1:1(v) hexane: acetone mix solvent showed the more extraction efficiency for all of the pumpkin samples. Ethanol showed the least ability for extraction of carotenoids from pumpkin samples. According to the antioxidant activity, the effect of type of organic solvent,

1. MSc Graduate, Department of Food Science and Technology, Faculty of Novel Science and Technology, Pharmaceutical Sciences Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Food Technology, Institute of Chemical Technologies, Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST), Tehran, Iran.

(*Corresponding Author Email: s.rahimi@irost.ir).

their ratio and also various state of pumpkin specimens were significant for all carotenoid extracts ($p < 0.05$) and the raw mashed pumpkin extract that obtained by 1:1(v) hexane:acetone mix had noticeable DPPH scavenging activity (63.14%). The cooked, dried and dry powder of cooked pieces of pumpkin showed a little antioxidant activity despite of high carotenoid extraction efficiency, probably because of extraction of various carotenoids with different structures as well as different scavenging activities of DPPH which can impact on the calculation of the antioxidant activity. Thus, studying the effect of temperature on extraction efficiency and nature of pumpkin carotenoids and their stability at environmental conditions is needed to introducing the carotenoids extracted from pumpkin as a natural colorant to addition of many of food products as a rich source of antioxidants and finally promotion of society health.

Keywords: Pumpkin; Extraction; Carotenoid; Organic Solvent; DPPH Scavenging Activity.

Contents

Functional and dietary lemon beverage, stabilization and evaluation of physicochemical and sensory characteristics	226
M. Kargozari, L. Bagheri, A. R. Mohammadi	
Effect of microwave pre-treatment on physico-chemical properties of donut containing Persian gum and carrot pomace powder sources of dietary fiber	239
M. Nouri, B. Nasehi, V. Samavati, S. Abdanan Mehdizade	
Effect of freezing on functional properties of <i>Lepidium perfoliatum</i> seed gum	250
M. Mahfoozy, A. Koocheki, S. M. A. Razavi	
Freshness detection of Veal using image processing and Response Surface Method	260
H. Javadikia, M. Ghasemi Varnamkhasti, S. Sabzi	
None-destructive investigation of the quality factors in citrus juice during storage using digital image processing	272
S. Abdanan Mehdizadeh, M. Nouri, M. Soltani Kazemi, S. Amraie	
Comparison of the effect of time and extraction methods on the phenolic compounds and antioxidant properties of walnut green husk of different regions of northern Iran	281
M. Dolat abadi, Z. Raftani Amiri*, R. Esmailzadeh Kenari	
Effect of enzymatic transglutaminase treatment on textural and sensory properties of low-fat UF-Feta cheese incorporated with whey proteins using response surface optimization	294
E. Danesh, H. Jooyandeh, V. Samavati, M. Goudarzi	
Study on physicochemical properties of gluten-free sponge cake	306
A. Mehraban Shandy, M. Alami, Sh. Mokhtari	
Effects of Ispharzeh hydrocolloids seeds (<i>Plantago ovata</i> L.) and basil gum (<i>Ocimum basilicum</i>) on physicochemical and sensory properties of ketchup sauce	321
S. Shakiba, M. Khomeiri, Z. Ahmadi, S. Amiri	
Extraction and characterization of gelatin from chicken feet and its application in cantaloupe jelly	332
A. Rezaee Zadeh, Z. Raftani Amiri	
Prediction of surface heat transfer coefficients and mass transfer kinetics of eggplant samples during deep fat frying by artificial neural network	345
S. Khalilian, A. M. Ziaieifar, A. Asghari, M. Kashaninejad, M. Mohebbi	
Antioxidant effect of the aerial parts of basil (<i>Ocimum basilicum</i>) and clary sage (<i>Salvia sclarea</i>) essential oils in Iranian white cheese	362
F. Tooryan, M. Azizkhani	
Effect of packaging type and chitosan edible coating on the physico-chemical and sensory characteristics of Royal Greenhouse cucumber during storage conditions	378
A. Shahdadi sardo, N. Sedaght, M. Taghizadeh, E. Milani	
Analysis of heat and mass transfer during frying process of potato strips	392
H. Sabbaghi, A. M. Ziaieifar, M. Kashaninejad	
Evaluation of chemical, morphological, structural and thermal properties of white sorghum starch	404
A. Ehtiati, F. Shahidi, A. Koocheki, S. M. A. Razavi, M. Majzoobi	
Measuring some characteristics of raw and degummed Moringa seeds and comparing their stabilities	414
Afsaneh Sadeghi, A. Ghazanfari Moghaddam, H. Hashemipour Rafsenjani, H. R. Akhevan	
Preparation and characterization of sponge cake made with grape juice	425
B. Shahidi, M. Kalantari, S. Boostani	
Brief report	
Investigation on the Effects of Various Solvents on the Extraction of Carotenoids with Antioxidant Activity from Pumpkin	435
J. Mahdizade Moghaddam, S. Rahimi	

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Vol. 13

No. 2

2017

Published by: Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Executive Manager: Poorazarang, H.

Editor-in-Chief: Razavi, Seyed M. A.

Executive Director: Taghizadeh, M.

Editorial Board:

Ehsani, M.R.	Prof. in Dairy Technology
Farahnaki, A.	Assoc. Prof. in Food Engineering
Farhoosh, R.	Prof. in Food Chemistry
Fazli Bazzaz, S.	Prof. in Microbiology
Habibi najafi, M.	Prof. in Microbiology
Kadivar, M.	Assoc. Prof. in Food Chemistry
Kashaninejad, M.	Assoc. Prof. in Food Engineering
Khomeiri, M.	Assoc. Prof. in Microbiology
Khosroshahi, A.	Prof. in Dairy Technology
Mortazavi, Seyed A.	Prof. in Microbiology and Biotechnology
Pourazerang, H.	Prof. in Food Chemistry
Razavi, Seyed M. A.	Prof. in Food Engineering
Sahari, M. A.	Prof. in Food Chemistry
Sedaghat, N.	Assoc. Prof. in Food Packaging
Shahidi, F.	Prof. in Microbiology
Varidi, M.J.	Assoc. Prof. in Food technology

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.

Contents

Functional and dietary lemon beverage, stabilization and evaluation of physicochemical and sensory characteristics.....	226
M. Kargozari, L. Bagheri, A. R. Mohammadi	
Effect of microwave pre-treatment on physico-chemical properties of donut containing Persian gum and carrot pomace powder sources of dietary fiber	239
M. Nouri, B. Nasehi, V. Samavati, S. Abdanan Mehdizade	
Effect of freezing on functional properties of <i>Lepidium perfoliatum</i> seed gum.....	250
M. Mahfoozy, A. Koocheki, S. M. A.Razavi	
Freshness detection of Veal using image processing and Response Surface Method.....	260
H. Javadikia, M. Ghasemi Varnamkhasti, S. Sabzi	
None-destructive investigation of the quality factors in citrus juice during storage using digital image processing	272
S. Abdanam Medizadeh, M. Nouri, M. Soltani Kazemi, S. Amraie	
Comparison of the effect of time and extraction methods on the phenolic compounds and antioxidant properties of walnut green husk of different regions of northern Iran	281
M. Dolat abadi, Z. Raftani Amiri*, R. Esmailzadeh Kenari	
Effect of enzymatic transglutaminase treatment on textural and sensory properties of low-fat UF-Feta cheese incorporated with whey proteins using response surface optimization	294
E. Danesh, H. Jooyandeh, V.Samavati, M. Goudarzi	
Study on physicochemical properties of gluten-free sponge cake.....	306
A. Mehraban Shandy, M. Alami, Sh. Mokhtari	
Effects of Ispharzeh hydrocolloids seeds (<i>Plantago ovata</i> L.) and basil gum (<i>Ocimum basilicum</i>) on physicochemical and sensory properties of ketchup sauce	321
S. Shakiba, M. Khomeiri, Z. Ahmadi, S. Amiri	
Extraction and characterization of gelatin from chicken feet and its application in cantaloupe Jelly	332
A. Rezaee Zadeh, Z. Raftani Amiri	
Prediction of surface heat transfer coefficients and mass transfer kinetics of eggplant samples during deep fat frying by artificial neural network	345
S. Khalilian, A. M. Ziaefar, A. Asghari, M. Kashaninejad, M. Mohebbi	

Continue Content in cover