نشریه علمی

پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران

جلد ۱۷ شماره ۱

سال ۱۴۰۰

شماره پیاپی ٦٦

شاپا: ۱۷۳۵-۴۱۶۱

عنوان مقالات

تاثیر فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن بر ویژگی‌های میان وعده حاوی پودر عناب ۱

الناز میلانی- فخری شهیدی- الهام انصاری‌فر- محمد خلیلیان موحد- فریده صالحی‌پور

مطالعه خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد سه واریته کینوا (Quinoa) و بررسی اثر pH بر ویژگی‌های عملکردی آن ۱۳

مسعود تقی‌زاده- حسام آخوندزاده- زهرا زمانی

بهینه‌یابی فرمولاسیون لوز رژیمی غنی شده با استویا و گیاه آزی‌وش به روش سطح پاسخ ۲۹

محمدجواد گلیه- محمد گلی

مدلسازی و بررسی تغییرات فیزیکوشیمیایی ماهی تونا تحت تاثیر روش انجمادزدایی اهمی غوطه‌وری.....٤۳

شهناز فتاحی نفیسه زمین‌دار

بررسی اثر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو، سرعت همگن‌سازی و چربی بر pH، بافت و رنگ ماست همزده کم‌چرب ٥٥

مسعود نجف نجفی- حمیدرضا شاطری- مرتضی کاشانی‌نژاد

بررسی اثر افزودن آرد قسمتهای مختلف سنجد (*Elaeagnus angustifolia*) بر ویژگی‌های کیک اسفنجی بدون گلوتن ٦۹

نگین زنگنه- حسن برزگر- محمد امین مهرنیا- محمد نوشاد- محمد حجتی

بررسی اثر روش استخراج با حلال‌های آب و متانول بر ویژگی‌های ضداکسایشی و ضدمیکروبی عصاره گیاه بن‌سرخ: مطالعه در شرایط آزمایشگاهی "in vitro".....۸۳

محمد حجتی- بهروز علیزاده بهبهانی

بررسی تاثیر افزودن کدو سبز (*Cucurbita pepo*) بر ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی و حسی ماست همزده طی نگهداری ۹۳

مرضیه سلامی- معصومه مهربان سنگ آتش- احمد احتیاطی

ارزیابی و مقایسه خصوصیات حسی، بافتی و رنگ خامه کم‌چرب با استفاده از تحلیل مولفه اصلی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی ۱۰۷

سید علی محمدی- محسن قدس روحانی- مسعود نجف نجفی- مرتضی کاشانی‌نژاد

بررسی آثار تغییرات دمایی بر پارامترهای سینتیکی-اکسایشی تری‌آسیل‌گلیسرول‌های زیتون، کانولا و کنجد در حضور آنتی‌اکسیدان سزامول ۱۲۱

محدرضا تورانی- رضا فرهوش- محمدتقی گلمکانی- علی شریف۴

ادامه فهرست داخل جلد

نشریه علمی پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران جلد ۱۷ شماره ۱ سال ۱۴۰۰ 2021 Vol.17 No.1 Iranian Food Science and Technology Research Journal

نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران

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

جلد ۱۷ شماره ۱ فروردین- اردیبهشت ۱۴۰۰

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

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر ناصر شاهنوشی — استاد، اقتصاد کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

سردبیر: دکتر فریده طباطبایی — استاد، میکروبیولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیئت تحریریه:

دکتر سید علی مرتضوی — استاد، میکروبیولوژی وبیوتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر فخری شهیدی — استاد، میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمدباقر حبیبی نجفی — استاد، میکروبیولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
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 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 — استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر آرش کوچکی — استاد، تکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محبت محبی — استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر بابک قنبرزاده — استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه تبریز
دکتر ایران عالم‌زاده — استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف
دکتر قدیر رجب‌زاده اوغاز — دانشیار، نانو فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی
دکتر مهیار حیدرپور — دانشیار، زیست مولکولی، دانشکده پزشکی هاروارد
دکتر حمید بهادر قدوسی — دانشیار، میکروبیولوژی غذایی، دانشگاه متروپولیتن لندن
دکتر کیانوش خسروی — استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
دکتر مرتضی عباس‌زادگان — استاد، ویروس شناسی، دانشگاه آریزونا
دکتر محمدامین محمدی‌فر — استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه دانمارک
دکتر منوچهر وثوقی — استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد **چاپ:** چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد- کد پستی ۹۱۷۷۵ صندوق پستی ۱۱۶۳
دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی - گروه علوم وصنایع غذایی- دفتر نشریه پژوهش های علوم وصنایع غذایی ایران.
تلفن: ۲۰-۸۷۹۵۶۱۸ داخلی ۳۲۱ نمابر: ۸۷۸۷۴۳۰

این نشریه درپایگاههای 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

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

مقالات علمی-پژوهشی

تاثیر فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن بر ویژگی‌های میان وعده حاوی پودر عناب ۱
الناز میلانی- فخری شهیدی- الهام انصاری‌فر- محمد خلیلیان موحد- فریده صالحی‌پور

مطالعه خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد سه واریته کینوا (Quinoa) و بررسی اثر pH بر ویژگی‌های عملکردی آن ۱۳
مسعود تقی‌زاده- حسام آخوندزاده- زهرا زمانی

بهینه‌یابی فرمولاسیون لوز رژیمی غنی شده با استویا و گیاه آزی‌وش به روش سطح پاسخ ۲۹
محمدجواد گلیه- محمد گلی

مدلسازی و بررسی تغییرات فیزیکوشیمیایی ماهی تونا تحت تاثیر روش انجمادزدایی اهمی غوطه‌وری ۴۳
شهناز فتاحی نفیسه زمین‌دار

بررسی اثر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو، سرعت همگن‌سازی و چربی بر pH، بافت و رنگ ماست همزده کم‌چرب ۵۵
مسعود نجف نجفی- حمیدرضا شاطری- مرتضی کاشانی‌نژاد

بررسی اثر افزودن آرد قسمتهای مختلف سنجد (*Elaeagnus angustifolia*) بر ویژگی‌های کیک اسفنجی بدون گلوتن ۶۹
نگین زنگنه- حسن برزگر- محمد امین مهرنیا- محمد نوشاد- محمد حجتی

بررسی اثر روش استخراج با حلال‌های آب و متانول بر ویژگی‌های ضداکسایشی و ضدمیکروبی عصاره گیاه بن‌سرخ: مطالعه در شرایط آزمایشگاهی "in vitro" ۸۳
محمد حجتی- بهروز علیزاده بهبهانی

بررسی تاثیر افزودن کدو سبز (*Cucurbita pepo*) بر ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی و حسی ماست همزده طی نگهداری ۹۳
مرضیه سلامی- معصومه مهربان سنگ آتش- احمد احتیاطی

ارزیابی و مقایسه خصوصیات حسی، بافتی و رنگ خامه کم‌چرب با استفاده از تحلیل مولفه اصلی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی ۱۰۷
سید علی محمدی- محسن قدس روحانی- مسعود نجف نجفی- مرتضی کاشانی‌نژاد

بررسی آثار تغییرات دمایی بر پارامترهای سینتیکی-اکسایشی تری‌آسیل‌گلیسرول‌های زیتون، کانولا و کنجد در حضور آنتی‌اکسیدان سزامول ۱۲۱
محدرضا تورانی- رضا فرهوش- محمدتقی گلمکانی- علی شریف۴

تولید بستنی مبتنی بر تخم‌مرغ فراسودمند حاوی ایمونوگلوبین Y بر علیه باکتری هلیکوباکتر پیلوری ۱۳۳
سحر صباحی- علی مرتضوی- محمدرضا نصیری- آرش قزوینی- فخری شهیدی

بهینه‌سازی تولید نانوامولسیون اسانس پونه کوهی ایرانی حاوی اسیدهای چرب امگا سه با استفاده از روش امولسیفیکاسیون خودبه‌خودی ۱۴۳
نسرین فرجی- محمد علیزاده- هادی الماسی- سجاد پیرسا- سهیلا فرجی

تعیین مقدار کافئین در انواع قهوه و بررسی تاثیر روش کچرز بر میزان استخراج آن در مقایسه با روش متداول ۱۷۳
مرضیه معین‌فرد- پانیذ خالوکرمانی- شیما جلدانی- علی شریف

تولید و ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی شورتنینگ کم‌اشباع با استفاده از تکنیک اورگانوژل‌سازی، مبتنی بر مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر ۱۸۷
راحله محجوب- وحید حکیم‌زاده- اسماعیل عطای صالحی- جمشید فرمانی

مقایسه اثرات صمغ‌های قدومه شیرازی و فارسی به‌عنوان هیدروکلوئید جایگزین چربی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی خامه صبحانه کم‌چرب ۲۰۵
ریحانه داخته- محمدرضا خانی- شهریار دبیریان

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 1- 11

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۱-۱

مقاله علمی-پژوهشی

تاثیر فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن بر ویژگی‌های میان وعده حاوی پودر عناب

الناز میلانی[۱]- فخری شهیدی[۲*]- الهام انصاری‌فر[۳]- محمد خلیلیان موحد[۴]- فریده صالحی‌پور[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۴

چکیده

مصرف بالای میان وعده کم‌ارزش و سوء تغذیه اقشار جامعه به‌خصوص کودکان و نوجوانان یکی از معضلاتی است که امروزه در جامعه وجود دارد. لذا در این پژوهش تولید میان وعده با ارزش غذایی بالا حاوی آرد عناب مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش بر پایه طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر، اثر متغیرهای فرایند اکستروژن شامل سرعت چرخش ماردون (۱۲۰-۱۵۰-۱۸۰ دور بر دقیقه)، افزودن آرد عناب (۵-۱۰-۱۵ درصد) و رطوبت خوراک ورودی (۱۲-۱۶-۲۰ درصد) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و رنگ فراورده حجیم شده بر پایه ذرت-گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد؛ افزودن آرد عناب تا ۱۵ درصد به‌طور مستقل موجب افزایش دانسیته ۰/۳۳، سختی بافت ۳۵/۷۳ نیوتن، حلالیت ۴۲درصد و پارامتر قرمزی رنگ ۳/۴۱ و کاهش پارامتر روشنایی رنگ ۸۹/۱ شد. با این حال اثر همزمان دو پارامتر سرعت چرخش و افزودن آرد عناب سبب بهبود خصوصیات فراورده گردید به‌نحوی که با افزایش سرعت چرخش ماردون و در نتیجه کاهش ویسکوزیته موجب کاهش سختی بافت تا ۱/۷۹ نیوتن گردید. شرایط بهینه تولید میان وعده اکسترود شده، شامل میزان رطوبت خوراک ۱۳/۱۹ درصد، میزان آرد عناب ۶/۳۰ درصد و سرعت چرخش ماردون ۱۲۲/۲ دور بر دقیقه تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: اسنک حجیم، رژیمی، اکستروژن، عناب

مقدمه

مهمترین مواد اولیه‌ای که برای تولید میان وعده‌های غذایی استفاده می‌شود؛ اجزای نشاسته‌ای مثل ذرت، برنج و گندم بوده که از نظر قند، فیبر، ویتامین و مواد معدنی فقیر هستند. به‌دلیل افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان در مورد ارزش غذایی فراورده‌های غذایی، گرایش تولیدکنندگان به سمت مواد غذایی سرشار از ریزمغذی‌ها، ویتامین‌ها، پروتئین و فیبرهای رژیمی، قند و رنگ‌های طبیعی، کم‌چربی و عاری از هرگونه افزودنی‌های سنتزی افزایش یافته است (Altan *et al.*, 2009; Maskan&Aitan, 2011).

تحقیقات متعددی در زمینه استفاده از ترکیبات فراسودمند در انواع میان وعده‌های غذایی صورت گرفته است. با توجه به اینکه فیبر یکی از ترکیبات غذایی مفید برای بیماران دیابتی، افراد چاق و بیماران دچار مشکلات گوارشی از جمله یبوست می‌باشد، لذا غنی‌سازی مواد غذایی با چنین ترکیبی امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

میوه عناب با نام علمی *Zizyphus jujube Mille* متعلق به خانواده رامناسه (*Rhamnaceae*) یکی دیگر از منابع گیاهی غنی از فیبر می باشد. از لحاظ ویتامین‌ها به‌خصوص ویتامین C بسیار غنی است؛ رطوبت، قند، پروتئین خام و فیبر رژیمی در عناب خشک شده به‌ترتیب ۲۵/۷، ۶۰، ۴/۹ و ۴/۷ درصد است (حسینی‌آوا، ۱۳۸۱). از میوه عناب ترکیب‌های تری ترپنوئیدی، فلاونوئیدی و آلکالوئیدی استخراج شده است. استان خراسان جنوبی با سطح زیر کشت ۳۱۸۷ هکتار در سال ۱۳۹۵بیش از ۹۷ درصد کل تولید و مهمترین مرکز کشت و پرورش عناب بوده است (سامانه هوشمند اطلاعات کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵). عناب یک میوه عملگر است که نیاز صنعت میان وعده‌های غذایی را به فراورده سالم و فراسودمند، برطرف می‌کند. با توجه به تولید بالای عناب و در راستای افزایش کارایی آن و اصلاح الگوی مصرف فراورده‌های غذایی، پژوهش در زمینه کاربرد عناب در فرمولاسیون انواع میان وعده‌های غذایی امری ضروری به‌نظر می‌رسد. پژوهشگران در مورد افزودن انواع میوه و ضایعات میوها به میان وعده‌های حجیم غذایی مطالعات فراوانی انجام داده‌اند (میلانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ لطفی شیرازی و همکاران، ۱۳۹۷؛ فیوضی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Lazou *et al.*, 2010; Bisharat *et al.*,

۱- دانشیار، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی.
۲، ۴ و ۵- به‌ترتیب استاد، دانشجوی دکتری و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۳- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند.
(* - نویسنده مسئول: Email: fshahidi@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.80211

(2013; Caltinoglu *et al*., 2013; Bott and Chambers 2006). با این حال تاکنون پژوهش‌های محدودی در زمینه افزودن پودر عناب در فرمولاسیون نان حجیم و کیک اسفنجی صورت گرفته است (غروی، ۱۳۹۵؛ فایقی، ۱۳۹۶؛ سیروس، ۱۳۹۶؛ احمدیان، ۱۳۹۶).

کیفیت نهایی فراورده اکسترود شده ارتباط مستقیم با پارامترهایی نظیر نوع اکسترودر، ساختار مارپیچ، رطوبت مواد ورودی، پروفایل دمایی داخل محفظه اکسترودر، سرعت چرخش مارپیچ، سرعت ورود مواد و ترکیبات ورودی دارد. (Maskan & Aitan, 2011; Yagci *et al*., 2009). از آنجا که عناب محصول استراتژیک منطقه شرق ایران می‌باشد و همچنین نقش و اهمیت انواع میان وعده در رژیم غذایی اقشار مختلف جامعه و با تاکید بر ارتقای ارزش غذایی آن؛ هدف از این پژوهش ارزیابی اثر متغیرهای ترکیب خوراک (سطوح غلظت و رطوبت آرد عناب) و سرعت چرخش ماردون بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی میان وعده اکسترود و یافتن شرایط بهینه مناسب می باشد.

مواد و روش‌ها

میوه خشک شده عناب واریته *spinosa* تهیه شده در باغ گیاهان دارویی جهاددانشگاهی بیرجند به‌طور کامل به‌وسیله آسیاب چکشی و سایشی آزمایشگاهی، آسیاب گردید. به‌منظور دانه‌بندی یکنواخت، آرد آسیاب شده، از الک با مش ۵۰ عبور داده شدند (میلانی و همکاران، ۱۳۹۶). ویژگی‌های آرد عناب ورودی توسط روش AACC (۲۰۰۰) تعیین گردید (AACC.,2000).

پخت اکستروژن

پخت اکستروژن توسط اکسترودر دو مارپیچ با چرخش هم جهت (DS56، Jinan Saxin، چین) انجام پذیرفت. پایه اکسترودر ترکیبی از بلغور ذرت-گندم به نسبت ۵۰-۵۰ بود. با افزودن آب مقطر رطوبت خمیر ورودی تنظیم شد. فرایند اکستروژن با سرعت ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دور بر دقیقه، رطوبت خوراک ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد و درصد جایگزینی آرد عناب ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد، سرعت ورودی ۲۴ گرم بر دقیقه، قطر دای ۴ میلی‌متر و دمای ثابت ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. اسنک‌های خروجی از اکسترودر به‌منظور خشک کردن بر روی نوار نقاله خشک‌کن تونلی با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و در پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی کدگذاری شده ودر دمای اتاق نگهداری گردید (فیوضی و همکاران، ۱۳۹۶).

دانسیته توده

دانسیته میان وعده با روش جابه‌جایی با دانه ارزن طبق روش استاندارد (۲۰۰۰) AACC به شماره ۰۵-۱۰ انجام شد.

حلالیت در آب

۰/۵ گرم از نمونه آسیاب شده در لوله فالکون ۱۵ میلی‌لیتر ریخته و ۱۰ سی‌سی آب مقطر به آن افزوده شد. نمونه به مدت ۲۰ دقیقه به‌هم زده شد. سپس در دستگاه سانتریفوژ به مدت ۲۵ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰×g سانتریفوژ گردید (Anderson *et al*., 1970). حلالیت در آب براساس معادله زیر و با استفاده از آون هوای داغ Memmert در ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد.

$$WSI=\frac{Mds}{Ms} \quad (۱)$$

Mds= وزن ماده جامد خشک بر حسب گرم

سختی

برای اندازه‌گیری سختی بافت، ابتدا نمونه به‌وسیله آون تا رسیدن به رطوبت ۶ درصد خشک گردید. زیرا این رطوبت برای اندازه‌گیری بافت مطلوب در نظر گرفته می‌شود. اندازه‌گیری سختی با دستگاه بافت‌سنج (AMETEKlloyd, TA-Plus instrments Ltd, USA) و توسط آزمون نفوذی انجام شد. بدین منظور نمونه‌ها توسط پروب استوانه‌ای ۲ mm و بارگذاری پروب تا ۱۰۰ N و با سرعت نفوذ $1mms^{-1}$ به میزان ۷۰ درصد قطر نمونه اولیه تحت فشار قرار گرفت (Lazou, 2010).

پارامترهای رنگی

برای اندازه‌گیری پارامترهای رنگی، از روش پردازش تصویر استفاده شد. برای این منظور، نمونه‌های میان وعده به‌وسیله چاقوی تیز با احتیاط به‌صورت طولی به دو نیم تقسیم شدند. تصویربرداری با استفاده از دوربین (Canon Eos 1000D ،CANON) در اتاقک مخصوص این کار که دارای دیواره‌های سیاه بود انجام شد. تصاویر گرفته شده به نرم‌افزار فتوشاپ CS5 منتقل و برش قسمت دلخواه انجام شد و بعد از حذف layer از قسمت پشت زمینه، تصویر با فرمت JPG ذخیره شد. سپس تصویر به نرم‌افزار Image J انتقال یافت.از آنجا که پارامترهای رنگی $L^*a^*b^*$ وابسته به ابزار اندازه‌گیری نبوده، بدون توجه به خروجی یا ورودی، رنگ یکنواختی را فراهم می‌کنند، تصاویر به‌دست آمده از فضای رنگی RBG به فضای رنگی $L^*a^*b^*$ تبدیل شدند. مقادیر L^* به‌عنوان شاخص روشنی هست و بین صفر (سیاه رنگ) تا ۱۰۰ (سفید رنگ) متغیر است، مقادیر $+a^*$ شاخص قرمزی و مقادیر $-a^*$ شاخص سبزی نمونه‌ها هست و $+b^*$ برای شاخص زردی و $-b^*$ برای شاخص آبی نمونه‌ها گزارش گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری بوده و در بهینه‌سازی فرآیندهایی به‌کار می‌رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تاثیر قرار می‌گیرد شمای گرافیکی مدل ریاضی سبب تعریف واژه متدولوژی سطح پاسخ شده است. با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش‌ها کاهش یافته و کلیه ضرایب مدل رگرسیون و درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها، قابل برآورد هستند. مهمترین مسئله این تحقیق بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورها بود، از این رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد (میلانی و همکاران، ۱۳۹۶). در این مطالعه اثر متغیرهای مستقل شامل A آرد عناب، B رطوبت خوراک و C سرعت ماردون، در جدول ۱ نشان داده شده است. شش تکرار نقطه مرکزی برای تخمین خطای آزمایش استفاده شد. در مرحله دوم طرح آماری گزینش شده و رابطه مدل مورد استفاده برای پیش‌بینی، برازش شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مرحله سوم شامل ارائه گرافیکی رابطه مدل و تعیین شرایط عملیاتی بهینه بود و توسط نمودار سطح پاسخ و کنتور انجام پذیرفت. شرایط عملیاتی بهینه، با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی جستجو شد (Selan and Brazaca, 2014).

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی و تغذیه‌ای مواد اولیه براساس وزن خشک

فاکتور	چربی (گرم در ۱۰۰ گرم)	پروتئین (گرم در ۱۰۰ گرم)	رطوبت (درصد)	فیبر رژیمی کل (درصد)	خاکستر (درصد)
آرد عناب	۰/۸۷	۲/۱۴	۳/۶	۳/۹۸	۱/۶۸
بلغور ذرت	۳/۳۵۵	۹/۸۷	۹/۷۳	۲/۴۵	۰/۹۲
آرد گندم	۲/۳۱	۹/۳۴	۷/۱	۲/۹۶	۱/۷۹

جدول ۲- سطوح افزودن متغیرهای مستقل

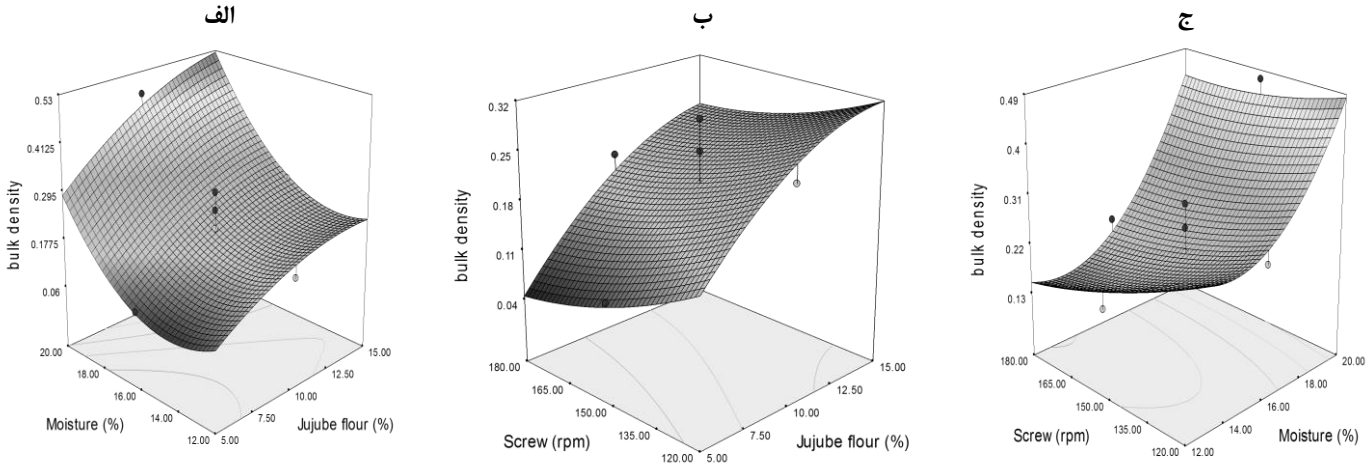
متغیرهای مستقل	نماد ریاضی	کد و سطح مربوطه		
		+۱	۰	-۱
سطوح افزودن آرد عناب (درصد)	A	۱۵	۱۰	۵
رطوبت خوراک (درصد)	B	۲۰	۱۶	۱۲
سرعت چرخش ماردون (rpm)	C	۱۸۰	۱۵۰	۱۲۰

نتایج و بحث

دانسیته توده

دانسیته توده میزان پف کردن محصول اکسترود شده در تمام جهات را نشان می‌دهد (Caltinoglu *et al*., 2013). نتایج آنالیز واریانس نشان داد (جدول ۲) که مدل چند جمله‌ای درجه دوم برای چگالی توده از نظر آماری معنی‌دار بود، علاوه بر آن اثرات خطی آرد عناب، سرعت چرخش ماردون و رطوبت و عبارت درجه دوم رطوبت ورودی اثر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر چگالی توده داشتند. با افزایش میزان آرد عناب، دانسیته توده افزایش یافت که این امر به دلیل افزایش میزان فیبر در خوراک می‌باشد (شکل ۱، الف). فیبر باعث پاره شدن سلول‌های هوا شده و به نشاسته موجود در دیواره سلول متصل شده که باعث ایجاد کمپلکس‌های سلولز، نشاسته و پروتئین می‌گردد و توانایی انبساط محصول را محدود می‌کنند. بنابراین، دانسیته توده افزایش می‌یابد (Lue *et al*., 1994). اثرات مشابه فیبر برای آرد ذرت و تفاله آناناس اکسترود شده (Selani *et al*., 2014)، مخلوط آرد جو و تفاله انگور (Altan *et al*., 2009)، و همچنین ذرت و فیبر چغندرقند (Lue *et al*., 1994)مشاهده شده است. با افزایش رطوبت خمیر ورودی، میزان انبساط کاهش و دانسیته توده افزایش یافت (شکل ۱، الف و ج). رطوبت باعث کاهش الاستیسیته شده و ژلاتیناسیون نشاسته را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Korkerd *et al*., 2016; Thymi *et al*., 2005). در شکل (۱- ب و ج) مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت چرخش ماردون، میزان دانسیته توده محصولات اکسترورد شده بر پایه ذرت-گندم کاهش می‌یابد. سرعت‌های بالای مارپیچ می‌تواند باعث کاهش ویسکوزیته گدازه در حال اختلاط و افزایش الاستیسیته خمیر می‌گردد که نهایتا منجر به کاهش دانسیته فرآورده اکسترود می‌شود. افزایش سرعت چرخش مارپیچ بر درجه برش و زمان ماند گدازه در پوسته، تجزیه شبکه آمیلوپکتین و تغییر ویژگی‌های رئولوژیکی گدازه تاثیرگذار است. از اینرو تاثیر شگرفی بر الاستیسیته و متعاقبا دانسیته و انبساط فرآورده دارد (Alam *et al*., 2016). از آنجاکه افزایش رطوبت خوراک موجب افزایش دانسیته می‌شود لذا هر چقدر سرعت چرخش مارپیچ بیشتر شود، به‌واسطه اثر همزمان افزایش دما و نیروی برشی، ویکوزیته

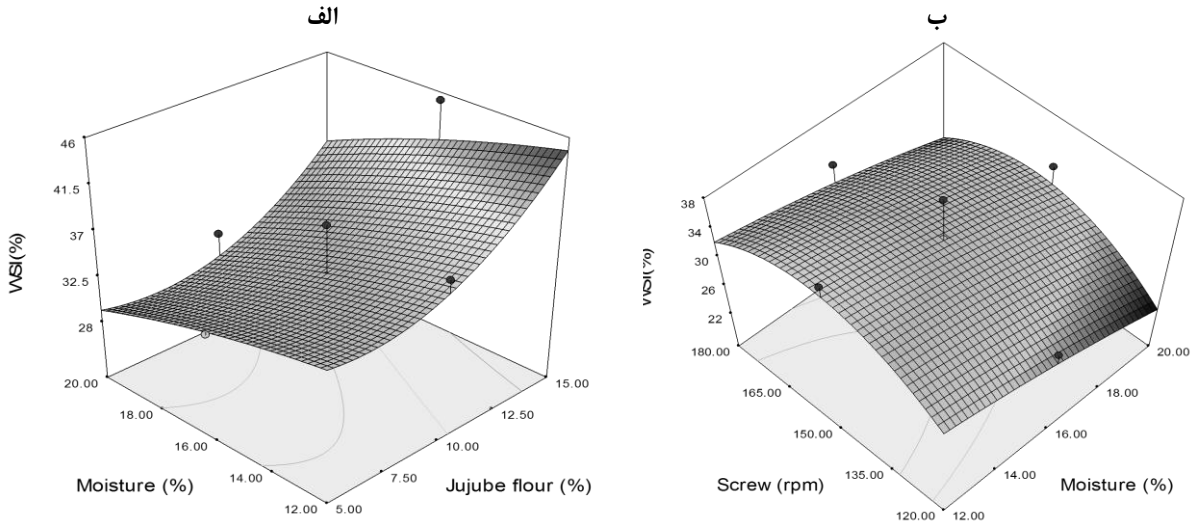
خمیر مذاب کاهش یافته و توزیع رطوبت در خمیر افزایش می‌یابد؛ این امر به کاهش دانسیته فرآورده نهایی می‌انجامد (Thymi *et al.*, 2005).



شکل ۱- نمودار سطح پاسخ برای متغیرهای اکستروژن بر دانسیته توده.
(الف) اثر آرد عناب-رطوبت ورودی (ب) اثر آرد عناب-سرعت چرخش ماردون (ج) اثر رطوبت ورودی-سرعت چرخش ماردون.

شاخص حلالیت

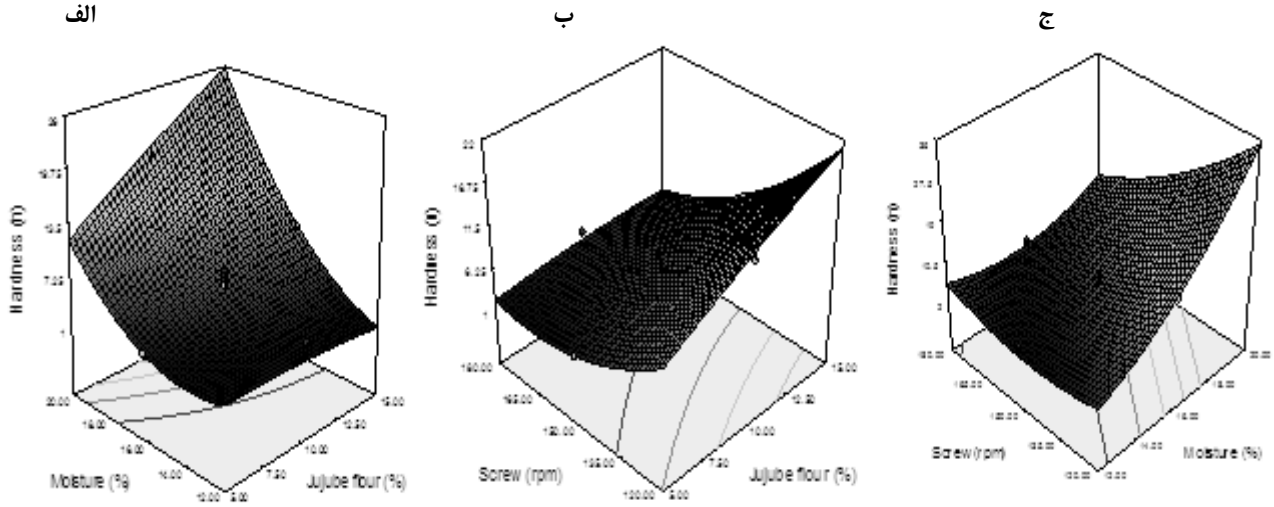
شاخص حلالیت میزان تبدیل اجزای نشاسته به پلی‌ساکاریدهای محلول آزاد طی اکستروژن را اندازه‌گیری می‌کند (Alam *et al.*, 2016). مولکول‌های محلول در آب علاوه بر نشاسته ممکن است از دیگر اجزا از جمله فیبرها و پروتئین طی دناتوراسیون تولید شود (Selani *et al.*, 2014).همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، مدل چند جمله‌ای درجه دوم برای شاخص حلالیت در آب از نظر آماری معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). پارامتر آرد عناب و رطوبت به‌طور مستقل و توان دوم سرعت چرخش ماردون بر شاخص حلالیت معنی‌دار بودند ($p<۰/۰۵$). با توجه به شکل (۲- الف) شاخص انحلال در آب با افزایش درصد آرد عناب در محصول اکسترود شده بر پایه گندم-ذرت، طی فرایند اکستروژن در اثر نیروی برشی اعمال شده، با تبدیل بخشی از ترکیبات فیبری نامحلول به ترکیباتی با وزن مولکولی کم، افزایش یافت. در فرایند ژلاتیناسیون، نشاسته دارای ظرفیت نگهداری آب بیشتری نسبت به بخش فیبری نظیر سلولز و همی‌سلولز بوده و جایگزینی بخشی از فراورده‌های جانبی کشاورزی حاوی فیبر در فرمولاسیون سبب کاهش نسبی مقدار نشاسته و رقابت در جذب آب گردیده و از طرفی ترکیبات فیبری موجود طی فرایند اکستروژن به ترکیباتی با وزن مولکولی کم تبدیل شده و در نتیجه میزان شاخص انحلال در آب افزایش و شاخص جذب آب کاهش می‌یابد (Bisharat *et al.*, 2013). در پژوهشی مشابه Potter و همکاران (۲۰۱۳) روی محصول اکسترود شده حاوی ذرت با افزودن ضایعات گوجه‌فرنگی به‌خصوص لیکوپن، از میزان نشاسته اولیه در فرمولاسیون، از میزان جذب آب و ژلاتیناسیون کاسته شده و بخشی از ترکیبات فیبری موجود نامحلول به ترکیباتی با وزن مولکولی کم شکسته شده و در نتیجه میزان شاخص جذب آب کاهش و شاخص انحلال افزایش یافت.با افزایش درصد رطوبت خوراک، میزان انحلال در آب کاهش یافت (شکل۲- الف). این موضوع ممکن است به دلیل ژلاتیناسیون بیشتر، تجزیه گرانول های نشاسته و دپلیمریزاسیون نشاسته در رطوبت پایین باشد که سبب افزایش اندیس حلالیت در آب می‌شد (Sebio & Chang2000). رطوبت بالا، احتمالا به‌دلیل نقش پلاستی‌سایزری آب، سبب کاهش اثر برشی و در نتیجه کاهش تجزیه نشاسته می‌شود. به‌روز پدیده اخیر افزایش جذب آب و کاهش اندیس حلالیت را در بر خواهد داشت (Singh *et al.*, 2007). در واقع با افزایش مقدار رطوبت ماده اولیه زمان ماند در داخل اکسترودر کاهش یافته و از این رو میزان اثر برشی، تجزیه و دپلیمزیره شدن نشاسته کاهش می‌یابد که سبب کاهش اندیس حلالیت در آب می‌شود. با افزایش سرعت چرخش ماردون از ۱۲۰ تا ۱۸۰ دور بر دقیقه، میزان انحلال در آب محصول افزایش یافت (شکل۲- ب). برای سیب‌زمینی هندی اکسترودی با افزایش سرعت چرخش ماردون و کاهش رطوبت ماده خوراک ورودی، اندیس حلالیت در آب افزایش یافت که گواهی بر دکسترینه شدن نشاسته در شرایط شدید فرایند پخت است (Sebio & Chang 2000). افزایش برش مکانیکی با افزایش سرعت ماردون سبب تجزیه مولکول‌های بزرگ به مولکول‌های کوچک و کاهش وزن مولکولی می‌شود که در نتیجه اندیس حلالیت در آب افزایش می‌یابد.



شکل ۲- نمودار سطح پاسخ برای متغیرهای اکستروژن بر WSI.
(الف) اثر آرد عناب-رطوبت ورودی (ب) اثر رطوبت ورودی-سرعت چرخش ماردون.

سختی

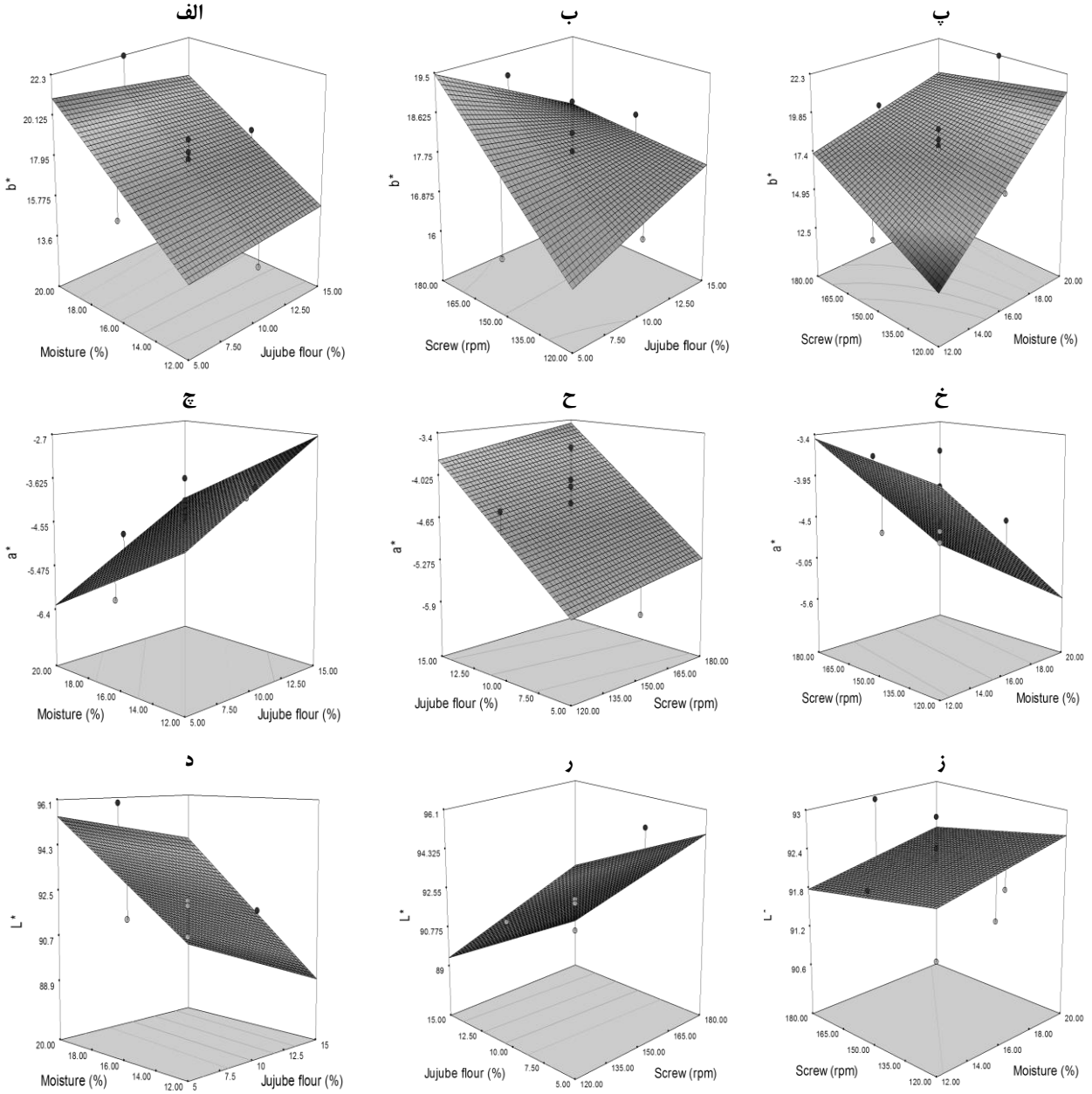
سختی و تردی فراورده‌های حجیم نتیجه ادراک انسان از بافت محصول می‌باشد که مرتبط با انبساط، تخلخل و ساختار سلولی میان وعده‌ها است (Altan & Maskan, 2011). همانطور که در جدول-۲ نتایج آنالیز واریانس نشان داده شده است، مدل چندجمله ای درجه دوم برای سختی از نظر آماری معنی‌دار بود.



شکل ۳- نمودار سطح پاسخ برای متغیرهای اکستروژن بر سختی بافت.
(الف) اثر آرد عناب-رطوبت ورودی (ب) اثر آرد عناب-سرعت چرخش ماردون (ج) اثر رطوبت ورودی-سرعت چرخش ماردون.

تمام پارامترها به‌صورت مستقل، روابط متقابل و توان دوم آن‌ها (به‌جز توان دوم درصد آرد عناب) بر سختی محصولات اکسترود شده، معنی‌دار بودند ($p<۰/۰۵$). بافت یکی از مهم‌ترین خصوصیات حسی محصولات اکسترود شده در توسعه محصولات میان وعده به‌شمار می‌رود. افزودن هر نوع فراورده جانبی به فرمولاسیون محصولات اکسترود شده سبب تغییرات بافتی محصولات می‌گردد (Altan *et al.*, 2008). با توجه به شکل (۳- الف و ج) با افزایش با افزایش درصد رطوبت و درصد جایگزینی آرد عناب در فرمولاسیون میان وعده ذرت-گندم، میزان سختی محصولات به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p<۰/۰۵$). این امر می‌تواند به دلیل تاثیر فیبر بر ضخامت

دیواره سلول توجیه نمود. Onwulata و همکاران (۲۰۰۰) عنوان کردند که مواد غنی از فیبر سبب کاهش اندازه سلول هوایی و تشکیل دیواره ضخیم می‌گردند. محصولات اکسترود شده حاوی فیبر دارای یکنواختی کمتر و پارگی بیشتر سلول‌های هوایی در مقایسه با محصولات حاوی نشاسته ذرت می‌باشند.



شکل ٤- نمودار سطح پاسخ برای متغیرهای اکستروژن بر پارامترهای رنگی.
(الف) اثر آرد عناب-رطوبت ورودی (ب) اثر آرد عناب-سرعت چرخش ماردون (ج) اثر رطوبت ورودی-سرعت چرخش ماردون

فیبرهای درشت مولکول سبب تاخیر در تشکیل و توسعه سلول‌های هوایی شده و قبل از اینکه سلول‌های هوایی به بیشینه انبساط برسند، تخریب می‌شوند (Robin *et al.*, 2011). با افزایش میزان رطوبت ورودی قطر سلول‌های هوایی بدون افزایش ضخامت دیواره سلولی کاهش یافته و به دلیل تراکم سلولی نسبت انبساط شعاعی کاهش و میزان سختی بافت افزایش یافت. نتایج حاصل با نتایج Bisharat و همکاران (۲۰۱۳) روی محصول اکسترود شده حاوی سبزیجات خشک و Lazou و همکاران (۲۰۱۱) روی محصول

اکسترود شده آرد ذرت–عدس، مطابقت دارد.در شکل (۳– ب و ج) با افزایش سرعت چرخش ماردون در درصد رطوبت کم فرمولاسیون ثابت (۱۲ درصد) و در رطوبت های بالاتر، کاهش یافت. نتایج حاصل با نتایج Alam و همکاران (۲۰۱۶) و Awolu و همکاران (۲۰۱۵) که به‌ترتیب به بررسی اثر سرعت چرخش ماردون روی بافت محصول اکسترود شده حاوی هویج و گلم کلم را بر میان وعده سویا و آرد برنج، کاساوا و بادام‌زمینی بر میان وعده ذرت پرداخته بودند، مطابقت داشت. این پدیده مربوط می‌تواند به دلیل اثر سرعت چرخش ماردون در افزایش انرژی مکانیکی مخصوص و میزان برش حاصله و نقش آن در افزایش میزان انبساط و کاهش سختی بافت باشد (Zarzycki *et al*., 2010). افزایش سرعت چرخش ماردون سبب افزایش انرژی مکانیکی مخصوص می‌شود که اثر مثبت روی میزان انبساط دارد، بنابراین سختی بافت کاهش می‌یابد (Wu *et al*., 2007).

رنگ

تغییرات رنگ می‌تواند اطلاعات مهمی درباره واکنش‌های قهوه ای شدن و آمینواسیدها، مایلارد، کاراملیزاسیون، درجه پخت و تخریب پیگمان در طول فرایند اکستروژن پخت در اختیار بگذارد (Lazou, 2010). لیزین و سایر آمینواسیدها که در مواد اولیه وجود دارند ممکن است با قندهای احیا واکنش داده و با وقوع واکنس میلارد سبب تیره‌تر شدن رنگ محصولات اکسترودی شوند (Lazou, 2010). همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، مدل خطی برای مولفه روشنایی (L^*)، قرمزی (a^*) و مدل چندجمله‌ای برای مولفه زردی (b^*) از نظر آماری معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). پارامتر درصد آرد عناب به‌طور مستقل بر روشنایی (L^*)، پارامتر درصد آرد عناب و رطوبت خمیر ورودی به‌طور مستقل بر قرمزی (a^*) و پارامتر درصد آرد عناب و رطوبت خمیر به‌طور مستقل و اثر متقابل درصد رطوبت–سرعت چرخش ماردون بر زردی (b^*) محصولات، معنی‌دار بودند ($p<۰/۰۵$). مطابق شکل‌های (۴– الف و چ و د)، با افزایش درصد آرد عناب، میزان روشنایی و قرمزی فراورده به‌ترتیب کاهش وافزایش یافت. این امر به‌دلیل وجود قند و فیبر در آرد عناب و افزایش واکنش‌های قهوه‌ای شدن قابل توجیه است. به احتمال زیاد تغییر در میزان مولفه روشنایی در ارتباط مستقیم با میزان سختی بافت و ضریب انبساط‌شوندگی محصول تولیدی است (Dehghan-Shoar *et al*., 2010). نمونه‌های دارای بیشترین میزان روشنایی، دارای کمترین میزان فشردگی بافت (سختی کمتر) و بیشترین ضریب انبساط‌شوندگی بودند. می‌توان بیان نمود که بافت‌های سفت و متراکم به دلیل ناهمگون بودن بافت از انعکاس نور و درخشندگی کمتری برخوردار می‌باشند (Omohimi *et al*., 2014). نتایج مشابهی Potter و همکاران (۲۰۱۳) در تولید محصولات اکسترود شده حاوی پودرهای میوه مشاهده نمودند. با افزایش رطوبت شاخص قرمزی کاهش و شاخص زردی افزایش یافت (شکل۴– ب و ح و ر). با افزایش میزان رطوبت مقدار گرمای تولیدی در اثر اصطکاک کاهش یافته، در نتیجه احتمالا واکنش میلارد که عامل تیره شدن رنگ است کمتر رخ داده و از شدت رنگ کاسته شد. همچنین در این شرایط میزان تخریب رنگدانه‌های ذرت کمتر شده و فاکتور زردی افزایش یافته است (Kim andMaga, 1987). نتایج مشابه در مورد فراورده اکسترود شده تفاله آناناس (Salani *et al*., 2014) و انگور (Altan *et al*., 2008) نیز مشاهده شد.

بهینه‌سازی فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن جهت تولید میان وعده فراسودمند

در این پژوهش، هدف از بهینه‌سازی به حداکثر رساندن خصوصیات میان وعده غنی شده با آرد عناب بود. نتایج حاصل از بهینه‌یابی فرمولاسیون میان وعده، جهت دستیابی به شرایط بهینه، شامل میزان جایگزینی آرد عناب ۶/۳۰ درصد، رطوبت خوراک ۱۳/۱۹ درصد و سرعت چرخش ماردون ۱۲۲/۲ دور بر دقیقه تعیین گردید.

نتیجه‌گیری

میان وعده‌ها قسمتی از عادت غذایی بخش کثیری از جمعیت جهان می‌باشد. مصرف بالا و افزایش تنوع میان وعده‌های اکسترود در سال‌های اخیر مبین ضرورت توجه در باب افزایش کیفیت تغذیه‌ای آن‌ها در کنار میزان پذیرش از سوی بازار مصرف می‌باشد. با توجه به برخی آثار سوء تغذیه‌ای بعضی از میان وعده‌های موجود در بازار، حساسیت زیادی در خصوص مصرف آن‌ها وجود دارد. این موضوع خود اهمیت پژوهش در زمینه تولید فرآورده‌های جایگزین و سالم را در این زمینه نشان می‌دهد. بهبود ارزش تغذیه‌ای فرآورده‌های حجیم می‌تواند نقشی موثر در وضعیت تغذیه‌ای و سلامت جامعه ایفا نماید. از جمله فرصت‌های ایجاد شده در راستای توسعه فناوری تولید میان وعده‌های حجیم فراسودمند، گسترش آگاهی و گرایش مصرف‌کنندگان نسبت به استفاده از فراورده‌ای غذایی رژیمی و عملگر، بازار داخلی بسیار وسیع در صنعت تولید غذا و همجواری با بازارهای در حال توسعه منطقه و امکان صادرات فراورده خواهد بود. نتایج پژوهش بیانگر کارایی مناسب عناب به‌عنوان محصول استراتژیک در فرمولاسیون میان وعده حجیم سلامتی‌زا بود.

منابع

احمدیان، پ. ۱۳۹۶. تاثیر افزودن صمغ گوار و پودر عناب بر خصوصیات کیک اسفنجی. کنفرانس بین المللی مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی.

پویان، م.، ۱۳۶۹.، اطلس گیاهان جنوب خراسان، نشر دانش مشهد.

حسینی، آوا، س. ۱۳۸۱. عناب. انتشارات فنی معاون ترویج سازمان تات.

سیروس، ک؛ قیافه داوودی، م؛ صادقی، ف. ۱۳۹۶. بررسی اثر عصاره عناب بر فعالیت آبی و حجم مخصوص نان فراسودمند. دومین کنگره بین المللی و بیست و پنجمین کنگره ملی علوم و صنایع غذائی ایران.

غروی، ح؛ قیافه داوودی، م؛ احمدزاده قویدل، ر؛ ۱۳۹۵. ارزیابی تاثیر عصاره عناب به عنوان افزودنی فراسودمند بر برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی نان همبرگری. گروه علوم و صنایع غذایی– واحد قوچان– دانشگاه آزاد اسلامی– قوچان– ایران.

فایقی، الف؛ زمردی، ش. ۱۳۹۶. ویژگی های کیفیت کیک اسفنجی حاوی سطوح مختلفی از پوره عناب و مخلوط ایزومالت از جایگزین های ساکارز. اولین همایش ملی تکنولوژی های نوین در علوم و صنایع غذایی و گردشگری ایران .

فیوضی، ب، وریدی، م.ج. میلانی، الف. شهیدی، ف. حداد خداپرست، م. ح. ۱۳۹۷. بهینه سازی متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن محصول اسنک حجیم حاوی آرد کنجاله بنه. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی. ۷(۱): ۴۸-۲۹.

لطفی شیرازی، س، کوچکی ، الف، محبی ، م، میلانی، الف. ۱۳۹۷. ارزیابی اثر متغیرهای ترکیب خوراک و دمای اکستروژن بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی، حسی اسنک بر پایه آرد جو و تفاله هویج. نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران. ۱۴(۵): ۹۰۶-۸۹۱

میلانی، ا.، هاشمی، ن.، مرتضوی، ع.، طباطبایی یزدی، ف.، ۱۳۹۶. بررسی اثر شرایط اکستروژن و فرمولاسیون بر برخی ویژگی های فیزیکو شیمیایی میان وعده حجیم بر پایه کنجاله بادام (Amygdalus communis L) و بلغور ذرت.

Altan, A., McCarthy, K. L., Maskan, M. 2009. Effect of screw configuration and raw material on some properties of barley extrudates. J Food Eng. 92: 377–382.

AACC C. Approved methods of the American association of cereal chemists 2000; 54-21.

Anderson, R., Conway, H., Peplinski A. 1970. Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. *Starch*, 22(4): 130 135.

Alam, M.S., Pathania, S., Sharma, A. 2016.Optimization of the extrusion process for development of high fibre soybean-rice ready-to-eat snacks using carrot pomace and cauliflower trimmings. *LWT - Food Science and Technology*, 74:135-144.

Bisharat, G.I., Oikonomopoulou, V.P., Panagiotou, N.M., Krokida, M.K., Maroulis, Z.B. 2013.Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food Research International*, 53: 1–14.

Caltinoglu, C., Tonyalı, B., Sensoy, I. 2013. Original article Effects of tomato pulp addition on the extrudate quality parameters and effects of extrusion on the functional parameters of the extrudates. *International Journal of Food Science and Technology*, 49: 587–594.

Cheng Q. 2000. Flavonoids from *Ziziphus jujube* Mill var. *Spinosa*. Tetrahedron, 56:8915-8920.

Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., Uttapap, D. 2016. Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *Journal Food Science and Technology*, 53: 561–570.

Kim, C. H. Maga. J. A. 1987. Properties of extruded whey protein concentrate and cereal flour blends. *LWT Food Science and Technology*,20: 311–318.

Lue, S., Hsieh, F., Huff, H. E. 1994. Modeling of Twin-Screw Extrusion Cooking of Corn Meal and Sugar Beet Fiber Mixtures. *Ournal of Food Engineering*, 21: 263–289.

Lazou, A., Krokida, M., Tzia, C. 2010. Sensory properties and acceptability of corn and lentil extruded puffs. *Journal of Sensory Studies*, 25: 838–860.

Lazou A KM. 2010. Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food research international*.43 (2):609-16.

Maskan, M. and Altan, A. 2011.Advances in Food Extrusion Technology. CRC Press. New York.

Omohimi, C.I., Sobukola, O.P., Sarafadeen, K.O., Sanni, L.O. 2014. Effect of thermo-extrusion process parameters on selected quality attributes of meat analogue from mucuna bean seed flour. *Nigerian Food Journal*, 32(1):21-30.

Onwulata, C.I., Konstance, R.P., Strange, E.D., Smith, P.W., Holsinger, V.H. 2000. High-fiber snacks extruded from triticale and wheat formulations. *Cereal Foods World*, 45(10):470-473.

Potter, R., Stojceska, V., Plunkett, A. 2013.The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets. *LWT - Food Science and Technology* 51: 537-544.

Robin, F. E.J., Pineau, N., Chanvrier, H., Bovet, N., Della Valle, G. 2010. Extrusion, structure and mechanical properties of complex starchy foams. *Journal of food engineering*. 98 (1): 19-27.

Singh, B., Sekhon, K. S., Narpinder, S. 2007. Effects of moisture , temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice. *Food Chemistry*, 100: 198–202

Selani, M., Guidolin, S., Brazaca, C., Tadeu, C., Ratnayake, W. S., Flores, R. A., Bianchini, A. 2014. Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chemistry*, 163: 23–30.

Sebio, L., Chang, Y. K. 2000. Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of the extrudates, 44:96–101.

Thymi, S., Krokida, M. K., Pappa, A., Maroulis, Z. B. 2005. Structural properties of extruded corn starch. *Journal of Food Engineerin*g, 68: 519–526.

Wu, W., Huff, H.E., Hsieh, F. 2007. Processing and properties of extruded flaxseed corn puff. *Journal of Food Processing and Preservation*, 31(2):211-226.

Yagci, S. Gogus, F. 2009. Selected physical of expanded extrudates from the blend of hazelnut flour-durum clear flour-rice. *Int J Food Prop*. 12: 405–413.

Zarzycki, P., Rzedzicki, Z., Blaszczak, W. 2010. Application of oat whole-meal and protein components as modifiers of extrudates microstructure. *International Agrophysics*, 24(4):397-406.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 1- 11

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۱-۱

Effect of formulation and extrusion technique on technological properties of snack containing jujube flour

E. Milani[1], F. Shahidi[2*], E. Ansarifar[3], M. Khalilian-Movahed[4], F. Salehipoor[5]

Received: 2019.04.21
Accepted: 2019.10.06

Introduction: Extruded snacks were among the most commercially successful extruded foods. Extrusion cooking is the process extensively used for the production of snacks which are mainly produced from cereal flour or starches. Extruded snacks are normally high in calories and fat with low content of protein, fiber, and perceived as unhealthy food to many consumers. Several attempts to improve the nutritional profile of extruded starch by using food by-products have been reported (Onwulata *et al.,* 2001; Stojceska *et al.,* 2008). Zizyphus jujube (*Rhamnaceae*) is widely distributed in Iran and the fruit of this plant has gained wide attention in native herbal medicine for the treatment of a broad range of disorders. Chemical analysis of the fruit has shown the presence of antioxidants. The high consumption of low-value meals and malnutrition among the population, especially children and adolescents, is one of the problems that exists today in society, Therefore, in this research, production of high-nutritional snack with jujube flour was studied.

Materials and methods: Extrusion: In this study, a parallel twin-screw extruder (SAIXIN, model DS56, China) was applied, screw diameter of 15 mm, die diameter of 3 mm, and extrusion temperature of 180°C. Central composite statistical design was used to study the effect of feed moisture (12, 16, 18%), jujube flour addition (5, 10, 15%) and screw speed (120, 150, 180 rpm) on physicochemical properties, texture and color of expanded extrudates based on corn-wheat flour (50-50%). Bulk density was calculated using AACC (2000). The WSI of the dry solids regained through the evaporation of the supernatant obtained from the water absorption test was calculated. Textural measurement: The hardness of the extruded snacks was measured using Texture Analyzer (TAXT plus, England). The cylinder steel probe (2 mm diameter) was set to move at a speed of 1 mm/s. The samples were punctured by the probe to a distance of 8 mm. the color of samples was measured using an image processing technique (Lotfi Shirazi *et al.,* 2020). The color parameters L* (lightness), a*(redness), b*(yellowness) values of the samples were obtained. Response surface methodology was applied for experimental data using a commercial statistical package, Design Expert (version 8.0) for the generation of response surface plot and statistical analysis of the experimental data. The second-order polynomial model was selected to predict the optimal point of the responses.

Results & Discussion: Results showed that the addition of jujube flour independently increased the density 0.33, hardness 35.73 N, solubility 42% and redness (a*) 3.41, and reduced the color brightness parameter (L*) 89.1 of the samples. Similar fiber effects for pineapple pulp (Salani *et al.,* 2014), a mixture of barley flour and grape pulp (Altan *et al.,* 2009) and beet fiber (Lue *et al.,* 1994) has been observed. The reduction of bulk density in samples with increasing screw speed is probably due to the starch gelatinization. When gelatinization of the starch material increased, the volume of extruded product also increased giving low density to the samples (Hagenimana *et al.,* 2006). The WSI is a parameter which indicates the degradation of starch granules (Sharma *et al.,* 2015). WSI decreased with increasing feed moisture and increased with increasing jujube flour or screw speed. Increase in solubility of extruded products under mild extrusion condition could result from dispersion of amylose and amylopectin molecules during gelatinization; while, the formation of low molecular weight compounds under severe conditions (low moisture and high temperature) is the main reason for an increase in flour solubility (Colonna et al., 1984). Color changing during extrusion process can provide important information regarding the degree of browning and Maillard reaction, and also pigment degradation. Increasing the feed moisture increased flour L* while it decreased the a* and ΔE of the final product. This is probably due to the decrease in mass residence time inside the extruder which causes shorter residence time necessary for non-enzymatic darkening (Lazou and Krokida, 2011). Texture is one of the most important sensory properties of extruded

1. Associate Professor, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR) of Mashhad, Iran.
2. Professor, Department of Food Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
3. Assistant Professor, Social Determinants of Health Research Center, Department of Public Health, School of Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran.
4. PhD student of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
5. M.Sc Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
(*Corresponding Author Email: fshahidi@um.ac.ir)

products in the development of snack products. Increasing the feed moisture and jujube flour increased hardness of samples. This can be explained by the effect of fiber on cell wall thickness. However, the simultaneous effect of two parameters of screw speed and jujube flour improved the properties of the snacks, by which the increase of the screw speed may cause a decrease of the starch viscosity and then lead to extrudates with reduced hardness 1.79 N. Optimum conditions for puffed snack production was found to be 13.19% feed moisture content, 6.30 % jujube flour, 122.2% screw speed.

Keywords: Puffed snack, jujube, Extrusion, Dietetic.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 13- 27

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۲۷-۱۳

مقاله علمی- پژوهشی

مطالعه خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد سه واریته کینوا (*Quinoa*) و بررسی اثر pH بر ویژگی‌های عملکردی آن

مسعود تقی‌زاده[1*]- حسام آخوندزاده[2]- زهرا زمانی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵

چکیده

حبوبات و غلات به علت پراکندگی کشت و گستردگی مصرف، بخش مهمی از غذای انسان را تشکیل می‌دهند، اما در این بین فقط چند خانواده خاص با اختلاف در سراسر جهان مصرف می‌شوند. یکی از این دانه‌ها گندم است که با ویژگی‌های منحصر به فرد خود در سازگاری کشت و خواص عملکردی، سهم به‌سزایی از سفره جوامع بشری به‌خود اختصاص داده است.از سال ۲۰۱۱ میلادی کینوا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شبه غلات در دنیا مطرح شد به‌طوریکه سال ۲۰۱۳ را به‌عنوان سال بین‌المللی کینوا نام‌گذاری نمودند، این دانه که حائز ویژگی‌های منحصر به فردی در کشت و عمل‌آوری است در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفته است. از مهم‌ترین ویژگی‌های مطلوب این دانه خواص شیمیایی و عملکردی آن در مقایسه با دانه‌های مشابه است. در این پژوهش ضمن اندازه‌گیری خواص شیمیایی سه واریته پر کاربرد کینوا (سفید، قرمز و سیاه)، نتایج حاصل، با خواص دانه‌های مشابهی همچون عدس، نخود، جو، گندم، برنج، گاودانه، لوبیا سودانی و شنبلیله نیز مقایسه شده‌اند که مشخصاً میزان چربی در واریته قرمز، میزان کربوهیدرات و خاکستر در واریته سفید و میزان رطوبت و چربی در واریته سیاه بیش از دو واریته دیگر بود. در مقایسه با سایر دانه‌ها نیز چربی در کینوا مشابه گندم و بیش از برنج و جو بود. در زمینه خواص عملکردی نیز باید اشاره نمود که کمینه میزان حلالیت پروتئین در pH= ۴/۵ (که نقطه ایزو الکتریک پروتئین‌هاست) و بیشینه این مقدار، در pH= ۹ مشاهده گردید. همچنین محاسبات نشان داد جذب آب و روغن در آرد این دانه بسیار بالا است. بیشینه مقدار مشاهده شده در اندازه گیری کف کنندگی و پایداری آن، در pH=۶ و واریته سفید بود و حداکثر پایداری نیز در زمان ۳۰ دقیقه ثبت شد. در انتها نیز نتایج حاصل از بررسی خاصیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون نشان داد، بیشینه این ویژگی در ۹ =pHدر واریته سفید و بهینه‌ترین زمان پایداری نیز، ۳۰ دقیقه در همین واریته است.

واژه‌های کلیدی: آرد کینوا، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، pH، خصوصیات عملکردی

مقدمه

سوء تغذیه ناشی از کمبود پروتئین و انرژی از مهم‌ترین مشکلات موجود در کشورهای در حال توسعه می‌باشد. به علت کمبود منابع پروتئین حیوانی، تلاشی بی‌وقفه جهت یافتن منابع جدید پروتئینی و برخورداری از هر دو ویژگی خواص عملکردی و ارزش تغذیه‌ای آن‌ها صورت می‌گیرد (kanu *et al*,2007). امروزه پروتئین‌های گیاهی نقش مهمی در تغذیه جوامع بر عهده دارند، استفاده راهبردی از منابع ارزان قیمت گیاهی سرشار از پروتئین می‌تواند باعث بهبود وضعیت تغذیه‌ای شود (Mashayekh *et al*,. 2008). در سال‌های اخیر، کینوا به علت درصد پروتئین و ارزش غذایی بالای آن مورد توجه قرار گرفته است .دانه کینوا متعلق به خانواده *Chenopodiaceae*؛ جنس *Chenopodium* و گونه*Quinoa* است (Dallagnol *et al*., 2013). محل اصلی کشت آن کشورهای آمریکای جنوبی ازجمله کلمبیا، اکوادور، پرو، بلیوی، آرژانتین و شیلی می‌باشد و به‌عنوان شبه غله شناخته می‌شود (Berghofer &Schoenlechner, 2010). ارزش غذایی بسیار بالای دانه کینوا باعث شده که سازمان خواربار جهانی (FAO) آن را با شیر خشک مقایسه نموده و مولتی ویتامین یا خاویار گیاهی بنامد (FAO, quinoa, 2011). همچنین مطابق یافته‌های علمی مشخص شده است، دانه کینوا دارای ارزش پروتئینی بالایی هست (Ferreira *et al*,. 2015)و می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین عالی برای برنج به‌حساب آید (Oelk *et al*,. 1992). پروتئین موجود در کینوا از معدود پروتئین‌های غیرحیوانی است که از نظر کمی و کیفی بهتر از دانه دیگر غلات است و میزان پروتئین آن دو برابر گندم هست (Lilian, 2009). دانه کینوا مقدار لیزین بیشتری از گندم دارد

۱ و ۲- به‌ترتیب استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
(* - نویسنده مسئول: Email: mtaghizadeh@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.82383

و از نظر میزان اسیدهای آمینه تعادل بهتری برای تغذیه انسان و دام دارد (Sepahvand *et al*,. 2010). عدم وجود گلوتن در آرد این دانه آن را برای مصرف بیماران سلیاکی و کسانی که به گلوتن حساسیت دارند نیز امکان‌پذیر نموده است. علت این امر سرعت بالاتر هیدرولیزپروتئین‌های کینوا توسط اسیدلاکتیک باکتری‌ها نسبت به هیدرولیز پروتئین گندم است (Dallagnol *et al*,. 2013). همچنین باید توجه داشت آرد کینوا به‌خوبی به‌عنوان نشاسته کشدار در ترکیب با آرد گندم، ذرت، برای تهیه بیسکویت و یا فرآوری غذا استفاده می‌شود (سپهوند و همکاران، ۱۳۸۹). محتوای ترکیبات معدنی ازجمله آهن، منیزیم، فیبر، پتاسیم و روی، ویتامین‌هایی نظیر گروه B و E و اسیدآمینه ضروری لیزین موجب توجه به استفاده از این دانه شده است (Lilian,2009). با توجه به محتوای ترکیبات دانه کینوا، مانند فیبرهای مغذی، اسیدهای آمینه ضروری، میزان بالای اسید لینولئیک و دیگر ریز مغذی‌ها، آردهای حاصل از دانه کینوا می‌تواند از نظر ویژگی‌های عملکردی و قابلیت استفاده در صنعت غذا مورد ارزیابی قرار گیرد. ویژگی عملکردی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی هستندکه بر رفتار محصولات غذایی طی فرآوری، تولید، نگهداری وآماده‌سازی تأثیر می‌گذارند. از مهم‌ترین ویژگی‌های عملکردی می‌توان به ظرفیت جذب ونگهداری آب و روغن، حلالیت، ژله‌ای شدن، ویژگی‌های بین سطحی،تشکیل فیلم وکف‌کنندگی اشاره کرد (عامری شهرابی وهمکاران،۱۳۹۰; Kaur and Singh, 2007). عوامل مختلفی نظیر نوع منبع پروتئینی، فرآیند تولید آرد و یا ایزوله پروتئینی، همچنین نوع ترکیبات مرتبط با شبکه پروتئینی مثل لیپید، کربوهیدرات و هرگونه عامل فیزیکوشیمیایی همچون دما، غلظت نمک و pH سبب تغییر در خواص عملکردی پروتئین می‌شود (Alukoand Yada, 1995). از آنجا که ایران کشوری با تنوع آب و هوایی فراوان و جمعیت رو به افزایش است. تامین نیاز غذایی مردم با استفاده از پتانسیل های تولید کشاورزی از الزامات کشور است (سپهوند و همکاران، ۱۳۸۹). هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های شیمیایی و عملکردی آرد سه واریته سفید، قرمز و سیاه دانه کینوا و بررسی تأثیر pH بر ویژگی‌های عملکردی آن‌ها می‌باشدتا از این‌گذر بتوان ضمن مقایسه این دانه با سایر شبه غلات رایج، منبع جدیدی را به محققان معرفی نمود و ضمنا تصمیم‌گیری در خصوص جایگزینی و بهینه‌سازی مصرف این دانه تسهیل نمود که یقینا گامی مهم در افزایش امنیت غذایی خواهد بود. باید توجه داشت که آرد کینوا می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین بالفعل جهت تهیه نان، همواره مدنظر قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

سه واریته دانه کینوا (سفید، قرمز و سیاه) وارداتی از کشور پرو که در سال ۲۰۱۷ میلادی بسته‌بندی شده بودند، به میزان لازم مطابق مشخصات جدول ۱ تهیه شده و پس از تمیزکردن، مواد زائد و خارجی آن حذف شد و لازم به ذکر است که دانه‌ها از قبل پوست‌گیری شده بودند. سپس توسط آسیاب نیمه صنعتی موجود در پایلوت تحقیقاتی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد به آرد با درصد استخراج ۹۶، تبدیل و از الک با مش ۷۵ عبور داده شد. آرد الک شده، تا مرحله بررسی خواص عملکردی در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری گردید.

جدول ۱- مشخصات واریته دانه کینوا

واریته	نام علمی	نام شناسایی
سیاه	BLACK COLLANA	INIA 420
سفید	SALCEDO INIA	
قرمز	PASANKALLA	INIA 415

تعیین ترکیبات شیمیایی، شاخص رنگی و خواص عملکردی آرد

به‌منظور تعیین ترکیبات شیمیایی (درصد رطوبت، چربی، پروتئین و خاکستر) مطابق استاندارد انجمن شیمی ایالات متحده اندازه‌گیری انجام شد (AACC, 2003). محاسبه میزان کربوهیدرات نیز از طریق کسر درصد کلیه ترکیبات از ۱۰۰ انجام شد، کلیه آزمون‌ها با دو تکرار انجام گرفتند.

بررسی مؤلفه‌های رنگ

در این تحقیق از سیستم ماشین بینایی به‌طور شبیه‌سازی شده استفاده شد. به این صورت که از یک جعبه مستطیلی ابعاد۵۰ ×۵۰ ×۷۵ سانتی‌مترمکعب به‌عنوان سکوی تصویربرداری استفاده شد.برای تصویر برداری ازدوربین دیجیتال ۱۲مگاپیکسل (canon، 1000D) استفاده شد. سیستم نورپردازی از چهار لامپ فلورسنت (۱۰ واتی به طول ۴۰ سانتی‌متر) تشکیل شده بود نور با زاویه ۴۵ درجه به نمونه تابیده شد. تصویربرداری با دوربین دیجیتالی در فاصله ۲۱/۵ سانتی‌متری نمونه انجام شد. که این روش با اندکی تغییرات مطابق استاندارد بود. برای کالیبره کردن سیستم از یک کاشی سفید رنگ که مقادیر پارامترهای رنگی L* a* b* آن توسط تولیدکننده مشخص شده بود، استفاده شد. مؤلفه*L بیانگر درجه روشنی نمونه هست که می‌تواند مقادیر صفر تا ۱۰۰ را به‌خود اختصاص دهد. مؤلفه*a گستره رنگ سبز (مقادیر منفی) تا رنگ قرمز (مقادیر مثبت) و مؤلفه*b نیز گستره رنگ آبی (مقادیر منفی) تا رنگ زرد (مقادیر مثبت) را در بر می‌گیرد، و به‌منظور بررسی مؤلفه‌های رنگ، نمونه‌ها در یک پلیت شیشه‌ای با قطر ۵۸ میلی‌متر و عمق ۱۵ میلی‌متر قرار گرفتند.

حلالیت پروتئین

میزان حلالیت پروتئین آرد حاصله در مقادیر pH بین ۳ تا ۹ با استفاده از روش بیورت تعیین شد (Owusu-Apenten, 2002). ابتدا محلول ۱/۵ درصد در آب مقطر تهیه شد و به‌منظور بررسی اثر تغییرات pH، تنظیمpH به کمک اسیدکلریدریک و یا هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار صورت گرفت. محلول به مدت ۳۰ دقیقه به کمک همزن مغناطیسی، در دمای اتاق همزده شد. نمونه‌ها در ۵۰۰۰×g به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردید تا فاز معلق جدا شود. میزان پروتئین موجود در فاز معلق، با استفاده از روش بیورت از طریق مخلوط کردن ۱میلی‌لیتر از نمونه با ۴ میلی‌لیتر معرف بیورت و سپس ۲۰ دقیقه قرار دادن در دمای اتاق و به کمک اسپکتروفتومتر (مدلیووی، ۲۱۵۰، یونیکو)تعیین گردید. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۴۰ نانومتر اندازه-گیری شد. منحنی کالیبراسیون با استفاده از محلول سرم آلبومین گاوی، در غلظت‌های صفر تا ۱۰ (میلی‌گرم/ میلی‌لیتر) در معرف بیورت با نسبت ۱ به ۴ رسم گردید.

ظرفیت جذب آب و روغن

برای اندازه‌گیری ظرفیت جذب آب و روغن آرد از روش Kaur and Singh (۲۰۰۷) با اندکی تغییرات استفاده شد؛ یک گرم آرد داخل یک فالکون توزین شد و ۱۰ میلی‌لیتر روغن آفتابگردان یا آب مقطر به آرد اضافه گردید و به مدت ۲ دقیقه با استفاده از ورتکس (بهسان، ایران) مخلوط شد. نمونه‌ها پس از ۳۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق، به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰×g سانتریفوژ شدند. بخش مایع فوقانی دور ریخته شد و نمونه‌ها مجدداً توزین شدند. ظرفیت پیوند با آب و چربی به‌صورت گرم آب و یا روغن جذب شده به ازای یک گرم آرد و بر حسب درصد گزارش گردید.

ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف

ظرفیت کف‌کنندگی با تهیه محلول ۲ درصد آرد در آب مقطر و بر اساس روش Adebowale و همکاران (۲۰۰۵) تعیین شد. به‌منظور بررسی اثر تغییرات pH بر ظرفیت کف‌کنندگی آرد، pH محلول با استفاده از اسیدکلریدریک ۰/۵ نرمال و یا هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار، در مقادیر۴/۵، ۶ و ۹ تنظیم شد. محلول حاصل در pH مورد نظر به مدت ۵ دقیقه توسط همزن مغناطیسی با دور ۳۶۰rpm همزده شد و سپس به فالکون یا استوانه مدرج منتقل گردید تا حجم محلول قبل از همزدن اندازه‌گیری شود (V_0). محلول به مدت ۲ دقیقه با دستگاه اولتراتوراکس (مدلتی ۲۵ دیجیتال، آیکیا، آلمان) با دور ۱۰۰۰۰rpmهمزده شد و بلافاصله حجم کف ثبت شد (V_1). میزان ظرفیت کف‌کنندگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\text{درصد ظرفیت کف‌کنندگی} = (V_1/V_0) \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

پایداری کف، به‌صورت میزان کاهش ارتفاع کف پس از ۳۰، ۶۰ و۹۰ دقیقه مخلوط کردن بررسی می‌شود. برای این منظور حجم کف باقیمانده در زمان مورد نظر (V_2) ثبت می‌گردد و پایداری کف با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{درصد پایداری کف} = (V_2 / V_1) \times ۱۰۰ \quad (۲)$$

ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون

ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون به روش مجذوبی و همکاران (۲۰۱۲) با اندکی تغییرات اندازه‌گیری شد؛ برای این منظور محلول ۲ درصد آرد در آب مقطر تهیه گردید و سپس به‌منظور بررسی اثر تغییرات pH بر ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد، pH در مقادیر ۴/۵، ۶ و۹ با استفاده از اسیدکلریدریک و یا سود ۰/۵ مولار تنظیم شد. پس از آن ۵ میلی‌لیتر روغن آفتابگردان به محلول اضافه گردید و محلول حاصل در pH مورد نظر به مدت ۳ دقیقه با استفاده از دستگاه اولتراتوراکس (مدلتی ۲۵ دیجیتال، آلمان) درrpm ۱۰۰۰۰ هموژن و ارتفاع کل محتویات امولسیون شده ثبت شد (H_0). امولسیون حاصل در ۱۱۰۰×g به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ شد و دوباره ارتفاع لایه امولسیون باقیمانده ثبت شد. (H_1) ظرفیت امولسیون‌کنندگی (EC) با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$\text{درصد ظرفیت امولسیون‌کنندگی} = (H_1/H_0) \times ۱۰۰ \quad (۳)$$

همچنین برای محاسبه پایداری امولسیون، نمونه‌ها پس از هموژنیزاسیون با اولتراتوراکس و قبل از سانتریفوژدر زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه در بن ماری با دمای۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بدین ترتیب پایداری امولسیون در هر pH اندازه‌گیری شد.

$$\text{درصد پایداری امولسیون} = (\text{ارتفاع لایه امولسیون بعد از حرارت}/\text{ارتفاع لایه امولسیون قبل از حرارت}) \times ۱۰۰ \quad (۴)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تمام آزمون‌ها در دو تکرار انجام گرفتند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به‌منظور بررسی اثر تغییرات pH بر خواص عملکردی آرد با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵درصد صورت گرفت، نتایج به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) تجزیه وتحلیل شدند و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل (Excel, 2010) استفاده شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی آرد سه واریته کینوا در جدول ۲ وآردهای سایر حبوبات وغلات در جدول ۳ نشان داده شده است:

جدول۲- ترکیب شیمیایی آرد سه واریته کینوا

واریته	پروتئین	رطوبت	چربی	خاکستر	کربوهیدرات
سیاه	۱۶/۸۱±۰/۰۵۴	۸/۸۲±۰/۰۰۵	۵/۴±۰/۴۵	۲/۱±۰/۹۹۸	۶۶/۰±۰/۴۶
سفید	۱۳/۱۱±۰/۱۸۲	۸/۳۶±۰/۰۵۴	۳/۹±۰/۲۹	۳/۱۶±۰/۹۹۷	۷۱/۰±۰/۵۴
قرمز	۱۳/۹۵±۰/۰۲۸	۸/۷۸±۰/۰۲	۵/۷±۰/۱	۲/۶±۰/۹۹۶	۶۸/۰±۰/۲۸

*میانگین ۲ تکرار±انحراف معیار

جدول ۳- درصد ترکیبات شیمیایی آرد حبوبات و غلات مختلف

نوع آرد	پروتئین	رطوبت	چربی	خاکستر	کربوهیدرات	منبع
دانه نخودسبز (فرنگی)	۲۵/۰±۶/۸۴	_	۱/۰±۸۶/۰۹	۳/۰±۱۰/۱۸	_	Kaur and Singh, 2007
لوبیای سودانی	۲۴/۶۷	_	۰/۰±۸۷/۰۸	۳/۰±۳۱/۱۹	_	Kaur and Singh, 2007
آرد عدس	۳۸/۹۸	۸/۳۰	۲/۴۳	۲/۹۵	_	اسدپور و همکاران، ۱۳۹۰
آرد نخود	۴۳/۴۳	۵/۱۱	۵/۱۷	۳/۱۰	_	اسدپور و همکاران، ۱۳۹۰
آرد لوبیا قرمز	۳۲/۷۰	۸/۱۰	۱/۶۰	۴/۰۸	_	اسدپور و همکاران، ۱۳۹۰
آرد بدون پوسته گاودانه	۲۶/۰±۹۸/۱۶	۱۰/۰±۵۳/۱۲	۱۰/۰±۱۲/۲۴	۳/۰±۳۳/۱۶	۶۱/۰±۴۸/۴۶	تقی زاده و همکاران،۱۳۹۶
آرد شنبلیله	۳۴/۷±۰/۱۴	۷/۳۳±۰/۰۹	۵/۷۶±۰/۰۸	۵/۱۷±۰/۹	۵۹/۵۳±۰/۰۶	فیضی و همکاران،۱۳۹۲
آردگندم	۱۴/۳	۲/۸	۲/۳	۲/۲	۷۸/۴	Jancurová *et al*,2009
آرد برنج	۷/۶	۶/۴	۲/۲	۳/۴	۸۰/۴	Jancurová *et al*,2009
آرد جو	۱۰/۸	۴/۴	۱/۹	۲/۲	۸۰/۷	Jancurová *et al*,2009

*میانگین ۲ تکرار±انحراف معیار

مقدار درصد پروتئین در آرد واریته سیاه کینوا بیشتر از آردهای واریته قرمز و سفید بود. و مقدار پروتئین در آردهای سفید و قرمز تقریباً با هم برابر است. همان‌طور که در جدول ۳ و ۲ مشاهده می‌شود مقدار پروتئین آرد کینوا در مقایسه با سایر حبوبات به‌جز لوبیای سودانی کمتر ولی در مقایسه با آرد غلات از آرد برنج و جو بیشتر و تقریباً مشابه آرد گندم هست. مقدار درصد چربی در آرد قرمز کینوا نسبت به ۲ واریته دیگر بیشتر بود، همچنین مقدار درصد چربی در آرد سه واریته کینوا بیشتر از مقادیر گزارش شده برای این دانه‌ها در نتایج اسدپور و همکاران(۱۳۹۰) و مقدار گزارش شده درصد چربی آردهای گندم، برنج و جو (Jancurová *et al*, 2009) بوده است. درصد چربی دو واریته قرمز و سیاه آرد کینوا مشابه آرد شنبلیله (فیضی و همکاران،۱۳۹۲) هست. البته نقش کیفیت پروتئین در ویژگی‌های عملکردی بالاتر از کمیت آن است و میزان بالای پروتئین دلیل بر بهتر بودن ویژگی‌های عملکردی آن نیست بلکه به سایر ترکیبات موجود در نمونه نظیر چربی و کربوهیدرات نیز وابسته است. علاوه بر این، کیفیت و آرایش فضایی پروتئین و میزان اسیدهای آمینه آب‌دوست و آب‌گریز از شاخص‌های اصلی در تعیین ویژگی‌های عملکردی می‌باشند (اسدپور و همکاران، ۱۳۹۰؛ Boye *et al*, 2010).

بررسی پارامترهای رنگ

یکی از پارامترهای مهم در مورد آرد و فرآورده‌های پروتئینی نظیر کنسانتره و ایزوله پروتئینی، رنگ آن‌هاهست. پارامتر L* نشان‌دهنده درجه روشنی هست و مقادیر صفر تا ۱۰۰ را می‌تواند به‌خود اختصاص دهد، هر قدر میزان L* بیشتر باشد نشان‌دهنده روشن‌تر بودن رنگ است (Kaur and Singh Sandha, 2010).

با توجه به مقادیر گزارش شده در جدول ۴ مؤلفه*L در آرد کینوا واریته سفید بیش از بقیه است که نشان‌دهنده روشن‌تر بودن این آرد در مقایسه با دو واریته دیگر است. پارامترهای*a و*b به‌ترتیب درآرد واریته سفید و آرد واریته سیاه بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص داده‌اند.

جدول ٤- پارامترهای رنگ آرد گاو دانه

پارامتررنگ / نمونه	L*	a*	b*
آرد کینوا واریته سفید	۹۳/۷۵۸	−۶/۷۵۰	−۲/۷۱۴
آرد کینوا واریته قرمز	۸۴/۴۷۸	−۴/۲۲۶	−۱/۷۱۳
آرد کینوا واریته سیاه	۸۸/۱۷۵	−۵/۵۰۴	−۵/۶۸۴

جدول ۵- پارامترهای رنگ آردهای مختلف

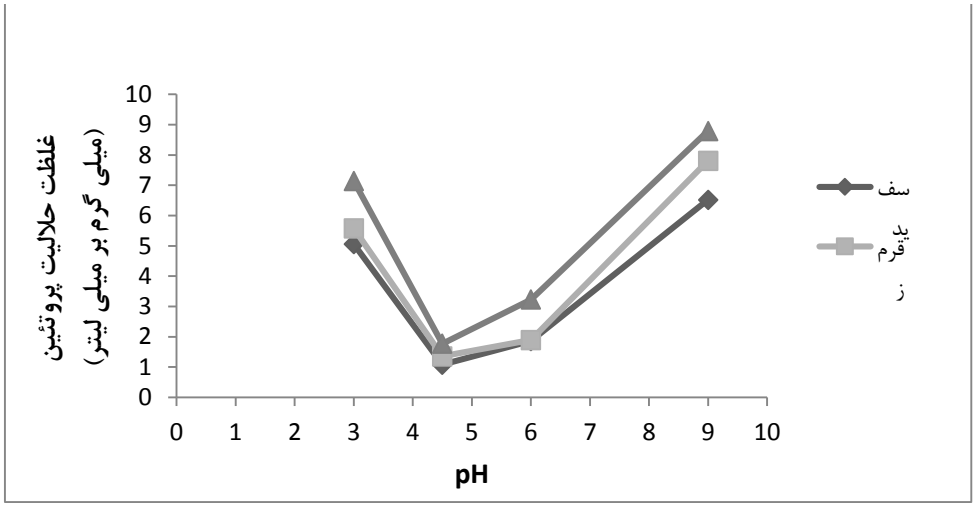
پارامتررنگ / نمونه	L*	a*	b*	منبع
آرد عدس	۹۱/۴	−۱/۱۵	۸/۴	شکراللهی و همکاران، ۱۳۹۲
آرد شنبلیله	۷۸/۹۱	−۱/۰۷	۲۹/۸۳	فیضی وهمکاران، ۱۳۹۲
آرد سویا	۸۷/۲۶	−۰/۳۳	۲۲/۸۱	فیضی وهمکاران، ۱۳۹۲
آرد نخود	۸۶/۳۸	۲/۹۶	۱۹/۸۷	Joshi et al, 2015
آرد گاو دانه بدون پوسته	۸۸/۲	۲/۱۲	۲۲/۲	تقی زاده و همکاران،۱۳۹۶

در جدول ۵ مؤلفه‌های رنگی آرد برخی دانه‌ها گزارش شده است که با مقایسه نتایج حاصل ازاین پژوهش با مقادیرگزارش شده می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که آردکینوا واریته سفید، از نظر روشنایی تقریباً مشابه آرد عدس بوده و آرد کینوا سیاه تقریباً مشابه آرد سویا است، همچنین آرد کینوا قرمز تقریباً مشابه آرد نخود مشاهده شد، همه واریته‌های آرد کینوا از آرد شنبلیله روشن‌تر بودند. از نظر پارامتر *a آرد حاصل از سه واریته کینوا دارای رنگ سبز و مشابه آردهای عدس، شنبلیله و سویا بود. از نظر پارامتر *b نیز دارای رنگ آبی بودند. دلیل این تفاوت‌ها را در بین آردهای مختلف می‌توان به میزان و نوع ترکیبات تشکیل‌دهنده و همینطور نوع رنگدانه‌های موجود دراین آردها نسبت داد. آردهایی که تا حدی باعث ایجاد رنگ قهوه‌ای شوند جهت تولید نان‌ها و پنکک‌ها مطلوب می‌باشند و آردهایی که به بی‌رنگ شدن محصول کمک کنند در برخی از انواع نان‌ها قابل استفاده هستند (فیضی و همکاران،۱۳۹۲). بر این اساس می‌توان از آرد کینوا در برخی نان‌ها که رنگ روشن‌تر درآن‌ها مطلوب است، استفاده نمود.

حلالیت پروتئین

حلالیت پروتئین به‌عنوان اولین شاخص اندازه‌گیری ویژگی‌های عملکردی پروتئین‌ها مطرح می‌باشد (اسدپور و همکاران، ۱۳۸۹) و به خواص پروتئین و حلال،pH، غلظت و بار الکتریکی یون‌های دیگر و دما بستگی دارد (Vadivel and Janardhanan, 2001). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود حلالیت پروتئین آرد سه واریته کینوا مورد بررسی در این پژوهش، کاملاً وابسته به تغییرات pH بوده است. در این بررسی شاهد روند U شکل پروفایل حلالیت در محدوده pH، ۹-۳ و گستره وسیعی از حلالیت در این دامنه بودیم. بیشترین میزان حلالیت پروتئین (۸/۷۹ mg/ml) در pH=۹ آرد واریته سیاه کینوا و کمترین میزان حلالیت (۱/۰۸mg/ml) در pH=۴/۵ آرد واریته سفید کینوا مشاهده شد. pH= ۴/۵ نقطه حداقل حلالیت پروتئین‌های موجود بود (شکل ۱).pH بین ۵-۴ در اکثر منابع نقطه حداقل حلالیت گزارش شده است و از طرفی مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که پروتئین‌ها دارای حداقل حلالیت در ناحیه ایزو الکتریک می‌باشند (Sathe and Salunkhe, 1981؛Adebowale et al,. 2005). بنابراین pH=۴/۵ را می‌توان به‌عنوان نقطه ایزوالکتریک پروتئین آردهای موجود در نظر گرفت. نکته قابل توجه در نمودار که با نتایج اکثر مطالعات مطابقت دارد، افزایش مقدار پروتئین محلول با کاهش pH از نقطه ایزو الکتریک به سمت pH اسیدی می‌باشد، البته حلالیت در محدوده pH قلیایی بالاتر از اسیدی بود. با افزایش یا کاهش pH از نقطه ایزو الکتریک، دافعه الکترواستاتیک زیاد شده و در نتیجه حلالیت افزایش می‌یابد. همچنین در این حالت میزان زنجیره-های جانبی آب‌گریز کاهش یافته و آب‌گیری یونی به‌ویژه در مقادیر بالاتر pH افزایش می‌یابد (Damodaran, 1996). در مورد آردها

احتمالاً pHهای قلیایی در افزایش گروه‌های هیدروفیل در سطح پروتئین مؤثرتر از pHهای اسیدی عمل کرده‌اند. این یافته‌ها با نتایج گزارش شده توسط سایر پژوهشگران نیز مطابقت دارد (اسدپور و همکاران، ۱۳۸۹؛ فیضی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Kaur and Singh, 2007؛ Lawal, 2004؛ Kaur and Singh Sandha, 2010).



شکل ۱- مقادیر پروتئین محلول آرد سه واریته کینوا (سفید، قرمز و سیاه) در مقادیر مختلف pH

ظرفیت جذب آب و روغن

جذب آب را باید مهم‌ترین خصوصیت فیزیکی آردها دانست. این پدیده از یک سو بر ساختمان فیزیکی وخصوصیات ماده غذایی حاوی پروتئین (مثل خشک شدن) و از سوی دیگر بر فساد ماده غذایی، به دلیل تأثیر بر میزان فعالیت آبی اثر می‌گذارد (بخشی مقدم، ۱۳۸۹). ظرفیت نگهداری آب تابعی از میزان پروتئین و فیبر (Kinsella,1979) آرایش فضایی پروتئین، میزان آب‌دوستی وآب‌گریزی پروتئین و همچنین حضور کربوهیدرات‌های آب‌دوست می‌باشد (Seena & Sridhar, 2005). در این پژوهش قابلیت جذب آب سه واریته آرد کینوا سفید، قرمز و سیاه به‌ترتیب به میزان ۱/۲۹۵±۰/۰۱، ۱/۴۷۵ و ۱/۲۸۵ گرم بر گرم آرد اندازه‌گیری شد؛که از ظرفیت جذب آب آرد نخود (۱/۱۹±۰/۰۱) بیشتر بود. همچنین مقادیر حاصل تقریباً برای آرد کینوا سفید و سیاه مشابه آرد عدس (۱/۳۳±۰/۰۲) و برای آرد واریته قرمز مشابه آرد ماراما (۱/۵) بود. این در حالی است که فیضی و همکاران (۱۳۹۲) ظرفیت جذب آب آرد شنبلیله و سویا را به‌ترتیب ۱/۷۵و ۲/۶ میلی‌لیتر بر گرم آرد عنوان کردند. جدول ۵ مقادیر جذب آب در آرد دانه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

کاربرد اکثر آردها به میزان زیادی به برهمکنش آرد با آب بستگی دارد زیرا، اولین مرحله برای ایجاد خواص عملکردی مناسب در هر سیستم غذایی، به برهمکنش این مواد با آب در فرآیند آبگیری وابسته است، درنتیجه، ظرفیت جذب آب آردها نقش اساسی در فرآیندهای آماده‌سازی موادغذایی ایفا می‌نماید. میزان آب جذب شده توسط پروتئین‌ها ارتباط نزدیکی با ساختاراسیدهای آمینه آن دارد و تحت تأثیر میزان گروه‌های باردار، آرایش فضایی، آب‌گریزی، pH، دما،قدرت یونی و غلظت پروتئین می‌باشد (موروهمکاران، ۲۰۰۶).

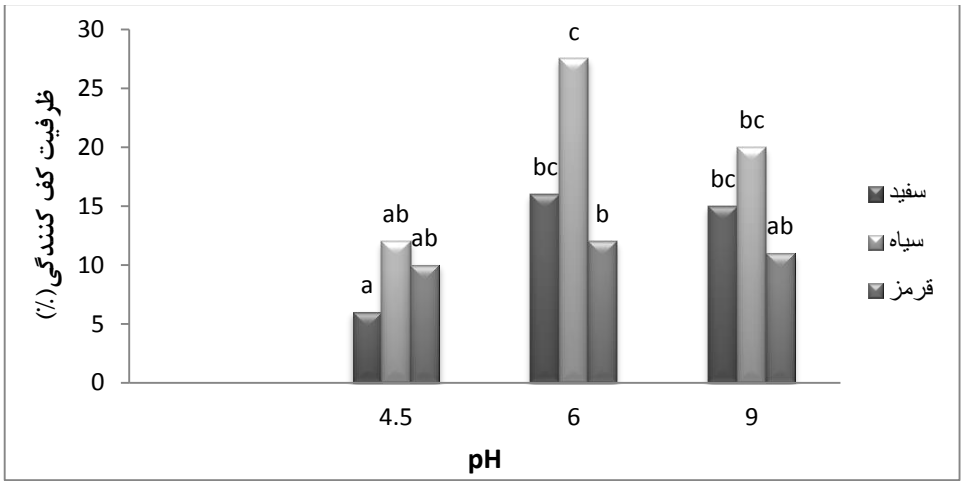
جذب روغن یک پدیده فیزیکی است که تحت عنوان محبوس شدن فیزیکی روغن تعریف می‌شود و آن را به زنجیره‌های غیرقطبی پروتئین و همچنین به شکل فضایی پروتئین نسبت می‌دهند (Kinsella, 1979؛ Kaur and Singh, 2007؛ Trayunham et al, 2007). بالا بودن ظرفیت جذب روغن پارامتر مهمی است که به قابلیت نگهداری عطر و طعم در مواد غذایی و بهبود خصوصیات امولسیون‌کنندگی کمک می‌کند (Kinsella, 1979). ظرفیت جذب روغن سه واریته آرد کینوا سفید، قرمز و سیاه به‌ترتیب به میزان ۱/۴۳۵±۰/۰۱، ۱/۳۹ و ۱/۳۶۵ گرم بر گرم آرد بود. این میزان از مقادیر گزارش شده توسط رواقی و همکاران (۱۳۸۹) برای آردهای سویا با درصد چربی مختلف (۱/۳۰ – ۱/۰۹ گرم/ گرم) و ایزوله پروتئین تجاری سویا (۱/۲۶ گرم برگرم) توسط Amza و همکاران (۲۰۱۱)، نخود (۱/۱۰±۰/۰۲گرم برگرم) و همچنین عدس (۰/۹۳گرم برگرم) بیشتر بود. همانطور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، ظرفیت جذب روغن سه واریته کینوا مورد مطالعه، از مقادیر گزارش شده برای آرد ماراما، شنبلیله، سویا و گاو دانه کمتر بود. همچنین میزان جذب آب و روغن آرد سه واریته کینوا نسبتاً بالا است از این‌رو می‌توان در فرمولاسیون‌هایی مانند نوشیدنی‌ها، سس‌ها، دسرها و سوسیس‌ها از آرد این دانه استفاده نمود.

جدول ٦- ظرفیت جذب آب و جذب روغن آرد حبوبات مختلف

نوع آرد	ظرفیت جذب آب	ظرفیت جذب روغن	منبع
سویا	۴/۳	۱/۸±۰/۱	Maruatona et al, 2010
ماراما	۱/۵	۲/۷±۰/۱	Maruatona et al, 2010
شنبلیله	۱/۷۵ ±۰/۳۵	۱/۷۷ ±۰/۰۳	فیضی و همکاران، ۱۳۹۲
عدس	۱/۳۳±۰/۰۲	۰/۹۳	Du et al, 2012
نخود	۱/۱۹± ۰/۰۱	۱/۱۰±۰/۰۲	Du et al, 2012
گاودانه	۲/۰۱±۰/۰۱	۱/۷۷±۰/۰۳	تقی زاده و همکاران،۱۳۹۶

ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف

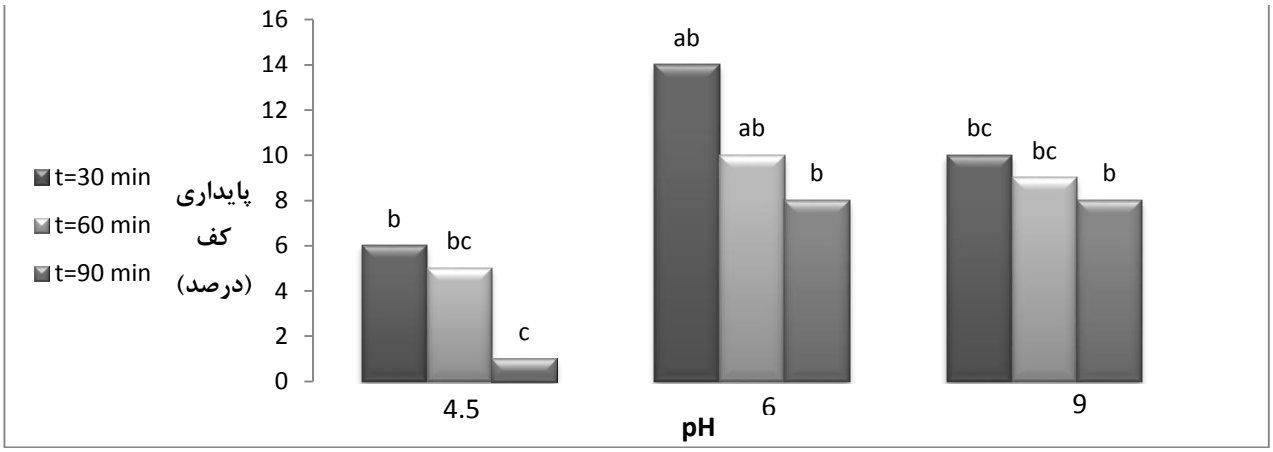
کف در مواد غذایی شامل پراکندگی حباب‌های گاز در داخل یک فاز مایع و یا یک فاز نیمه جامد پیوسته است. خاصیت کف‌کنندگی به‌عنوان درصد افزایش حجم ناشی از "زدن" تعریف می‌گردد و عموماً در ایجاد خصوصیات رئولوژیکی مطلوب در مواد غذایی نظیر بافت نان، کیک، خامه زده شده و بستنی نقش اساسی دارد. پارامتر پایداری کف به توانایی پروتئین برای پایدارسازی کف در برابر استرس‌های مکانیکی و گرانش اطلاق شده و به صورت تغییر در حجم کف درطول یک بازه زمانی خاص (۹۰-صفر) دقیقه تعریف می‌گردد (Oladela & Aina,2007) دلیل ایجاد کف در آرد، وجود پروتئین‌های فعال سطحی است (Kinsella, 1979). قدرت کف-کنندگی آرد سه واریته کینوا در مقادیر مختلف pH در شکل ۲ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود قدرت کف‌کنندگی آرد در pH= ۴/۵ کمترین و در pH= ۶ دارای بیشترین مقدار است. دلیل کاهش قدرت کف‌کنندگی در pH= ۴/۵ فشردگی پروتئین‌ها درpH ایزو الکتریک بیان شده است که با نتایج اسدپور و همکاران (۱۳۹۰)، El Nasri و El Tinay (2007) و همچنین Lawal (۲۰۰۴) همخوانی داشت. دور شدن از نقطه ایزو الکتریک و افزایش بار خالص پروتئین، احتمالاً به انعطاف‌پذیری بیشتر پروتئین کمک کرده و مانع برهمکنش‌های هیدروفوب– هیدروفوب بین مولکول‌های پروتئین می‌گردد و باعث می‌شود پروتئین راحت‌تر به سطح بین دو فاز منتقل شده و حباب‌های هوا را محصور نماید و باعث افزایش ظرفیت کف‌کنندگی گردد (اسدپور و همکاران،۱۳۹۰).



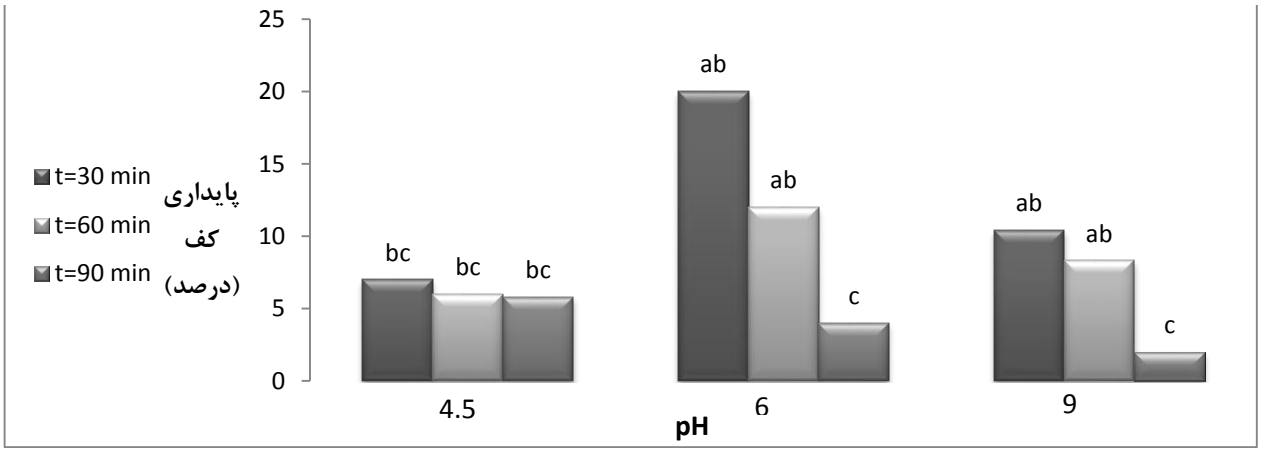
شکل ۲- مقادیر ظرفیت کف کنندگی آرد سه واریته کینوا در مقادیر مختلف pH

پایداری کف حاصل از آرد سه واریته کینوا در ۳ سطح pH و تابعی از زمان در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پایداری کف در تمامی سطوح pH با گذشت زمان کاهش می‌یابد. علاوه بر این بیشترین میزان پایداری کف در مورد آرد سه واریته کینوا، در pH=۶ مشاهده گردید. پایداری در pH ایزو الکتریک را می‌توان به صفر بودن برآیند بار الکتریکی در pH، کاهش نیروهای دافعه الکتروستاتیک، افزایش پایداری و استحکام برهم‌کنش‌های هیدروفوب–هیدروفوب بین مولکول‌های پروتئین و در نتیجه ایجاد یک لایه ویسکوز و پایدار اطراف حباب‌های هوا نسبت داد. می‌توان گفت بین قدرت کف‌کنندگی و پایداری کف رابطه معکوسی وجود دارد و آردهایی که قدرت کف‌کنندگی بالایی دارند حباب‌های بزرگ‌تر با دیواره‌ای از فیلم پروتئینی با قدرت انعطاف‌پذیری کمی ایجاد می‌کنند

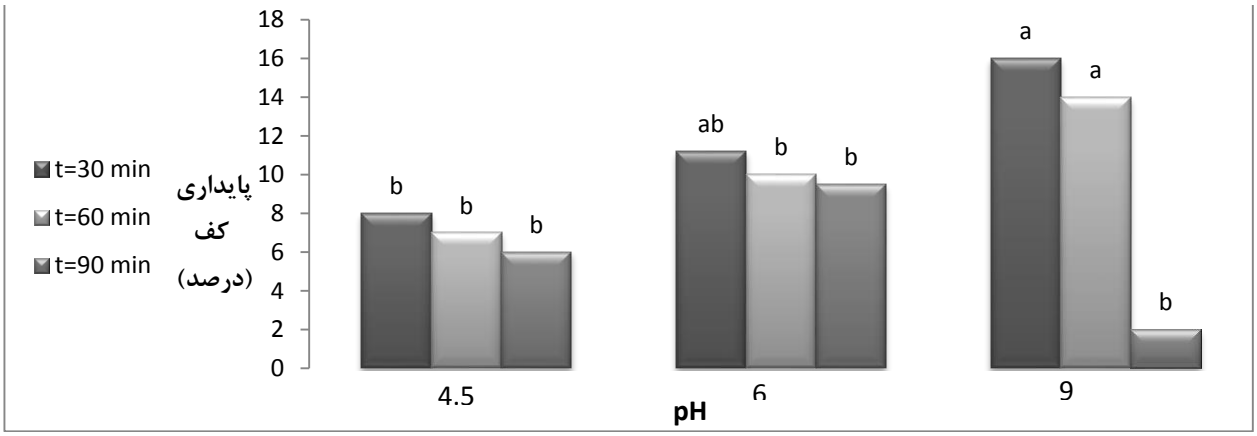
که این کف‌ها سریع‌تر متلاشی می‌شوند و پایداری کمتری دارند. این نتایج با یافته‌های Lawal (۲۰۰۴) در مورد ایزوله پروتئین لوبیای لوکاس، و همچنین اسدپور و همکاران (۱۳۹۰) در مورد آردهای عدس، نخود، لوبیا قرمز و لوبیا چیتی و نیز یافته‌های محققانی نظیر Seena and Sridhar (۲۰۰۵) و Arugandade (۲۰۰۴) نیز هم-خوانی داشت.



شکل ۳- مقادیرپایداری کف آرد واریته سفیدکینوا در مقادیر مختلف pH و زمان



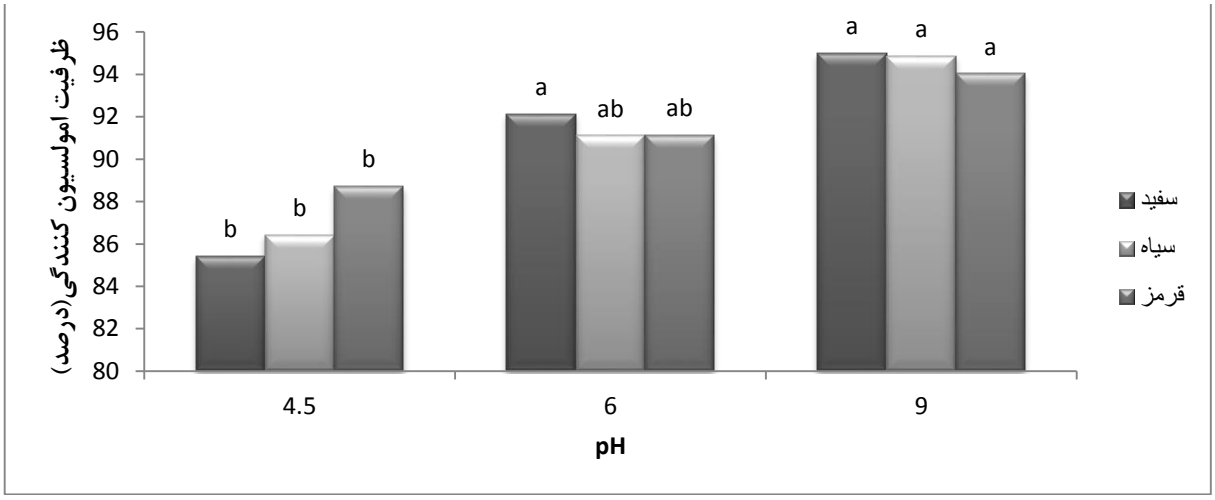
شکل ٤- پایداری کف آرد واریته سیاه کینوا در مقادیر مختلف pH و زمان



شکل ٥- مقادیر پایداری کف آرد واریته قرمزکینوا در مقادیر مختلف pH و زمان

ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون

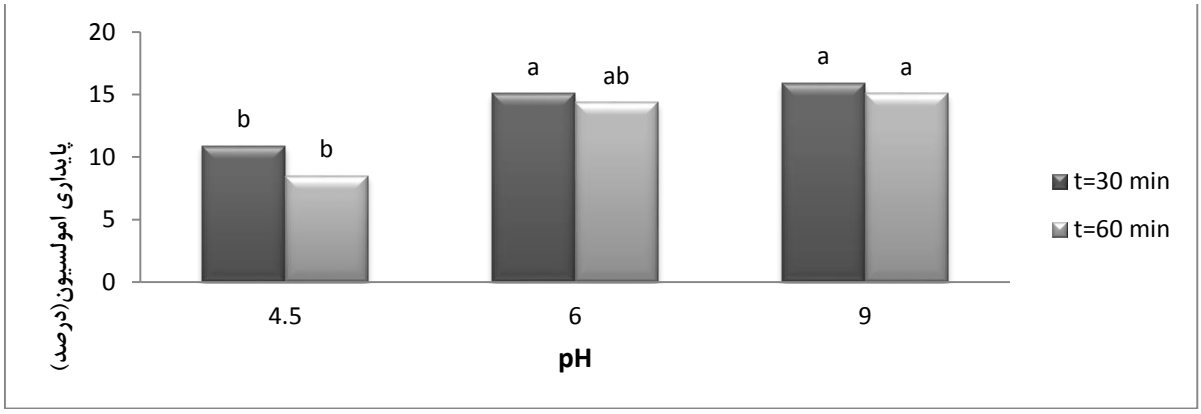
تولید امولسیون و پایداری آن در سیستم‌های غذایی مانند سس‌های سالاد اهمیت زیادی دارد. پروتئین‌ها از اسیدهای آمینه باردار، اسیدهایآمینه قطبی غیرباردار و آمینواسیدهای غیرقطبی تشکیل شده‌اند که به پروتئین ویژگی امولسیفایری می‌بخشند. ظرفیت امولسیون‌کنندگی یک پروتئین کامل به تعادل بخش‌های هیدروفیل‌هیدروفوب بستگی دارد و بنابراین وابسته به pH می‌باشد؛ علاوه بر آن pH قلیایی اثر بیشتری از pH اسیدی دارد (Ragab *et al*,. 2003).با توجه به شکل ۶، کمترین مقدار امولسیون‌کنندگی برای هر سه واریته آرد کینوا در pH=۴/۵ مشاهده شد که نزدیک به pH ایزو الکتریک می‌باشد. این مشاهده با نتایج El Nasri وEl Tinay (۲۰۰۷) در مورد ایزوله پروتئین شنبلیله، Lawal (۲۰۰۴) در مورد ایزوله پروتئین لوبیای لوکاس، تقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) در مورد آرد گاو دانه و اسدپور و همکاران (۱۳۹۰) در مورد آرد حبوبات مختلف هم‌خوانی داشت. دلیل کاهش ظرفیت امولسیون‌کنندگی در نقطه ایزوالکتریک کاهش حلالیت پروتئین در این نقطه عنوان شده است (فیضی و همکاران، ۱۳۹۲). باید توجه داشت ظرفیت امولسیون‌کنندگی با مقدار پروتئین‌های حل‌شونده در محلول مرتبط است (Ragab *et al*, 2003 ؛El Nasri and El Tinay, 2007). کاهش حلالیت منجر به کاهش سرعت مهاجرت پروتئین به سمت لایه بین سطحی آب و روغن شده و میزان جذب پروتئین در لایه بین سطحی کاهش می‌یابد. به همین دلیل با کاهش غلظت پروتئین در لایه بین سطحی فعالیت امولسیون کنندگی کاهش می‌یابد (Piornos et al, 2015).بیشترین ظرفیت امولسیون کنندگی آرد سه واریته‌یکینوا در pH=۹ مشاهده شده کهدقیقاً منطبق بر نمودار حلالیت پروتئین (شکل ۱) هست. این نتایج با یافته‌های حاصل از پژوهش اسدپور و همکاران (۱۳۹۰) در مورد آرد لوبیای قرمز و نتایج Adebowale روی آرد سه نوع حبوبات و همچنین نتایج پژوهش تقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) روی آرد گاو دانه مطابقت دارد. پروتئینی که قابلیت حل‌شوندگی بیشتری دارد به‌سرعت به لایه بین سطحی روغن–آب مهاجرت کرده و ایجاد امولسیون پایدار می‌کند. در pHهای قلیایی شدید نظیر pH=۹ آب‌دوستی سطحی و درنتیجه حلالیت به میزان زیادی افزایش می‌یابد و باعث می‌گردد پروتئین در فاز آبی از پایداری بیشتر و سطح انرژی کمتری برخوردار باشد و باعث کاهش کشش سطحی و افزایش ظرفیت امولسیون‌کنندگی گردد.



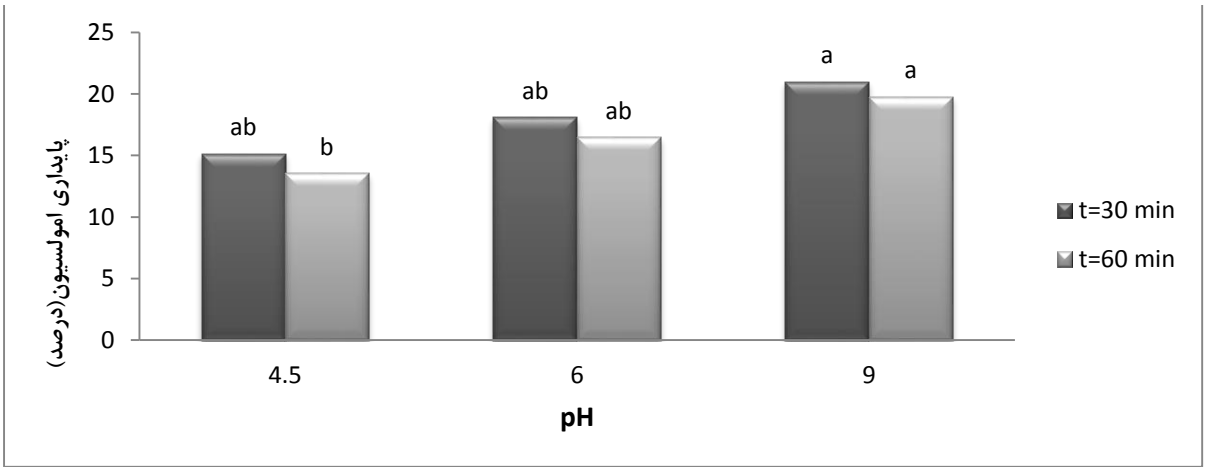
شکل ٦- مقادیرظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد سه واریته کینوا در مقادیر مختلف pH

در مورد پایداری امولسیون، اثر زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه بر پایداری امولسیون معنی‌دار بود ($P<0.05$). همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با گذشت زمان، پایداری امولسیون کاهش می‌یابد که علت این کاهش می‌تواند به‌هم پیوستن ذرات فاز پراکنده (قطرات روغن) در طی زمان باشد. در مورد اثر pH بر پایداری امولسیون‌ها نتایج نشان داد مقادیر پایداری در pH قلیایی بیشتر از pHاسیدی است به‌طوری‌که این پایداری در pH=۹ اختلاف معنی‌داری با سایر pHها دارد. در pH ایزوالکتریک نیروهای دافعه پروتئین ضعیف می‌باشند و ذرات امولسیون تمایل به بهم پیوستگی و انعقاد دارند بنابراین امولسیون پایداری ضعیفی ایجاد می‌کند. Lawal (۲۰۰۴) و فیضی و همکاران (۱۳۹۲) نیز بیان کردند کمترین پایداری امولسیون در نقطه pI است. این پژوهشگر، علت احتمالی کاهش پایداری امولسیون در pI را کاهش بیش از اندازه نیروهای دافعه در این pH و درنتیجه تشدید اتصال، تجمع و نهایتاً لخته شدن مولکول‌های پروتئین بیان داشت. تغییرات pH و تغییر در گروه‌های باردار می‌تواند به بهبود خاصیت آب‌گریزی سطحی کمک نماید. در pHهای قلیایی شدید نظیر ۹ حلالیت به میزان زیادی افزایش می‌یابد و باعث می‌شود پروتئین در فاز آبی از پایداری بیشتر برخوردار باشد در ادامه و با

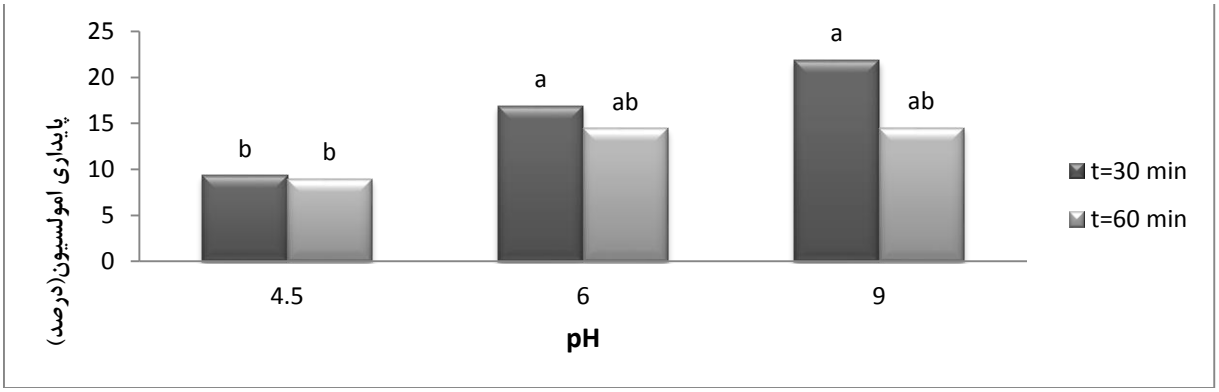
کاهش کشش سطحی نیز، منجر به افزایش پایداری امولسیون شود. علاوه بر این در pH های شدید قلیایی یا اسیدی، به دلیل دناتوره شدن پروتئین، چسبندگی بین فاز آب و چربی افزایش یافته و استحکام لایه بین آب و روغن بیشتر می‌شود (Lawal *et al*,. 2004). همچنین در این pHها به دلیل افزایش ویسکوزیته ناشی از واکنش‌های بین پروتئینی، استحکام فیلم پروتئینی تشکیل شده در فضای بین دو فاز افزایش یافته و در نهایت پایداری امولسیون افزایش می‌یابد (Lawal *et al*,. 2004). هرچه بار الکتریکی اطراف ذرات چربی زیاد باشد نیروهای دافعه، انعقاد آن‌ها را به تعویق می‌اندازند و بنابراین پایداری حاصل می‌گردد (Piornos *et al*,. 2015). ارتباط بین پایداری امولسیون و pH مانند رابطه بین حلالیت پروتئین و pH هست که با نتایج مطالعات Ragab و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت. Hungand Zayas (۱۹۹۱) عوامل متعددی شامل pH، اندازه ذرات، بار خالص، ویسکوزیته، تنش بین سطحی و ساختار پروتئین را بر پایداری امولسیون مؤثر می‌دانند.



شکل ۷- مقادیر پایداری امولسیون آرد کینوا واریته سفید در مقادیر مختلف pH و زمان



شکل ۸- مقادیر پایداری امولسیون آرد کینوا واریته سیاه در مقادیر مختلف pH و زمان



شکل ۹- مقادیر پایداری امولسیون آرد کینوا واریته قرمز در مقادیر مختلف pH و زمان

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با هدف شناخت آرد سه واریته کینوا، به بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و نیز ویژگی‌های عملکردی آرد حاصل از آن‌ها پرداخته شد. در بین سه واریته کینوا میزان پروتئین واریته سیاه (۱۶/۸۱٪) بیشتر از سایر واریته‌ها بود که می‌تواند به‌عنوان یک منبع پروتئینی بالقوه مورد بررسی‌های بیشتر قرارگیرد. همچنین خواص عملکردی آرد سه واریته کینوا و اثر pH بر این خواص مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد آردهای حاصل دارای ویژگی‌های عملکردی مطلوب و قابل مقایسه با سایر حبوبات و شبه غلات می‌باشند. علاوه بر این ویژگی‌های عملکردی آن‌ها تحت تأثیرpH بود و با دور شدن از نقطه ایزو الکتریک و افزایش حلالیت پروتئین، سایر ویژگی‌های عملکردی نیز روند افزایشی را نشان دادند. بنـابراین بـا تغییر pH، می‌توان برخی از خـواص را بـرای مـصارف خـاص، بهبود داد. آرد دانه کینوا می‌تواند به لحاظ تغذیه‌ای و تکنولوژیکی جایگزین بسیار خوبی برای آرد گندم باشدکه از این حیث ضمن تأمین امنیت غذایی جامعه، انحصار تولید به‌وسیله گندم را نیز از بین خواهد برد. انجام این پژوهش، گامی مؤثر در توسعه و تکمیل پروژه‌های بعدی در مورد، آرد کینوا هست که می‌تواند به‌عنوان جایگزین پروتئین‌های حیوانی و همچنین در تولید محصولات مناسب برای بیماران سلیاکی و افراد حساس به گلوتن در رژیم غذایی مردم کشورهای در حال توسعه مطرح باشد. آنچه اکنون ضروری به‌نظر می‌رسد، تمرکز بر ویژگی‌های حسی محصولات حاصل از آرد کینوا جهت ارتقا کیفیت محصولات تولیدی است.

منابع

AACC (2003b). American Association of Cereal Chemists.Approved Method 08-03,8th ed., St. Paul, MN, USA.

Adebowale, Y. A., Adeyemi, I. A., and Oshodi, A. A., 2005. Functional and physicochemical properties of flours of six Mucuna species. *African Journal of Biotechnology* 4 (12): 1461-1468.

Aluko, R.E. & Yada, R.Y. 1995. Structure-function relationship of cowpea (*Vigna unguiculata*) globulin isolate: influence of pH and NaCl on physicochemical and functional properties. *Food Chemistry*, 53: 259-265.

Ameri shahrabi, Badiei, ehsani, Maftoon, azad, sarmadi zadeh, 2011, Investigating the functional and Thermal Properties of Concentrate and Protein Isolated from Chickpea and Soybean, *Journal of Nutrition Sciences and Food Technology of Iran*,. (6) 49-58 (in Farsi)

Amza, T. Amadou, I. Zhu, K. and Zhou, H. 2011. Effect of extraction and isolation on physicochemical and functional properties of an underutilized seed protein: Gingerbread plum (*Neocarya macrophylla*). *Food Research International*, 44: 553 - 559.

Arogundade L.A., Akinfenwa M.O., and Salawu A.A. 2004.Effect of NaCl and its partial or complete replacement with KCl on some functional properties of defatted Colocynthis citrullus L. seed flour. *Food Chemistry*, 84: 187–193.

Asadpour, A, Jafari, S.M, sadeghi A, ghorbani, m, 2010. Determination of soluble protein and water absorption capacity of flour from different beans, *Iranian Food Science and Technology Research Journal Vol*. 6, No. 3, Fall, 2010, p. 184-192 (in Farsi)

Asadpour, A, Jafari, S.M, sadeghi A, ghorbani, m, 2011, Determination of Emulsion and Fouling Capacity and Effect of Acidity and Ionic Power on the Properties of Different Flours from Different Beans,. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* Vol. 7, No. 1, 2011, p. 80-91(in Farsi)

Bakhsh Moghaddam, F, Milani, A, Mortazavi, S.M, Meshkani, S.M (2010), .The Effect of Extraction Methods on Chickpea Protein Isolated Functional Properties, *Journal of Food Science and Technology*, Vol38, (10), 11-20(in Farsi)

Berghofer, E. and Schoenlechner, R. 2010. Pseudocereals–an overview. Departament of FoodScience and Technology, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna-Austria.

Boye J, Zare F, Pletch A. 2010. Pulse protein: Processing, characterization, functional properties and application in food and feed. *Food Research International* 43: 414–431.

Boye J.I., Aksay S., Roufik S., Ribéreau S., Mondor M., Farnworth E. Rajamohamed S.H. 2010.Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultra filtration and isoelectric precipitation techniques. *Journal of Food Research International* 43: 537 –546.

Dallagnol, A. M., Pescuma, M., De Valdez, G. F. and Rollán, G. "Fermentation of quinoa and wheat slurries by Lactobacillus plantarum CRL 778: proteolytic activity." *Appl Microbiol Biotechnol* 97 (2013): 3129-3140.

Damodaran, S. 1996. Functional properties. Food proteins: properties and characterization. VCH, New York, pp 167-234.

Du, S., Jiang, H., Yu, X., Jane, J. 2012. Physicochemical and functional properties of whole legume flour. LWT - Food Science and Technology, 55, 308-313.

El Nasri, N. A., & El Tinay, A. H. 2007. Functional properties of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) protein concentrate. *Food Chemistry*, 103, 582–589.

FAO, Quinoa: "An ancient crop to contribute to world food security". Regional Office for Latin America and the *Caribbean*. July (2011).

Feizi, S, Varidi, M, zareie, F, varidi, M, 2013, Investigation Chemical Composition, Color Parameters and Functional Properties of Fenugreek Flour and Comparison with Soybean Flour, *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*,. (2)2, 121-138 (in Farsi)

Ferreira, D. S., Pallone, J. A. L., and Poppi, R. J. "Direct analysis of the main chemical constituents in Chenopodium quinoa grain using Fourier transform near-infrared spectroscopy." *Food Control* 48 (2015): 91-95.

Ferreira, D. S., Pallone, J. A. L., and Poppi, R. J. "Direct analysis of the main chemical constituents in Chenopodium quinoa grain using Fourier transform near-infrared spectroscopy." *Food Control* 48 (2015): 91-95.

Hung, S. C., & Zayas, J. F. 1991.Emulsifying capacity and emulsionstability of milkproteins and corn germ protein flour. *Journal ofFood Science*, 56, 1216–1223.

Jancurová, M., Minarovicová, L. and Dandar, A. 2009. Quinoa–a review. *Czech Journal of Food Sciences*. 27(2): 71-79.

Joshi, A. U., Liu, C., Sathe, S. K. 2015. Functional properties of select seed flours.LWT - Food Science and Technology 60: 325-331.

Kanu, P. J., Kerui, Z., Ming, Z. H., Haifeng, Q., Kanu, J. B., and Kexue, Z. 2007. Sesame protein 11: Functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) protein isolate as influenced by pH, temperature, time and ratio of flour to water during its production. *Asian Journal of Biochemistry*, 5: 289-301.

Kaur M, Singh Sandha K. 2010. Functional, thermal and pasting characteristics of flours from different lentil (Lens culinaris) cultivars. Journal of food science and technology-mysore 47(3):273–278.

Kaur, M., Singh, N.2007. Characterization of protein isolates from different Indian chickpea cultivars. *Food Chemistry*, 102: 366-74.

Kinsella, J. E. 1979. Functional properties of soy protein. Journal of American Oil Chemists Society, 56: 242–249.

Lawal, O. S. 2004, Functionality of African locust bean (*Parkia biglobossa*) protein isolate: effects of pH, ionic strength and various protein concentrations. *Journal of Food Chemistry*, 86: 345-355.

Lilian E. A. J. 2009. Chapter 1 Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. Advances in Food and Nutrition Research Volume 58, Pages 1-3

M. Taghizadeh, B. Shokrollahi, F.Hamedi, 2016 Evaluation the physicochemical and mechanical properties of bittervetch seed (*Viciaervilia*) and the functional properties of its flour, *Iranian Food Science and Technology Research Journal* Vol. 13, No. 1, p. 38- 52(in Farsi)

Majzoobi, M.., Abedi, E., Farahnaki, A., Aminlari, M. 2012. Functional properties of acetylatedglutenin and gliadin atvarying pH values. *Food Chemistry*, 133:1402‑1407.

Maruatona, G. N., Duodu, K. G., Minnaar, A. 2010. Physicochemical, nutritional and functional properties of marama bean flour. *Food chemistry*, 121, 400-405.

Oelk, E. A., Puntnam, D. H., Teynor, T. M., and E. S., Oplinger Feb 1992. Alternative Field Crops Manual, Quinoa. University of Wisconsin Extension, Cooperative Extension.

Oladele, A. K. and J. O. Aina (2007). "Chemical composition and functionalproperties of flour produced from two varieties of tigernut (Cyperusesculentus)." *African Journal of Biotechnology* 6(21): 2473-2476.

Owusu-Apenten, R. K. 2002. Food protein analysis Quantitative effects on processing. Marcel Dekker, Inc. Basel. New York.

Piornos, J. A., Burgos-Díaz, C., Ogura, T., Morales, E., Rubilar, M., Maureira-Butler, E., Salvo-Garrido, H. 2015. Functional and physicochemical properties of a protein isolate from AluProt-CGNA: A novel protein-rich lupin variety (*Lupinus luteus*). *Food Research International*, 76(3): 719–724.

Ragab, D. M., Babiker, E. E., & El Tinay, A. H. (2003). Fractionation, solubility and functional properties of cowpea (Vigna unguiculata) proteins as affected by pH and/or salt concentration. *Food Chemistry*, 84, 207–212.

Ravaghi, M, Mazaheri, M, Asoodeh, A., 2010, Evaluation of performance characteristics of four types of soybean flour in Iran, *Journal of Food Science and Technology*, Vol6, (3), 1-7(in Farsi)

Sathe, S. K., Salunkhe, D. K. 1981. Functional properties ofgreat northern bean proteins: emulsion, foaming, viscosity and gelation properties. *Journal of Food Science*, 46: 71-75.

Seena, S. K. Sridhar, R. 2005, Physiochemical, functional and cooking properties of Canavalia, *Journal of Food Chemistry*, 32: 406 – 412.

Sepahvand, N, Kahbazi, M, 2010, Quinoa, a valuable plant to food security and sustainable agriculture in Iran, 11th Iranian Congress of Plant Breeding and Plant Breeding, Research Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran,. Pp1811-1814 (in Farsi)

Shokrollahi, Mohebi, Varidi, M, 2013, Evaluation of the effect of temperature, frying time and the addition of lentil flour to batter formulation on the physicochemical and qualitative characteristics of fried crust using a shell model (DFCM),. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* Vol. 10, No. 3, p. 266- 275 (in Farsi)

Traynham, T.L., Myers, D.J., Carriquiry, A.L., Johnson, L.A., and Amer, J. 2007. Evaluation of water holding capacity for wheat-soy flour blends. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84: 151-155.

Vadivel, V. and Janardhanan K. 2001. Nutritional and anti-nutritional attributes of the under-utilized legume, Cassia floribunda Cav. *Food Chemistry* 73: 209-215.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 13- 27

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۲۷-۱۳

Study on physicochemical properties of Quinoa flour of three different varieties and the effect of pH on their functional characteristics

M. Taghizadeh*, H. Akhoondzadeh, Z. Zamani

Received: 2019.08.07
Accepted: 2020.01.15

Introduction: Grains are important food sources for human diet because of high protein content. There are different kinds of grains used as food worldwide. Today herbal proteins play an important role as food sources in societies. Herbal protein sources are actually strategic points for improving national dietary all over the world. (Mashayekh *et al*, 2008). Food experts are becoming more open to Quinoa, because of high protein content, (Dallagnol *et al.*, 2013). FAO compares Quinoa grain with concentered milk powder considering high nutritional facts, and called grains as multi vitamin (FAO, quinoa, 2011). According to scientific reports quinoa grain can be replaced with rice in national dietary (Ferreira et al, 2015. Oelk *et al.*, 1992). Quinoa originally cultivated in South America (barazil, Chile, Peru etc.) and known as semi-cereals (Schoenlechner&Berghofe2010).Furthermore, Quinoa flour is a highly nutritional alternative to feed animals as well as in the production of foods which are suitable for patients with celiac disease and gluten-sensitive patient worldwide. (Dallagnol et al, 2013). From the technological point of view, functional properties hold an important position, Water and oil absorption capacity, protein solubility, gelatinization capacity, foam ability and foam stability are the most important functional properties. (Kaur and Singh, 2007. Ameri shahrabi, 1390). Functional properties are affected by different parameters such as protein network structure, lipid, carbohydrate, temperature and pH, respectively. (Alukoand Yada, 1995). This study proposed to investigate the physicochemical properties of Quinoa flour of three different varieties and monitor the effect of pH on their functional characteristics

Materials and methods: three different variety of Quinoa grain, originated and cultivated in Peru, were used for experiments, varieties were black (*BLACK COLLANA*), white (*SALCEDO INIA*) and red (*PASANKALLA*), respectively. Grains were grind by 75 degree in mesh and refrigerated during storage. Carbohydrate, fat, ash, moisture content and protein were measured by AACC, (2003) methods. Functional properties were also measured using scientific methods, Owusu-Apenten, (2002), Kaur and Singh (2007) and customized Adebowale *et al*, (2005) method which used to measure protein solubility, Water and oil absorption capacity, foam ability and foam stability, respectively. Emulsion capacity and emulsion stability were measured using majzoobi *et al*, (2012) method.

Results and discussion: chemical properties are important in both technological and nutritional aspects, chemical characteristics were observed and reported for three studied varieties. Protein solubility known as the first criteria in protein functional properties (Asadpour *et al.*, 2010), this parameter is influenced by pH and the least value were observed in pH=4.5 (protein isoelectric point). Water and oil absorption capacity is one of the most important characteristics in flours (Kinsella, 1979), this parameter is a physical phenomenon which is known as oil or water confined in non-polar protein chains that is dependent on protein spatial shape. (Kinsella, 1979 ؛Kaur and Singh, 2007 ؛ Trayunham *et al.*, 2007) responses led to 1.285, 1.475 and 1.295 for white, red and black varieties, respectively. Foam ability and foamstability, actually known as volume increase caused by fast stirring and usually results in convenient rheological properties in products texture like ice cream and bread.this parameter refers to the ability of protein to make stable foam aginst mechanical and Gravitational stresses and measured in a 90 min. period of time (Oladela & Aina,2007) (Kinsella,1979). Least responses in this case were observed in pH=4.5 which is an isoelectric range of pH for protein chains. Results were corresponded by responses of El Nasri and El Tinay (2007), Lawal (2004), Taghizadeh et al, (2017) and Asadpour et al (2010) about other semi-cereal grains. Last metered parameter was emulsifying ability and emulsion stability, emulsifying in protein structure is an equilibrium between hydrophilic and hydrophobic parts of protein and affected by alkaline range of pH (Ragab *et al*., 2003) this parameter is influenced by protein solubility which is in the least measures in isoelectric point (Feizi *et al.*, 2013). Results had shown that foam stability would decrease during time passes. This may be due to the coupling of dispersed phase particles (oil droplets) over time. Concerning the effect of pH on emulsion stability, the results showed that the stability values at alkaline pH were higher than that of acidic pH, so that this stability at pH = 9 was significantly different from other pHs. Among the three

Dept. of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, I.R. Iran.
(*Corresponding Author Email: mtaghizadeh@um.ac.ir)

varieties of quinoa, the amount of protein in the black variety (16.81%) was higher than the other varieties, which could be further investigated as a potential protein source. In addition, results indicate functional properties are influenced by pH, which means out of iso electric point, protein solubility increase and other fictional properties were improve followed.

Key words: Quinoa grain, physicochemical properties, functional properties

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 29- 42

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۴۲-۲۹

مقاله علمی-پژوهشی

بهینه‌یابی فرمولاسیون لوز رژیمی غنی شده با استویا و گیاه آزی‌وش به روش سطح پاسخ

محمدجواد گلیه[۱]- محمد گلی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۸

چکیده

امروزه با تغییر فرهنگ زندگی، بروز سوءتغذیه در گروه‌های مختلف سنی، و بروز بیماری‌هایی نظیر دیابت، فشارخون و چاقی، تولید فرمولاسیون‌های غذایی کم‌کالری امری ضروری به‌نظر می‌رسد. از طرف دیگر، با افزایش تقاضا برای مصرف محصولات باارزش غذایی و کیفیت بالا، استفاده از ترکیبات با منشأ طبیعی جهت ارتقاء ویژگی‌های تغذیه‌ای و کیفی محصولات غذایی توصیه می‌گردد. لذا، هدف از پژوهش حاضر، کاهش ساکارز مصرفی در تهیه لوز رژیمی و تولید محصولی با ارزش غذایی و اقتصادی بالا با با افزایش جایگزینی گیاه آزی‌وش با پسته است. در این پژوهش اثر جایگزینی استویا با ساکارز (صفر-۱۰۰ درصد)، جایگزینی آزی‌وش با پودر پسته (صفر-۱۰۰ درصد) و دمای پخت (۷۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد) بر دانسیته و سفتی لوز رژیمی مورد بررسی قرار گرفت. روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با ۶ نقطه مرکزی و دو تکرار و آلفای برابر با ۲ در سایر نقاط به‌منظور بهینه‌یابی فرمولاسیون لوز رژیمی غنی شده، استفاده شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافت و رنگ در بازه زمانی ۴۵ روزه برای نمونه‌های بهینه و شاهد مقایسه گردید. دانسیته تیمارها با افزایش درصد جایگزینی استویا و آزی‌وش افزایش یافت. اثر متقابل دو متغیر آزی‌وش و دمای پخت باعث کاهش سفتی بافت گردید. کاهش درصد جایگزینی استویا سفتی بافت را کاهش داد. فرمولاسیون بهینه لوز رژیمی شامل ۲۵ درصد استویا، ۲۵ درصد آزی‌وش با دمای پخت ۶۵ درجه سانتی‌گراد؛ و ۵۵ درصد استویا، ۷۵ درصد آزی‌وش با دمای پخت ۵۵ درجه سانتی‌گراد معرفی گردید. در مجموع، ارزش غذایی لوز رژیمی حاوی گیاه آزی‌وش از جنبه محتوی پروتئین، خاکستر، منیزیم و کلسیم بهبود یافت.

واژه‌های کلیدی: آزی‌وش، استویا، خواص فیزیکوشیمیایی، لوز رژیمی، بهینه‌یابی

مقدمه

امروزه شیوع بیماری‌های مرتبط با افزایش قند خون، فشارخون و چاقی در اثر مصرف بالا و مداوم ساکارز، استفاده از آن را در محصولات مختلف با محدودیت‌هایی مواجه کرده است. نگرانی‌های مرتبط با اثرات مضر ناشی از مصرف شکر از یک طرف، توجه تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان را به جست‌وجوی شیرین‌کننده‌های طبیعی جایگزین با شکر معطوف نموده است و از طرف دیگر، افزایش تقاضا برای مصرف مواد غذایی با ارزش غذایی بالاتر توجه عموم را به‌سوی ترکیبات طبیعی و فراسودمند سوق داده است. در این میان گیاه استویا می‌تواند به‌عنوان جایگزین بسیار مناسبی برای برطرف کردن مشکلات ناشی از مصرف ساکارز معرفی گردد (افشاری و بلوریان، ۱۳۹۱).

گیاه استویا با نام *علمی Stevia Rebaudiana bertoni* یک گیاه دارای خواص دارویی و غذایی تأیید شده است. استویا گیاهی علفی و چند ساله است که نخستین بار در شمال برزیل و پاراگوئه شناخته شد. برگ‌های استویا غنی از استویوزید که ترکیبات گلیکوزیدی دی ترپنی هستند، می‌باشد که میزان شیرینی آن‌ها تا ۳۰۰ برابر شکر تخمین زده شده است (Jain *et al*., 2009).

آزی‌وش با نام علمی *Corchorus olitorius* L. منبع غنی از ترکیبات زیست فعال متعدد نظیر پروتئین، فیبر، ویتامین‌ها، مواد معدنی، استرول‌ها، توکوفرول‌ها و کاروتنوئیدها است. این گیاه از خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدباکتریایی، ضدقارچی، ضدویروسی، ضدالتهابی و ضدسرطان قابل‌توجهی برخوردار است (Anita *et al.*, 2006).

ترکیب معدنی برگهای آزی‌وش حاوی ۱۸/۳۸ درصد خاکستر، ۱۲/۵۴ درصد پروتئین خام، ۱۱/۹۹ درصد چربی، ۱۹/۵۶ درصد کربوهیدرات قابل مصرف است. هم‌چنین برگ‌ها دارای ۲۰۰/۷۸ کیلوکالری در هر ۱۰۰ گرم هستند. تجزیه و تحلیل مواد معدنی نشان داد که پتاسیم ۲۸۱۴/۱۵، منیزیم ۷۶/۶۹ میلی‌گرم در هر ۱۰۰ گرم از عناصر غالب برگ آزی‌وش است. برگ‌ها حاوی غلظت قابل توجهی از سدیم ۵۴/۵۶، کلسیم ۳۰/۵۵، فسفر ۶/۶۸، مس ۲/۵۲، آهن ۱۹/۵۳، منگنز ۵/۹۵ و روی ۴/۷۱ میلی‌گرم در هر ۱۰۰ گرم بودند. در

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: mgolifood@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.82864

مجموع برگ‌های آزی‌وش منبع غنی از پتاسیم، آهن، مس، منگنز و روی و هم‌چنین مقادیر انرژی بالایی هستند که در تغذیه انسان و حیوان ضروری است (Idris et al., 2009).

با افزایش میزان کتیرا در قطاب‌های حاوی استویوزید به‌طور معنی‌داری میزان سختی کاهش یافت. در واقع از یک طرف جایگزینی ساکارز با استویوزید باعث سختی بافت شد و از طرف دیگر حضور کتیرا موجب کاهش سختی بافت قطاب شد. این موضوع را می‌توان به، علت تشکیل شبکه و حفظ رطوبت در بافت شیرینی سنتی قطاب به علت وجود گروههای هیدروکسیل موجود در کتیرا نسبت داد، که در نهایت منجر به تشکیل ژل و کاهش سختی بافت شده است. بافت ایجاد شده به عنوان یک صفت مطلوب در قطاب به حساب می‌آید (قندهاری یزدی و همکاران، ۲۰۱۳).

وطن‌خواه و همکاران (۱۳۹۳)، در مطالعه خود اثر جایگزینی شکر با استویوزید در سطوح صفر، ۵۰ و ۱۰۰٪ را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی بیسکویت مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که جایگزینی شکر با استویوزید در فرمولاسیون بیسکویت، اثر معنی‌داری بر روی محتوی خاکستر، چربی و پروتئین بیسکویت نداشت. جایگزینی کامل شکر با استویا در سطح جایگزینی ۱۰۰٪ باعث کاهش میزان کالری نمونه‌های بیسکویت تا حدود ۱۵٪ شد. حجم مخصوص و دانسیته حجمی نمونه‌ها با افزایش سطوح جایگزینی استویا تغییر قابل‌توجهی نداشت اما قطر و ضریب انبساط به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافت. جایگزینی استویا با شکر موجب افزایش ضخامت و فعالیت آبی نمونه‌ها گردید و سختی بافت را کاهش داد. اثر جایگزینی شکر با استویا بر خصوصیات بافتی و حسی مافین، گزارش ش که جایگزینی کامل شکر با استویا (۱۰۰ درصد جایگزینی) موجب افزایش سختی بافت مافین نسبت به نمونه شاهد شد. نمونه‌های دارای ۱۰۰ درصد جایگزینی استویا با شکر، از بافت سخت‌تر، احساس دهانی خشک‌تر و پذیرش کلی کمتری برخوردار بودند (Gao *et al.*, 2017).

برگ‌های گیاه آزی‌وش حاوی مقادیر قابل‌توجه پروتئین (۵/۶–۴/۵ درصد)، فیبر (۲–۱/۷ درصد)، کربوهیدرات (۶/۴ –۷/۱۲ درصد)، خاکستر (۲/۴ درصد) است و انرژی آن برحسب کالری حدود ۵۸ –۴۳ است. برگ‌های گیاه آزی‌وش منبع مناسبی از بتا کاروتن، کلسیم، ویتامین C و آهن است و همچنین، حاوی سطوح بالایی از ترکیبات زیست فعال دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد که در درمان بسیاری از بیماری‌ها از قبیل بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت، سرطان و فشارخون مفید است (Islam *et al.*, 2013).

هدف از پژوهش حاضر، کاهش ساکارز مصرفی در تهیه لوز رژیمی و تولید محصولی با ارزش غذایی و اقتصادی بالا با افزایش جایگزینی گیاه آزی‌وش با پسته بود و اثرات این جایگزینی بر دانسیته و سفتی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده در فرمولاسیون لوز شامل ایزومالت، سوربیتول، پودر نارگیل، پودر پسته، هل، دارچین و کلروفیل، استویا و گیاه آزی-وش بود که از شرکت سلامت گستران آرایان فراهم شد. کلیه مواد آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش، با خلوص بالا از شرکت مرک آلمان تهیه گردید.

تهیه لوز

فرمولاسیون پایه لوز شامل سوربیتول (۲۹/۶۸ درصد)، شکر (۲۵/۸۵ درصد)، پودر نارگیل (۳۸/۷۵ درصد)، هل (۰/۳ درصد)، دارچین (۰/۲۶ درصد) و کلروفیل (۲/۵۸ درصد) انتخاب گردید، و از ایزومالت به‌عنوان پرکننده استفاده شد. برای تولید لوز ابتدا مخلوط سوربیتول و ایزومالت تا رسیدن به دمای جوش و انحلال کامل حرارت داده شد. پس از فرایند حرارتی (دمای ۱۲۶ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ساعت)، مخلوط تا دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خنک و مابقی مواد به آن اضافه و مخلوط گردید. نمونه‌های آماده‌شده قالب‌گیری شد و به مدت ۳ ساعت در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. به‌منظور تهیه لوز رژیمی غنی‌شده، متغیرهای مستقل شامل جایگزینی شکر با استویا در سطوح (۱۰۰–صفر درصد)، جایگزینی پودر پسته با آزی‌وش در سطوح (۱۰۰–صفر درصد) و دمای پخت در سطوح (۵۰–۷۰ درجه سانتی‌گراد) انتخاب شدند (جدول ۱). بقیه ترکیبات ثابت در نظر گرفته شد. برای به‌دست آوردن نقطه بهینه، ۳۳ آزمایش توسط نرم‌افزار Design Expert پیشنهاد گردید (جدول ۲)، که در این جدول فاکتورها و سطوح اندازه‌گیری آن‌ها نیز آورده شده است.

آزمون‌های شیمیایی

آزمون‌های رطوبت، خاکستر، پروتئین، چربی و قند به‌ترتیب با روش مصوب استاندارد AACC به شماره‌های ۱۴–۴۴، ۰۸–۰۱، ۴۶–۱۲، ۱۰–۳۰ و ۰۱–۵۰–۸۰ انجام شد.

آنالیز عناصر معدنی

برای آنالیز مقادیر عناصر معدنی منیزیم، کلسیم و آهن از روش خاکستر خشک استفاده شد. خاکستر سفید باقی‌مانده پس از هضم نمونه در اسید نیتریک غلیظ حل گردید و با آب دیونیزه به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. آنالیز نمونه‌های آماده‌شده به کمک دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی (Shimadzu, AA-6800، ژاپن) انجام

گردید. مقدار عناصر معدنی به‌صورت میلی‌گرم در لیتر بیان گردید (Devatkal *et al.*, 2004).

جدول ۱- نمایش متغیرهای مستقل فرآیند و سطوح اندازه‌گیری آن‌ها

متغیرهای مستقل	فاکتور	کد و سطوح مربوطه				
		+α	+۱	۰	−۱	−α
جایگزینی شکر با استویا (٪)	A	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	۰
جایگزینی پودر پسته با آزی‌وش (٪)	B	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	۰
دمای پخت (°C)	C	۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۵۰

جدول ۲- آزمایش‌های ارائه‌شده توسط نرم‌افزار با استفاده از طرح RSM

Run	استویا	آزی‌وش	دمای پخت	Run	استویا	آزی‌وش	دمای پخت
۱	۵۰	۵۰	۶۰	۱۸	۲۵	۲۵	۶۵
۲	۵۰	۵۰	۵۰	۱۹	۲۵	۷۵	۶۵
۳	۵۰	۵۰	۶۰	۲۰	۲۵	۲۵	۵۵
٤	۱۰۰	۵۰	۶۰	۲۱	۲۵	۲۵	۶۵
۵	۵۰	۵۰	۷۰	۲۲	۱۰۰	۵۰	۶۰
٦	۲۵	۲۵	۵۵	۲۳	۵۰	۱۰۰	۶۰
۷	۵۰	۵۰	۶۰	۲۴	۵۰	۵۰	۵۰
۸	۵۰	۵۰	۷۰	۲۵	۷۵	۷۵	۶۵
۹	۵۰	۵۰	۶۰	۲۶	۷۵	۲۵	۵۵
۱۰	۷۵	۲۵	۵۵	۲۷	۷۵	۲۵	۶۵
۱۱	۰	۵۰	۶۰	۲۸	۲۵	۷۵	۶۵
۱۲	۵۰	۰	۶۰	۲۹	۲۵	۷۵	۵۵
۱۳	۷۵	۷۵	۵۵	۳۰	۵۰	۵۰	۶۰
١٤	۷۵	۷۵	۵۵	۳۱	۰	۵۰	۶۰
۱۵	۷۵	۷۵	۶۵	۳۲	۲۵	۷۵	۵۵
١٦	۵۰	۰	۶۰	۳۳	۷۵	۲۵	۶۵
۱۷	۵۰	۱۰۰	۶۰				

اندازه‌گیری دانسیته

ارزیابی حجم لوز به روش جابه‌جایی دانه‌های کلزا مطابق با استاندارد AACC، ۲۰۰۰ شماره ۱۰-۷۲ انجام شد. بدین صورت که ابتدا دانسیته تودهای کلزا با اندازه‌گیری وزن حجم معینی از دانه کلزا تعیین شد. سپس نمونه مورد نظر داخل ظرفی با حجم مشخص قرار گرفت و بقیه فضاهای خالی ظرف توسط دانه‌های کلزا پر و توزین شد. در نهایت، دانسیته لوز طبق روابط زیر محاسبه گردید(AACC, 2000).

(۱) (وزن ظرف —وزن کیک) —وزن کل=وزن کلزا

(۲) دانسیته کلزا/وزن کلزا=حجم کلزا

(۳) حجم کلزا−حجم ظرف= حجم لوز

(۴) حجم لوز / وزن لوز = دانسیته لوز

ارزیابی بافت

برای تعیین میزان سفتی بافت، از دستگاه بافت‌سنج (Hounsfield H512S، آلمان) استفاده گردید. حداکثر نیروی لازم برای نفوذ یک پروب با انتهای استوانه‌ای (۲ سانتی‌متر قطر در ۲/۳ سانتی‌متر ارتفاع) و با سرعت ۶۰ میلی‌متر در دقیقه از مرکز لوز، به‌عنوان شاخص سفتی محاسبه گردید (Ronda *et al.*, 2005).

ارزیابی رنگ

جهت بررسی رنگ از روش پردازش تصویر استفاده شد. ابتدا قطعه‌ای به ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر از لوز تهیه گردید و به‌وسیله اسکنر (HP، G3110) تصویربرداری شد. تصاویر با فرمت jpg و در فضای رنگی RGB ذخیره شدند. تصاویر گرفته‌شده توسط نرم‌افزار Image J و برنامه آن (Color-Space-Converter) از فضای رنگی RGB به *L، *a، *b تبدیل گردیدند (Salehi & Kashaninejad, 2016).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش، برای بررسی تأثیر متغیرهای مستقل شامل درصد جایگزینی استویا با شکر (A)، درصد جایگزینی پودر پسته با آزی‌وش (B) و دمای پخت (C) بر پاسخ‌ها (دانسیته، سفتی بافت) از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت نسخه شماره ۹ و روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با میزان **α** برابر ۲ و ۶ نقطه مرکزی استفاده شد. کلیه بررسی‌های آماری و معنی‌داری و یا غیرمعنی‌داری داده‌ها در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. جست‌وجوی شرایط عملیاتی بهینه جهت دستیابی به پاسخ‌های مطلوب موردنظر با استفاده از فن بهینه‌سازی عددی انجام شد. در روش RSM برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف شد که آثار اصلی و متقابل متغیرها را بر روی هر فاکتور بیان می‌کند، مدل چند متغیره به‌صورت زیر است. در معادله (۱)، Y پاسخ پیش‌بینی‌شده، β_0 ضریب ثابت، β_a، β_b، β_c اثرات خطی، β_{aa}، β_{bb}، β_{cc} اثرات مربعی و β_{ab}، β_{ac}، β_{bc} اثرات متقابل می‌باشند.

$$Y=\beta 0+\beta aA+\beta bB+\beta cC+\beta aaA^2+\beta bbB^2+\beta ccC^2+\beta abAB+\beta acAC+\beta bcBC) \quad (۵)$$

پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار، مدلی پیشنهاد شد که دارای انحراف استاندارد (S.D.) و مجموع مربعات باقی‌مانده برآورد شده کم و ضریب همبستگی (R^2) بالا باشد. آنالیز نتایج به‌دست‌آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 9.1 صورت گرفت. به‌منظور مقایسه میانگین‌ها و بررسی معنی‌دار بودن اختلاف بین آنها، از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ($p<0.05$) استفاده گردید.

نتایج و بحث

به‌منظور به‌دست آوردن مدل تجربی برای پیش‌بینی متغیرهای پاسخ (دانسیته و سفتی بافت) ابتدا رابطه‌های چندجمله‌ای شامل خطی، دو فاکتوریلی (تعاملی)، درجه دو و درجه سه بر داده‌های به‌دست‌آمده از این پاسخ برازش داده شدند و سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفتند. ازنظر آماری مدلی مناسب است که آزمون عدم برازش آن معنی‌دار نبوده و دارای بالاترین ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح‌شده باشد. نتایج نشان داد مدل مناسب برای پیشگویی تغییرات دانسیته و سفتی بافت در اثر متغیرهای مورد بررسی (جایگزینی استویا با شکر، جایگزینی پودر پسته با آزی‌وش، دمای پخت)، به‌ترتیب، مدل خطی درجه دو و درجه سه با ضریب تعیین ($R^2>0.90$) است. نتایج مربوط به تجزیه واریانس برای متغیرهای پاسخ در جدول ۳ آورده شده است.

دانسیته

جدول ۳، معنی‌داری اثر مستقل هر یک از متغیرها (جایگزینی شکر با استویا، جایگزینی پودر پسته با آزی‌وش، دمای پخت)، اثر متقابل جایگزینی استویا و آزی‌وش، اثر متقابل جایگزینی آزی‌وش و دمای پخت، اثر درجه دوم جایگزینی استویا و اثر درجه دوم دمای پخت را بر دانسیته نشان می‌دهد ($p<0.05$ و یا $p<0.001$). بر اساس رابطه ۱، افزایش درصد جایگزینی استویا، درصد جایگزینی آزی‌وش و دمای پخت باعث افزایش دانسیته شد. افزایش دانسیته در مقادیر بالای استویا نیز مشاهده گردید. در نمودار سطح پاسخ (شکل ۱ الف)، اثر متقابل جایگزینی استویا و آزی‌وش بر تغییرات دانسیته نشان داد که با افزایش درصد جایگزینی آزی‌وش دانسیته افزایش یافت. با کاهش درصد جایگزینی استویا، دانسیته ابتدا کاهش و پس از آن افزایش پیدا کرد. در شکل (۱ ب) مشاهده شد که با افزایش درصد استویا دانسیته افزایش یافت، و روند تغییرات دانسیته با کاهش دما ابتدا کاهشی و سپس افزایشی بود. بر طبق شکل (۱ ج)، کاهش درصد آزی‌وش و دمای پخت منجر به کاهش دانسیته شد.

رابطه ۱ بر اساس فاکتورهای کد دار شده:

$$\text{Density} = 1.13 + 0.019(A) + 0.00545(B) + 0.00865(C) - 0.00795(A*B) - 0.00455(A*C) + 0.031(B*C) + 0.035(A^2) + 0.013(C^2) \quad (۶)$$

دانسیته یکی از خواص بیوفیزیکی مواد غذایی تلقی می‌شود که می‌تواند بافت و احساس دهانی را تحت تأثیر قرار دهد. ترکیبات فرمولاسیون و شرایط فرآوری تأثیر بسیار زیادی بر دانسیته محصول نهایی می‌گذارد (Berk, 2008). گیاه آزی‌وش منبع غنی از فیبرهای رژیمی و صمغ‌های با خاصیت جذب آب بالا می‌باشند (Yamazaki *et al.*, 2009). لذا، تغییر دانسیته تیمارها در اثر جایگزینی پودر پسته با آزی‌وش را می‌توان به تغییر ترکیبات فرمول مخلوط نهایی نسبت داد. Warner و Inglett (۱۹۹۷)، با جایگزین شدن ساکارز توسط استویوزید و به‌کارگیری صمغ کتیرا در فرمولاسیون شیرینی قطاب تعداد، سطح، قطر، و ضریب گردی حفرات کاهش پیدا کرده است؛ به‌طوری‌که بیشترین قطر و سطح حفرات و همین‌طور تخلخل مربوط به تیمار کتیرای بالا بود. بیشترین میزان ضریب گردی و تعداد سلولهای هوایی مربوط به

تیمار شاهد بود. احتمالا با جایگزینی ساکارز به‌وسیله استویوزید و افزایش کتیرای فرمولاسیون، ویسکوزیته ایجاد شده کمتر از ویسکوزیته ایجاد شده در نمونه شاهد بوده و به همین دلیل سلول‌های هوایی ایجاد شده به یکدیگر متصل شده و موجب افزایش قطر و سطح حفرات شده است (قندهاری و همکاران، ۲۰۱۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر جایگزینی استویا و آزی‌وش بر متغیرهای پاسخ (دانسیته و سفتی بافت)

منبع تغییرات	دانسیته (گرم برسانتی‌متر مکعب)			سفتی (نیوتون)		
	درجه آزادی	مجموع مربعات	Prob>F	درجه آزادی	مجموع مربعات	Prob>F
مدل	۸	۰/۰۲	<۰/۰۰۰۱***	۶	۵/۸۵×۱۰$^{-۳}$	<۰/۰۰۰۱***
A	۱	۲/۴۷×۱۰$^{-۳}$	<۰/۰۰۰۱***	–	–	–
B	۱	۱/۶۷×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۱۳۷***	–	–	–
C	۱	۹/۸۶×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۰۰۵***	–	–	–
AB	۱	۳/۵۵×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۰۳۶***	–	–	–
AC	۱	۱/۱۶×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۲۴۹***	۱	۵/۸۷×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۰۳**
BC	۱	۵/۴۶×۱۰$^{-۳}$	<۰/۰۰۰۱***	۱	۵/۴۶×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۰۳۷***
A^2	۱	۱/۱۰×۱۰$^{-۲}$	<۰/۰۰۰۱***	–	–	–
B^2	–	–	–	–	–	–
C^2	۱	۳/۱۶×۱۰$^{-۳}$	<۰/۰۰۰۱***	–	–	–
A^2B	–	–	–	۱	۱/۵۹×۱۰$^{-۳}$	<۰/۰۰۰۱***
A^2C	–	–	–	۱	۳/۶۵×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۱۱۷**
A^3	–	–	–	۱	۱/۶۴×۱۰$^{-۳}$	<۰/۰۰۰۱***
B^3	–	–	–	۱	۱/۷۸×۱۰$^{-۳}$	<۰/۰۰۰۱***
C^3	–	–	–	–	–	–
باقی‌مانده	۴	۳/۷۹×۱۰$^{-۵}$	–	۱۰	۳/۸۶×۱۰$^{-۴}$	–
عدم برازش	۲	۳/۵۹×۱۰$^{-۵}$	۰/۵۲۲۸^{ns}	۸	۳/۰۹×۱۰$^{-۴}$	۰/۵۸۶۲^{ns}
خطای کل	۲	۲/۰۰×۱۰$^{-۶}$	–	۲	۷/۴۶×۱۰$^{-۵}$	–
کل	۱۲	۲/۰۰×۱۰$^{-۶}$	–	۱۶	۶/۲۴×۱۰$^{-۳}$	–

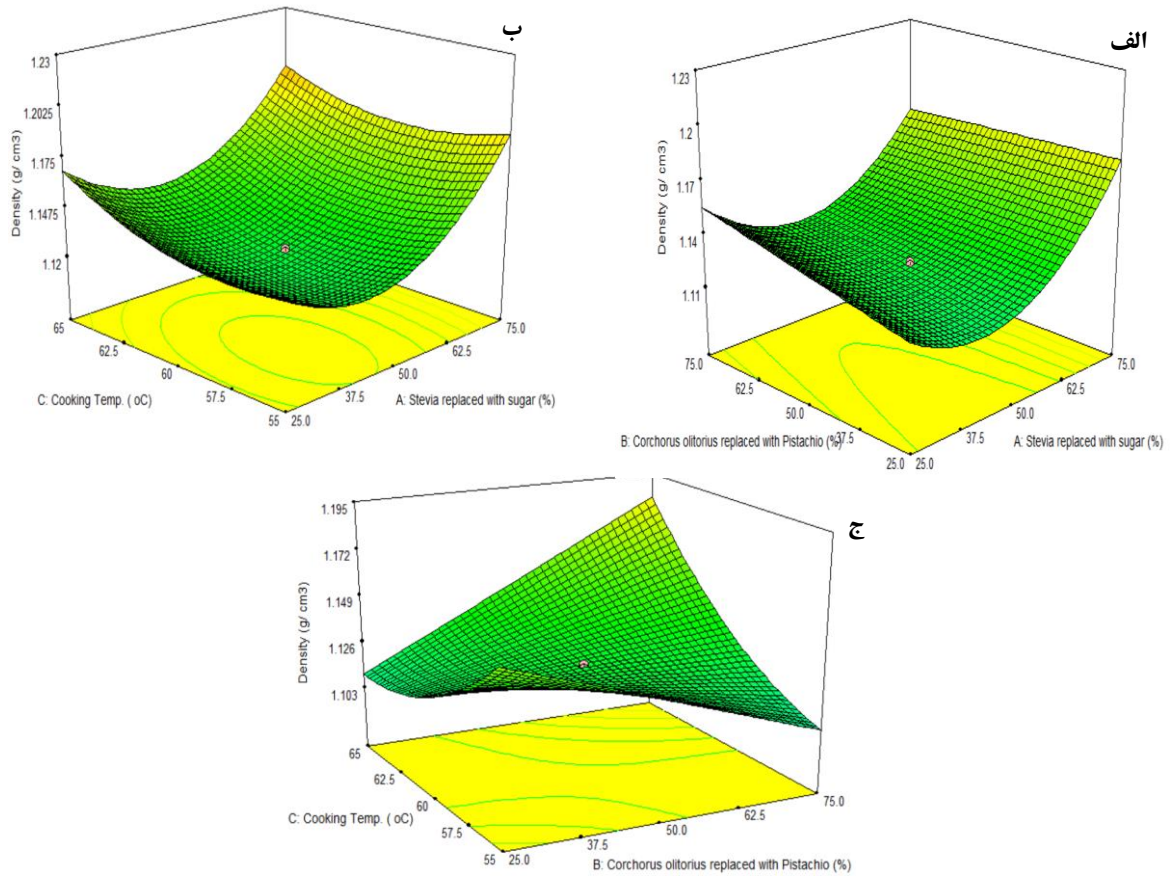
خطوط تیره در جدول نشان‌دهنده بی‌تأثیر بودن متغیر مربوطه در پاسخ‌های اندازه‌گیری شده است، ***: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۱ درصد، **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

با بررسی اثر جایگزینی چربی و آرد با فیبر بتاگلوکان بر خواص نوعی دیده شد که این جایگزینی باعث افزایش دانسیته و چسبندگی بافت کیک شد (Gomez *et al.*, 2010). Gilbert و همکاران (۲۰۰۲)، در تحقیق خود نشان دادند که آرد کتان سبب تغییر حجم مخصوص و دانسیته می‌شود. این محققان اذعان داشتند که حضور ترکیبات فیبری در آرد کتان موجب کاهش حجم مخصوص و افزایش دانسیته در نمونه‌های حاوی ۲۰٪ و ۳۰٪ آرد کتان شده ولی در نمونه‌های حاوی ۱۰٪ آرد کتان به دلیل پایین‌تر بودن مقدار ترکیبات فیبری تغییری در حجم مخصوص ایجاد نشده است. Gomez و همکاران (۲۰۱۰) نیز در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر میزان فیبر، اندازه ذرات و نوع آن بر کیفیت کیک لایه‌ای پرداختند و گزارش نمودند که اضافه کردن فیبرهای نامحلول سبب افزایش دانسیته کیک می‌شود. اثرات جایگزینی ساکارز و گلوکز با دو نوع شیرین‌کننده رژیمی سوربیتول و ایزومالت بر ویژگی‌های بافتی گز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که با افزایش میزان سوربیتول نرمی نمونه‌ها و دانسیته آنها افزایش یافت (امام‌جمعه و همکاران، ۱۳۸۹).

سفتی بافت

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) و رابطه ۲ اثر متقابل جایگزینی استویا با شکر و دمای پخت، اثر متقابل جایگزینی آزی‌وش با پسته و دمای پخت، اثر متقابل درجه دوم استویا با شکر و درجه اول

جایگزینی آزی‌وش با پسته، اثر متقابل درجه دوم جایگزینی استویا با شکر و درجه اول دمای پخت، اثر درجه سوم جایگزینی استویا با شکر و اثر درجه سوم جایگزینی آزی‌وش با پسته بر سفتی بافت معنی‌دار بود ($p<0.05$ و یا $p<0.001$).



شکل ۱- نمودار سطح پاسخ اثر متقابل جایگزینی استویا با شکر و جایگزینی آزی‌وش با پسته (الف)، اثر متقابل جایگزینی استویا با شکر و دمای پخت (ب)، اثر متقابل جایگزینی آزی‌وش با پسته و دمای پخت (ج) بر دانسیته لوز رژیمی.

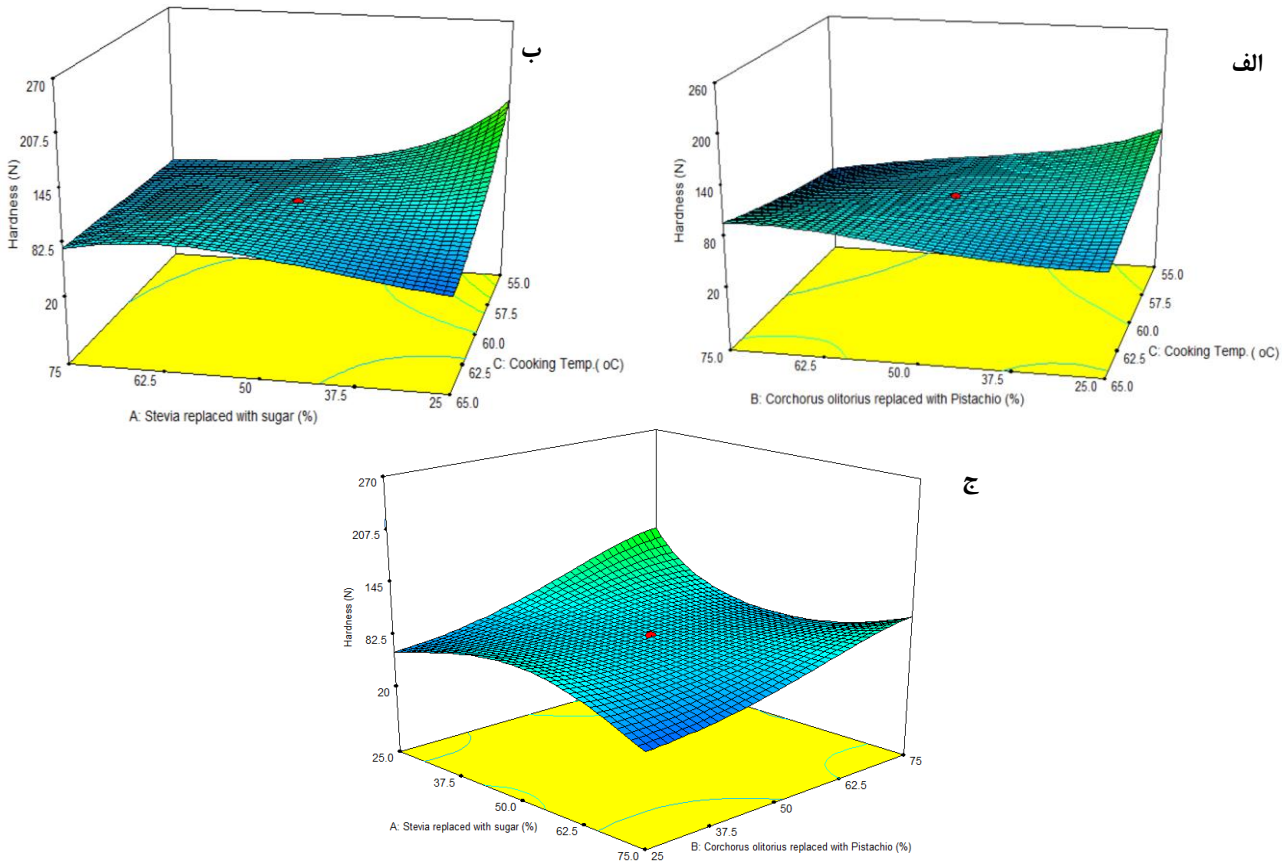
نتایج شکل (۲ الف) نشان دهد که اثر متقابل درصد جایگزینی آزی‌وش با پسته و دمای پخت معنی‌دار است و در سطوح پایین جایگزینی آزی‌وش با پسته با کاهش دمای پخت سختی افزایش پیدا کرده و در دمای پایین و بالای پخت با افزایش درصد جایگزینی آزی‌وش با پسته، میزان سختی به‌ترتیب کاهش و افزایش معنی‌دار پیدا کرده است. شکل (۲ ب) نشان داد که اثر متقابل دو متغیر جایگزینی استویا با شکر و دمای پخت معنی‌دار است به‌طوری‌که در سطوح پایین جایگزینی استویا با شکر با کاهش دمای پخت سختی افزایش پیدا کرده و در دمای پایین و بالای پخت با افزایش درصد جایگزینی استویا با شکر، میزان سختی به‌ترتیب کاهش و افزایش معنی‌دار پیدا کرده است. شکل (۲ ج) نشان داد که اثر متقابل جایگزینی استویا با شکر و جایگزینی آزی‌وش با پسته معنی‌دار است و در هر سطح جایگزینی استویا با شکر، با افزایش درصد جایگزینی آزی‌وش سختی افزایش معنی‌دار نشان داده است و در سطوح پایین جایگزینی آزی‌وش با پسته، با افزایش جایگزینی استویا با شکر سختی ابتدا افزایش و سپس کاهش معنی‌دار نشان داده است و در سطوح بالای جایگزینی آزی‌وش با پسته، با افزایش درصد جایگزینی استویا با شکر، میزان سختی ابتدا کاهش و سپس افزایش معنی-دار را نشان داده است.

رابطه ۷ بر اساس فاکتورهای کددار شده:

$$Hardness(N)^{-0.03} = 0.88 - 0.00856(A*C) - 0.00826(B*C) - 0.015(A^2*B) + 0.00676(A^2*C) + 0.00347(A^3) + 0.00373(B^3) \quad (۷)$$

عوامل متعددی همچون نسبت شکر به شربت گلوکز، رطوبت، ماده خشک، و نوع و کمیت ترکیبات فرمولاسیون (پروتئین و چربی) به‌شدت بر سفتی بافت مؤثر هستند (Chandan & Kilara, 2010).

بنابر این، تغییر سفتی تیمارها به‌واسطه جایگزینی پودر پسته با آزی‌وش می‌تواند به دلیل حضور مقادیر بالای پروتئین، فیبر و چربی در این گیاه باشد (Islam, 2013). به‌علاوه، آزی‌وش به‌علت دارا بودن مقادیر بالای ترکیبات هیدروکلوئیدی (Yamazaki *et al.*, 2009)، تأثیر قابل توجهی بر سفتی بافت گذاشت (Poonnakasem *et al.*, 2015).



شکل ۲- نمودار سطح پاسخ اثر متقابل جایگزینی آزی‌وش با پسته و دمای پخت (الف)، اثر متقابل جایگزینی استویا با شکر و دمای پخت (ب) و اثر متقابل جایگزینی استویا با شکر و جایگزینی آزی‌وش با پسته بر سفتی بافت.

Lee و Bernnand (۲۰۰۵) گزارش دادند که نیروی موردنیاز برای فشردن نوعی کوکی با افزایش ایزوله پروتئین سویا تا حدود ۱۵ درصد افزایش یافت. عوض‌صوفیان و همکاران (۱۳۹۳)، تأثیر کنجاله بادام شیرین و صمغ زانتان را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خمیر و کیک فاقد گلوتن حاصل از آرد برنج بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزودن صمغ زانتان میزان سفتی، رطوبت و ویسکوزیته تمام نمونه‌ها افزایش یافت. استویا با تغییر دانسیته محصول نهایی موجب تغییر سفتی بافت لوز می‌گردد. با افزایش میزان کتیرا در قطاب‌های حاوی استویوزید به‌طور معنی‌داری میزان سختی کاهش می‌یابد. در واقع از یک طرف جایگزینی ساکارز با استویوزید باعث سختی بافت شده و از طرف دیگر حضور کتیرا موجب کاهش سختی بافت قطاب شد. این موضوع را می‌توان به علت تشکیل شبکه و حفظ رطوبت در بافت شیرینی سنتی قطاب به علت وجود گروههای هیدروکسیل موجود در صمغ کتیرا نسبت داد، که در نهایت منجر به کاهش سختی بافت شده است(قندهاری و همکاران، ۲۰۱۳). بررسی اثر جایگزینی شکر با مخلوط شیرین‌کننده‌های سوکرالوز و مالتودکسترین-ایزومالت در کوکی شکلاتی نشان داد که با افزایش درصد جایگزینی شکر، قطر کوکی‌ها و سفتی بافت کاهش یافت (Harison & Branlett, 2012).

بهینه‌یابی

شرایط بهینه برای تولید لوز رژیمی غنی‌شده با کمک استویا و آزی‌وش با استفاده از تکنیک بهینه‌یابی عددی صورت گرفت. در جدول ۴ دامنه مقادیر به‌دست آمده برای فرایند بهینه‌یابی و هدف آن مشخص شده است.

جدول ٤- مقادیر مورد استفاده برای بهینه‌یابی و ویژگی و یا هدف آن

متغیر مستقل و پاسخ	حد پایین	حد بالا	هدف
جایگزینی استویا با شکر (٪)	۲۵	۷۵	is in range
جایگزینی آزی‌وش با پودر پسته (٪)	۲۵	۷۵	is in range
دمای پخت (°C)	۵۰	۶۵	is in range
دانسیته (g/cm^3)	۱/۱۲۳	۱/۲۲۸	Minimize
سفتی بافت (N)	۲۶/۵۲	۲۶۵/۸۴	Minimize

مقایسه نمونه بهینه و نمونه شاهد در طول دوره نگهداری

شرایط بهینه برای تولید لوز رژیمی غنی‌شده شامل بهینه ۱: ٪۲۵ استویا، ٪۲۵ آزی‌وش و دمای پخت ۶۵ درجه سانتی‌گراد و بهینه ۲: ٪۵۵ استویا، ٪۷۵ آزی‌وش و دمای پخت ۵۵ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد گردید.

ویژگی‌های کیفی و فیزیکی

رطوبت نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد در طی دوره نگهداری افزایش داشته است ($p<0.05$). باگذشت زمان در طول دوره نگهداری (۴۵ روز)، درصد رطوبت نمونه بهینه ۱ تغییر چشمگیری نکرده است ($p>0.05$). بررسی و مقایسه ویژگی‌های کیفی نمونه بهینه و نمونه شاهد به‌ترتیب بیانگر افزایش و کاهش، درصد خاکستر و قند کل نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد می‌باشد ($p<0.05$). محتوی پروتئین در نمونه بهینه ۱ نسبت به نمونه بهینه ۲ و نمونه شاهد به‌طور قابل توجهی بالاتر است ($p<0.05$). درصد چربی نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد تغییر محسوسی نکرده است ($p>0.05$)، (جدول ۵). افزایش دانسیته نمونه بهینه ۱ نسبت به نمونه شاهد تنها در روز ۳۰ نگهداری مشاهده می‌شود ($p<0.05$). افزایش دانسیته نمونه بهینه ۲ نسبت به نمونه شاهد در طول نگهداری مشهود است ($p<0.05$). دانسیته نمونه‌های بهینه و نمونه شاهد طی دوره نگهداری تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد ($p>0.05$).

مقادیر بالای فیبرهای رژیمی و صمغ‌ها در آزی‌وش (Musa & Ogbadoyi, 2012)، باعث افزایش درصد رطوبت نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد گردیده است.در مطالعه Uysal و همکاران (۲۰۰۷)، اثر جایگزینی آرد گندم با منابع مختلف فیبر رژیمی (سیب، لیمو، سبوس گندم) بدون استفاده از آنزیم همی سلولاز و با استفاده از این آنزیم را بر ویژگی‌های کیفی نوعی شیرینی مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده کردند که افزایش میزان فیبر باعث افزایش میزان رطوبت در محصول نهایی می‌شود. Conforti و همکاران (۲۰۰۱)، گزارش کردند که مالتودکسترین و شربت ذرت با فروکتوز بالا خاصیت جاذب الرطوبه داشته، آب را جذب و به آن متصل می‌شود و سبب افزایش میزان مواد جامد محلول و ویسکوزیته می‌شود. این محققین گزارش کردند که محتوی رطوبت نمونه‌های کیک حاوی ٪۱۰۰-۲۵ از شربت ذرت با فروکتوز بالا تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

گیاه آزی‌وش حاوی مقادیر بالای پروتئین (۵-۶ درصد) و اسید آمینه‌ها می‌باشد (Islam, 2013). از این‌رو، حضور آن در فرمولاسیون لوز موجب افزایش محتوی پروتئین شده است. از سوی دیگر، پسته نیز منبع غنی از پروتئین می‌باشد (Okay, 2002)، لذا جایگزینی آن با آزی‌وش در مقادیر بالا موجب کاهش محتوی پروتئین لوز گردیده است. Noor Aziah و komathi (۲۰۰۹)، اذعان داشتند که افزودن آرد نخود و آرد ماش به آرد گندم در فرمولاسیون کوکی موجب افزایش محتوی پروتئین، نشاسته مقاوم و پذیرش کلی نهایی محصول می‌گردد. Islam (۲۰۱۳)، گزارش نمود که گیاه آزی‌وش حاوی ۲-۳ درصد خاکستر است. در نتیجه، افزایش درصد خاکستر لوز بهینه نسبت به نمونه شاهد به همین امر نسبت داده می‌شود. کاهش درصد قند کل نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد را می‌توان به کاهش میزان ساکارز لوز رژیمی نسبت داد. Butt و همکاران (۲۰۰۲)، با جایگزینی ساکارز با مانیتول، سوربیتول و فروکتوز و بررسی تأثیر این جایگزینی بر خواص کیک اعلام کردند که استفاده از این شیرین کننده‌های رژیمی منجر به کاهش کالری در کیک شده و با افزایش درصد جایگزینی ساکارز با این قندها از میزان قند کل و کالری محصول کاسته می‌شود.

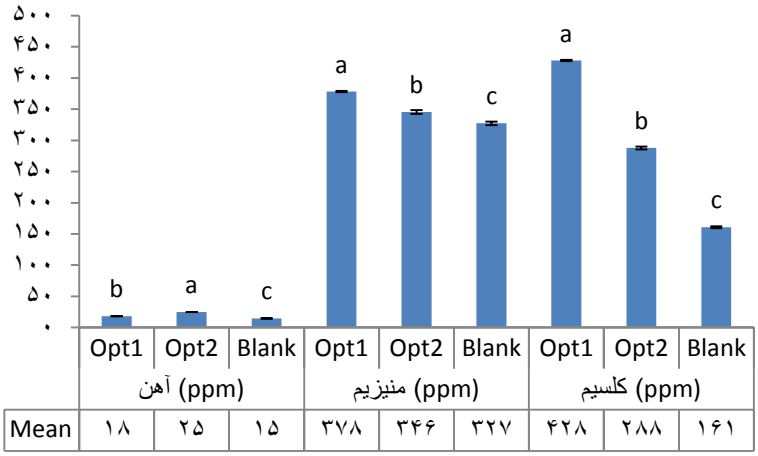
نتایج شکل ۳ نشان می‌دهد که مقادیر منیزیم، کلسیم و آهن نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد بالاتر است ($p<0.05$). با افزایش درصد جایگزینی استویا و آزی‌وش از مقدار منیزیم و کلسیم به‌طور معنی‌داری کاسته می‌شود ($p<0.05$). در حالیکه با افزایش درصد جایگزینی استویا و آزی‌وش مقدار آهن افزایش پیدا کرده است ($p<0.05$). بر اساس شواهد موجود، گیاه آزی‌وش منبع غنی از عناصر معدنی، به‌ویژه منیزیم و کلسیم می‌باشد (Olowolaju, 2017). بنابر این، استفاده از آن در فرمول لوز تأثیر چشم‌گیری در افزایش عناصر معدنی مذکور داشته است.

جدول ۵- مقایسه ویژگی‌های کیفی و فیزیکی نمونه‌های بهینه و نمونه شاهد در طول دوره نگهداری

نمونه	روز	رطوبت (٪)	خاکستر (٪)	پروتئین (٪)	چربی (٪)	قند (٪)	دانسیته (g/cm³)
بهینه ۱	۰	۵/۵۸±۰/۰۵۵^{d}	۴/۰۸±۰/۰۳۲^{b}	۴/۴۷±۰/۰۲۷^{a}	۲۳/۸۷±۱/۳۴۴^{a}	۱۲/۱۶±۰/۴۳۱^{c}	۱/۲۷۷±۰/۰۸۱^{cdef}
	۱۵	۵/۵۲±۰/۱۱۳^{d}	–	-	-	-	۱/۳۱۷±۰/۰۸۳^{bcde}
	۳۰	۵/۴۴±۰/۳۳۶^{d}	–	–	–	–	۱/۳۸۷±۰/۰۱۵^{abc}
	۴۵	۵/۴۱±۰/۱۰۵^{d}	-	–	–	–	۱/۳۳۰±۰/۰۴۵^{abcd}
بهینه ۲	۰	۱۱/۱۶±۰/۲۲۶^{b}	۴/۲۵±۰/۰۲۷^{a}	۴/۳±۰/۰۸۳^{b}	۲۲/۹۶±۲/۰۰۳^{a}	۱۷/۲۹±۰/۱۷۱^{b}	۱/۴۴۰±۰/۱۵۶^{abc}
	۱۵	۱۱/۴۷±۰/۲۰۱^{b}	–	-	-	-	۱/۴۸۰±۰/۰۹۵^{ab}
	۳۰	۱۲/۰۳±۰/۶۳۰^{a}	–	–	–	–	۱/۵۱۰±۰/۱۴۴^{a}
	۴۵	۱۱/۴۱±۰/۶۶۷^{b}	-	–	–	–	۱/۵۱۰±۰/۱۴۴^{a}
شاهد	۰	۶/۹۰±۰/۱۱^{c}	۱/۴۲±۰/۰۳۳^{c}	۴/۲±۰/۰۵۴^{b}	۲۵/۱۴±۲/۴۰۴^{a}	۲۳/۶۷±۱/۰۱۵^{a}	۱/۱۴۳±۰/۰۸۶^{ef}
	۱۵	۱/۲±۰/۰۳۰^{e}	–	-	-	-	۱/۲۰۳±۰/۰۳^{def}
	۳۰	۷/۱۳±۰/۳۶^{c}	–	–	–	–	۱/۱۲۰±۰/۱۰۵^{f}
	۴۵	۷/۰۷±۰/۱۲۴^{c}	-	–	–	–	۱/۱۸۰±۰/۰۵۵^{def}

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است ($p<0.05$)

.



شکل ۳- مقایسه ویژگی‌های کیفی نمونه‌های بهینه و نمونه شاهد.

ویژگی‌های بافتی

ارزیابی بافت نمونه‌ها نشان می‌دهد که روند تغییرات سفتی بافت در نمونه بهینه ۲ نسبت به نمونه بهینه ۱ و نمونه شاهد کاهشی می‌باشد. کاهش سفتی نمونه بهینه ۱ تنها در روز ۴۵ نگهداری مشاهده می‌گردد. میزان سفتی در نمونه بهینه ۲ و نمونه شاهد طی نگهداری تغییر محسوسی نداشته است ($p<0.05$). میزان پیوستگی و ارتجاعیت نمونه‌های بهینه و نمونه شاهد در طی دوره نگهداری تغییر محسوسی نکرده است ($p>0.05$). کاهش چسبندگی در نمونه بهینه ۱ نسبت به نمونه بهینه ۲ و نمونه شاهد در روزهای صفر و ۴۵ نگهداری مشاهده می‌شود ($p<0.05$). چسبندگی نمونه بهینه ۲ و نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری را در طول دوره نگهداری نشان نمی‌دهد ($p>0.05$). کاهش قابلیت جویدن نمونه بهینه ۲ نسبت به نمونه بهینه ۱ و نمونه شاهد مشهود است ($p<0.05$). قابلیت جویدن نمونه بهینه ۱ نسبت به نمونه شاهد افزایش پیدا کرده است ($p<0.05$). بر اساس یافته‌های به‌دست آمده در پژوهش حاضر، می‌توان نتیجه گرفت که تغییر ویسکوزیته مخلوط در اثر تغییر نوع و مقدار شیرین‌کننده یعنی جایگزینی استویا با شکر (Lee *et al.*, 2008)، هم‌چنین افزایش ویسکوزیته نسبی مخلوط در اثر وجود مقادیر قابل‌توجه ترکیبات فیبری و صمغ‌ها در آزی‌وش (Guarda *et al.*, 2004)، توانسته تأثیر به‌سزایی بر بافت لوز بگذارد. تغییرات بافت لوز در طول مدت‌زمان نگهداری، می‌تواند ناشی از آرایش مجدد پلی‌ترها در ناحیه آموروف، کاهش میزان رطوبت و یا توزیع رطوبت میان ناحیه آموروف و بلوره‌ای باشد (Chandan & Kilara, 2010).

جدول ٦- مقایسه ویژگی‌های بافتی نمونه‌های بهینه و نمونه شاهد در طول دوره نگهداری

نمونه	روز	سختی (N)	پیوستگی (N. S)	چسبندگی (-)	فنریت (-)	صمغیت (-)	قابلیت جویدن (-)
بهینه ۱	۰	۷۰/۹±۷/ ۰۳۲^{ab}	۰/۳۲۶±۰/۰۰۷۷^{ab}	۰/۰۰۲±۰/۰۰۳^{e}	۰/۲۷۹±۰/۰۰۴۶^{bcd}	۲۳/۱۱±۱/۹۹۰^{a}	۶/۴۶۱±۰/۶۰۲^{a}
	۱۵	۴۷/۰۹۳±۳/۳۳۷^{bcd}	۰/۲۷۹±۰/۰۱۳^{abcd}	۰/۰۰۰۱±۰/۰۰۰۱^{e}	۰/۳۳۹±۰/۰۳۲۶^{ab}	۱۲/۸۳±۵/۵۳۸^{cde}	۴/۱۷۳±۱/۸۰۴^{bc}
	۳۰	۸۱/۰۵±۱۳/۰۷۹^{a}	۰/۲۶۱±۰/۰۱۶^{abcd}	۰/۰۰۳۹±۰/۰۰۳۳^{de}	۰/۲۶۸±۰/۰۷۹^{cd}	۲۱/۲۷±۴/۶۰۹^{ab}	۵/۷۱۱±۱/۳۳۴^{ab}
	۴۵	۶۶/۲۹۳±۵/۲۷۸^{ab}	۰/۲۷۹±۰/۰۱۵^{abcd}	۰/۰۰±۰/۰۰^{e}	۰/۳۰۱±۰/۰۱۴۷^{abc}	۱۸/۴۶±۱/۰۱۵^{abc}	۵/۵۶۵±۱/۵۷۶^{ab}
بهینه ۲	۰	۱۴/۲۱±۱/۱۲۸^{ef}	۰/۲۴۸±۰/۰۱۱۲^{bcd}	۰/۰۱۱۳±۰/۰۰۴۹^{cd}	۰/۱۹۴±۰/۰۰۱۱^{e}	۳/۵۱۹±۰/۳۰۳^{g}	۰/۶۸۱±۰/۰۵۶^{e}
	۱۵	۹/۸۴۶±۰/۵۴۰^{f}	۰/۳۴۹±۰/۰۳۳۱^{a}	۰/۰۰۲۸±۰/۰۰۱۳^{de}	۰/۳۱۰±۰/۰۳۴^{abc}	۳/۴۳۲±۰/۳۳۳^{g}	۱/۰۷۳±۰/۲۱۸^{e}
	۳۰	۱۶/۲۶±۳/۲۴۶^{ef}	۰/۲۸۷±۰/۰۱۵۳^{abc}	۰/۰۰۳۷±۰/۰۰۱^{de}	۰/۲۵۲±۰/۰۱۱^{d}	۴/۶۴۲±۰/۸۰۵^{g}	۱/۱۶۳±۰/۱۵۲^{e}
	۴۵	۳۳/۵۵±۳/۷۷۴^{def}	۰/۲۶۱±۰/۰۸۲^{abcd}	۰/۰۲۳۳±۰/۰۰۲^{a}	۰/۲۹۳±۰/۰۳۴^{bcd}	۶/۷۲۹±۵/۴۱۴^{fg}	۱/۹۱۴±۱/۴۲۹^{de}
شاهد	۰	۶۲/۳۴۵±۴/۷۰۹^{abc}	۰/۲۶۳±۰/۰۳۸^{abcd}	۰/۰۱۴۵±۰/۰۰۴۳^{bc}	۰/۲۵۳±۰/۰۲۷^{d}	۱۶/۴۴±۳/۶۲۵^{bcd}	۴/۲۰۲±۱/۲۸۸^{bc}
	۱۵	۳۶/۴۷±۵/۶۰۳^{cde}	۰/۲۴۳±۰/۰۲۳۰^{bcd}	۰/۰۰۱۴±۰/۰۰۱۹^{e}	۰/۳۵۳±۰/۰۰۸^{a}	۸/۹۱۵±۱/۹۶۹^{efg}	۳/۱۵۲±۰/۷۲۹^{cd}
	۳۰	۵۴/۳۵±۱۸/۶۷^{bcd}	۰/۲۱۸±۰/۰۲۲^{cd}	۰/۰۰۳۲±۰/۰۰۳۴^{de}	۰/۳۲۱±۰/۰۳۴^{abc}	۱۱/۷۰±۳/۷۹۷^{def}	۳/۷۸۳±۱/۴۷۵^{bcd}
	۴۵	۵۸/۵۴±۱۶/۱۸^{abcd}	۰/۱۸۳±۰/۰۲۴^{d}	۰/۰۲۲±۰/۰۱۲۷^{ab}	۰/۳۱۸±۰/۰۵۹۹^{abc}	۱۰/۶۳±۲/۴۱۷^{def}	۳/۳۶۴±۰/۸۹۹^{cd}

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است ($p<0.05$).

رنگ

نتایج ارزیابی رنگ نشان می‌دهد که شاخص روشنی (L*) و شاخص زردی- آبی (b*) کاهش و شاخص سبزی- آبی (a*) افزایش می‌یابد ($p<0.05$). افزایش تغییرات رنگ (ΔE) در نمونه‌های بهینه نسبت به نمونه شاهد در طی دوره نگهداری مشاهده می‌شود ($p<0.05$). کاهش اندیس قهوه‌ای شدن نمونه بهینه ۱ نسبت به نمونه شاهد در روز ۱۵ نگهداری مشهود است ($p<0.05$). اندیس قهوه‌ای شدن نمونه بهینه ۲ نسبت به نمونه شاهد در روزهای صفر و ۳۰ نگهداری کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد ($p<0.05$).

تغییرات مشاهده‌شده در رنگ (L*، a*، b*) نمونه‌های لوز بهینه نسبت به نمونه شاهد را می‌توان به رنگ سبز گیاه آزی‌وش و وجود رنگیزه‌های طبیعی آن ازجمله کلروفیل و کاروتنوئیدها نسبت داد (Islam, 2013). کاهش اندیس قهوه‌ای شدن در اثر جایگزینی ساکارز با شیرین‌کننده‌های رژیمی بر روی محصولات مختلف در بررسی‌های متعددی گزارش‌شده است. نوری و همکاران (۱۳۹۰)، با جایگزینی ساکارز با غلظت‌های مختلف اریتریتول و الیگوفروکتوز در کیک اسفنجی به چنین نتیجه مشابهی دست یافتند. در پژوهشی Lu و همکاران (۲۰۱۰)، به بررسی اثر جایگزینی پودر چای سبز به‌جای آرد گندم در کیک اسفنجی پرداختند و گزارش نمودند که با افزایش

سطح پودر چای سبز، شاخص *L و *b مغز کیک کاهش و شاخص *a افزایش یافت که علت تغییر رنگ در کیک را به واکنش‌های اکسیداسیون بین رنگ‌دانه‌ها و ترکیبات پلی فنولی نسبت دادند. نتایج حاصل از تحقیقات Lothrop و همکاران (۲۰۱۲)، نشان داد که جایگزینی ساکارز با مخلوط اریتریتول و استویا در کیک اختلاف معنی‌داری را در رنگ تیمارهای رژیمی نسبت به نمونه شاهد ایجاد نمی‌کند.

جدول ۷- مقایسه رنگ نمونه‌های بهینه و نمونه شاهد در طول دوره نگهداری

نمونه	روز	L*	a*	b*	اندیس قهوه‌ای شدن	تغییرات رنگ
بهینه ۱	۰	۳۲/۹۹±۱/ ۷۰۳^{cde}	−۱۲/۷۳±۱/۰۸۴^{de}	۱۲/۲۶±۰/۲۹۱^{c}	۸/۵۵±۲/۴۸۵^{a}	۶/۷۲±۱/۷۵۸^{def}
	۱۵	۲۵/۵۲±۵/۱۰۱^{h}	−۱۲/۲۷±۲/۵۰۵^{bcd}	۹/۶۴±۱/۷۵۳^{fg}	۳/۲۰±۱/۵۴۷^{de}	۱۴/۲۳±۵/۸۹^{ab}
	۳۰	۳۵/۵۷±۱/۹۲۷^{bcd}	−۱۲/۴۷±۰/۷۱۴^{cd}	۸/۷۵±۰/۶۸۶^{g}	۱/۵۷±۰/۸۰۷^{e}	۸/۸۴±۰/۹۱۶^{de}
	۴۵	۳۲/۰۵±۱/۱۰۷^{def}	−۱۱/۶۹±۰/۵۸۲^{bc}	۱۰/۴۷±۰/۵۳۴^{ef}	۷/۲۱±۰/۲۹۳^{abc}	۹/۴۲±۱/۱۹۷^{cde}
بهینه ۲	۰	۲۷/۳۸±۰/۹۹۹^{gh}	−۱۴/۴۸±۰/۵۶۲^{ef}	۱۲/۰۷±۰/۹۴۷^{cd}	۵/۷۳±۲/۶۷۱^{bcd}	۱۰/۸۶±۱/۳۵۱^{bcd}
	۱۵	۲۸/۰۱±۳/۱۷۲^{fgh}	−۱۳/۸۲±۰/۷۶۵^{de}	۱۱/۲۵±۰/۶۸۷^{de}	۵/۱۴±۰/۹۳۰^{cd}	۱۰/۹۳±۳/۲۰۶^{d}
	۳۰	۳۰/۶۷±۳/۲۷۰^{efg}	−۱۰/۷۳±۰/۴۴۷^{ab}	۶/۵۶±۰/۲۰۹^{h}	۵/۰۸±۱/۲۰۵^{cd}	۱۳/۳۱±۱/۷۴۵^{abc}
	۴۵	۲۶/۲۳±۰/۶۷۸^{gh}	−۹/۷۷±۰/۴۰۷^{a}	۸/۵۸±۰/۲۷۱^{g}	۶/۵۸±۰/۹۰۹^{abc}	۱۵/۲۶±۰/۴۲۰^{a}
شاهد	۰	۳۷/۲۸±۰/۸۷۰^{bc}	−۱۷/۶۵±۰/۶۹۵^{hi}	۱۵/۵۴±۰/۳۲۹^{a}	۹/۲۸±۰/۶۴۹^{a}	۰/۹۴۳±۰/۰۹۲^{g}
	۱۵	۳۹/۵۶±۲/۷۳۵^{ab}	−۱۸/۴۶±۰/۱۱۵^{i}	۱۵/۶۵±۰/۴۰۶^{a}	۷/۰۲±۱/۷۰۷^{abc}	۲/۹۱۶±۱/۹۴۶^{fg}
	۳۰	۴۲/۶۱±۰/۷۵۹^{a}	−۱۶/۶۸±۰/۴۱۷^{gh}	۱۲/۷۱±۰/۴۶۲^{cd}	۱/۱۴±۰/۵۱۶^{e}	۶/۱۵۳±۰/۴۰۲^{ef}
	۴۵	۳۸/۳۱±۳/۵۴۱^{ab}	−۱۵/۹۵±۰/۷۷۰^{fg}	۱۴/۱۴±۰/۸۸۰^{b}	۸/۱۱±۱/۲۰۶^{ab}	۳/۷۱۶±۱/۴۴۴^{fg}

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است ($p<0.05$).

نتیجه‌گیری

افزایش درصد جایگزینی استویا با شکر و آزی‌وش با پسته باعث افزایش دانسیته تیمارها گردید. افزایش دمای پخت باعث افزایش دانسیته تیمارها شد. افزایش درصد جایگزینی استویا با شکر، باعث افزایش سفتی بافت شد. لوز رژیمی غنی‌شده، با فرمول بهینه یک شامل ۲۵ درصد استویا، ۲۵ درصد آزی‌وش با دمای پخت ۶۵ درجه سانتی‌گراد؛ و فرمول بهینه دو شامل ۵۵ درصد استویا، ۷۵ درصد آزی‌وش با دمای پخت ۵۵ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان نمونه بهینه به‌ترتیب با میزان سفتی ۴۹/۵۷ و ۶۴ نیوتن و دانسیته ۱/۱۳۶ و ۱/۱۲۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب معرفی گردید. استفاده از گیاه آزی-وش اثرات مثبتی بر ارزش تغذیه‌ای محصول نهایی از جنبه پروتئین، خاکستر و عناصر معدنی مانند آهن، منیزیم و کلسیم داشت. به‌طوری‌که میزان افزایش برخی عناصر در نمونه بهینه یک و دو نسبت به نمونه شاهد برای مثال آهن به‌ترتیب ۲۰ و ۶۷ درصد، برای منیزیم ۱۵/۶ و ۶ درصد و برای کلسیم ۱۶۶ و ۷۹ درصد مشاهده گردید.

منابع

AACC, 2000, American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the AACC, (10thed.)

Afshari, M., Boloryan, S, 2014, Optimization of sugar-free sweetened formulation using authorized additives to enhance its qualitative and nutritional properties. *Journal of Food Industry Research*, 22 (3): 24-34(in Persian)

Antia, B.S., Akpan, E.J., Okon, P.A., Umoren, I.U, 2006. Nutritive and anti-nutritive evaluation of sweet potatoes (Ipomoea batatas, L) leaves. *Pakistan Journal of Nutrition*, 5: 166-168

Avaz Sofyan, A., Aalami, M., Sadeghi Mahonak, A.R., Ghorbani, M., Ziaeefar, A.M, 2014, Using sweet almond meal and xanthan gum to make gluten free cake. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 3(2): 185-196 (in Persian)

Aziah, N., Komathi, A, 2009, Acceptability attributes of crackers made from different types of composite flour. *International Food Research Journal*, 16, 479-482

Berk, Z, 2008, Food process engineering and technology, Academic press.

Butt, M.S., Pasha, I., Tufail, F., Anjum, F.M, 2002, Use of low absorptive sweeteners in cakes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 4(2): 249-251

Chandan, R.C., Kilara, A, 2010, Dairy ingredients for food processing. John Wiley & Sons. Chemistry, 90: 549-555

Conforti, F.D., Nee, P., Archilla, L, 2001, The synergistic effects of maltodextrin and high-fructose corn sweetener 90 in a fatreduced muffin. *International Journal of Consumer Studies*, 25(1): 3-8

Devatkal, S., Mendiratta, S.K., Kondaiah, N., Sharma, M.C., Anjaneyulu, A.S.R, 2004, Physiochemical, functional and microbiological quality of buffalo liver. *Journal of Meat Science*, 68(1): 79-86(in Persian)

Emam Jome, Z., Qahiri R., Asadi, G.M, 2010, The effect of replacement of sucrose and glucose with two types of dietary sweetener on tissue properties and microstructure of Gaz. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 6 (2):130-135(in Persian)

Gao, J., Brennan, M.A., Mason, S.L., Brennan C, 2017, Effects of Sugar Substitution with (*Stevianna*) on the Sensory. *Journal of Food Quality*, 2: 1-11

Ghandehari Yazdi, A.P., Hojatoleslami, M., Keramat, J., Jahadi, M, 2013, Effect of sucrose replacement with stevia diet sweetener and addition of Tragacanth gum rheological properties of structural Ghottab traditional confectionery. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 6(3): 97-106

Gilbert, J.C, 2002, Evaluation of flax and rice bran on the physical and chemical properties of bread for achieving health benefits. MSc Thesis, Purdue University, West Lafayette.

Gomez, M., Moraleja, A., Oliete, B., Ruiz, E., Caballero, P.A, 2010, Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. Lebensmittel-Wissenschaft & Technologi-*Food Science and Technology*, 43: 33-38

Guarda, A., Rosell, C.M., Benedito, C., Galotto, M.J, 2004, Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Journal of Food Hydrocolloids*, 18: 241-247

Harison, J., Branlett, A, 2012, Functionaly ofsucralose-maltodextrin- esomalt belends in reduced in sugar chocolate chip cookies. *Journal of Food nutrition science*, 3: 58

Idirs, S., Yisa, J., Ndamitso, M.M, 2009, Nutritional composition of *Corchorus olitorius* leaves. *Animal Production Research Advances*, 5(2), 83-87

Islam, M, 2013, Biochemistry, Medicinal and Food values of Jute (*Corchorus capsularis* L. and C. olitorius L. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, 2(11): 35-44

Jain, P., Kachhwaha, S., Kothari, S.L, 2009, Improved Micropropagation Protocol and Enhancement in Biomass and Chlorophyll Content in stevia Rebaudiana (Bert.) Bertoni byusing high copper levels in the culture medium. *Scientia Horticulturae*, 119: 315-319.

Lee, C.C., Wang, H.F., Lin, S.D, 2008, Effect of isomaltooligosaccharide syrup on quality characteristics of sponge cake. *Cereal Chemistry*, 85(4): 515-521

Lee, K., Brennand, C.P, 2005, Physico-chemical, textural and sensory properties of a fried cookie system containing soy protein isolate. *International Journal of Food Science and Technology*, 40: 501-508

Lee, K.Y., Park, S.Y., Lee, H.G, 2011, Effect of oat β-glucan and its oxidised derivative on the quality characteristics of sponge cake. *International Journal of Food Science & Technology*, 46: 2663-2668

Lothrop, R.S., Avens, j., Hyatt, D., Miller, J, 2012, Phisicochemical and sensory quality of chiffon cake prepared with rebaudioside A and erithritol as replacement for sucrose. Department of food science and human nutrition,Colorado state university

Lu,T.M., Lee, C.C., Mau, J.L., Lin, S.D, 2010, Quality and antioxidant property of green tea sponge cake. *Journal of Food Chemistry*, 119: 1090-1091

Musa1, A., Ogbadoy, E.M, 2012, Effect of cooking and sun drying on micronutrients, antinutrients and toxic substances in *Corchorus olitorius* (Jute Mallow). *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 2(3): 1-8

Nourri, A., Payqambar Doost, S., Hesari, J., Azad Mard Damirchi, S., Raft, A, 2011, The effect of different concentrations of sorbitol and oligofructose as a sucrose replacement on the physico-chemical properties of low calorie sponge cake. *Iranian Food Science and Technology Research*, 7(3): 243-249(in Persian)

Okay, Y, 2002, The Comparison of some Pistachio Cultivars Regarding their Fat, Fatty acids and Protein Content. Gartenbauwissenschaft, 67(3): 107-113

Poonnakasem, N., Laohasongkram, K., CHaiwanichsiri, S, 2015, Influence of hydrocolloids on batter properties and textural kinetics of sponge cake during storage. *Journal of Food Quality*, 38: 441-449

Ronda, F., Gomes, M., Blanco, C.A., Caballero, P.A, 2005, Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar free sponge cakes. *Journal of Food Chemistry*, 90: 549-55

Salehi, F., Kashaninejad, M., Sadeghi Mahoonak, A., Ziaiifar, A.M, 2016, Drying of Button Mushroom by Infrared-Hot Air System. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 59(13): 151-159(in Persian)

Savita, S., Sheela, K., Sunanda, S., Shankar, A., Ramakrishna, P, 2004, Stevia rebaudiana-a functional component for food industry. *Journal of Human Ecology*, 15(4): 261-264

Uysal, H., Bilgicli, N., Elgun, A., Ibanoglu, S., Herken, E.N., Kursatdemir, M, 2007, Effect of dietry fibre and xylanase enzymeaddition on the selected properties of wire-cutcookies. *Journal of Food Eengeering*, 78:1074-1078

Vatankhah, M., Elhami, Rad A.H., Yaghbani, M., Nadiyan, N., Akbariyan Meymand, M.J, 2015, Feasibility study of dietary biscuit production using stevioside sweetener. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 3(2):170-175

Warner, K., Inglett, G.E, 1997, Flavor and Texture Characteristics of Foods Containing Z-Trim Corn and Oat Fibers as Fat and Flour Replacers. *Journal of Cereal Foods World*, 42(10): 821-825

Yamazakia, E., Sagoa, T., Kasubuchib, Y., Imamurab, K., Matsuokaa, T., Osamu Kuritaa, Nambub H, 2013, Improvement on the freeze–thaw stability of corn starch gel by the. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 94: 555-560

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 29- 42

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۴۲-۲۹

Optimization formulation of dietary Luz fortified with Stevia and *Corchorus olitorius* L. using response surface methodology

M. J. Golieh[1], M. Goli*[2]

Received: 2019.09.06
Accepted: 2020.01.18

Introduction: Recently, the prevalence of diseases related to diabetes, hypertension, and obesity, due to high and persistent consumption of sucrose is increasing rapidly. Concerns about the adverse effects of sugar consumptionon one hand, and manufacturers and consumers attention for natural sweeteners to replace sugar, on the other hand, reveal that innovative approaches are needed to help develop a healthy diet which prevents such diseases. Stevia can be introduced as a good replacement for sucrose. *Corchorus olitorius L.* is a rich source of bioactive compounds such as protein, fiber, vitamins, minerals, sterols, tocopherols, and carotenoids, which has significant antioxidant, antibacterial, antifungal, antiviral, anti-inflammatory and anti-cancer properties. This study aimed to reduce the sugar level in Luz preparation and produced a high nutritive product by using *Corchorus olitorius*.

Materials and methods: Materials used in Luz formulation consisted of isomalt, sorbitol, coconut powder, pistachio powder, cardamom, cinnamon and chlorophyll, stevia, and *Corchorus olitorius* were supplied from Salamat-gostaran arayan Co. All chemicals were from Merck Co. The formulations of Luz include sorbitol (29.68%), sugar (25.85%), coconut powder (38.75%), cardamom (0.3%), cinnamon (0.26%) and chlorophyll (58.5%). 2) were selected, and isomalt was used as filler. To produce Luz, the mixture of sorbitol and isomalt was heated to reach boiling temperature and complete dissolution. After the heat treatment (126°C for 1h), the mixture was cooled to 40°C and the other materials were added and mixed. The prepared samples were molded and placed at 15°C for 3 h. Moisture, ash, protein, fat, and sugar were determined according to AACC standard numbers. The density was also determined according to AACC standard number 54-21. Textural properties were determined using a texture analyzer. Atomic Spectroscopic measurement of minerals was performed according to Devatkal et al. (2004). The color evaluation was performed by the Image Processing method. In this study, the effects of Stevia replacement with sugar (0-100%), *Corchorus olitorius* replacement with pistachio powder (0-100%) and cooking temperature (50-70°C) on physical and textural properties (density, hardness) of Luz were investigated. Formulation optimization of enriched dietary Luz was performed using Response Surface Method in the form of a central composite design with 6 central points and two replications (α=2) in other locations. In optimum condition, the results of physicochemical, textural and color properties were analyzed by SPSS software.

Results and discussion: The linear model was suggested for density changes, and independent effect of variables (stevia replacement, *Corchorus olitorius* replacement, cooking temperature), interaction effect of Stevia and *Corchorus olitorius* replacement, interaction effect of *Corchorus olitorius* replacement and cooking temperature, the quadratic effect of Stevia replacement and the quadratic effect of cooking temperature were significant on density ($P < 0.05$ or $P < 0.001$). The density of all treatments increased with increasing the levels of Stevia and *Corchorus olitorius* replacement. An increase in density was observed with increasing cooking temperature. The interaction effect of *Corchorus olitorius* and cooking temperature caused a significant ($P<0.05$), decrease in hardness. A reduction in the level of stevia replacement resulted in a decrease in hardness. The optimum formulation of dietary Luz was introduced containing 25% Stevia, 25% *Corchorus olitorius* and cooking temperature of 65°C, and 55% Stevia, 75% *Corchorus Olitorius* and cooking temperature of 55°C. Overall, the nutritional value of dietary Luz containing *Corchorus olitorius* was improved in terms of protein, ash, magnesium and calcium content. The total sugar content of the optimum samples was significantly lower than the control. The textural characteristics of the optimum samples had not changed significantly.

Keywords: *Corchorus olitorius*, Stevia, Physico-chemical properties, Dietary Luz, Optimizing

1 MSc, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2 Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
(*Corresponding Author Email: mgolifood@yahoo.com)

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 43- 53

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۵۳-۴۳

مقاله علمی- پژوهشی

مدلسازی و بررسی تغییرات فیزیکوشیمیایی ماهی تونا تحت تاثیر روش انجمادزدایی اهمی غوطه‌وری

شهناز فتاحی[1]- نفیسه زمین‌دار[2]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۶

چکیده

انجمادزدایی در مبحث صنایع غذایی همواره چالشی بزرگ بوده است زیرا روش‌های سنتی باعث کاهش کیفیت ماده غذایی می‌شوند. انجمادزدایی اهمی یک روش حرارتی جایگزین، سریع و همگن است. در این پژوهش، انجمادزدایی ماهی تونا با روش اهمی به‌صورت غوطه‌وری در آب نمک با سه غلظت مختلف (۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد وزنی/ حجمی سدیم کلرید) در شیب ولتاژ ۷/۱۴۳ ولت بر سانتی‌متر و فرکانس ۵۰ هرتز انجام شد. نمونه‌ها تا ۴۸ ساعت پس از انجمادزدایی در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. تغییرات افت انجمادزدایی، افت پخت، افت کل، ظرفیت نگهداری آب، بافت، متغیرهای رنگی L^*، a^*، b^* و تغییرات رنگ به‌صورت مدل‌های کینتیکی بررسی شدند. طبق نتایج، در طی زمان نگه داری افت انجمادزدایی، افت پخت، افت کل و ظرفیت نگهداری آب افزایش یافت. تغییرات رنگ (a^* و b^*) و بافت نیز با افزایش زمان و غلظت آب نمک در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شد. میزان تیوباربیتوریک اسید در اثر هیچ یک از متغیرهای مستقل معنی‌دار نشد. همچنین با افزایش غلظت آب نمک، افت پخت کاهش یافت. میزان نیروی برشی با گذشت زمان و افزایش غلظت آب نمک، کاهش یافت. متغیرهای وابسته با مدل‌های کینتیکی مناسب با بالاترین ضریب رگرسیون توصیف شدند. همچنین مدل‌های کینتیکی با R^2 و RMSE اعتبارسنجی شدند. این نتایج نشان‌دهنده بهبود خصوصیات فیزیکی محصول و عدم تشدید اکسیداسیون با روش انجمادزدایی اهمی از طریق غوطه‌وری در آب نمک است.

واژه‌های کلیدی: انجمادزدایی اهمی، مدلسازی کینتیکی ، ماهی تونا، حرارت‌دهی اهمی، تغییرات فیزیکوشیمیایی

مقدمه

ماهی به‌عنوان یک منبع غنی از پروتئین، اسیدهای چرب غیراشباع، ویتامین و مواد مغذی مختلف، نقش به‌سزایی در رژیم غذایی انسان ایفا می‌کند (Khan *et al*, 2018; Li *et al*, 2017). تعدادی از کشورها به‌منظور تامین نیمی از پروتئین‌های مورد نیاز خود به ماهی متکی هستند (Khan *et al*, 2018). ماهی از جمله محصولات شدیداً فسادپذیر است (Roiha *et al*, 2018) که کیفیت آن تحت تاثیر عوامل مختلفی قرار دارد (García *et al*, 2015). روش‌های حفاظتی و نگهداری به‌خصوص سرد کردن، یخ زدن سرعت فساد را به حداقل رسانیده در حالی که بر ویژگی‌های فیزیکی ماهی اثر گذار نیست. بنابراین، اگر روش‌های سرد کردن و یخ زدن به درستی اعمال شوند، عمر ماندگاری محصول را از چندین روز به چندین ماه افزایش می‌دهند و کیفیت ماهی رفع انجماد شده بسیار مشابه نمونه تازه خواهد بود (Duygu and Ümit, 2015; Backi, 2017). عمر ماندگاری ماهی عموماً توسط فعالیت میکروبی، ارزش غذایی، خواص ظاهری، بافت، طعم و رنگ آن تعیین می‌شود. تمامی این متغیرها تحت تاثیر فرآیندهای یخ زدن و انجمادزدایی و نیز انبارداری به‌صورت یخ زده هستند (Liu *et al*, 2017; Leygonie *et al*, 2012). بریدن قطعات ماهی به‌صورت فیله از ماهی‌های منجمد، کاری بس دشوار است، بنابراین حد بحرانی از گرما نیاز است تا از وارد آوردن آسیب‌های بیش از حد به ماهی جلوگیری به عمل آید. مقدار گرمای داده شده برای انجمادزدایی قسمت‌های درونی قطعات ماهی باید کافی باشد به‌طوریکه تغییر فاز آب از جامد به مایع رخ دهد، به عبارت دیگر مقدار گرمای نهان ذوب برای این منظور لازم است (Backi, 2017) (دمای سردترین نقطه به دمای مطلوب رسانیده شود(Llave *et al*, 2014)). البته فرآیند یخ زدن در مقایسه با فرآیند انجمادزدایی با سرعت بیشتری اتفاق می‌افتد (Rahbari *et al*, 2018) زیرا آب در حالت انجماد نسبت به آب در فاز مایع از هدایت الکتریکی بالاتری برخوردار است. زمانی که فرآیند انجمادزدایی آغاز

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.
(* - نویسنده مسئول: Email: n.zamindar@khuisf.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.82740

می‌شود، لایه‌های بیرونی قطعات ماهی همچون یک عایق در برابر جریان گرما عمل می‌کنند، این درحالی است که برای فرآیند یخ زدن نتیجه معکوسی مشاهده می‌شود و انتقال گرما از طریق هدایت افزایش می‌یابد (Backi, 2017). به‌طور کلی روش‌های مورد استفاده برای فرآیندهای انجماد و انجمادزدایی نقش مهمی در حفظ کیفیت مواد غذایی یخ زده ایفا می‌کنند و تغییرات شیمیایی، فیزیکی و میکروبی که در طول انجمادزدایی رخ می‌دهند منجر به کاهش کیفیت محصول می‌شوند (Liu *et al*, 2017). غیرمخرب بودن روش انجمادزدایی به‌منظور به حداقل رساندن آسیب‌ها طی انجمادزدایی از جمله فاکتورهای اساسی در انتخاب روش انجمادزدایی مناسب است (Mousakhani-Ganjeh *et al*, 2015). روش‌های زیادی برای انجمادزدایی مواد غذایی منجمد وجود دارد که شامل: انجمادزدایی در هوای ساکن، انجمادزدایی با جریان هوا، انجمادزدایی با دمای یخچالی، انجمادزدایی با آب سرد و گرم، انجمادزدایی با آب ساکن و تعدادی از روش‌های جدید در این زمینه از جمله، انجمادزدایی با میدان الکتریکی ولتاژ بالا، گرمایش اهمی، مایکروویو، فشار هیدروستاتیک بالا، انجمادزدایی با امواج صوتی[1]، فرکانس رادیویی و اشعه مادون قرمز را می‌توان نام برد (Mousakhani-Ganjeh *et al*, 2015). در طی گرمایش اهمی با اعمال یک جریان الکتریکی متناوب، انرژی الکتریکی در داخل یک هادی الکتریسیته به‌طور کامل پراکنده شده و به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود (Darvishi *et al*, 2013). در نتیجه نیازی به سطوح مبادله کننده حرارتی نیست و این فرآیند با کارآیی ۱۰۰٪ انجام می‌شود این در حالی است که کارآیی روش مایکروویو چیزی حدود ۶۵٪ است. نکته حائز اهمیت در گرمایش اهمی، رسانایی الکتریکی مشابه مواد جامد و مایع است. تمامی سبزیجات و مواد گوشتی رسانایی الکتریکی کمتری نسبت به مایعات داشته و این چنین کمبود در رسانایی الکتریکی را می‌توان با افزودن موادی همچون الکترولیت‌ها در نسبت‌های مناسب جبران کرد (Shim *et al*, 2010). از جمله مزایای گرمایش اهمی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: سرعت گرمایش بالا، ایجاد گرمایش حجمی، عدم ایجاد شیب دمایی، عدم سوختگی سطحی، روشی تمیز و دوستدار محیط زیست و کارآیی و بازدهی بسیار بالا (Darvishi *et al*, 2013; Athmaselvi *et al*, 2017).

با توجه به نگرانی‌ها در مورد حفظ کیفیت و ویژگی‌های کاربردی ماهی در طول انجمادزدایی و تاثیر پذیری مشخصات ظاهری، ساختمانی، ویژگی‌های حسی و فیزیکوشیمیایی محصول نهایی طی فرآیند انجمادزدایی، این مطالعه به بررسی تغییرات احتمالی در ماهی تونا[2] در طول انجمادزدایی اهمی و طی سه روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد پرداخته است.

مواد و روش‌ها

ماهی تونا با نام علمی (*Thunnus albacares*)، هرکدام با وزن تقریبی ۱۰ کیلوگرم از مجتمع صنایع غذایی پگاه اصفهان، (اصفهان، ایران) تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها سرزنی شده و مراحل پاکسازی نمونه صورت گرفت و تمامی ماهیچه‌های قرمز جدا و برداشته شد. کلیه مواد شیمیایی با درجه خلوص بالا از شرکت مرک آلمان تهیه شد.

آماده‌سازی نمونه

پس از زدودن آلودگی و جداکردن قسمت‌های زائد، ماهیچه‌های سفید ماهی تونا با استفاده از چاقوی آشپزخانه به مکعب‌هایی با ابعاد (۳ × ۳ × ۳ سانتی متر) بریده و پس از بسته‌بندی در کیسه‌های پلی‌اتیلن تحت خلاء سریعاً در دمای ۳۰- درجه سانتی‌گراد منجمد شدند. نمونه‌های منجمد در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش نگهداری شدند (Mousakhani-Ganjeh *et al*, 2015).

تعیین هدایت الکتریکی

قبل از شروع کار، هدایت الکتریکی (میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) محلول آب نمک و نمونه ماهی اندازه‌گیری شد (Lascorz *et al*, 2016). به این منظور محلول آب نمک با غلظت‌های مختلف از ۰/۱ تا ۱ درصد وزنی/ حجمی سدیم کلرید تهیه و ۲۴ ساعت در دمای محیط نگهداری شد سپس با استفاده از هدایت‌سنج (متروهم، ۷۱۲، سوئیس) هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. همچنین رسانایی الکتریکی خمیر ماهی اندازه‌گیری شد.

دستگاه اهمی

دستگاه اهمی در مقیاس آزمایشگاهی شامل منبع تغذیه، ترانسفورماتور متغیر، پاورآنالایزر (آردینو- مگا-۲۵۶۰)، یک صفحه پردازشگر و همچنین یک عدد سلول آزمایشگاهی که از PTFE[3] یا تفلون ساخته شده است. این سلول، استوانه‌ای با قطر داخلی ۰/۰۷ متر، قطر خارجی ۰/۰۹ متر و طول ۰/۲۶ متر و دو عدد الکترود از جنس استیل ضدزنگ با ضخامت ۰/۲ سانتی‌متر است. در طول فرآیند دما به دقت با استفاده از یک ترموکوپل نوع K اندازه گیری شد. ترموکوپل به‌صورت کامل با نوار تفلون پوشش‌دهی شده بود تا از ایجاد تداخل در میدان الکتریکی جلوگیری گردد.

1Acoustic

2 Tuna

3 Poly Tetra Fluoro Ethylene

انجمادزدایی

پس از تعیین هدایت الکتریکی محلول آب نمک با غلظت‌های مختلف، غلظت‌های (۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد وزنی حجمی سدیم کلرید) متناسب با هدایت الکتریکی ماهی انتخاب شد و با شیب ولتاژ ۷/۱۴۳ ولت بر سانتی‌متر در فرکانس ۵۰ هرتز به‌منظور انجمادزدایی استفاده شد.

برای گرمایش اهمی، محلول آب نمک با غلظت‌های مذکور به‌عنوان محیط گرمایش مورد استفاده قرار گرفت. سلول اهمی با محلول آب نمک (به میزان ۲۵۰ میلی‌لیتر) پر شد. نمونه مکعبی ماهی (۲۷ سانتی‌متر مکعب) منجمد تحت شرایط اهمی انجمادزدایی گردید. به این صورت که نمونه منجمد در مرکز سلول اهمی قرار گرفت و میدان الکتریکی بین دو الکترود اعمال شد. در هر بار آزمایش سلول اهمی از محلول آب نمک با غلظت‌های مشخص، پر شد. سپس نمونه با دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد به ترموکوپل نوع k متصل شد، به نحوی که ترموکوپل دقیقا در مرکز هندسی نمونه قرار داده شد. سپس نمونه بر روی نگهدارنده قرار گرفت. سپس درب سلول بسته، شیب ولتاژ ۷/۱۴۳ ولت بر سانتی‌متر اعمال گردید. به محض رسیدن به دمای ۷- درجه سانتی‌گراد نمونه از سلول خارج و متغیرهای وابسته بلافاصله پس از انجمادزدایی (زمان صفر)، یک روز پس از انجمادزدایی (زمان ۲۴ ساعت) و دو روز پس از انجمادزدایی (زمان ۴۸ ساعت) طی سه تکرار اندازه‌گیری شد. زمان مورد نیاز به‌منظور افزایش دمای مرکز هندسی نمونه از ۱۸- به ۷- درجه سانتی‌گراد نیز محاسبه شد.

تعیین زمان انجمادزدایی و سرعت انجمادزدایی

زمان مورد نیاز برای افزایش دمای مرکز هندسی نمونه مکعبی ماهی منجمد از ۱۸- به ۷- درجه سانتی‌گراد به‌عنوان زمان انجمادزدایی اندازه‌گیری شد. سرعت انجمادزدایی نیز با تقسیم کردن وزن نمونه منجمد (ترازوی دیجیتالی سه صفر، Mettler، AE200، سوئیس) به زمان انجمادزدایی (گرم بر ثانیه) محاسبه شد که در ادامه بیان شده است.

$$\text{سرعت انجمادزدایی} = \frac{A}{B} \qquad (۱)$$

که درآن A وزن نمونه منجمد (گرم) و B زمان انجمادزدایی (ثانیه) است (Mousakhani-ganjeh *et al*, 2016).

تعیین افت انجمادزدایی

نمونه (۳×۳×۳ سانتی‌متر) منجمد قبل از انجمادزدایی توزین و بعد از انجمادزدایی نیز عصاره تراوش شده پاک و مجددا توزین شد و درصد افت انجمادزدایی از طریق معادله زیر محاسبه شد.

$$\text{درصد افت انجمادزدایی} = \frac{M_0 - M_{TT}}{M_0} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن M_0 وزن نمونه منجمد (گرم) و M_{TT} وزن نمونه انجمادزدایی شده بعد از برداشتن عصاره تراوش شده (گرم) است (Rahbari *et al*, 2018).

تعیین افت پخت و افت کل

به‌منظور اندازه‌گیری میزان افت پخت ۱۰ گرم از نمونه انجمادزدایی شده را بلافاصله در بسته بندی زیپ دار قرار داده و در حمام آب (بهداد، ایران) در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه غوطه‌ور شد به‌طوریکه دمای مرکز نمونه به ۷۵ درجه سانتی-گراد رسید.

$$\text{درصد افت پخت} = \frac{M_0 - M_T}{M_0} \times 100 \qquad (۳)$$

که در آن M_0 و M_T وزن نمونه انجمادزدایی شده به‌ترتیب قبل و بعد از پخت است (Murphy and Marks, 2000).

درصد افت کل به صورت مجموع افت پخت و افت انجمادزدایی محاسبه شد (Mousakhani-Ganjeh *et al*, 2015).

$$\text{درصد افت کل} = \text{درصد افت پخت} + \text{درصد افت انجمادزدایی} \qquad (۴)$$

افت سانتریفوژ

۲ گرم از نمونه انجمادزدایی شده توزین و درون لوله سانتریفوژ (320 R، ایران) قرار گرفت. نمونه‌ها در ۳۰۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شدند. سپس قرص گوشت با دقت از لوله خارج و سپس توزین شد. افت سانتریفوژ از تفاوت وزن اولیه و وزن ثانویه پس از پایان سانتریفوژ محاسبه شد.

$$\text{درصد افت سانتریفیوژ} = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_1}\right) \times 100 \qquad (۵)$$

که درآن M_1 وزن اولیه گوشت، و M_2 وزن نمونه بعد از سانتریفوژ شدن است (Li *et al*, 2017).

اکسیداسیون لیپیدها

به ۲۰ گرم نمونه چرخ شده ماهی تونا بلافاصله پس از انجمادزدایی،۵۰ میلی‌لیتر محلول تری کلرو استیک اسید (۲۰٪) افزوده و به مدت ۲ دقیقه به شدت مخلوط شد سپس ۵۰ میلی‌لیتر به محلول اولیه افزوده شد و سپس کل مواد از صافی گذشته و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ رسانده شد. سپس ۵ میلی‌لیتر از محلول صاف شده با ۵ میلی‌لیتر معرف تیوباربیتوریک اسید مخلوط گردید. لوله‌ها در بن‌ماری در حال جوش به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند. سپس در

مخلوط آب و یخ به مدت ۵ دقیقه سرد شدند و مقدار جذب درطول موج ۵۳۲ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu، UV-120-02، ژاپن) در مقابل نمونه شاهد قرائت شد، دانسیته نوری را در فاکتور تصحیح ۵/۴ ضرب گردید و بر حسب میلی‌گرم مالون آلدئید در کیلو گرم گوشت گزارش شد (اگان و همکاران، ۱۹۹۷).

میزان جذب در طول موج ۵۳۲× ۵/۴ = میزان اسید تیوباربیتوریک (۶)

آنالیز بافت

آنالیز و بررسی بافت با دستگاه بافت‌سنج سنتام (STM-20، ایران) با تست وارنر براتزلر انجام شد. به‌منظور اجرای تست وارنر براتزلر تیغه V شکل برای برش نمونه ماهی رفع انجماد شده با نیروی ۵۰۰ نیوتن و سرعت ۵۰ میلی‌متر بردقیقه استفاده شد (Lascorz *et al*, 2016).

اندازه‌گیری رنگ

رنگ نمونه مورد آزمون با استفاده از محفظه نوری و به صورت ارزش‌های CILAB شامل*L (روشنی– تاریکی)، *a (قرمزی– سبزی) ، *b (زردی– آبی) با روش پردازش تصویر اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در زمان صفر، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از انجمادزدایی درون محفظه نوری با شرایط مشابه برای هر نمونه (موقعیت نور لامپ و فاصله میان دوربین و نمونه) قرارگرفته و سپس با استفاده از یک دروبین دیجیتال (کنن، A3100 IS، مالزی) عکس‌برداری انجام شد برای بدست آوردن همبستگی بهتر بین نمونه‌ها تفاوت رنگ سنجی (ΔE) با معادله زیر محاسبه شد (Shi *et al*, 2008 ؛ Hong *et al*, 2014).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (۷)$$

که در آن L_0 ، a_0 و b_0 روشنی، قرمزی/ سبزی و زردی/ آبی نمونه شاهد (نمونه پس از انجمادزدایی) و با L، a و b روشنی، قرمزی/ سبزی و زردی/ آبی نمونه‌های تیمار شده پس از ۲۴ و ۴۸ ساعت ماندگاری مقایسه شد.

مدلسازی

مدلسازی با معادلات درجه واکنش صفر، یک و دو صورت گرفت:

$$A = A_0 + k_0 t \quad (۸)$$

$$A = A_0 \exp(k_1 t) \quad (۹)$$

$$\frac{1}{A} = k_2 t + \frac{1}{A_0} \quad (۱۰)$$

که در آنها A مقدار متغیر وابسته اندازه‌گیری شده در زمان t، A_0 مقدار اولیه متغیر وابسته اندازه‌گیری شده در زمان t = 0 ،متغیر t مشخصه زمان نگهداری (day) می‌باشد. k_0 ثابت سرعت واکنش درجه صفر (day^{-1})، k_1 ثابت سرعت واکنش درجه یک (day^{-1}) و k_2 ثابت سرعت واکنش درجه دو (day^{-1}) است.

معتبرسازی مدل

معتبرسازی مدل با توجه به داده‌های حاصل از تکرارهای آزمایشگاهی (سه تکرار) از طریق ثبت اطلاعات در طول فرآیند انجمادزدایی به‌دست آمد و میانگین آنها با داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل مورد مقایسه قرار گرفت و میزان ریشه مربعات میانگین خطا[1] از طریق رابطه ۸ محاسبه شد (Erdogdu and Tutar, 2012)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(T_{exprimental} - T_{simulation})^2} \quad (۱۱)$$

که در آن $T_{exprimental}$ داده‌های آزمایشگاهی، $T_{simulation}$ داده‌های به‌دست آمده از مدل و N تعداد داده‌ها است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

بررسی متغیرهای زمان انجمادزدایی و سرعت انجمادزدایی در قالب طرح کاملاً تصادفی با متغیر غلظت در سه سطح (۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد وزنی/ حجمی سدیم کلرید) در سه تکرار انجام شد. بررسی متغیرهای افت انجمادزدایی، افت پخت ، افت کل، WHC، TBA، بافت و رنگ (*L*، a*، b* و ΔE) با آزمون فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با دو متغیر زمان در سه سطح (صفر، ۲۴ و۴۸ ساعت) و غلظت آب نمک در سه سطح (۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد وزنی/ حجمی سدیم کلرید) در سه تکرار انجام شد. برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین (آزمون LSD[2]) از نرم‌افزار SAS در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد. متغیرها نیز با مدل کینتیکی مناسب طی زمان (زمان صفر، ۲۴ و ۴۸ ساعت) بررسی و بهترین مدل با ضریب رگرسیون بالا بر روی آنها انطباق داده شد. نمونه بهینه روش اهمیک از نظر پارامترهای زمان انجمادزدایی، افت انجمادزدایی و بافت با روش انجمادزدایی سنتی (هوا) با آزمون $T_{student}$ مقایسه شد.

1Root Mean Square Error
2 Least Significant Differernce

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی ماهی تونا

ترکیبات شیمیایی ماهی بسته به نوع گونه آن‌ها بسیار متفاوت و گسترده است. تفاوت‌های مشاهده شده میان گونه‌های فردی ناشی از تفاوت‌ها در سن، جنس، محیط و دریا است. به هرحال تفاوت‌های خاص در ترکیبات شیمیایی ماهی‌ها بستگی به نوع غذاهای مصرف شده توسط آن‌ها دارد (جدول ۱).

جدول ۱- ترکیب شیمیایی تقریبی ماهی تونای خام منجمد

ترکیب	رطوبت(٪)	پروتئین(٪)	چربی(٪)	خاکستر(٪)
	۷۵/۳۳±۱/۳۳	۱۶/۱۳۵±۰/۰۱۵	۲/۳±۰/۳	۲/۰۲۵±۰/۱۲۵

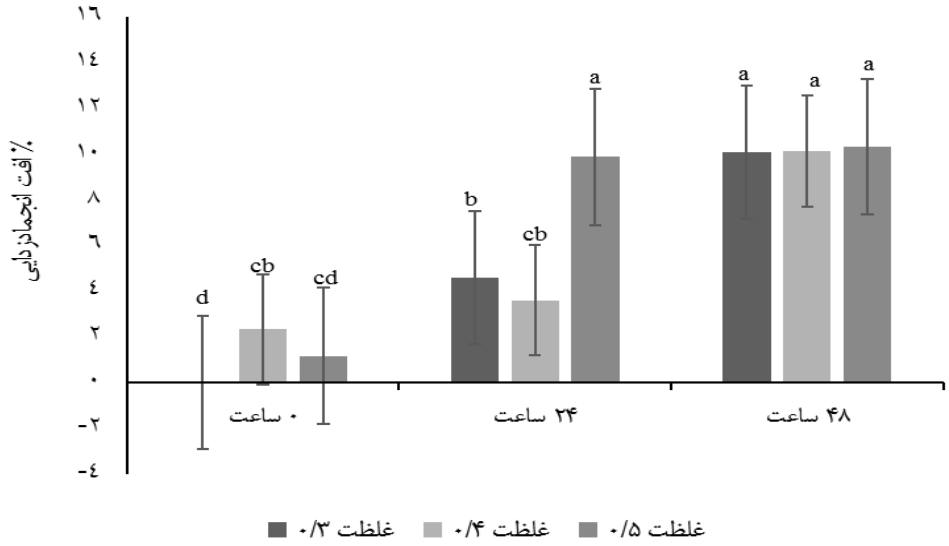
اعداد به صورت میانگین ±انحراف معیار نشان داده شده‌اند

سرعت انجمادزدایی و زمان انجمادزدایی

تغییرات زمان انجمادزدایی و سرعت انجمادزدایی را در غلظت‌های مختلف آب نمک بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار با افزایش غلظت آب نمک ($P \geq ۰/۰۵$) در این پژوهش بود. در مقایسه روش اهمیک و روش سنتی انجمادزدایی (هوا) مشخص شد که روش اهمیک به‌طور معنی‌داری باعث کاهش زمان انجمادزدایی در مقایسه با هوا شد ($P \leq ۰/۰۱$). زمان انجمادزدایی یکی از مهمترین شاخص‌ها در صنعت انجمادزدایی است (جدول ۵).

افت انجمازدایی، افت پخت و افت کل

میزان افت انجمادزدایی در سه غلظت مختلف بررسی و با مدل‌های کینتیکی توصیف شد. مدل‌های کینتیکی مناسب در غلظت ۰/۳ درصد (درجه صفر و R^2 =۰/۹۹۷۵)، در غلظت ۰/۴ درصد (درجه دو و R^2 =۰/۹۹۳) و در غلظت ۰/۵ درصد (درجه صفر و R^2 =۰/۹۵۸۶) در جدول ۲ نشان داده شد. با توجه به معادلات مشخص شده در جدول ۲، در غلظت ۰/۵ درصد نسبت به غلظت آب نمک ۰/۳ درصد افت انجمادزدایی با افزایش زمان با شیب سریع‌تری اتفاق افتاد.



شکل ۱- اثرات متقابل زمان و غلظت بر افت انجمادزدایی در ولتاژ ۵۰ ولت.
نتایج میانگین سه تکرار. مقایسات میانگین با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شده است.

اثر متقابل دو متغیر (غلظت× زمان) بر روی افت انجمادزدایی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد، به‌گونه‌ای که در ساعت صفر پس از انجمادزدایی و غلظت‌های مختلف آب نمک، میزان افت انجمادزدایی در ۰/۳ درصد و ۰/۵ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین غلظت ۰/۴ درصد و ۰/۵ درصد در ساعت صفر تفاوت قابل ملاحظه‌ای نداشتند. با گذشت ۲۴ ساعت میزان افت انجمادزدایی به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت به‌طوریکه در غلظت ۰/۵ درصد بیشترین افت مشاهده شد ولی غلظت ۰/۳ درصد و ۰/۴ درصد تفاوتی نداشتند

و پس از گذشت ۴۸ ساعت نیز میزان افت افزایش یافت، اما تفاوت معنی‌داری بین غلظت ۰/۵ درصد در ۲۴ ساعت با هیچ یک از سطوح غلظت در ۴۸ ساعت مشاهده نشد (شکل ۱). در مقایسه روش اهمیک و روش سنتی انجمادزدایی (هوا) مشخص شد که روش اهمیک به‌طور معنی‌داری باعث کاهش افت انجمادزدایی در مقایسه با هوا شد ($P\leq$۰/۰۱). کاهش افت انجمادزدایی به منزله کاهش ضایعات و هدر رفت ماهی است (جدول ۵).

میزان افت پخت در سه غلظت مختلف و طی سه روز متوالی اندازه‌گیری شد و نتایج به‌صورت مدل کینتیکی بیان شد. افت پخت در غلظت ۰/۳ درصد (درجه ۲ و R^2 =۰/۸۸۵۷)، در غلظت ۰/۴ درصد (درجه ۲ و R^2 =۰/۹۹۷۵) و در غلظت ۰/۵ درصد (درجه ۲ و R^2 =۰/۸۵۲۶) توصیف شده است (جدول ۲). می‌توان اشاره کرد که مدل درجه ۲ برای توصیف این داده‌ها در تمامی غلظت‌ها به‌خوبی صدق کرده است. میزان افت پخت در غلظت ۰/۳ و ۰/۵ درصد وزنی سدیم کلرید با شیب یکسانی با گذشت زمان کاهش یافته است.

بر طبق نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز می‌توان بیان کرد که افزایش غلظت آب نمک باعث کاهش میزان افت پخت شد و به لحاظ آماری نیز تفاوت معنی‌داری بین سه غلظت مورد استفاده در سطح احتمال ۱٪ گزارش شد (جدول ۳).

از نظر متغیر زمان نیز مشاهده شد که با گذشت زمان طی سه روز متوالی میزان افت پخت افزایش یافت و در سطح احتمال ۱ ٪ نیز تفاوت معنی‌داری بین سطوح زمان نیز مشاهده شد (جدول ۴). افت پخت ناشی از مایع و مواد محلول در آن است که طی پخت از گوشت خارج می‌شود.

جدول ۲- مدل کینتیکی متغیرهای افت انجمادزدایی، افت پخت، افت کل، WHC، TBA، بافت و رنگ تحت تاثیر غلظت آب نمک

متغیر وابسته	غلظت آب نمک	مدل کینتیکی	معادله واکنش	R^2	معادله خط اعتبارسنجی	RMSE
افت	۰/۳	درجه صفر	y = ۰/۲۱ x −۰/۱۴۶	۰/۹۹۷	y= ۰/۹۹۷۶ + ۰/۰۱۲۳	۰/۲۰۶
انجمادزدایی	۰/۳	درجه دو	y = −۰/۰۰۰۳ x + ۰/۰۶۵	۰/۸۸۶	y= ۰/۹۳۸۸ + ۰/۰۰۳۲	۲/۰۵۷ × ۱۰$^{-۳}$
افت پخت	۰/۳	درجه یک	y = ۰/۰۱۳۵ x +۲/۷۵۶	۰/۹۹۹	y = ۱/۰۰۰۱ + ۰/۰۰۰۲	۸/۶۹۵ × ۱۰$^{-۳}$
افت کل	۰/۳	درجه صفر	y = ۰/۱۳۲ x + ۸۴/۱۱۲	۰/۹۹۶	y= ۰/۹۹۶۵+ ۰/۳۰۹۲	۰/۱۵۸
WHC	۰/۳	درجه یک	y = ۰/۰۱۴ x −۰/۳۱۳	۱/۰۰	y = ۰/۹۹۹۳ − ۰/۰۰۰۲	۱/۲۰۴ × ۱۰$^{-۳}$
TBA	۰/۳	درجه یک	y = −۰/۰۰۸ x + ۲/۴۳	۰/۹۶۰	y = ۰/۹۵۵۸ + ۰/۰۰۴۹	۳/۷۲۸ × ۱۰$^{-۳}$
بافت	۰/۳	درجه دو	y = ۰/۰۰۲۵ x +۰/۳۳۴	۰/۹۲۳	y = ۰/۹۲۳۶ + /۰۳۰۱	۰/۰۱۴
رنگ						
متغیر وابسته	**غلظت آب نمک**	**مدل کینتیکی**	**معادله واکنش**	**R^2**	**معادله خط اعتبارسنجی**	**RMSE**
افت	۰/۴	درجه دو	y = −۰/۰۰۷۳ x +۰/۴۲۱	۰/۹۹۳	y= ۰/۹۸۷۲x + ۰/۰۰۴۱	۰/۰۱۲
انجمادزدایی	۰/۴	درجه دو	y = −۰/۰۰۰۲ x +۰/۰۶۹	۰/۹۹۷	y = ۰/۸۸۳x + ۰/۰۰۸	۸/۳۰۱ × ۱۰$^{-۴}$
افت پخت	۰/۴	درجه دو	y = −۰/۰۰۰۵ x +۰/۰۶۰۴	۰/۹۷۵	y = ۰/۸۹۳۹x + ۰/۰۰۶۱	۲/۲۱۶ × ۱۰$^{-۳}$
افت کل	۰/۴	درجه یک	y = ۰/۰۰۰۹ x +۴/۴۲	۰/۹۷۰	y = ۰/۸۷۸۸x+ ۰/۰۰۱۴	۵/۸۹۹ × ۱۰$^{-۵}$
WHC	۰/۴	درجه صفر	y = ۰/۰۱۱۶ x +۰/۶۷	۰/۹۹۸	y = ۱/۰۰۱۸ x− ۰/۰۰۰۷	۸/۸۰۳ × ۱۰$^{-۳}$
TBA	۰/۴	درجه دو	y = ۰/۰۰۱۸ x +۰/۱۰۶	۰/۸۵۵	y = ۰/۸۶۶۶ x+ ۰/۰۲۰۳	۰/۰۱۴
بافت	۰/۴	درجه دو	y = ۰/۰۰۵۴ x +۰/۲۶۵۴	۰/۹۴۵	y = ۰/۹۵۳۵ x+ ۰/۰۱۹۴	۶/۳۸ × ۱۰$^{-۴}$
رنگ						
متغیر وابسته	**غلظت آب نمک**	**مدل کینتیکی**	**معادله واکنش**	**R^2**	**معادله خط اعتبارسنجی**	**RMSE**
افت	۰/۵	درجه صفر	y = ۰/۲۲۶ x +۲/۲۸۴	۰/۹۶۰	y= ۰/۹۵۸۵x + ۰/۳۲	۰/۹۲۱
انجمادزدایی	۰/۵	درجه دو	y = −۰/۰۰۰۳ x +۰/۰۷۶	۰/۸۵۳	y = ۰/۸۷۶۱x + ۰/۰۰۸۴	۲/۳۹ × ۱۰$^{-۳}$
افت پخت	۰/۵	درجه صفر	y = ۰/۲۹ x +۱۵/۷۴۶	۰/۹۸۴	y = ۰/۹۸۴۱x + ۰/۳۶۳	۰/۶۴۳
افت کل	۰/۵	درجه صفر	y = ۰/۰۷۸ x +۸۳/۳۷	۰/۸۹۳	y = ۰/۸۹۲۶x+ ۹/۱۶	۰/۵۳
WHC	۰/۵	درجه دو	y = −۰/۰۱۸۶ x +۲/۰۶۹	۰/۸۵۰	y = ۰/۸۴۵۴+ x ۰/۲۵۱۳	۰/۱۵۵
TBA	۰/۵	درجه دو	y = ۰/۰۰۱۳ x +۰/۱۴۸	۰/۹۶۰	y = ۰/۹۹۱ x+ ۰/۰۰۳	۵/۴۶۸ × ۱۰$^{-۳}$
بافت	۰/۵	درجه صفر	y = −۰/۰۳۷ x +۳/۱۲۷	۰/۹۹۸	y= ۰/۹۹۹۷ x− ۸ × ۱۰$^{-۵}$	۱/۹۵
رنگ						

RMSE= Root Mean Square Error

جدول ۳- اثرات غلظت‌های محلول آب نمک بر متغیرهای افت پخت، WHC ، بافت، a* ، b* در ولتاژ ثابت ۵۰ ولت

غلظت	٪افت پخت	%WHC	بافت	a*	b*
غلظت ۰/۳ درصد	۱۷/۱۷±۲/۵۴^{a}	۸۷/۲۸±۳/۲۶^{a}	۹/۵۷±۰/۸۵^{a}	۲/۹۲±۰/۴۷^{ab}	۴/۴۵±۰/۴۹^{b}
غلظت ۰/٤ درصد	۱۵/۸۶±۱/۳۸^{b}	۸۳/۲۸±۳/۹۱^{b}	۷/۳۱±۰/۱۶^{b}	۳/۲۹±۰/۶۷^{a}	۵/۰۴±۰/۲۹^{a}
غلظت ۰/۵ درصد	۱۴/۵۷±۱/۳۸^{c}	۸۶/۷۲±۲/۶۶^{a}	۶/۳۳±۰/۴۵^{b}	۲/۲±۰/۰۹^{b}	۵/۰۵±۰/۲۱^{a}

اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، اختلاف معنی‌داری از نظر صفات مورد بررسی از لحاظ آزمون LSD با یکدیگر ندارند ($P\leq۰/۰۵$).

جدول٤- اثرات زمان‌های نگهداری پس از رفع انجماد بر متغیرهای افت انجمادزدایی، افت پخت، افت کل، WHC، بافت، a*، b*، ΔE در ولتاژ ثابت ۵۰ ولت

زمان (ساعت)	٪ افت انجمادزدایی	٪افت پخت	٪افت کل	%WHC	بافت	a*	b*	ΔE
صفر	۱/۱۷±۰/۳۳^{c}	۱۴/۶۳±۱/۱^{b}	۱۵/۸±۱/۵۱^{c}	۸۲/۷۲±۳/۶۸^{b}	۱۰/۲۹±۰/۶۴^{a}	۴/۱۹±۰/۴۸^{a}	۵/۵۴±۰/۸۶^{a}	۰±۰^{b}
۲٤	۶/۰۱±۰/۱۵^{b}	۱۵/۰۲±۱/۴۴^{b}	۲۱/۰۳±۲/۷۶^{b}	۸۶/۶۷±۲/۲۲^{a}	۶/۷۴±۰/۰۹^{b}	۲/۳۴±۰/۹۲^{b}	۳/۷۳±۰/۴^{b}	۲/۹۳±۰/۱۹^{a}
٤۸	۱۰/۱۶±۰/۷۶^{a}	۱۷/۹۳±۱/۸۶^{a}	۲۸/۱±۴/۰۹^{a}	۸۷/۸۹±۲/۹۳^{a}	۶/۱۸±۰/۷۷^{b}	۱/۸۷±۰/۶۲^{b}	۵/۲۷±۰/۷۴^{a}	۲/۷۶±۰/۳۶^{a}

اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، اختلاف معنی‌داری از نظر صفات مورد بررسی از لحاظ آزمون LSD با یکدیگر ندارند ($P \leq۰/۰۵$).

افت کل در غلظت ۰/۳ درصد با مدل کینتیکی (درجه یک و R^2 =۰/۹۹۸۹)، در غلظت ۰/۴ درصد (درجه دو و R^2 =۰/۹۷۴۸)، در غلظت ۰/۵ درصد (درجه صفر R^2 =۰/۹۸۳۹) در جدول۲ توصیف شده است. میزان افت کل در غلظت ۰/۵ و ۰/۳ درصد به‌ترتیب با شیب بیشتری افزایش یافت. افت کل در غلظت ۰/۴ درصد سدیم کلرید دارای شیب نزولی بوده است.

در بررسی افت کل از نظر متغیر غلظت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به لحاظ متغیر زمان و با بررسی در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری میان سطوح زمان ملاحظه گردید به‌نحوی که بلافاصله بعد از انجمادزدایی کمترین و پس از گذشت ۴۸ ساعت بیشترین میزان افت کل مشاهده شد (جدول ۴). بنابراین اینگونه می‌توان اظهار کرد که، اگرچه افت کل در سطوح مختلف غلظت معنی‌دار نیست اما از آن جایی که افت کل حاصل جمع افت انجمادزدایی و افت پخت است می‌توان بیان کرد که تاثیر متغیر زمان بر هر دو افت انجمادزدایی و افت پخت معنی‌دار شد بنابراین تاثیر زمان بر افت کل نیز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید. سرعت متفاوت دناتوراسیون پروتئین‌ها بر اساس میدان الکتریکی (موسی خانی و همکاران، ۲۰۱۵) و غلظت نمک عامل اصلی تفاوت در افت انجمادزدایی و افت پخت است (کیم و همکاران، ۲۰۰۶) که در غلظت‌های مختلف و با گذشت زمان سرعت دناتوراسیون پروتئین‌ها متفاوت بوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با گذشت زمان در همه غلظت‌ها میزان افت انجمادزدایی افزایش یافته است.

ظرفیت نگهداری آب (WHC)

مدل‌های کینتیکی مناسب برای WHC در غلظت‌های ۰/۳ درصد (درجه صفر با R^2 =۰/۹۹۶۳)، ۰/۴ درصد (درجه یک با R^2 =۰/۹۷)، ۰/۵ درصد (درجه صفر با R^2=۰/۸۹۲۹) بود (جدول ۲). میزان WHC در غلظت ۰/۳ نسبت به ۰/۵ درصد سدیم کلرید با شیب بیشتری افزایش یافته است.

گزارش آماری WHC حاکی از معنی‌داری این متغیر در سطح احتمال ۱٪ از نظر هر دو متغیر (غلظت و زمان) بود به‌نحوی که غلظت ۰/۴ درصد آب نمک نسبت به سایر غلظت‌های آب نمک کمتر، و در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۳). در بررسی اثر زمان، نتایج نشان‌دهنده افزایش WHC با گذشت زمان بود به‌نحوی که کمترین میزان WHC در ساعت صفر و بیشترین WHC در ۴۸ ساعت گزارش شد اما بین سطوح ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). میزان WHC در محصولات گوشتی یکی از مهمترین فاکتورهای اثرگذار بر روی ارزش اقتصادی و کیفیت گوشت است که ناشی از تغییرات وزن طی انجمادزدایی است (کیم و همکاران، ۲۰۰۶؛ لی و همکاران، ۲۰۱۷). استفاده از سدیم کلرید در همبرگرهای منجمد منجر به افزایش WHC نسبت به همبرگرهای بدون سدیم کلرید شده بود. در محصولات گوشتی عمدتا کلرید سدیم در اتصال آب و چربی از طریق شبکه میوفیبریلی و به‌خصوص حلالیت پروتئین‌های میوفیبریلی شرکت کرده است (کیم و همکاران، ۲۰۰۶؛ هانگ و همکاران، ۲۰۱۴). در این پژوهش نیز افزایش غلظت سدیم کلرید منجر به افزایش WHC شد که مطابق با یافته‌های قبلی بود.

اکسیداسیون لیپیدها

مدل کینتیکی حاصل شده برای سنجش TBA در سه غلظت ۰/۳ درصد (درجه یک با R^2 =۰/۹۹۹۱)، ۰/۴ درصد (درجه صفر با R^2 =۰/۹۹۸۵) ، ۰/۵ درصد (درجه دو با R^2 =۰/۸۴۶۵) گزارش شده است (جدول ۲). معادلات نشان داده‌اند که میزان TBA در غلظت ۰/۳ و ۰/۴ درصد با شیبی تقریبا برابر روند افزایشی داشته است.

نتایج حاکی از عدم اثر معنی‌دار برای این متغیر بود. به عبارت دیگر نشان‌دهنده عدم تاثیر شرایط انجمادزدایی اهمی بر اکسیداسیون لیپدها در نمونه ماهی بوده است. کیم و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که سدیم کلرید حاضر در محلول آب نمک، طی سرعت بالای انجمادزدایی اهمی نمی‌توانست با لیپیدها واکنش دهد و تاثیری بر اکسیداسیون لیپیدها ندارد که طی این پژوهش نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد و حضور نمک به صورت محلول در غلظت‌های ناچیز مصرفی منجر به اکسیداسیون لیپیدها نشد. اکسیداسیون لیپیدها دلیل اصلی از بین رفتن کیفیت گوشت است. فرآیندهای حرارتی می‌تواند باعث تسریع اکسیداسیون لیپیدها توسط شکستن غشای سلولی و رهایی پرواکسیدان‌ها شود. محققان دریافتند که افزایش اکسیداسیون در همبرگرهای بدون کلرید سدیم نسبت به همبرگرهای حاوی کلرید سدیم بسیار قابل توجه‌تر است و این نشان‌دهنده این است که افزودن کلرید سدیم تاثیری بر افزایش اکسیداسیون لیپیدها ندارد. مطالعات انجام شده بر روی تاثیر سدیم کلرید متفاوت است در حالی که بسیاری از نویسندگان سدیم کلرید را به‌عنوان پرواکسیدان معرفی کرده‌اند اما از طرف دیگر بسیاری بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن تاکید کرده‌اند (کیم و همکاران، ۲۰۰۶).

بافت

مدل‌های کینتیکی برای غلظت‌های ۰/۳ درصد (درجه یک با R^2 =۰/۹۶)، ۰/۴ درصد (درجه دو با R^2 =۰/۸۵۴۸) و ۰/۵ درصد (درجه دو با R^2 =۰/۹۵۵) حاصل شد (جدول ۲). معادلات حاکی از افزایش شیب بیشتری در غلظت ۰/۴ نسبت به ۰/۵ درصد سدیم کلرید بوده است. اثرات دو متغیر مستقل غلظت و زمان بر روی تغییرات بافت در سطح احتمال ۱ ٪ معنی‌دار شد به‌طوریکه اثر غلظت بر روی بافت معنی‌دار شد و بافت نمونه رفع انجماد شده با غلظت آب نمک ۰/۳ درصد از استحکام بالاتر و غلظت ۰/۵ درصد از استحکام کمتری برخوردار بودند اما در بین سطوح ۰/۴ درصد و ۰/۵ درصد اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۳). از نظر متغیر زمان نیز نتایج مشابهی با نتایج تیمار غلظت بدست آمد که نمونه بلافاصله بعد از رفع انجماد از استحکام بیشتری نسبت به سایر زمان‌ها برخوردار بود و بین دو سطح دیگر زمان (۲۴- ۴۸ ساعت) اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۴). بنابراین در این پژوهش مشاهده شد که بافت نمونه از استحکام خوبی پس از انجمادزدایی برخودار بود که نتایج قبلی را تایید کرد. محققان دریافتند که انجمادزدایی اهمی به صورت غوطه‌وری سبب حفظ کیفیت و انسجام بافت شد و نسبت به انجمادزدایی تماسی بافت مستحکم‌تری را ارائه داد به طوریکه نیروی برشی بیشتری صرف شده است (هانگ و همکاران، ۲۰۱۴). در مقایسه روش اهمیک و روش سنتی انجمادزدایی (هوا) مشخص شد که روش اهمیک به طور معنی‌داری باعث افزایش استحکام بافت نمونه در مقایسه با هوا شد ($P\leq$۰/۰۱) (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج آزمون T برای مقایسه نمونه بهینه اهمیک و روش سنتی انجمادزدایی (هوا)

	زمان انجمادزدایی	٪ افت انجمادزدایی	بافت
مقدار $T_{student}$	۲۲/۶۳**	۵/۷۹**	۸/۸۰**

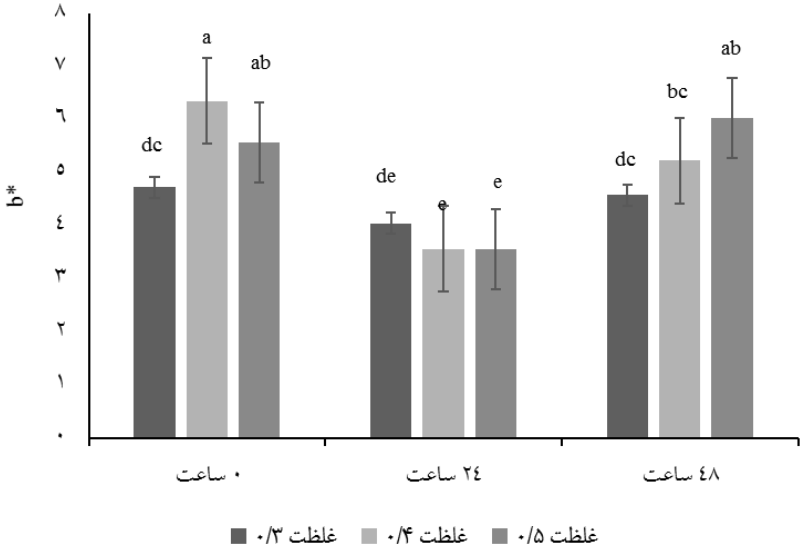
نتایج میانگین سه تکرار. ($P \leq$۰/۰۱)

رنگ

مدل‌های کینتیکی شاخص رنگ به ترتیب برای غلظت‌های ۰/۳ درصد (درجه دو با R^2 =۰/۹۲۳)، ۰/۴ درصد (درجه دو با R^2 =۰/۹۴۵) و ۰/۵ درصد (درجه صفر با R^2 =۰/۹۹۸) حاصل شد (جدول ۲). معادلات با درجه یکسان برای توصیف متغیر رنگ، بیان کننده افزایش شیب با گذشت زمان در غلظت‌های ۰/۴ و ۰/۳ است که در غلظت ۰/۴ درصد با شیب بیشتری افزایش داشته است.

از بین سه مشخصه متغیرهای رنگی (L^*، a^*، b^*) تنها اثر متقابل (غلظت × زمان) بر b^* معنی دار شد و در ساعت صفر و غلظت ۰/۴ درصد بیشترین زردی مشاهده شد و کمترین زردی مربوط به غلظت ۰/۴ و ۰/۵ درصد در ۲۴ ساعت بود (شکل ۲). a^* نیز در اثر هر دو متغیر غلظت و زمان معنی دار شد. در بررسی اثر زمان بر روی a^* مشاهده شد که بیشترین قرمزی در ساعت صفر و کمترین قرمزی پس از ۴۸ ساعت وجود داشت و بین ۲۴ و ۴۸ ساعت تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۱ ٪ ملاحظه نشد (جدول ۴). از نظر متغیر غلظت تفاوت معنی دار بین غلظت ۰/۴ درصد و ۰/۵ درصد در سطح احتمال ۵ ٪ مشاهده شد اما با غلظت ۰/۳ درصد و ۰/۵ درصد تفاوت معنی داری ملاحظه نشد (جدول ۳). L^* در هیچ یک از متغیرهای مختلف غلظت و زمان معنی دار نشد. ΔE در اثر زمان معنی دار شد و

کمترین تغییرات رنگ در زمان صفر و بیشترین تغییرات رنگ در زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت مشاهده شد (جدول ۶).



شکل ۲- اثرات متقابل زمان و غلظت بر *b در ولتاژ ۵۰ ولت.

نتایج میانگین سه تکرار. مقایسات میانگین با آزمون LSD در سطح احتمال ۱٪ انجام شده است.

نتیجه‌گیری

ماهی به عنوان یک منبع غذایی سرشار از پروتئین از جایگاه خاصی در سبد غذایی خانواده‌ها برخوردار است اما به دلیل عدم عرضه ماهی به صورت تازه بسیاری به مصرف کنسرو ماهی روی آورده‌اند و بنابراین حفظ کیفیت و ارزش غذایی در این محصول نیز همچون نمونه تازه بایستی رعایت گردد. روش انجماد زدایی اهمی علاوه بر جلوگیری از اتلاف وقت و سرعت بالا منجر به کاهش متغیرهای افت شد ضمن اینکه ظرفیت نگه‌داری آب در بالاترین حد ممکن حفظ گردید. از طرفی یکی از مهمترین مسائل در ارتباط با ماهی اکسیداسیون لیپدها است زیرا ماهی از محصولات بسیار مستعد به فساد است و با این روش با توجه به حضور نمک هیچ گونه علائمی که ناشی از تشدید اکسیداسیون باشد مشاهد نگردید و در مقایسه با سایر روش‌های الکتریکی سوختگی در لبه‌ها و اطراف نمونه مشاهده نشد و نقطه سرد نمونه به دمای نهایی رسیده بود. از جمله موارد موثر بر این نوع انتقال حرارت، اندازه ذرات غذا، دمای اولیه محصول، خصوصیات حرارتی و الکتریکی، بافت، نوع فرمولاسیون و غیره است که در نهایت بر ویژگی‌های حسی و ارزش تغذیه‌ای محصول و بسیاری از موارد دیگر اثر گذار است. انجمادزدایی اهمی به صورت غوطه‌وری سبب حفظ کیفیت و انسجام بافت شده است و بافت مستحکم‌تری ایجاد کرده به طوریکه نیروی برشی بیشتری صرف شد. متغیرهای وابسته با مدل‌های کینتیکی مناسب با بالاترین ضریب رگرسیون توصیف شدند. همچنین مدل‌های کینتیکی با R^2 و RMSE اعتبارسنجی شدند. نتایج مدل‌های اعتبارسنجی شده باعث پیش بینی متغیرهای وابسته در زمان و غلظت‌های مختلف شده است و از این رو انتخاب شرایط مناسب با کمترین افت و بهترین خصوصیات بافتی و رنگ را در نمونه ماهی انجمادزدایی شده امکان پذیر کرده است.

منابع

Athmaselvi, K. A., Kumar, C., & Poojitha, P. 2017. Influence of temperature , voltage gradient and electrode on ascorbic acid degradation kinetics during ohmic heating of tropical fruit pulp. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(1), 144–155.

Backi, C. J. 2017. Methods for (industrial) thawing of fish blocks : a review. *Journal of Food Process Engineering*, 41(1), 1-11.

Darvishi, H., Khostaghaza, M. H., & Najaf, G. 2013. Ohmic heating of pomegranate juice : electrical conductivity and pH change. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 12(2), 101–108.

Duygu, B., & Ümit, G. 2015. Application of ohmic heating system in meat thawing. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 195, 2822–2828.

Egan, H., Kirk, R.S., and Sawyer, R. 1997. Pearson's chemical analysis of food (9nd ed), Churchill Livingstone, Londen, New york.

Erdogdu, F., & Tutar, M. 2012. A computational study for axial rotation effects on heat transfer in rotating cans containing liquid water , semi-fluid food system and headspace. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 3774–3788.

García, M., Vilas, C., Herrera, J. R., Bernárdez, M., Balsa-Canto, E., & Alonso, A. A. 2015. Quality and Shelf-life prediction for retail fresh hake (*Merluccius merluccius*). *International Journal of Food Microbiology*, 208, 65–74.

Hong, G., Chun, J., Jo, Y., & Choi, M. 2014. Effects of water or brine immersion thawing combined with ultrasound on quality attributes of frozen pork loin. *Korean Journal Food Science*, 34, 115–121.

Hong, G.P., Min, S.G., Ko, S.H., Shim, K.B., Seo, E.J., & Choi, M.J. 2007. Effects of brine immersion and electrode contact type low voltage ohmic thawing on the physico-chemical properties of pork meat. *Korean Journal Food Science*, 27(4), 416–423.

Khan, A. Q., Aldosari, F., & Hussain, S. M. 2018. Fish consumption behavior and fish farming attitude in kingdom of saudi arabia (KSA). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), 195–199.

Kim, J. Y., Hong, G. P., Park, S. H., Spiess, W. E. L., & Min, S. G. 2006. Effect of ohmic thawing on physico_chemical properties of frozen hamburger patties. Korean *Journal Food Science*, 26(2), 223–228.

Lascorz, D., Torella, E., Lyng, J. G., & Arroyo, C. 2016. The potential of ohmic heating as an alternative to steam for heat processing shrimps. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 329–335.

Leygonie, C., Britz, T. J., & Hoffman, L. C. 2012. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: review. Meat Science, 91(2), 93–98.

Li, D., Jia, S., Zhang, L., Li, Q., Pan, J., Zhu, B., … Luo, Y. 2017. Post-thawing quality changes of common carp (Cyprinus carpio) cubes treated by high voltage electrostatic field (HVEF) during chilled storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42, 25–32.

Li, D., Jia, S., Zhang, L., Wang, Z., Pan, J., Zhu, B., & Luo, Y. 2017 Effect of using a high voltage electrostatic field on microbial communities, degradation of adenosine triphosphate, and water loss when thawing lightly-salted, frozen common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Food Engineering*, 212, 226–233.

Liu, L., Llave, Y., Jin, Y., Zheng, D., Fukuoka, M., & Sakai, N. 2017. Electrical conductivity and ohmic thawing of frozen tuna at high frequencies. *Journal of Food Engineering*, 197, 68–77.

Llave, Y., Terada, Y., Fukuoka, M., & Sakai, N. 2014. Dielectric properties of frozen tuna and analysis of defrosting using a radio-frequency system at low frequencies. *Journal of Food Engineering*, 139, 1–9.

Mousakhani-ganjeh, A., Hamdami, N., & Soltanizadeh, N. 2016. Effect of high voltage electrostatic field thawing on the lipid oxidation of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*). Innovative Food Science and Emerging Technologies, 36, 42–47.

Mousakhani-Ganjeh, A., Hamdami, N., & Soltanizadeh, N. 2015. Impact of high voltage electric field thawing on the quality of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*). *Journal of Food Engineering*, 156, 39–44.

Mousakhani-Ganjeh, A., Hamdami, N., & Soltanizadeh, N. 2016. Thawing of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*) using still air method combined with a high voltage electrostatic field. Journal of Food Engineering, 169, 149–154.

Murphy, R. Y., & Marks, B. P. 2000. Effect of meat temperature on proteins , texture , and cook loss for ground chicken breast patties. *Poultry Science*, 79(1), 99–104.

Rahbari, M., Hamdami, N., Mirzaei, H., Jafari, S. M., Kashaninejad, M., & Khomeiri, M. 2018. Effects of high voltage electric field thawing on the characteristics of chicken breast protein. Journal of Food Engineering, 216, 98–106.

Roiha, I. S., Tveit, G. M., Backi, C. J., Jónsson, Á., Karlsdóttir, M., & Lunestad, B. T. 2018. Effects of controlled thawing media temperatures on quality and safety of pre-rigor frozen atlantic cod (*Gadus morhua*). *LWT - Food Science and Technology*, 90, 138–144.

Shi, J., Dai, Y., Kakuda, Y., Mittal, G., & Xue, S. J. 2008. Effect of heating and exposure to light on the stability of lycopene in tomato puree. *Food Control*, 19, 514–520.

Shim, J., Lee, S. H., & Jun, S. 2010. Modeling of ohmic heating patterns of multiphase food products using computational fluid dynamics codes. *Journal of Food Engineering*, 99, 136–141.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 43- 53

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۵۳-۴۳

Evaluation and Modelling of Physicochemical Changes of Tuna Fish Using Immersion Ohmic Thawing Method

S. Fattahi, N. Zamindar*

Received: 2019.08.31
Accepted: 2020.01.26

Introduction: Fish is the most extremely perishable food products (Roiha *et al*, 2018) and its quality may be affected by many elements (García *et al*, 2015). The techniques used for the freezing and thawing processes play an essential function in maintaining the quality of the frozen foods. If freezing and thawing processes are carried out accurately, the quality of frozen fish will be near to fresh quality after thawing (Duygu and Ümit, 2015). There are various methods for thawing of frozen food products like still air thawing, air blast, refrigerator thawing, cold and warm water thawing, warm salt-water thawing, static water thawing and a number of innovative approaches such as high voltage electrostatic field (HVEF) thawing, ohmic, microwave, pressure-assisted, acoustic, radio frequency, infra-red and high hydrostatic pressure thawing (Mousakhani-Ganjeh *et al*, 2015; Mousakhani-Ganjeh *et al*, 2016). During Ohmic heating (OH), electrical energy is altered to thermal energy within a conductor by applying an alternative current across the food product (Darvishi *et al*, 2013). The energy is approximately completely dispersed within the heated food product (Shim *et al*, 2010). A large number of applications exists for ohmic treatments including heating, cooking, thawing, blanching, evaporation, dehydration, pasteurization, fermentation and extraction (Athmaselvi *et al*, 2017; Boldaji and Borghei, 2015).

Materials and methods: Tuna fish (*Thunnus albacares*) obtained from Esfahan Pegah Co., Isfahan, Iran and transferred to the laboratory. The white fresh fish muscles were divided into cubes ($3 \times 3 \times 3$ cm^3) and instantly frozen at -30°C after vacuum packaging in polyethylene bags. The frozen samples kept at -18°C until the day of experiments. The experimental apparatus of ohmic heating comprised of a power supply, an isolating variable transformer, power analyzer and a microprocessor board. The ohmic cell was made of PTFE cylinder with two displacement stainless steel electrodes. Temperature was measured with a K-type thermocouple. The electrical conductivity (σ, mS/cm) of the brine solutions was determined before thawing at 25°C. The electrical conductivity of fish minced paste was also measured at 4°C. In the present study, the tuna cubes (27 cm^3) were thawed under constant ohmic power intensity (50 V) at three different brine concentrations (0.3, 0.4 and 0.5 NaCl, %w/v) during three time intervals (0, 24 and 48 hours). The parameters associated with the quality of tuna such as thawing time, thawing rate, thawing, cooking and total losses, centrifugal loss, lipid oxidation, texture and color were investigated during OH thawing. Changes in the thawing, cooking and total losses, WHC, texture, L^*, a^*, b^* and color changes were studied as kinetic models.

Results and Discussion: Results showed that, thawing under immersion ohmic thawing significantly decreased the thawing time of frozen tuna fish cubes. Suitable kinetic models with the highest regression coefficient described dependent parameters. In addition, kinetic models were validated by R^2 and RMSE. Statistical analysis showed that the interaction effects of two parameters (concentration * time) on thawing loss were significant ($p \leq 0.05$). The lowest thawing loss was observed at 0.3 and 0.5 %w/v NaCl immediately after thawing. The lowest cooking loss was seen at highest brine concentration and the lowest total loss was observed at time zero after thawing ($p \leq 0.01$). The WHC of meat product is one of the most important factors affecting economical value and meat quality due to the weight change during thawing. In this study, WHC increased by increasing the brine concentration. In addition, oxidation of lipids did not occur, and TBA index did not differ significantly. This was probably due to the high speed of immersion ohmic thawing. The highest shear force was related to the treated sample with the lowest brine concentration. The highest a^* was indicated immediately after thawing. Immersion ohmic thawing saved time and led to reducing the losses parameters. In addition, WHC was maintained at the highest possible level. Fish and fishery products are very perishable materials and no oxidation was observed during immersion ohmic thawing regarding the presence of NaCl,.

Keywords: Ohmic thawing, Kinetic model thawing, Tuna fish, Ohmic heating

(*Corresponding author's email: n.zamindar@khuisf.ac.ir)

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 55- 67

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۶۷-۵۵

مقاله علمی- پژوهشی

بررسی اثر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو، سرعت همگن‌سازی و چربی بر pH، بافت و رنگ ماست همزده کم‌چرب

مسعود نجف نجفی*[۱]- حمیدرضا شاطری[۲]- مرتضی کاشانی‌نژاد [۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰

چکیده

در این تحقیق اثر مقادیر مختلف صمغ کنجاک (صفر تا ۰/۲ درصد)، صمغ دانه مرو (صفر تا ۰/۲ درصد) به‌عنوان متغیرهای آزمایشی طرح مخلوط و میزان چربی (صفر تا ۳ درصد) و سرعت همگن‌سازی (صفر تا ۲۴۰۰۰ دور در دقیقه) به عنوان متغیرهای آزمایشی طرح فرآیندی بر pH، بافت و رنگ ماست کم‌چرب با استفاده از طرح اپتیمال متقاطع مخلوط- فرایند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی pH نشان داد که فقط اثر چربی برpH نمونه‌ها معنی‌دار بود به‌طوری که با افزایش میزان چربی، pH نمونه‌ها نیز افزایش یافت. آزمون اکسترژن برگشتی- آنالیز پروفیل بافت نشان داد که با افزایش میزان چربی و سرعت همگن‌سازی، سختی، نیروی چسبندگی، پیوستگی و حالت صمغی نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین اگرچه در سرعت‌های همگن‌سازی پایین دو صمغ کنجاک و دانه مرو بر سختی، نیروی چسبندگی، پیوستگی و حالت صمغی نمونه‌ها اثر سینرژیستی داشتند اما نتایج، نشان‌دهنده عملکرد بیشتر صمغ دانه مرو نسبت به صمغ کنجاک بر روی این خصوصیات در سرعت همگن‌سازی بالا بود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری رنگ نشان داد که تنها اثر خطی صمغ دانه مرو و اثرات متقابل صمغ کنجاک- صمغ دانه مرو، صمغ کنجاک- سرعت هموژن بر روی L^* نمونه‌ها معنی‌دار بود و با افزایش میزان صمغ کنجاک و کاهش صمغ دانه مرو، L^* نمونه‌ها کاهش ولی با افزایش سرعت هموژن L^* افزایش یافت. به‌منظور بهینه‌سازی صفات در این تحقیق، چربی و نیروی چسبندگی حداقل وسختی و پیوستگی حداکثر در نظر گرفته شدند که با توجه به صفات مذکور، میزان صمغ کنجاک ۰/۱۴۶ درصد، میزان صمغ دانه مرو ۰/۰۵۳ درصد، چربی ۲/۴۲ درصد و سرعت همگن‌سازی ۱۲۳۰۰ دور در دقیقه به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو، سرعت همگن‌سازی، آزمون اکستروژن برگشتی، آنالیزپروفیل بافت، ماست همزده کم‌چرب

مقدمه

ماست یک فرآورده لبنی تخمیری با خصوصیات بافتی و رئولوژیکی مشخصی است که این خصوصیات برای پذیرش مصرف‌کننده اهمیت زیادی دارد. بافت ماست تحت تأثیر فاکتورهای مختلفی از جمله کیفیت و ترکیبات شیر، چربی، مواد جامد کل، فرآیند حرارتی شیر، ترکیب باکتری‌های تولید کننده اسید لاکتیک استفاده شده، میزان اسید تولید شده و زمان ماندگاری شیر است (Purwandari *et al*., 2007). از طرفی در طی دهه گذشته مصرف محصولات غذایی بدون چربی و کم‌چرب گسترش زیادی پیدا کرده است، به این دلیل که بین مصرف چربی و بیماری‌های زیادی از جمله چاقی، بیماری‌های قلبی و عروقی مانند تصلب شرائین و سرطان ارتباط مستقیم وجود دارد. بنابراین مطالعات زیادی درجهت تولید محصولات رژیمی کم‌چرب به‌ویژه ماست کم‌چرب انجام گرفته است. با این وجود، محصولات تولید شده تا حدودی فاقد بافت و ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی مناسب در مقایسه با نمونه‌های ماست با چربی کامل هستند. از این‌رو، روش‌های مختلفی به‌منظور جایگزینی چربی در فراورده‌های لبنی از قبیل هموژنیزاسیون شیر (Merrill*et al*., 1994)، تغییر روش‌های تولید[۴](Perry*et al*., 1997) و افزودن جایگزین‌های تقلیدکننده چربی[۵] نظیر هیدروکلوئیدها (Rudan*et al*., 1998) توسعه یافته است. هیدروکلوئیدها ترکیباتی هستند که ایجاد

۱- دانشیار گروه صنایع غذایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی،سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،مشهد، ایران.
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، تولید فرآورده‌های نوین لبنی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد، ایران.
۳- دانشجوی دکتری، مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(* - نویسنده مسئول: Email: mnajafi.mhd@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.82102

4 Changing production methods
5 Fat emulator

قوام و بافت می‌کنند، باعثا فزایش پایداری می‌شوند، به‌عنوان یک امولسیفایر عمل می‌کنند، تشکیل ژل می‌دهند و احساس دهانی را بهبود می‌بخشند. در حقیقت هیدروکلوئیدها مقدار کم چربی را به‌وسیله توانایی‌شان در جذب و پیوند کردن آب و داشتن ویژگی‌های بافت-دهندگی جبران می‌کنند (Guven*et al*., 2005). دراین میان، صمغ کنجاک پلی‌ساکاریدی خنثی است که از گیاهی پایا و چندساله متعلق به خانواده (*Araceae*) و گونه (*Amorphophalus konjac*) مشتق شده و به‌خوبی در کشورهای شرق آسیا شناخته شده است (Chua *et al*., 2012). این صمغ عملکردی دوگانه دارد، از یک سو به‌دلیل غیر قابل هضم بودن یک فیبر غذایی محسوب می‌شود و به‌خاطر نقش مهم آن در کنترل وزن، اصلاح متابولیسم میکروبی روده، خارج ساختن رادیکال های آزاد، ممانعت از رشد تومورهای نهفته و پیشرفته نادر، بسیار مورد توجه است و از سوی دیگر به‌خاطر توانایی جذب آب بالا، به‌عنوان تشکیل دهنده ژل و عامل سفت‌کننده در غذاهای سنتی آسیایی بسیار مورد توجه است (Zhang*et al*., 2015). مرو نیز یکی از دانه‌های بومی ایران است که صمغ حاصل از آن می‌تواند به‌عنوان یک هیدروکلوئید غذایی جدید معرفی شود زیرا دارای خصوصیات عملکردی فوق العاده‌ای همچون پایدارکنندگی، تغلیظکنندگی و عامل تشکیل‌دهنده ژل می‌باشد (Razavi*et al*., 2013). همچنین استفاده ترکیبی از هیدروکلوئیدها به‌علت خواص سینرژیستی آنها در صنایع غذایی نیز بسیار رایج است (Kayacier and Dogan, 2006) زیرا استفاده از ترکیبی از صمغ‌ها می‌تواند باعث بهبود کیفیت محصول شود و از طرفی با کمتر کردن غلظت یک صمغ در فرمولاسیون از نظر اقتصادی نیز به صرفه‌تر خواهد بود (Walkenström *et al*., 2003). بر همین اساس مطالعات متعددی به‌منظور بررسی تأثیر سینرژیستی صمغ‌های مختلف در سیستم‌های غذایی مدل انجام شده است (Demirkesen*et al*., 2010; Dolz *et al*., 2007; Mandala *et al*., 2008).

از جمله روش‌های پیشنهادی برای اصلاح ویژگی‌های ماست کم‌چرب، بهره‌گیری از تکنیک همگن‌سازی است. این تکنیک سبب کاهش قابل توجه اندازه گلبول‌های چربی شده و تغییراتی را در غشاء آن ایجاد می‌کند. در محصولات پرچرب، گلبول‌های چربی با شبکه پروتئینی پیوند برقرار کرده و به‌عنوان عوامل اتصال پروتئین‌ها ایفای نقش می‌کنند (Sandoval-Castilla *et al*., 2003)، از این‌رو با همگن‌سازی مناسب می‌توان اثرات نامطلوب فیزیکی‌شیمیایی و بافتی ناشی از کاهش چربی ماست را بهبود بخشید (Aguirre-Mandujano *et al*., 2009). شرایط مختلف همگن‌سازی نظیر فشار (سرعت چرخش) منجر به تغییرات ویژگی‌های ماست از جمله قوام، احساس دهانی، رنگ، طعم و ویژگی‌های رئولوژیکی آن می‌شود. لذا انتخاب فشار مناسب (سرعت چرخش مناسب) برای تولید یک محصول با کیفیت به‌ویژه محصولی که در آن از جایگزین چربی نیز استفاده شده است بسیار حائز اهمیت می‌باشد. سخاوتی‌زاده و صادق زاده‌فر (۱۳۹۱) در بررسی تأثیر صمغ گوار به‌عنوان جایگزین چربی بر برخی خصوصیات شیمیایی و حسی ماست کم چرب نشان دادند که افزایش میزان گوار به میزان ۰/۵ درصد باعث کاهش مقبولیت ماست از لحاظ رنگ، طعم و نظر کلی ارزیاب‌ها گردید. رامونتا و همکاران (۱۳۹۳) اثر فشار و مراحل هموژنیزاسیون بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ماست کم‌چرب پروبیوتیک را مورد ارزیابی قرار دادند و نشان دادند که با افزایش فشار و تعداد مراحل هموژنیزاسیون در طول دوره نگهداری، pH، پتانسیل اکسیداسیون و احیاء و ویسکوزیته کاهش ولی آب‌اندازی و اسیدیته افزایش یافت. ید ملت (۱۳۹۵) تأثیر استفاده از برخی صمغ‌های بومی بر خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی ماست همزده را مورد بررسی قرار داد و نشان داد که صمغ فارسی در غلظت ۰/۱۵ درصد توانست در بهبود ویژگی‌های ماست همزده کم‌چرب موثر باشد. آریان‌فر و اسعدی یاساقی (۱۳۹۷) نیز اثر صمغ قدومه شیرازی بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، رئولوژیکی و حسی ماست کم‌چرب مورد ارزیابی قرار دادند و بیان کردند که با افزایش میزان صمغ قدومه شیرازی، میزان آب‌اندازی نمونه‌ها کاهش یافت اما ویژگی‌های حسی به جز در غلظت‌های بالا چندان تحت تاثیر قرار نگرفت.

بنابراین با بررسی دقیق منابع می‌توان دریافت که در اغلب مطالعات انتشار یافته در مورد ماست کم‌چرب اثر جایگزین‌های چربی و یا تغییرات فرآیندی از جمله فرآیند همگن‌سازی به‌صورت مجزا از هم بر روی خصوصیات آن مورد توجه قرار گرفته است. این در حالی است که تغییرات فرآیند به‌ویژه تغییرات فشار همگن‌سازی علاوه بر اثر بر روی ماست بر جایگزین‌های چربی مانند هیدروکلوئیدها نیز مؤثر می‌باشند و می‌توانند خصوصیات عملکردی انها را تحت تأثیر قرار دهند لذا به‌منظور درک صحیح از شرایط تولید صنعتی در تحقیقات لازم است این تغییرات به‌صورت همزمان بررسی گردند. از این رو، در این تحقیق با توجه به اهمیت تولید ماست کم‌چرب با ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و بافتی مناسب اثر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو، سرعت همگن‌سازی و چربی بر pH، بافت و رنگ ماست کم چرب با استفاده از طرح اپتیمال متقاطع مخلوط- فرایند مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

روش تهیه ماست

برای تهیه ماست کم چرب (به روش اصلاح شده ادیبیگ و همکاران (۲۰۱۰))، شیر پس‌چرخ با ۰/۰۵ در صد چربی به‌صورت پاستوریزه از شرکت شیر پاستوریزه پگاه خراسان تهیه گردید. طبق فرمول به میزان ۱/۵ درصد شیرخشک بدون چربی، ۱/۲ درصد

کنسانتره پروتئین شیر (MPC[1]) (تهیه شده از شرکت پگاه خراسان) (رطوبت ۴/۱ درصد، چربی ۰/۵ درصد، پروتئین ۶۹/۵ درصد، لاکتوز ۱۷ درصد، خاکستر ۸/۵ درصد) و ۳۵ /۰ درصدنمک خوراکی به آن افزوده شد. مخلوط حاصل با استفاده از دستگاه ترمومیکس[2] در دمای ۶-۴ درجه سانتی گراد تا زمان حل شدن کامل پودرها به‌آرامی هم‌زده شد. میزان چربی مخلوط با استفاده از خامه ۴۰ درصد چربی و با توجه به جدول یک به روش مربع پیرسون محاسبه و اضافه گردید. میزان صمغ دانه مرو و کنجاک نیز مطابق جدول یک محاسبه و اضافه شد. سپس نمونه‌ها با استفاده از هموژنایزر (IKA، ساخت آلمان) و مطابق جدول یک همگن گردیدند. نمونه‌ها به‌منظور آبگیری کامل به مدت یک شب در دمای ۶-۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال قرار گرفتند. روز بعد، ابتدا نمونه‌ها به‌مدت ۵ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه ترمومیکس حرارت داده شدند. سپس تا دمای تلقیح (۴۵ درجه سانتی‌گراد) خنک شدند. استارتر ماست (Optiferm Type:Joferm DD) مطابق دستورالعمل شرکت سازنده (حل شدن یک واحد استارتر در ۱۰۰۰ سی‌سی شیر پس چرخ و استفاده از ۱۰ سی سی از آن برای یک لیتر نمونه) اضافه گردید و نمونه‌ها پس از رسیدن به pH=4.6 در گرمخانه تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرد و به مدت ۳۰ ثانیه هم‌زده شدند و در لیوان‌های ۱۰۰ گرمی پلی اتیلنی بسته‌بندی و به مدت ۲۴ ساعت در دمای۴ درجه سانتی‌گراد قبل از انجام آزمایشات نگهداری گردیدند.

اندازه‌گیری pH

pH نمونه‌ها توسط دستگاه pHمتر (Metrohm، ۶۹۱، سوئیس) مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۵۲ اندازه گیری شدند.

آزمون اکستروژن برگشتی- آنالیز پروفیل بافت

برای انجام آزمون اکستروژن برگشتی-آنالیز پروفیل بافت از دستگاه TextureAnalyzer (Stable Micro Systems, London,UK) استفاده شد (Bourne, 2013). جهت انجام این آزمون از سیلندر با قطر ۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر و پروب با قطر ۴۵ میلی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر استفاده گردید و سرعت حرکت پروب ۱ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. نمونه‌های ماست در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد، تا ۶۰٪ ارتفاع اولیه (ارتفاع ۴۰ میلی‌متر سیلندر) طی دو سیکل توسط دستگاه اکسترود شدند. صفات مورد اندازه‌گیری عبارت بودند از سختی (ارتفاع پیک اصلی در منحنی اول در مرحله و با واحد نیوتن)، پیوستگی[3] (سطح زیر منحنی دوم در مرحله رفت به سطح زیر منحنی اول در مرحله رفت)، حالت فنری[4] (فاصلهٔ بین شروع منحنی دوم تا رسیدن این منحنی به پیک)، حالت صمغی[5] (مقدار آن از حاصل ضرب مقادیر سختی در پیوستگی) و نیروی چسبندگی[6] (بیشترین مقدار نیرو در قسمت منفی).

استخراج خصوصیات تصویر نمونه ها

جهت عکس‌برداری از نمونه‌ها، ۵۰ گرم از هر نمونه درون پیپت آزمایشگاهی ریخته شد. تجهیزات عکس‌برداری شامل یک اتاقک تاریک (جهت جلوگیری از ایجاد نوسان در عکس‌برداری و عدم بازتاب نور) و شش لامپ فلورسنت بود. عکس‌برداری با استفاده از دوربین دیجیتال (Canon Power shot 1000D) متصل به رایانه صورت گرفت. دوربین در فاصله ۲۵ سانتی‌متری نمونه‌ها و موازی با آن روی پایه ثابت قرار گرفت. تصاویر تهیه شده برای آنالیز در فرمت JPG ذخیره‌سازی شدند و سپس آنالیز تصاویر با استفاده از نرم افزار Image J (National Institute of Health, USA) صورت پذیرفت. از مدل رنگی CIE L*a*b*L* (سیاه صفر تا سفید ۱۰۰)، a* (قرمز ۶۰ تا سبز ۶۰-) و b* (زرد ۶۰ تا آبی ۶۰-) نیز برای تعیین پارامترهای رنگ نمونه‌ها استفاده شد که میانگین مقادیرL* و a* و b* برای۲۰ نمونه در دو تکرار اندازه‌گیری گردید.

طرح آزمایشی متقاطع مخلوط- فرآیند

در این پژوهش اجزای طرح مخلوط شامل صمغ‌های دانه مرو و کنجاک به‌میزان صفر تا ۰/۲ درصد تعریف شد، به طوری‌که این اجزاء ۰/۲ درصد وزن فرمول کلی را تشکیل دادند و فاکتورهای فرآیند شامل چربی به میزان صفر تا ۳ درصد و سرعت هموژن صفر تا ۲۴۰۰۰ دور در دقیقه بودند به صورتی‌که تعداد کل تیمارهای نهایی حاصل از طرح متقاطع مخلوط- فرآیند۲۰ تیمار شد (جدول ۱). نتایج پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری (Design-Expert version 10) به روش سطح پاسخ (اپتیمال متقاطع مخلوط- فرایند) آنالیز شدند و هر یک از متغیرهای پاسخ در قالب مدل رگرسیون چند جمله‌ای زیر به صورت تابعی از متغیرهای مستقل ارائه شدند: (Dal Belloa, and Vieirab, 2011)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{3}\beta_i x_i + \sum_{i=1}^{3}\beta_{ij} x_i^2 + \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=i+1}^{3}\beta_{ij} x_i x_j \qquad (۱)$$

که در آن Y عبارت است از متغیر تابع یا پاسخ X_2، X_1 وX_3و X_4 سطوح کدبندی شده متغیرهای مستقل، A ,B،C و D به‌ترتیب صمغ دانه مرو، صمغ کنجاک، چربی و سرعت هموژن و B_2، A_2 و C_2

1 Milk Protein Concentrate
2 Thermomix
3 Cohesiveness
4 Springiness
5 Gumminess
6 Adhesiveness

اثرات درجه دوم و سایر ضرایب اثرات متقابل می‌باشند. با استفاده از جدول آنالیز واریانس (ANOVA) معنی‌دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و متقابل ضرایب مدل رگرسیون برای هر پاسخ در سطوح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ بررسی گردید.

جدول ۱- سطوح واقعی متغیرهای فرآیند و اجزای مخلوط در طرح متقاطع مخلوط- فرآیند

تیمار	صمغ دانه مرو (٪)	صمغ کنجاک (٪)	چربی (٪)	سرعت (rpm)	همگن‌ساز
۱	۰	۰/۲	۳		۲۴۰۰۰
۲	۰/۱	۰/۱	۰/۵		۰
۳	۰/۱	۰/۱	۰/۵		۲۴۰۰۰
٤	۰/۲	۰	۰/۵		۰
۵	۰	۰/۲	۰/۵		۰
٦	۰/۱	۰/۱	۳		۰
۷	۰/۱	۰/۱	۳		۰
۸	۰/۲	۰	۰/۵		۲۴۰۰۰
۹	۰/۲	۰	۲/۳		۱۲۰۰۰
۱۰	۰/۲	۰	۳		۰
۱۱	۰/۱	۰/۱	۳		۲۴۰۰۰
۱۲	۰/۱۵	۰/۰۵	۱		۱۲۰۰۰
۱۳	۰/۱	۰/۱	۳		۲۴۰۰۰
۱٤	۰	۰/۲	۰/۵		۲۴۰۰۰
۱۵	۰	۰/۲	۲		۱۲۰۰۰
۱٦	۰/۲	۰	۳		۲۴۰۰۰
۱۷	۰/۲	۰	۰/۵		۰
۱۸	۰	۰/۲	۳		۰
۱۹	۰	۰/۲	۰/۵		۲۴۰۰۰
۲۰	۰/۲	۰	۰/۵		۲۴۰۰۰

نتایج و بحث

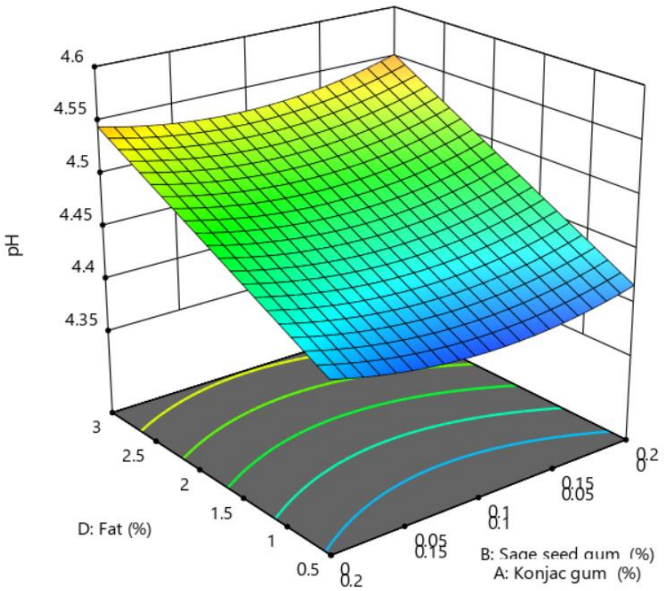
pH

نتایج تحقیق نشان داد کهpH نمونه‌های مورد آزمون بین ۴/۳۹ تا ۷/۴متغیربودند. والسترا و همکاران (۱۹۹۹) بیان کردند که pH بهینه برای دستیابی به خواص مطلوب بافت ماست ۴/۶-۴/۱ است و به‌عنوان قاعده‌ای کلی از آنجا که pH بر کیفیت جاذبه‌ها و پیوندهای میان مولکول‌ها اثرگذار است خواص بافتی و رئولوژیک ژل ماست را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. مدل چندجمله‌ای درجه سه (رابطه ۲) نیز به‌دلیل ضریب تبیین بالای ۰/۸ و معنی‌دار نبودن فاکتور عدم برازش در سطح اطمینان ۹۵٪ ، بهترین برازش را برداده‌های پاسخ pH داشت که در این مدل A، B ، C و D به‌ترتیب صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو ، سرعت همگن‌ساز و چربی هستند. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که فقط اثر چربی در سطح ۹۹ درصد بر روی pH نمونه‌ها معنی‌دار بود در حالی‌که صمغ کنجاک، صمغ دانه‌مرو و سرعت همگن‌سازی هیچ‌گونه اثر معنی‌داری بر روی آن نداشتند. شکل ۱ نیز تأثیر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو و چربی را بر روی pH نمونه‌ها با توجه به معادله ۲ نشان می‌دهد.

$$y1 = 4/48A + 4/48B + 0/0003C + 0/00675D - 0/078AB - 0/016AC - 0/0086AC - 0/0066AD \quad (۲)$$

همان‌طور که در شکل۱ مشاهده می‌شود تغییر نسبت‌های صمغ کنجاک و صمغ دانه مرو هیچ‌گونه تأثیری بر pH نمونه‌ها نداشتند. گوچیزبرگ و همکاران (۲۰۰۹) نیز در پژوهشی که بر روی افزودن اینولین به ماست کم‌چرب انجام دادند، دریافتند که افزودن اینولین تأثیر معنی‌داری بر pH نداشت. فیزمن و همکاران (۱۹۹۹)، پژوهشی در خصوص اثر افزودن ژلاتین بر ماست انجام دادند. نتایج حاکی از

ان بود که ژلاتین تأثیر معنی‌داری بر فعالیت باکتری‌ها و تغییر pH نداشت. بهنیا و همکاران (۱۳۹۲) نیز با بررسی تأثیر استفاده از صمغ دانه شاهی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ماست کم‌چرب به نتیجه مشابهی دست یافتند. همچنین مطابق شکل ۱، با افزایش میزان چربی،pH نمونه‌ها نیز به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. به احتمال زیاد افزایش چربی موجب کاهش فعالیت متابولیکی باکتری‌های آغازگر و در نتیجه افزایش pH نمونه‌ها شده است.در همین ارتباط، مهدیان و همکاران (۱۳۹۱)نشان دادند که افزایش درصد چربی منجر به کاهش تعداد باکتری‌های *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* در ماست تغلیظ شده شد. عزیزنیا و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی خواص فیزیکوشیمیایی ماست‌های کم‌چرب حاوی پروتئین آب پنیر و صمغ تراگاکانت به‌عنوان جایگزین چربی دریافتند که افزایش چربی اثر بازدارنده‌ای بر فعالیت باکتری‌های اسیدلاکتیک داشت و در نتیجه منجر به افزایش pH ماست پرچرب نسبت به ماست کم‌چرب گردید.



شکل ۱- تأثیر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو و چربی بر روی pH

سختی

نتایج نشان داد که سختی نمونه‌های مورد آزمون بین۲/۷۱ تا ۳/۷۱ نیوتن متغیر بودند. مدل چندجمله‌ای درجه سه (رابطه ۳) نیز به‌دلیل ضریب تبیین ۰/۹۴ و معنی‌دار نبودن فاکتور عدم برازش در سطح اطمینان ۹۵٪، بهترین برازش را برداده‌های پاسخ سختی داشت که در این مدل A، B، C و D به‌ترتیب کنجاک، صمغ دانه مرو، سرعت همگن‌سازی و چربی هستند. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که اثرات متقابل صمغ کنجاک- صمغ دانه مرو، صمغ کنجاک– چربی و صمغ دانه مرو- سرعت همگن‌سازی در سطح ۹۵ درصد بر روی سختی نمونه‌ها معنی‌دار بود. شکل ۲ تأثیر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو و سرعت همگن‌سازی را بر روی سختی نمونه‌ها در شرایطی که چربی در نقطه مرکزی (۱/۷۵ درصد) ثابت نگه‌داشته شده را با توجه به ضرایب مدل ۲ نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۲ در شرایطی که چربی نمونه‌ها در نقطه مرکزی (۱/۷۵ درصد) ثابت بود با افزایش میزان صمغ کنجاک و کاهش صمغ دانه مرو در شرایطی که سرعت همگن‌سازی نمونه‌ها بین صفر تا ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه بود سختی نمونه‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین سختی در شرایطی حاصل گردید که از هر دو صمغ به میزان یکسان وجود داشت. این امر نشان‌دهنده اثر سینرژیستی بالای این دو صمغ در سرعت هموژن پایین بود. این درحالی‌است که با افزایش میزان صمغ کنجاک و کاهش صمغ دانه مرو در سرعت‌های همگن‌سازی‌های بالاتر، سختی نمونه‌ها کاهش نشان داد به‌طوری‌که بیشترین سختی در شرایطی که فقط صمغ دانه مرو در میزان حداکثر خود وجود داشت به‌دست آمد. این مطلب نشان‌دهنده عملکرد مؤثرتر صمغ دانه مرو نسبت به صمغ کنجاک بر روی سختی نمونه‌ها در سرعت همگن‌سازی بالا می‌باشد. سندوال و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند مولکول‌های کربوهیدرات به‌دلیل برخورداری از ظرفیت جذب آب بالا قادرند به‌شکل محکمی با مولکول‌های آب پیوند برقرار کرده و آنها را به‌دام اندازند، بنابراین موجب افزایش ویسکوزیته فاز آبی و در نتیجه افزایش مقاومت در برابر نیروی به‌کار برده شده می‌شوند. همچنین بر اساس نتایج این تحقیق، افزایش سرعت همگن‌سازی و چربی منجر به افزایش سختی

نمونه‌ها گردید. در همین ارتباط، والسترا و همکاران (۱۹۹۹) متوجه شدند که در ماست‌قالبی ذرات چربی همگن‌شده به‌عنوان کانون‌هایی عمل می‌کنند که توسط میسل‌ها و ریزمیسل‌های‌کازئینی احاطه می‌شوند، در نتیجه موجب گسترش و تکمیل شبکه ژل ماست می‌گردند. پرنتیس (۱۹۹۲) نیز بیان کرد در صورتی‌که چربی‌شیر در ماست همگن‌نشده بالا باشد، بالابودن درصد چربی ممکن است باعث سست‌شدن شبکه ژل شود، زیرا گویچه‌های درشت چربی که قطر متوسطی بیش از میسل‌های‌کازئین دارند، از هم‌جوشی میسل‌ها جلوگیری‌کرده و موجب گسستگی در شبکه ژل می‌گردند.

نیروی چسبندگی

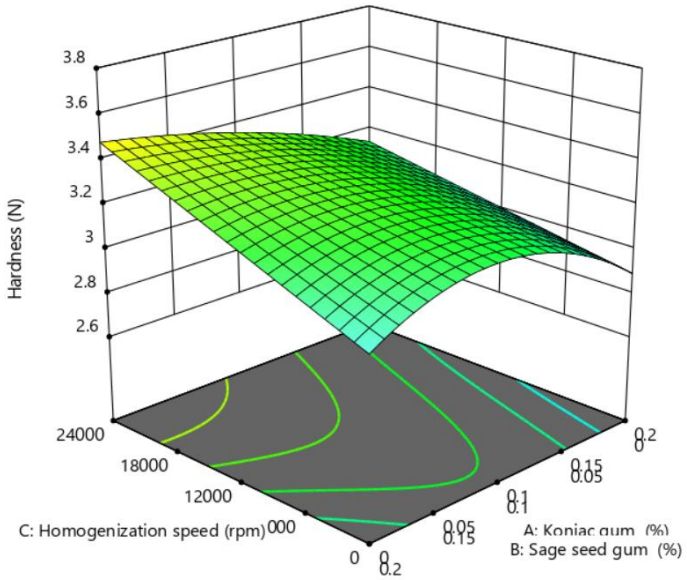
مقدار نیروی مورد نیاز جهت جداسازی مواد غذایی از کام در حین خوردن غذا، چسبندگی نام دارد (Park, 2007). نتایج نشان داد نیروی چسبندگی نمونه‌های مورد آزمون بین ۰/۳۲ تا ۱/۲۳ نیوتن متغیر بود. مدل چندجمله‌ای درجه سه (رابطه ۴) نیز به‌دلیل ضریب تبیین ۰/۷۰ و معنی‌دار نبودن فاکتور عدم برازش در سطح اطمینان ۹۵٪، بهترین برازش را بر داده‌های پاسخ نیروی چسبندگی داشت که در این مدل A، B ، C و D به‌ترتیب صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو، سرعت همگن‌سازی و چربی هستند. آنالیز داده‌ها مشخص کرد که تنها اثر خطی چربی در سطح ۹۹ درصد بر روی نیروی چسبندگی نمونه‌ها معنی‌دار بود. شکل ۳ تأثیر چربی و سرعت همگن‌سازی را بر روی نیروی چسبندگی نمونه‌ها در شرایطی که میزان صمغ‌های کنجاک و دانه مرو (۰/۱ درصد) ثابت نگه‌داشته شده را با توجه به ضرایب مدل ۳ نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۳ مشخص شد که با افزایش چربی، نیروی چسبندگی نمونه‌ها نیز افزایش پیدا کرد. در ارتباط با چسبندگی نمونه‌های ماست می‌توان گفت که نیروی چسبندگی، نیروی لازم جهت غلبه بر نیروی جاذبه سطحی بین ذرات است، لذا هرچه ساختار ماست از سختی بیشتری برخوردار باشد، چسبندگی نیز بیشتر خواهد بود که نتایج حاصل از سختی آن نیز مبین همین نکته است (Motamedzadegan *et al*., 1392).

$$y2 = 3/01A + 3/24B + 0/526AB + 0/124AC + 0/134AD + 0/134BD - 0/378ABC + 0/291ABD - 0/048ACD - 0/103BCD + 0/989ABCD \quad (۳)$$

$$y3 = 0/594A + 0/709B + 0/124C + 0/187D + 0/475AB - 0/058AC - 0/014AD \quad (۴)$$

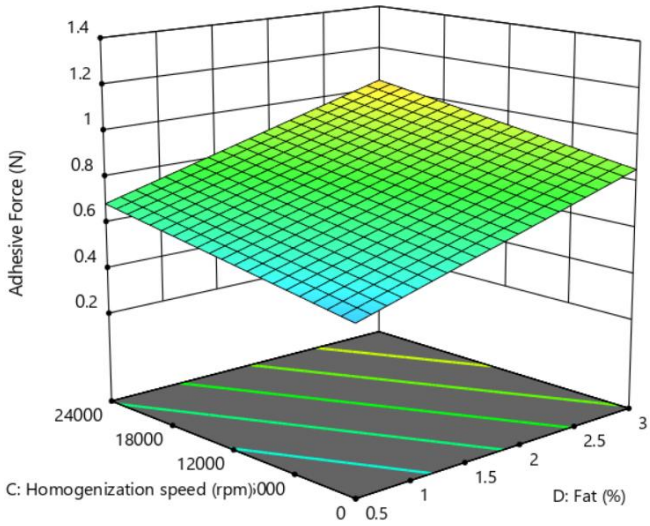
$$y4 = 0/261A + 0/0120AB - 0/014AC - 0/008AD - 0/012BC - 0/013BD + 0/083ABC \quad (۵)$$



شکل ۲- تأثیر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو و سرعت همگن‌سازی بر سختی نمونه‌ها (چربی۱/۷۵درصد)

تمیم و رابینسون (۱۹۹۹) بیان کردند که مقدار بالای‌چربی همگن‌شده، چسبندگی بافت ماست را افزایش می‌دهد. محمدی و همکاران (۱۳۹۸) نیز نشان دادند که افزایش صمغ کنجاک منجر به افزایش چسبندگی نمونه های خامه کم چرب گردید. کاشانی نژاد و

رضوی (۱۳۹۸) نیز بیان کردند که با افزایش کربوکسی متیل سلولز و صمغ دانه مرو چسبندگی خامه کم چرب شیر شتر افزایش یافت.

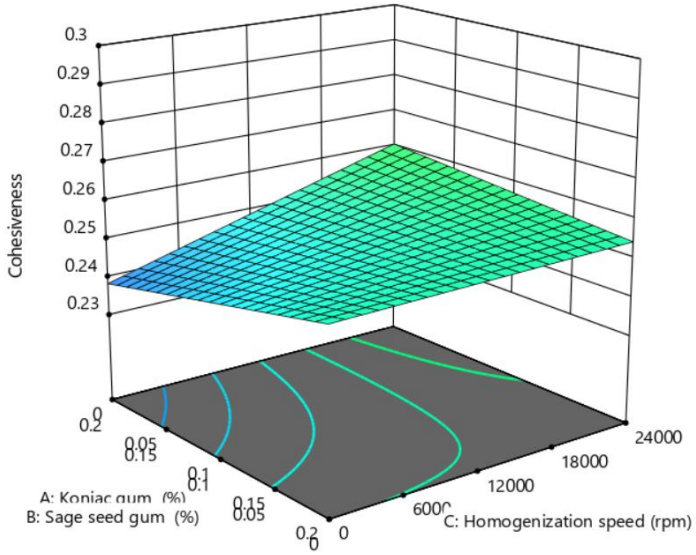


شکل ۳- تأثیر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو و سرعت همگن‌سازی بر روی نیروی چسبندگی نمونه‌ها (چربی۱/۷۵درصد)

پیوستگی

شکل ۴ تأثیر صمغ‌های کنجاک، دانه مرو و سرعت همگن‌سازی را بر روی پیوستگی نمونه‌ها در شرایطی که میزان چربی ۱/۷۵درصد ثابت نگه‌داشته شده را با توجه به ضرایب مدل ۴ نشان می‌دهد. به‌طور کلی شاخص پیوستگی تحت عنوان قدرت پیوندهای داخلی غذاها تعریف می‌شود و قدرت کششی و پیوستگی غذاها را نشان می‌دهد (Park, 2007). پیوستگی نمونه‌های مورد آزمون بین ۰/۲۳ تا ۰/۲۹ متغیر بود. مدل چندجمله‌ای درجه سه (رابطه ۵) نیز به‌دلیل ضریب تبیین ۰/۷۰ و معنی‌دار نبودن فاکتور عدم برازش در سطح اطمینان ۹۵٪ ، بهترین برازش را بر داده‌های پاسخ پیوستگی داشت که در این مدل A، B ، C و D به ترتیب صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو، سرعت همگن‌سازی و چربی هستند.

همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که اثرات خطی صمغ کنجاک و صمغ دانه مرو سرعت همگن‌سازی و چربی و اثرات متقابل صمغ کنجاک– سرعت همگن‌سازی، صمغ دانه– چربی و سرعت همگن‌سازی– چربی در سطح ۹۵درصد بر روی پیوستگی نمونه‌ها معنی‌دار بود..



شکل ٤- تأثیر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو و سرعت همگن‌سازی بر روی پیوستگی نمونه‌ها (چربی۱/۷۵درصد)

با توجه به شکل ۴ می‌توان دریافت که با افزایش سرعت همگن‌سازی، پیوستگی نمونه‌ها افزایش پیدا کرد. در ماست قالبی، ذرات چربی همگن به‌صورت کاتیون‌هایی عمل می‌کنند که توسط میسل‌ها و ریزمیسل‌های کازئینی‌که به‌عنوان امولسیون‌کننده عمل می‌کنند جذب‌سطحی می‌شوند. این رویداد به گسترش و تکمیل شبکه ژل ماست‌کمک می‌کند و پیوستگی شبکه و سفتی ژل را افزایش می‌دهد. قرار گرفتن ذرات چربی نیز میان میسل‌ها و ریزمیسل‌های‌کازئینی با کمک به‌هم‌جوشی آنها موجب تشکیل رشته‌های کازئینی ضخیم می‌شود (Mortazavian *et al*., 2006). ایستلن و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که کاهش چربی و متعاقب آن کاهش ماده خشک کل در ماست کم‌چرب یا بدون چربی باعث ایجاد بافت ضعیف، ساختار نامنسجم، خروج آب پنیر و از دست دادن آب می‌گردد.

حالت فنری

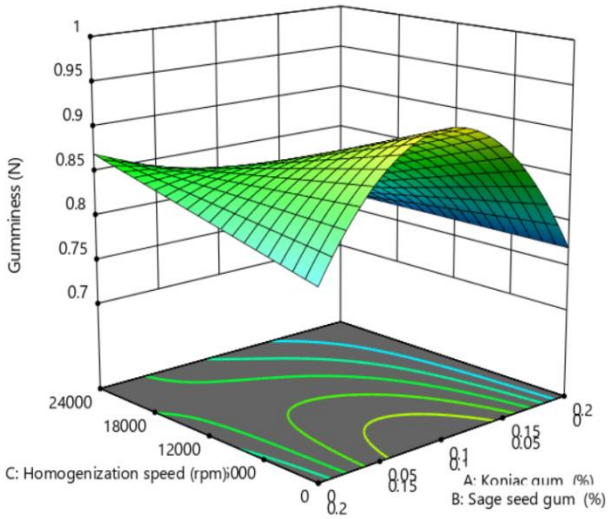
خاصیت فنری، طبق تعریف، سرعت بازگشت ماده غذایی تغییر شکل یافته به حالت اولیه خود، پس از حذف نیرو می‌باشد (Park, 2007). حالت فنری نمونه‌های مورد آزمون بین۵/۳۳ تا ۶/۱۸ میلی‌متر متغیر بود و نتایج بررسی‌ها نشان داد که هیچ‌کدام از اثرات خطی، درجه دوم و متقابل صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو، سرعت همگن‌سازی و چربی بر روی حالت فنری نمونه‌ها معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵).

حالت صمغی

حالت صمغی تحت عنوان نیروی مورد نیاز برای از هم پاشیدن مواد غذایی نیمه جامد به حالت آماده برای بلع، تعریف می‌شود (Park, 2007). شکل ۵ تأثیر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو و سرعت همگن‌سازی را بر حالت صمغی نمونه‌ها در شرایطی که چربی ۰/۵ درصد ثابت نگه‌داشته شده را با توجه به ضرایب مدل ۵ نشان می‌دهد. مطابق یافته‌های تحقیق، حالت صمغی نمونه‌های مورد آزمون به‌ترتیب بین ۰/۷۳تا۰/۹۸نیوتن متغیر بود. مدل چندجمله‌ای درجه سه (رابطه ۶) نیز به‌دلیل ضریب ۰/۹۲ و معنی‌دار نبودن فاکتور عدم برازش در سطح اطمینان ۹۵٪ ، بهترین برازش را بر داده‌های پاسخ حالت صمغی داشت. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که فقط اثرخطی صمغ کنجاک و صمغ دانه مرو در سطح ۹۵ درصد بر الت صمغی نمونه‌ها معنی‌دار بود.

$$y5 = 0/795A + 0/844B + 0/188AB - 0/006AC + 0/025AD + 0/035BC + 0/009BD + 0/073ABC - 0/089ABD - 0/006ACD + 0/372ABCD \quad (۶)$$

$$y6 = 65/80A + 86/16B - 2/67AB + 0/559AC + 0/087AD + 0/006BC + 0/025BD - 0/275ABC + 0/711ABD - 0/064ACD - 0/080BCD - 46/29AC^2 + 67/08AD^2 \quad (۷)$$



شکل ۵- تأثیر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو و سرعت همگن‌سازی بر حالت صمغی نمونه‌ها (چربی ۰/۵ درصد)

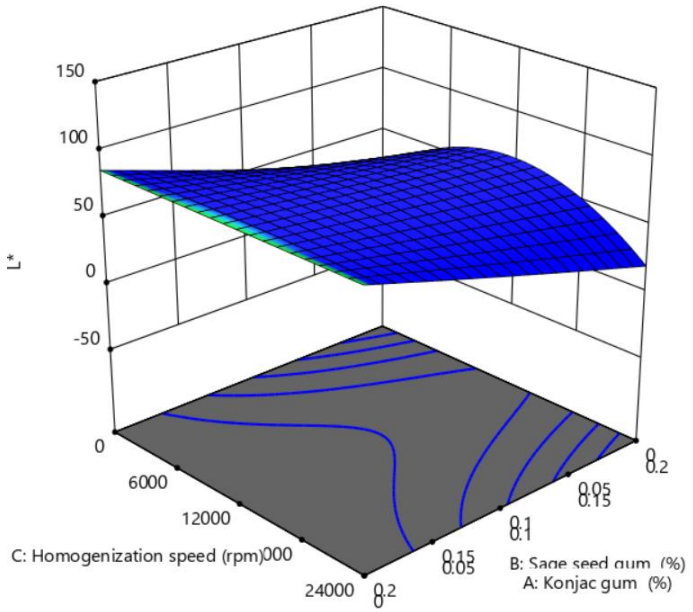
همان‌طور که در شکل۵ مشاهده می‌شود در شرایطی که چربی نمونه‌ها ۰/۵ درصد باشد با افزایش میزان صمغ کنجاک و کاهش صمغ دانه مرو حالت صمغی نمونه‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین حالت صمغی در شرایطی حاصل گشت که میزان هر دو صمغ یکسان بود و این نشان‌دهنده اثر سینرژیستی بالای این دو صمغ بر حالت صمغی نمونه‌ها می‌باشد. در واقع تغییرات

حالت صمغی نمونه‌ها با تغییرات نسبت‌های صمغ‌های کنجاک و دانه مرو، مشابه روند تغییرات سختی نمونه‌ها بود، به صورتی‌که با افزایش اتصالات عرضی پروتئین‌ها و تقویت شبکه سه‌بعدی پروتئینی و افزایش سختی در اثر افزودن صمغ‌ها، حالت صمغی نیز افزایش پیدا کرد و در واقع نیروی لازم برای از هم پاشیدن بافت ماست زیاد شد. کاشانی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند که افزایش صمغ کنجاک منجر به افزایش حالت صمغی نمونه های ماست تغلیظ شده گردید.

شاخص‌های رنگی (L*، a* وb*)

نتایج تحقیق نشان داد که شاخص‌های رنگی L*، a*وb* نمونه‌های مورد آزمون به ترتیب بین ۸۵/۱۸ تا ۸۷/۱۷، ۱۰/۸۰- تا ۹/۳۰- و ۸/۶- تا ۶/۳- متغیر بودند. همچنین نتایج بررسی‌ها مشخص کرد که در بین اثرات خطی، متقابل و درجه دوم، تنها اثر خطی صمغ دانه مرو و اثرات متقابل صمغ کنجاک- صمغ دانه مرو، صمغ کنجاک- سرعت همگن‌سازی در سطح ۹۵ درصد بر روی شاخص L* نمونه‌ها معنی‌دار بود و تیمارهای پژوهش هیچ‌گونه اثر معنی‌داری بر شاخص‌های a* وb* نمونه‌ها نداشتند. مدل چندجمله‌ای درجه سه (رابطه ۷) نیز به‌دلیل ضریب تبیین بالاتر از ۰/۸۰ و معنی‌دار نبودن فاکتور عدم برازش در سطح اطمینان ۹۷٪، بهترین برازش را بر داده‌های مورد آزمون شاخص L* داشت.

شکل ۶ تأثیر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو و سرعت همگن‌سازی بر روی شاخص L* نمونه‌ها در شرایطی که چربی ۱/۷۵ درصد ثابت نگه‌داشته شده را با توجه به ضرایب مدل ۶ نشان می‌دهد.



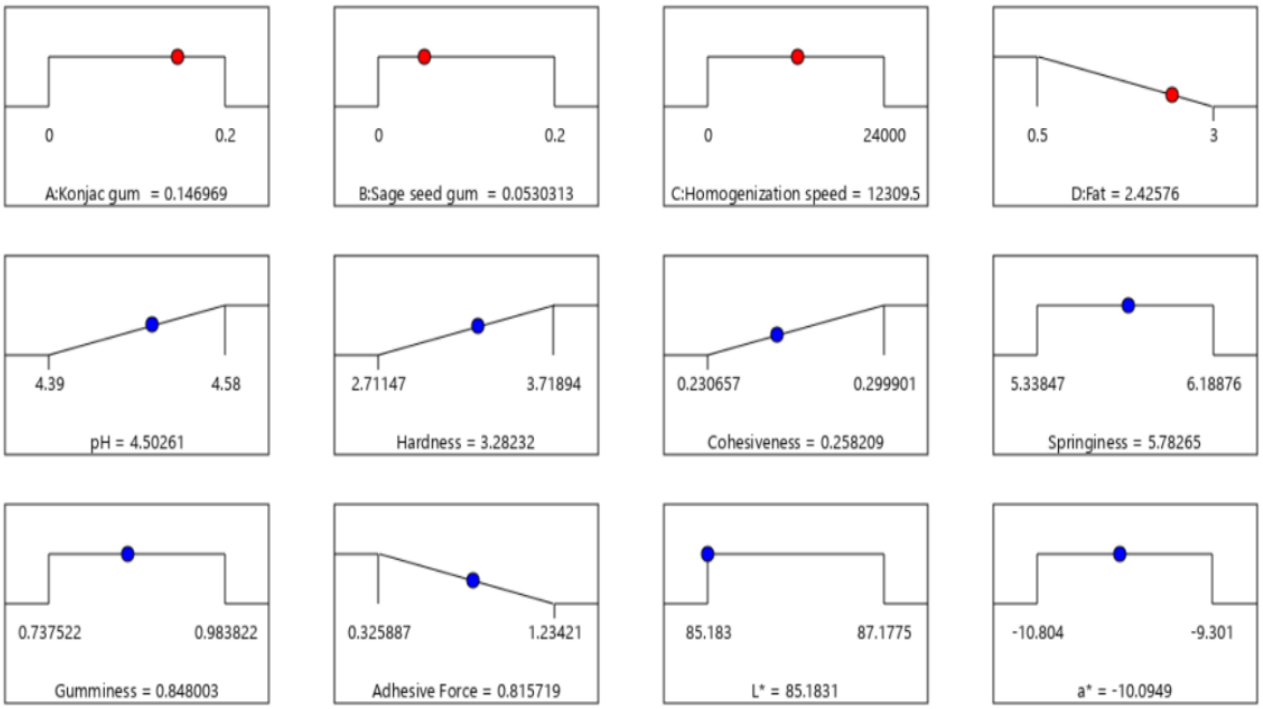
شکل۶- تأثیر صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو و سرعت همگن‌سازی بر حالت صمغی نمونه‌ها (چربی ۱/۷۵ درصد)

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزایش میزان صمغ کنجاک و کاهش صمغ دانه مرو، شاخص L* نمونه‌ها کاهش یافت. پراکندگی نور در هر سیستمی به ناهماهنگی مولکولی و یا حتی سطح اتم‌ها مربوط می‌باشد همچنین فعل و انفعالات جدید شبکه ژلی ماست در اثر افزودن صمغ می‌تواند منجر به ایجاد تجمع‌های بزرگ‌تر میسل‌های کازئینی و کاهش پراکندگی نور و در نتیجه کاهش روشنی گردد (Nouri *et al*., 2011). همچنین بر اساس نتایج این تحقیق، افزایش سرعت همگن‌سازی منجر به افزایش شاخص L* نمونه‌ها گردید. علت این امر این است که با خردشدن گویچه‌های چربی، سطح کلی چربی افزایش می‌یابد که نتیجه آن بازتاب بیشتر نور و سفیدتر شدن رنگ ماست است و در نتیجه جلوه آن بهبود می‌یابد (Tamime and Robinson, 1999).

بهینه‌سازی عددی

در این روش با استفاده از مدل‌هایی که برای هر پاسخ به‌دست آمد، مقادیر بهینه متغیرهای مستقل (X) توسط نرم‌افزار محاسبه شد. در این حالت در صورتی‌که اهمیت صفات با هم متفاوت باشد می‌توان به‌ترتیب اهمیت، به آنها ضریب وزنی و یا در بازه مورد نظر قرار داد. در این تحقیق، چربی و نیروی چسبندگی حداقل و سختی و پیوستگی حداکثر در نظر گرفته شدند. نقطهٔ بهینه فرآیند با توجه به صفات

مذکور۰/۱۴۶ درصد صمغ کنجاک، ۰/۰۵۳ درصد صمغ دانه مرو، ۲/۴۲ درصد چربی و ۱۲۳۰۰ دور در دقیقه سرعت همگن‌سازی به‌دست آمد. چنین فرآیندی دارای pH معادل ۴/۵، سختی ۳/۲۸ نیوتن، پیوستگی ۰/۲۵۸، حالت فنری ۵/۷۸ میلی‌متر، حالت صمغی ۰/۸۴۸ نیوتن، نیروی چسبندگی۰/۸۱۵ نیوتن و شاخص L* ۸۵/۱۸ خواهد بود (شکل۷).



شکل ۷- شماتیک مقادیر بهینه عوامل، پاسخ‌ها و سطوح

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های رئولوژیکی محصولاتی مانند ماست نقش مهمی در عمل‌آوری و بازارپسندی محصول دارد. در ماست این ویژگی‌ها عمدتاً تحت تأثیر فرایند تولید، میزان چربی و نوع صمغ به‌کار رفته در آنها قرار می‌گیرد. تعیین ترکیب بهینه ازصمغ، چربی و سرعت همگن‌سازی در جهت بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی به‌ویژه در راستای کاهش چربی درفرمولاسیون از لحاظ اقتصادی و تغذیه‌ای بسیار حائز اهمیت است. لذا در این پژوهش اثر مقادیر مختلف صمغ کنجاک، صمغ دانه مرو، میزان چربی و فشار همگن‌سازی بر pH، بافت و رنگ ماست کم‌چرب مورد بررسی قرار گرفت و این شرایط بهینه گردید به‌طوری‌که چربی و نیروی چسبندگی حداقل و سختی و پیوستگی حداکثر در نظر گرفته شدند. با توجه به صفات مذکور، میزان صمغ کنجاک ۰/۱۴۶ درصد، میزان صمغ دانه مرو ۰/۰۵۳ درصد، چربی ۲/۴۲ درصد، سرعت همگن‌سازی ۱۲۳۰۰ دور در دقیقه حاصل گردید همچنین به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که صمغ‌های کنجاک و دانه مرو علاوه بر دارا بودن اثر سینرژیستی بر روی برخی ویژگی‌های ماست کم‌چرب، به‌عنوان هیدروکلوئیدهایی که خود دارای ارزش تغذیه‌ای بالایی هستند، می‌تواند به‌عنوان جایگزین مناسب چربی در ماست کم‌چرب مورد استفاده قرار گیرد و خواص رئولوژیکی مطلوبی را در آن ایجاد کنند.

منابع

Aguirre-Mandujano, E., Lobato-Calleros, C., Beristain, C. I., Garcia, H.S., & VernonCarter, E.J. 2009. Microstructure and viscoelastic properties of low-fat yoghurt structured by monoglyceride gels. *Food Science and Technology*, 42, 938-944.

Asaadi Yasaghi N. & Arianfar A. 2019. the effect of alyssum homolocarpum seed gum on physicochemical, rheological and sensory properties of low-fat yoghurt.*Food Science and Technology*, 15 (11), 189 – 201.

Aziznia, S., Khosrowshahi A., Madadlou A.,& Rahimi J. 2008. Whey Protein Concentrate and Gum Tragacanth as Fat Replacers in Nonfat Yogurt: Chemical, Physical, and Microstructural Properties. *Journal of Dairy Science*, 91:2545-2552.

Behnia, A, Karaghian,H , Niazmand,R., & Mohammadi Nafchi, A.R. 2013. The effect of using sunflower gum on the physicochemical properties of low-fat yogurt. *The 21st National Congress of Food Science and Technology*.

Bourne, M. C. 1978. Texture profile analysis. *Food Technology*, 32 ,62–66, 72.

Chua, M., Chan, K., Hocking, T.J., Williams, P. A., Perry, C. J., & Baldwin, T.C .2012. Methodologies for the extraction and analysis of konjacglucomannan from corms of Amorphophalluskonjac K. Koch. *Carbohydrate Polymers* 87(3) 2202–2210.

Dal Belloa, L.H.A., & Vieirab, A.F.C. 2011. Optimization of a product performance using mixture experiments including process variables, *Journal of Applied Statistics*, 38(8), 1701–1715.

Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., & Sahin, S. 2010. Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering* 96: 295–303.

Dolz, M., Hernandez Delegido, J., Alfaro, M.C., & Munoz, J. 2007. Influence of xanthan gum and locust bean gum upon flow and thixotropic behavior of food emulsions containing modified starch. *Journal of Food Engineering* 81: 179–186.

Fiszman, S. M., Lluch, M. A., & Salvador, A. 1999. Effect of addition of gelatin on microstructure of acidic milk gels and yoghurt and on their rheological properties of yoghurt. 21st National Congress of Food Science and Technology

Guggisberg, D., Cuthbert-steven, J., Piccinali, P., Butikofor, U., & Eeberhand, P. 2009. Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk Set yoghurt as influenced by inulin addition. *Internation Dairy Journal* , 19:107115

Guven, M., Yasar, K., Karaca, O.B., & Hayaloglu, A.A. 2005. The effect of inulin as a fat replacer on the quality of set type low, fat yogurt manufacture. *International Journal of Dairy Technology*, 58 (3): 180- 184.

Isleten, M., & Karagul-Yuceer, Y. 2006. Effects of dried dairy ingredients on physical and sensory properties of nonfat yogurt. Journal of Dairy Science, 89,2865-2872.

Kashaninejad, M, Najaf Najafi, M, Ghods Rohani, M.,& Kashaninejad, M. 2019. Optimization of labane (concentrated yogurt) formulation produced by wheyless process using mixture-process variable experiments. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43: e14193.

Kashaninejad, M. & Razavi ,S. M. A. 1398. The effect of carboxymethyl cellulose, sage seed gum and fat on low-fat cream of camel milk. Journal of Innovation in Food Science and Technology (Accepted).

Kayacier, A., & Dogan, M. 2006. Rheological properties of some gums-salep mixed solutions. *Journal of Food Engineering* 72: 261–265

Mahdian, E., Mazaheri, M., & Karazhyan, R. 1391. Effect of fat content of milk on the growth and metabolic activity of starter cultures and quality of concentrated yoghurt, IJFST 3,1.

Mandala, I., Kapetanakou, A., & Kostaropoulos, A. 2008. Physical properties of breads containing hydrocolloids stored at low temperature. II. Effect of freezing. *Food Hydrocolloids* 22: 1443– 1451.

Merrill, R.K., Oberg, C., & McMahon, D. 1994. A method for manufacturing reduced fat Mozzarella cheese. Journal of *Dairy Science*, 77: 1783–1789.

Mohammadi, S.A., Ghods Rouhani, M., Najaf Najafi, M. & Kashaninejad, M. 1398. The effect of konjac gum, homogenization pressure and fat content on rheological and sensory properties of low-fat cream. *Food Science and Technology of Iran*; 16 (87): 239-251.

Mortazavian, A.M., Ehrani, M.R., Mousavi, S.M., Reinheimer, J.A., Emamjomeh, Z., Sohrabvandi, S., & Rezaei, K. 2006. Preliminary investigation of the combined effect of heat treatment and incubation temperature on the viability of the probiotic microorganisms in freshly made yogurt. *International Journal of Dairy Technology*, 59:8-11.

Motamedzadegan, A., Shahidi, A., Hosseini Parvar, H., & Abdali, S. 1392. Investigating the Effect of Gelatin Type on Functional Properties of Non-Fatty Shaped Yogurt. *Journal of Food Science and Technology*, 47, 221-230

Nouri, M., Ezzatpanah, H., & Abbasi, S. 2011. Application of renneted skim milk as a fat mimetics in nonfat yoghurt. *Food and Nutrition Sciences*, 2, 541-548.

Park, Y. W. 2007. Rheological characteristics of goat and sheep milk. Small Ruminant Research, 68(8), 73–78.

Perry, D.M., McMahon, D., & Oberg, C. 1997. Effect of exopolysaccharideproducing cultures on moisture retention in low fat Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*. 80: 799–805.

Prentice, J.H. 1992. Dairy Rheology, VCH Publishers, Inc.cambridge, England.

Purwandari, U., Shah, N.P., & Vasiljevic, T. 2007. Effects of exopolysaccharide producing strains of Streptococcus thermophilus on technological and rheological properties of set-type yoghurt. *International Dairy Journal* 17: 1344-1352.

Ramona,M., Noghanie,F. & Khosro Darani, K.1393. Investigation of the Effect of Pressure and Homogenization Stages on Some physicochemical properties of Low fat Probiotic yogurt, *Journal of Modern Food Technologies* 2 (1), 39-48.

Razavi, S.M.A., HasanAbadi, M., Ghadiri, G.R., & Salehi, E. A. 2013. Rheological interaction of sage seed gum with xanthan in dilute solution. *International Food Research Journal* 20(6): 3111–3116.

Rudan, M.A., Barbano, D.M., Yun, J.J., & Kindstedt, P.S.1998. Effect the modification of fat Particle size by homogenization on composition, proteolysis, functionality and appearance of reduced fat Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 81: 2065-2076.

Sandoval-Castilla, O., Lobato-Calleros, C., Aguirre-Mandujano, E., & Vernon-Carter, E.J. 2003. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *International Dairy Journal*, 14, 151–159.

Sekhavati Zadeh, S & Sadeghzadeh, F. 1391. The effect of guar gum as a fat replacement on some chemical and sensory properties of low-fat yogurt. *Innovation in Food Science and Technology*. 5 (2): 29-38.

Tamime, A.Y., & Robinson, R.K. 1999. Yogurt science and Technology Woodhead Publishing Ltd and CRC Press Uc.

Udabage, P., Augustin M. A., Versteeg,C ., Puvanenthiran, A., Yoo, J.L ., Allen, N., McKinnon, L., Smiddy, M. & Kelly, A.L. 2010.Properties of low-fat stirred yoghurts made from high-pressure-processed skim milk.Innovative *Food Science & Emerging Technologies*.11(1), 32 – 38.

Walkenström, P., Kidman, S., Hermansson, A., Rasmussen, P.B., & Hoegh, L. 2003. Microstructure and rheological behaviour of xanthan/pectin mixed gels. *Food Hydrocolloids*, 17, 593–603.

Walstra, P., Geurts, T. J., Noomen, A., Jellema, A., & van Boekel, M. A. J. S. 1999. Dairy Technology—Principles of Milk Properties and Processes, Marcel Dekker, New York

Yade Mellat, M. 1395. Effects of application of some local gums on physico chemical, textural and sensory properties of stirred yogurt. Master of Science thesis. Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan College of Agriculture Department of Food Science and Technology.

Zhang, L., Xue, Y., Xu, J., Li, Z., & Xue, C. 2015. Effects of deacetylation of konjac glucomannan on Alaska Pollock surimi gels subjected to high-temperature (120℃) treatment, *Food Hydrocolloids*, 43, 125-131.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 55- 67

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۶۷-۵۵

The effect of konjac gum, sage seed gum, homogenization rate and fat content on pH, texture, and color of low fat stirred yogurt

M. Najaf Najafi *[1], H. R. Shateri [2], M. Kashaninejad[3]

Received: 2019.08.31
Accepted: 2020.01.26

Introduction: It can be seen that in most studies published on low fat yogurt, the effects of fat substitutes or process changes, including the homogenization process, have been considered separately. However, process changes, especially changes in homogenization pressure, in addition to the effect on yogurt, has also an effective role on fat substitutes such as hydrocolloids and can affect their functional characteristics. Therefore, in order to understand the proper conditions of industrial production, it is necessary to study these changes simultaneously. Due to the importance of low fat yogurt production, the effect of konjac gum, sage seed gum, homogenization rate and fat content on pH, texture, and color of low-fat yogurt was investigated using mixture-process variable experiments and modeling the properties obtained from this experimental method.

Materials and methods: To prepare low-fat yogurt, firstly, the cream of 40% fat was added to the milk with 0.05% fat, sage seed gum, and konjac gum were added according to the design treatments and calculated by Pearson square method. The preparation was then heated to 90 °C and cooled down to 45 °C. The starter was then added and incubated in oven until reaching pH = 4.6. The yogurt was cooled down and dispersed in a 100 g cups of polyethylene. Texture analyzer was used for combination of back extrusion and texture profile analysis (TPA) test. The evaluated parameters were: hardness (N), cohesiveness, springiness, gumminess (N), chewiness (N), adhesiveness and adhesiveness force. pH was measured according to AOAC official method NO. 981.12.

Results and discussions: The results showed that only the effect of fat content on the 99% level was significant on the pH of the samples, while konjac, sage seed gum, and homogenization rate had no significant effect. By increasing the fat content, the pH of the samples also significantly increased. It is likely that the increase in fat content will reduce the metabolic activity of the starter bacteria and thus increase the pH of the samples. Also, when the fat content of the samples was kept constant (1.75%), increasing the konjac gum and reducing the sage seed gum when the homogeneity of the samples was between 0 and 1200 rpm, the hardness of the samples initially increased and then decreased. When both gums were added at the same level, the hardness decreased indicating the high synergistic effect of these gums at low homogeneity rates. The results of this study showed that only linear effect of fat in 99% level on the adhesiveness force of samples was significant so that by increasing the fat content, the adhesiveness force of the samples increased. Also, the results showed that with increasing the konjac gum and reducing the sage seed gum, the gumminess of the samples first increased and then decreased. The most gumminess sample was in the conditions that both gums were used at the same level, indicating the high synergistic effect of these gums on the gumminess of the samples. The results of color measurement showed that only the linear effect of sage seed gum and the interaction effects of konjac gum-sage seed gum, konjac-gum on homogenization rates of L* samples were significant, and with increasing the level of konjac gum and reducing sage seed gum, L* samples decreased, but with increasing homogenization rates, L* samples increased. In this research, minimization of the fat content and adhesiveness force and maximization of the hardness and cohesiveness was considered as optimization aims. The optimum point calculated as 0.146% konjac gum, 0.053% sage seed gum, 2.42% fat content and 12300 rpm homogenization rate. In this conditio, the responses were: pH=4.5, hardness=3.25 N, adhesiveness force=0.815 N, cohesiveness 0.258 mm and L* 85/18. As a conclusion of this investigation, it could be said that these types of models could be utilized in industries to optimizing the formulation of such product, reducing the cost and increasing the acceptance.

Keywords: Konjac gum, Sage seed gum, Homogenization rate, Back extrusion test, Texture profile analysis, Low fat stirred yogurt.

1. Associate professor, Food Industries Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
2. MSc of Novel Dairy Products Manufacture, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
3. PhD Student, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.
(*Corresponding Author Email: mnajafi.mhd@gmail.com)

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 69- 81

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۸۱-۶۹

مقاله علمی- پژوهشی

بررسی اثر افزودن آرد قسمت‌های مختلف سنجد (*Elaeagnus angustifolia*) بر ویژگی‌های کیک اسفنجی بدون گلوتن

نگین زنگنه[۱]- حسن برزگر*[۲]- محمد امین مهرنیا[۳]- محمد نوشاد[۳]- محمد حجتی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۶

چکیده

بیماری سلیاک نوعی بیماری خودایمنی گوارشی است که در اثر مصرف پروتئین گلوتن ایجاد می‌شود و تنها راه درمان این بیماری، استفاده از رژیم غذایی بدون گلوتن می‌باشد. امروزه به‌واسطه توجه و علاقه مصرف‌کنندگان به ویژگی‌های تغذیه‌ای مواد غذایی درخواست برای تولید مواد غذایی فراسودمند افزایش یافته پس برنامه‌ریزی برای تولید فرآورده‌های بدون گلوتن و همچنین بهبود کیفیت آنها با اهمیت است. میوه گیاه سنجد حاوی طیف وسیعی از ترکیبات غذایی مختلف و مفید و دارای خواص درمانی است که از آرد آن می‌توان به‌عنوان یک ماده اولیه عملگرا در تولید محصولات نانوایی برای تولید محصولی باکیفیت و ارزش تغذیه‌ای بهتر و ایجاد تنوع در محصولات استفاده نمود. در این پژوهش، اثر افزودن آرد سنجد به‌عنوان منبع فیبر و املاح معدنی، به شکل آرد هسته سنجد، آرد پوسته و گوشت سنجد و آرد سنجد کامل هر کدام در سه سطح (۵، ۱۰ و ۲۰ درصد بر اساس وزن آرد و یک نمونه شاهد) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی کیک اسفنجی بدون گلوتن بر پایه آرد ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد میزان رطوبت، خاکستر، فیبر و مواد معدنی نمونه‌ها افزایش و میزان چربی، پروتئین، pH و حجم مخصوص نمونه‌های کیک با افزایش درصد آردهای سنجد کاهش یافت. پارامترهای بافت (سفتی، پیوستگی و صمغی شدن) در روزهای ۱، ۷ و ۱۴ روز پس از پخت افزایش سفتی و صمغی شدن و کاهش پیوستگی را نشان داد و اثر آردهای سنجد بر شاخص‌های رنگی (L*، a*، b* و BI) معنی‌دار بود. بیشترین امتیاز ارزیابی حسی را نمونه‌های حاوی ۵ و ۲۰ درصد آرد پوسته و گوشت سنجد کسب کردند.

واژه‌های کلیدی: آرد ذرت، آرد سنجد، سلیاک، فیبر، کیک بدون گلوتن.

مقدمه

بیماری سلیاک یک بیماری حساسیت به گلوتن است که مربوط به التهاب روده کوچک بوده و موجب بدجذبی چندین ماده مغذی مهم و آسیب به غشا مخاطی روده می‌شود. راه درمان مؤثر برای بیماری سلیاک رعایت دقیق یک رژیم غذایی بدون گلوتن در تمام طول زندگی بیمار است که نتایج آن بازسازی بالینی غشا مخاطی می‌باشد. از طرفی، شمار افراد سلیاکی در حال افزایش و تقاضا برای محصولات بدون گلوتن رو به ازدیاد است (قاسمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶ و صابری و همکاران، ۱۳۹۶). گندم، جو، چاودار و یولاف منابع گلوتن هستند. حساسیت افراد مبتلا به سلیاک را می‌توان ناشی از گلیادین گندم، هوردئین جو، سکالین چاودار و آدنین یولاف دانست (برزگر و زنگنه، ۱۳۹۵). مطالعات اخیر نشان داده است که مصرف محصولات غذایی فراسودمند می‌تواند نقش مؤثری در پیشگیری از بسیاری بیماری‌ها نظیر بیماری‌های قلبی عروقی، سرطان، دیابت و نیز پیری زودرس داشته باشد. غذاهای فراسودمند به فرآورده‌ها و یا افزودنی‌های غذایی اطلاق می‌شود که علاوه بر ارزش تغذیه‌ای خود، در سلامت و بهبود عملکرد فیزیکی و ذهنی بدن به‌طور قابل توجهی تأثیرگذار هستند (ایوبی، ۱۳۹۷). غنی‌سازی کیک به‌عنوان یک میان وعده پرطرفدار یکی از اهداف صنایع نانوایی می‌باشد و فیبرهای غذایی به علت مزایای مصرف آنها مورد توجه متخصصین صنایع غذایی هستند و با توجه به ارتباط بین سلامتی و غذا، تولید غذاهای جدید و سودمند سیر افزایشی داشته‌اند (توان و همکاران، ۱۳۹۶). قسمت اعظم ترکیبات ذرت را آمیلوپکتین تشکیل می‌دهد که تا حدودی می‌تواند خواص گلوتن را شبیه‌سازی نموده و باعث احتباس گازها و افزایش حجم شود (دادور و همکاران، ۱۳۹۷). درخت سنجد، میوه‌های کوچک بیضوی قرمز مایل به قهوه‌ای دارد و در یک جغرافیای وسیع از جمله آسیا، اروپا و آمریکای شمالی رشد می‌کند. سنجد به‌علت دارا بودن فیبر، کربوهیدرات، ویتامین، مواد معدنی، ترکیبات فنلی، آنتی‌اکسیدان‌ها و پروتئین، ارزش تغذیه‌ای بالایی دارد.

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: hbarzegar@asnrukh.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.84229

آرد سنجد با محتوای فیبر بالا (۲۰-۳۰ درصد) پتانسیل جذب آب بیشتر و افزایش اثر روی ثبات امولسیونی را نشان می‌دهد (Ozturk *et al.*, 2018). در سنجد، ترکیبات پلی‌ساکاریدی (گلوکز، مانوز، گالاکتوز، فروکتوز، و رامنوز)، فلاونوئیدها، کومارین‌ها، فنل‌کربوکسیلیک‌اسیدها، آمینواسیدها، ساپونین‌ها، کارتنوئیدها، ویتامین‌ها و تانن‌ها وجود دارد. سنجد دارای هفت نوع اسیدفنولیک می‌باشد که در این میان ۴-هیدروکسی بنزوئیک‌اسید در گروه بنزوئیک و کافئیک‌اسید در گروه سینامیک فراوان‌ترین ترکیبات فنلی است و اسید فرولیک در گروه سینامیک و اسیدبنزوئیک در گروه بنزوئیک کم مقدارترین ترکیبات فنلی می‌باشند. همچنین در سنجد، ویتامین‌های A، C، E و K شناسایی شده‌اند (وطن‌دوست و همکاران، ۱۳۹۴). در سیستم پزشکی سنتی، از سنجد برای درمان آسم، عفونت، اسهال، تب، نفخ، زردی، تهوع، تشنج، بیماری‌های ادراری و استفراغ استفاده می‌شود. اثر ضددرد بودن آن نیز گزارش شده است (خاکی‌ریزی و همکاران، ۱۳۹۱). ساختار آردی، خواص عملگرایی و طعم ویژه، وجود فیبر رژیمی، مواد معدنی و ترکیبات فنولیک در آرد سنجد موجب می‌شود از این آرد به‌عنوان یک ماده اولیه عملگرا در تولید محصولات نانوایی، ماست، بستنی، غذای کودک، شکلات و شیرینی استفاده شود. همچنین با افزایش تقاضای محصولات سالم وعملگرا، بهبود عملگرایی مواد غذایی با اصلاح ترکیب تغذیه‌ای آنان رو به افزایش است (Sahan *et al.*, 2015). تحقیقات متنوعی روی تأثیر افزودن پودر سنجد به محصولات پخت انجام شده است که نشان می‌دهد افزایش میزان آرد سنجد در فرمولاسیون کیک روغنی، منجر به کاهش میزان ویسکوزیته خمیر، حجم، چربی، پروتئین و pH کیک شده ولی میزان فیبر کیک افزایش می‌یابد (زارع و همکاران، ۱۳۹۵). ارزیابی حسی و بافتی کلوچه‌های غنی شده با آرد سنجد در بررسی Sahan و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که غنی‌سازی آرد کلوچه با آرد سنجد، محتوای فیبر خام را افزایش و کالری محصول نهایی تولیدی را کاهش داده و سطح محصول را تیره کرد. نتایج پژوهش ایوبی (۱۳۹۷) نشان داد که استفاده از پودر سنجد در کیک فنجانی تا سطح ۱۰ درصد، تأثیر نامطلوب بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی این نوع کیک نداشته و خواص حسی محصول را نیز حفظ می‌کند. مشاهدات نشان داد که جایگزین کردن آرد گندم با پودر سنجد در فرمولاسیون کیک، افت وزنی کیک و امتیازات حسی را کاهش داد و سبب افزایش دانسیته، رطوبت، سفتی بافت، قرمزی و اندیس قهوه‌ای شدن پوسته و بافت مغز کیک شد. همچنین Drabnska و همکاران (۲۰۱۷) پودر برگ کلم بروکلی را به کیک اسفنجی بدون گلوتن افزوده و به این نتیجه رسیدند که پودر برگ کلم بروکلی می‌تواند ارزش تغذیه‌ای و اثر سلامتی بخشی کیک بدون گلوتن را افزایش دهد. در تحقیقی صابری و همکاران (۱۳۹۶) کیک اسفنجی بدون گلوتن مخلوط آرد نخودچی و آرد برنج حاوی صمغ گوار و زانتان را تولید و ویژگی‌های کیفی آن را بررسی کردند نتایج نشان داد با افزایش میزان آرد نخودچی میزان پروتئین، رطوبت و حجم مخصوص نمونه‌های کیک افزایش یافت. با توجه به نیاز بیماران سلیاکی کشور به فرآورده‌های فاقد گلوتن، هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر فیبر، مواد معدنی و سایر منابع ارزشمند موجود در آرد سنجد بر ارزش تغذیه‌ای و و ویژگی‌های کیفی کیک بدون گلوتن بر پایه آرد ذرت بود.

مواد و روش‌ها

آرد ذرت (آرد ترخینه، تهران)، شکر (زرین البرز)، وانیل (برتر)، بکینگ پودر (Tiara)، تخم‌مرغ (تلاونگ)، روغن مایع آفتابگردان (لادن) و میوه سنجد از فروشگاه آجیل و خشکبار در شهرستان اهواز تهیه گردید. پس از تمیز کردن و جداسازی ناخالصی‌های سنجد، پوسته، هسته و گوشت آن کاملا از هم تفکیک و به‌صورت جداگانه آسیاب و با الک، مش ۳۵ الک شد سپس در کیسه‌های زیپ‌دار پلی‌اتیلنی در دمای محیط نگهداری شد. پودر سنجد به سه شکل پودر هسته سنجد، پودر پوسته و گوشت سنجد و پودر سنجد کامل با نسبت‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد، جایگزین آرد ذرت در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن شد. آماده‌سازی خمیر کیک به روش شکر-خمیر و با استناد به پژوهش نورمحمدی و همکاران (۱۳۹۰) با تغییراتی در سه مرحله، ابتدا با جدا کردن سفیده و زرده تخم‌مرغ آغاز شد، در مرحله دوم سفیده تخم‌مرغ به مدت دو دقیقه با دور تند همزن زده شد تا به‌صورت خامه‌ای درآمد و در مرحله آخر زرده با دور تند همزن هم زده شد و در حین همزدن، وانیل، شکر، سپس آب و روغن و در انتها مخلوط آردها و بکینگ پودر الک شده و سفیده تخم‌مرغ هر کدام جداگانه به زرده اضافه شد. سپس ۵۰ گرم خمیر کیک در قالب کاپ کیک ریخته شد و در فر ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه کیک پخته شد. پس از سرد شدن در دمای محیط در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شده و پس از نگهداری به‌مدت ۱، ۷ و ۱۴ روز در دمای محیط آزمون‌های مختلف روی نمونه‌های کیک انجام شد.

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی آرد و کیک

آزمون‌های آرد

رطوبت آرد ذرت براساس استاندارد AACC ۴۴-۳۱، خاکستر آرد ذرت بر اساس استاندارد AACC ۰۸-۰۱، رطوبت آردهای سنجد بر اساس استاندارد AOAC ۴۰-۹۲۵، خاکستر آردهای سنجد مطابق استاندارد AOAC ۹۵۰-۴۹، pH آردها مطابق استاندارد AACC ۰۲-۵۲، اندازه‌گیری مواد معدنی مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۹۲۶۶، اندازه‌گیری کلسیم مطابق استاندارد ملی ایران به شماره۸۶۵۲،

خواص آنتی‌اکسیدانی مطابق روش Jogihali و همکاران (۲۰۱۷) با اندکی تغییرات، میزان فنل کل مطابق روش Sharma و Gujral (۲۰۱۱)، میزان پروتئین مطابق استاندارد ۱۲-۴۶ AACC، میزان فیبر مطابق استاندارد ۱۷-۳۲ AACC و میزان چربی بر اساس استاندارد ۱۰-۳۰ AACC اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- درصد ترکیبات در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن

تیمار	آرد ذرت (g)	آرد قسمت‌های مختلف سنجد (g)	شکر (g)	تخم‌مرغ (g)	بیکینگ پودر (g)	وانیل (g)	آب (g)	روغن (g)
شاهد	۲۵	۰	۲۰	۳۲/۲۵	۰/۵	۰/۲۵	۱۲	۱۰
٪۵	۲۳ /۷۵	۱/۲۵	۲۰	۳۲/۲۵	۰/۵	۰/۲۵	۱۲	۱۰
٪۱۰	۲۲ /۵۰	۲/۵۰	۲۰	۳۲/۲۵	۰/۵	۰/۲۵	۱۲	۱۰
٪۲۰	۲۰	۵	۲۰	۳۲/۲۵	۰/۵	۰/۲۵	۱۲	۱۰

آزمون‌های کیک

اندازه‌گیری رطوبت

میزان رطوبت نمونه‌های کیک اسفنجی در روزهای اول، هفتم و چهاردهم مطابق استاندارد ۴۴-۱۶ AACC اندازه‌گیری شد.

pH نمونه‌های کیک

pH نمونه‌های کیک طبق استاندارد ۵۲-۰۲ AACC توسط pH متر (Metrohm، ۸۲۷، سوئیس) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری خاکستر

میزان درصد خاکستر نمونه‌های کیک اسفنجی مطابق استاندارد ۰۸-۰۱ AACC با کوره الکتریکی (Amalgams، ایران) در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد.

میزان چربی

اندازه‌گیری چربی در دستگاه استخراج چربی اتوماتیک (Soxhlet SOX 406) طبق استاندارد ۱۰-۳۰ AACC انجام شد.

میزان پروتئین

اندازه‌گیری پروتئین کیک‌ها مطابق استاندارد ۱۲-۴۶ AACC و در دستگاه کلدال نیمه اتوماتیک (Auto Analyser 130 Tecator CO) شامل سه مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون و ضریب پروتئین ۶/۲۵ انجام شد.

آزمون فیبر

میزان فیبر نمونه‌ها مطابق استاندارد ۱۷-۳۲ AACC (دستگاه فایبرتک Velp، ایتالیا) استفاده شد. ابتدا نمونه به‌وسیله پترلیوم اتر چربی‌گیری شد، ۳ گرم نمونه درون کروسیبل دستگاه ریخته شد و ۲۰۰میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۰/۲۵۵ نرمال به آن افزوده شد. پس از ۳۰ دقیقه جوشیدن اسید به‌وسیله خلاء دستگاه تخلیه گردید. مجدداً به مواد داخل کروسیبل، ۲۰۰ میلی لیتر محلول سود اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه جوشانده شد و مخلوط حاصله تحت خلاء دستگاه تخلیه گردید. کروسیبل تا رسیدن به وزن ثابت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و پس از توزین، درون کوره ۵۵۰ درجه‌سانتی‌گراد قرار گرفت و نمونه‌ها به خاکستر تبدیل شد. پس از سرد شدن، کروسیبل توزین گردید و میزان فیبر بااستفاده از رابطه زیر به‌دست آمد.

(۱) ۱۰۰× (وزن نمونه/ وزن کروسیل خاکستر پس از کوزه‌گذاری- وزن کروسیل حاوی نمونه پس از آون‌گذاری)= درصد فیبر

اندازه‌گیری مواد معدنی

اندازه‌گیری آهن، روی و مس

اندازه‌گیری عناصر آهن، روی و مس طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۹۲۶۶ عناصر معدنی مواد غذایی، توسط دستگاه طیف‌سنجی نوری جذب اتمی با شعله صورت پذیرفت.

اندازه‌گیری کلسیم

اندازه‌گیری مقدار کلسیم مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۸۶۵۲ به روش تیتراسیون با EDTA با اندکی تغییرات انجام شد.

اندازه‌گیری حجم مخصوص

در این آزمون حجم کیک به روش جایگزینی با دانه ارزن طبق استاندارد ۵۰-۱۰ AACC اندازه‌گیری شد و حجم مخصوص کیک از طریق نسبت حجم به وزن کیک محاسبه شد.

ارزیابی ویژگی‌های بافت کیک

بافت کیک در روزهای ۱، ۷ و ۱۴ بر اساس استاندارد ۰۹-۷۴ AACC با اندکی تغییرات با استفاده از دستگاه بافت‌سنج TA-XT-PLUS) Micro stable system، انگلستان) اندازه‌گیری شد. آنالیز TPA بافت شامل چندین فاکتور متفاوت مانند پیوستگی، حالت صمغی و سفتی است. برای این آزمون قطعه مکعبی شکل از نمونه به

ابعاد ۲ سانتی‌متر از مغز کیک جدا شد. قطر پروب دستگاه ۳۶ میلی‌متر در نظر گرفته شد. پروب با سرعت ۵۰ میلی‌متر در دقیقه به نمونه برخورد و به میزان ۵۰ درصد سبب فشردگی گردید، پس از ۱۰ ثانیه دوباره با همان سرعت به نمونه فشار وارد کرد. نیرو در نقطه ماکزیمم پیک اول منحنی به عنوان سفتی بافت در نظر گرفته شد. نسبت محدوده پیک مثبت دوم به محدوده پیک مثبت اول به‌عنوان پیوستگی کیک در نظر گرفته شد و میزان چسبندگی از حاصل‌ضرب سفتی در پیوستگی به‌دست آمد (ایوبی، ۱۳۹۷).

ارزیابی رنگ

تغییرات رنگ پوسته نمونه‌های کیک با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج هانترلب (کونیکامینولتا. CR-400، ژاپن) اندازه‌گیری شد. شاخص‌های اندازه‌گیری شامل فاکتورهای L، a، b و BI (اندیس قهوه‌ای شدن) بود. که شاخص L معرف میزان روشنی و تیرگی سطح و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است. شاخص a میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (سبز خالص) تا ۱۲۰+ (قرمز خالص) متغیر است. شاخص b میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (آبی خالص) نا ۱۲۰+ (زرد خالص) متغیر است. و شاخص BI که طبق فرمول زیر محاسبه شد (ایوبی، ۱۳۹۷).

$$BI = \frac{100(x-0.31)}{0.17} \quad (۲)$$

$$x = \frac{(a+1.75\times L)}{5.645\times L+a-3.012b} \quad (۳)$$

ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی نمونه‌های تولید شده در این پژوهش توسط ۱۰ آزمونگر در روز تولید مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای حسی شامل رنگ (شدت، شفافیت و کدورت رنگ ظاهری پوسته کیک)، بافت (سفتی و نرمی به هنگام جویدن)، عطر و بو (میزان احساس عطر مطلوب در تست بویایی)، طعم و مزه (میزان درک طعم مطلوب در تست چشایی)، قابلیت جویدن (تعداد دفعات جویدن برای آماده ساختن نمونه جهت بلع) و پذیرش کلی (میزان پذیرش محصول با در نظر گرفتن سایر ویژگی‌های حسی) بودند. ارزیابی صفات حسی با مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای (۱ بسیاربد، ۲ بد، ۳ متوسط، ۴ خوب و ۵ بسیار خوب) صورت پذیرفت (زارع و همکاران، ۱۳۹۵).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تحلیل داده‌ها بر اساس طرح کاملا تصادفی انجام شد، ابتدا آنالیز واریانس و سپس آزمون مقایسه میانگین تکرارها در قالب آزمون دانکن و در سطح معنی‌داری ۵ درصد (p<۰/۰۵) مورد مقایسه قرار گرفت. ارزیابی آماری پارامترهای مورد ارزیابی با نرم‌افزار SPSS و همچنین رسم نمودارها توسط نرم‌افزار اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های آرد ذرت و آرد قسمت‌های مختلف سنجد مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ آورده شده است.

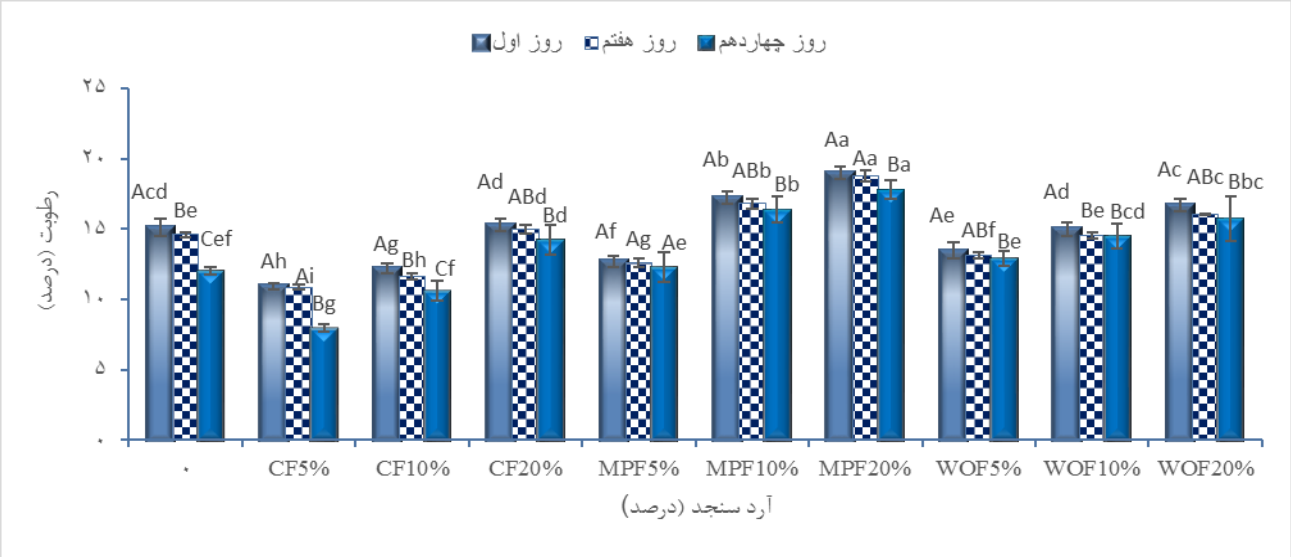
جدول ۲- ویژگی‌های آرد ذرت و آرد سنجد مورد استفاده در تهیه کیک

	آرد ذرت	آرد هسته سنجد	آرد پوسته و گوشت سنجد	آرد سنجد کامل
رطوبت (٪)	۱۰/۳۸±۰/۰۸^{a}	۴/۱۳±۰/۱^{d}	۶/۳۵±۰/۱۸^{b}	۵/۸۶±۰/۲^{c}
خاکستر (٪)	۰/۴۵±۰/۰۸^{d}	۰/۹۷±۰/۰۴^{c}	۱/۲۳±۰/۰۵۷^{b}	۱/۴۱±۰/۰۲۸^{a}
pH	۵/۳۷±۰/۰۳^{a}	۵/۰۳±۰/۰۰۵^{b}	۴/۸۰±۰/۰۰۵۷^{d}	۴/۸۴±۰/۰۰۵۷^{c}
مس (ppm)	۰/۳۴±۰/۰۰۵^{d}	۰/۶۵±۰۰۰^{c}	۰/۶۷±۰۰۰^{b}	۰/۷۴±۰/۰۰۵^{a}
آهن (ppm)	۰/۷۱±۰/۰۰۱^{d}	۱/۴۶±۰/۰۰۵^{c}	۲/۸۳±۰/۰۰۵^{a}	۲/۶۸±۰/۰۰۵^{b}
روی (ppm)	۰/۷۵±۰/۰۰۵^{d}	۰/۹۳±۰/۰۱۱^{c}	۱/۴۱±۰/۰۱۰^{b}	۱/۹۰±۰/۰۱۱^{a}
کلسیم (ppm)	۰/۳۵±۰/۰۰۵^{b}	۰/۳±۰/۰۲۳^{c}	۰/۴۱±۰/۰۱^{a}	۰/۳۵±۰/۰۰۵^{b}
آنتی‌اکسیدان (٪)	۳۷/۱۲±۰/۱۴۱^{d}	۷۰/۴۶±۰/۵۶۹^{a}	۵۴/۵۵±۱/۱۶^{c}	۵۷/۵۸±۰/۶۵۰^{b}
فنل کل (mg/g)	۰/۴۷۴±۰/۰۲۹^{d}	۱/۴۴۱±۰/۰۰۸^{a}	۰/۹۸۳±۰/۰۰۵^{c}	۱/۲۴۰±۰/۰۱۰^{b}
پروتئین (٪)	۷/۳۹±۰/۳۸۵^{a}	۴/۴۱±۰/۵۰۴^{b}	۴/۷۵±۰/۵۳۵^{b}	۴/۶۹±۰/۳۶۰^{b}
فیبر (٪)	۱/۶۶۶±۰/۰۳۰^{d}	۳۱/۰۴±۰/۱۷۲^{a}	۴/۹۹۶±۰/۰۴۹^{c}	۱۱/۱۸±۰/۰۲۵^{b}
چربی (٪)	۷/۹۴±۰/۱۲^{a}	۳/۹۶±۰/۰۲^{d}	۴/۷۱±۰/۰۲^{bc}	۴/۵۶±۰/۱۷^{bc}

حروف متفاوت در هر سطر از لحاظ آماری، بیانگر اختلاف معنی دار (p<۰/۰۵) هستند.

رطوبت

همانطور که در شکل ۱نشان داده شده است، نمونه‌های حاوی آرد سنجد، در روزهای اول، هفتم و چهاردهم، دارای محتوای رطوبت بالاتری نسبت به نمونه شاهد بودند و با افزایش درصد آرد سنجد محتوای رطوبت نمونه‌ها افزایش یافت. بیشترین میزان رطوبت در بین نمونه‌ها مربوط به نمونه حاوی آرد پوسته و گوشت سنجد بود. این اختلاف، در مقادیر رطوبت نمونه‌ها ناشی از ترکیبات جاذب الرطوبه موجود در پودر سنجد یعنی فیبر و ترکیبات قندی می‌باشد فیبرها به‌طور مشخص به خواص هیدراتاسیون کمک می‌کنند، که باعث افزایش تعاملات آب از طریق پیوند هیدروژنی می‌شود. این ترکیبات با جذب بیشتر و قدرت نگهداری آب، از خروج رطوبت پس از فرآیند پخت در محصول حاصله ممانعت می‌کنند (وطن‌دوست و همکاران، ۱۳۹۴) و (Sahan *et al.*, 2015). در همین راستا در پژوهشی گزارش شد کنجاله کنجد به دلیل دارا بودن فیبر بالا و داشتن گروه‌های هیدروکسیل آزاد در ساختار کنجاله کنجد و توانایی در پیوند با مولکول‌های آب قادر به افزایش رطوبت در محصول نهایی است (توان و همکاران، ۱۳۹۶). افزایش رطوبت ناشی از افزودن پودر سنجد به کیک با نتایج وطن‌دوست و همکاران (۱۳۹۴) و ایوبی (۱۳۹۷) مطابقت دارد.



شکل ۱- تأثیر جایگزینی سطوح و درصدهای مختلف آرد سنجد بر میزان رطوبت کیک در روزهای ۱، ۷ و ۱۴ روز پس از پخت

حروف بزرگ اختلاف معنی دار($p<۰/۰۵$) در روزهای مختلف و حروف کوچک اختلاف معنی دار در یک روز را نشان می‌دهند.

CF: آرد هسته سنجد MPF: آرد پوسته و گوشت سنجد WOF: آرد سنجد کامل

تأثیر افزودن آرد سنجد بر میزان pH نمونه‌های کیک

داده‌های به‌دست آمده برای pH، در محدوده ۵/۹۵ تا ۶/۵۷ است که در جدول ۳ آمده است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که نمونه‌ی شاهد از نظر pH دارای بیشترین مقدار بود، کمترین مقدار مربوط به نمونه حاوی ۲۰ درصد آرد سنجد کامل بود. علت این کاهش را می‌توان به کاهش تحرک یون‌های هیدروژن و همچنین کمتر بودن میزان پروتئین آرد سنجد نسبت به آرد ذرت نسبت داد (زارع و همکاران، ۱۳۹۵). در هر سه نوع آرد سنجد کامل، آرد پوسته و گوشت و آرد هسته سنجد با افزایش درصد آرد، pH نمونه‌ها کاهش پیدا کرد.

خاکستر کیک

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش ارزیابی خاکستر جدول ۳ نشان داد که افزودن آردهای سنجد بر میزان خاکستر نمونه‌ها تأثیر معنی‌دار داشت. با افزایش درصد آرد سنجد میزان خاکستر نمونه‌ها افزایش پیدا کرد. به‌دلیل میزان بالای مواد معدنی موجود در آرد سنجد نسبت به آرد ذرت، محتوای خاکستر افزایش یافته است. بیشترین خاکستر را نمونه حاوی ۲۰ درصد هسته سنجد و کمترین خاکستر مربوط به نمونه ۵٪ پوسته و گوشت سنجد می‌باشد.

چربی کیک

مقایسه چربی کیک‌ها در جدول ۳ نشان داد با افزایش میزان آرد سنجد در فرمولاسیون نمونه‌های کیک، میزان چربی کاهش پیدا کرد. کمترین میزان چربی مربوط به نمونه ۲۰ درصد آرد هسته سنجد بود زیرا آرد هسته سنجد از لحاظ چربی از سایر قسمت‌های آرد سنجد ضعیف‌تر است. علت این امر کمتر بودن میزان چربی در تمامی قسمت‌های آرد سنجد نسبت به آرد ذرت می‌باشد. این نتایج با نتایج پژوهش زارع و همکاران (۱۳۹۵) که اثر آرد سنجد را بر روی کیک بر

پایه آرد گندم بررسی کردند، مطابقت داشت. در تحقیقی دیگر پژوهشگران گزارش کردند با افزایش آرد سنجد میزان چربی موجود در دونات افزایش یافت که به دلیل بالاتر بودن چربی آرد سنجد از آرد گندم است که با نتایج این پژوهش مغایرت داشت (مهربان سنگ آتش و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین غنی سازی ماست با آرد سنجد نیز میزان چربی نمونه‌ها را افزایش داد (Ozturk *et al*., 2018).

پروتئین کیک

نتایج آنالیز میزان پروتئین نمونه‌های کیک در جدول ۳ نشان داد که اثر افزودن آرد سنجد بر میزان پروتئین تیمارها معنی‌دار بوده است و با افزایش درصد آرد سنجد، درصد پروتئین تیمارها کاهش یافت. بیشترین میزان پروتئین مربوط به نمونه شاهد و کمترین درصد پروتئین را نمونه ۲۰ درصد آرد هسته سنجد داشت. در تمامی تیمارها با افزایش درصد آرد سنجد میزان درصد پروتئین کاهش یافت. نتایج این بخش با نتایج زارع و همکاران (۱۳۹۵) که با افزودن آرد سنجد در فرمولاسیون کیک روغنی شاهد کاهش میزان پروتئین در کیک بودند مطابقت داشت علت این امر کمتر بودن میزان پروتئین در آرد سنجد نسبت به آرد گندم بود و بدین ترتیب با افزایش جایگزینی میزان آرد سنجد در فرمول کیک میزان پروتئین کاهش یافت. همچنین Sahan و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند که با افزایش میزان آرد سنجد در فرمولاسیون کلوچه میزان پروتئین کاهش یافت.

تأثیر افزودن آرد سنجد بر میزان فیبر کیک

فیبر به علت دارا بودن قطعات هیدروفیلی و سلولز بالا جز ترکیبات مفید تغذیه‌ای انسان محسوب می‌شود و موجب بهبود خصوصیات کیفی شده و عمر ماندگاری محصول را افزایش می‌دهد (Sahan *et al*., 2015). تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده در جدول (۲-۴) نشان داد که جایگزینی آرد ذرت با آرد سنجد بر میزان فیبر کیک تاثیر معنی‌دار ($p<0/05$) داشت. نمونه‌ی شاهد از نظر فیبر کمترین مقدار را داشت و با افزایش میزان آرد سنجد در فرمولاسیون کیک، مقدار فیبر نمونه‌ها افزایش یافت. میزان فیبر در قسمت‌های مختلف آرد سنجد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارد. در میان نمونه‌های کیک، بیشترین میزان فیبر را نمونه‌های حاوی آرد هسته سنجد داشتند. توان و همکاران (۱۳۹۶) با مطالعه اثر افزودن کنجاله کنجد و پلی‌ساکاریدهای محلول در آب سویا بر ویژگی‌های نان بربری افزایش فیبر در نمونه‌های تولیدی نسبت به نمونه شاهد را گزارش دادند همچنین زارع و همکاران (۱۳۹۵) طی تحقیقی اثر آرد سنجد بر ویژگی‌های کیک روغنی افزایش مقدار فیبر با افزایش آرد سنجد را گزارش دادند که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

جدول۳ - نتایج جایگزینی سطوح و درصدهای مختلف آرد سنجد بر pH، خاکستر، چربی، پروتئین و فیبر کیک

تیمار	pH	خاکستر	چربی	پروتئین	فیبر
شاهد	۶/۵۷±۰/۰۱^{a}	۰/۳۴±۰/۰۴^{d}	۲۵/۷۷±۰/۴۶۴^{a}	۴/۳۸±۰/۱۰۵^{a}	۰/۱۵±۰/۰۲^{i}
CF ٪۵	۶/۱۷±۰/۰۱^{f}	۰/۳۴±۰/۰۰۵^{d}	۲۱/۸۰±۰/۱۰^{e}	۴/۰۷±۰/۰۶^{cd}	۲/۷۹±۰۰^{d}
CF٪۱۰	۶/۱۳±۰/۰۰۵^{g}	۰/۳۸±۰/۰۰۵^{cd}	۲۰/۸۴±۰/۱۶۷^{f}	۳/۹۴±۰/۰۴۵^{e}	۳/۴۱±۰۰^{b}
CF ٪۲۰	۶/۱۲±۰/۰۰۵^{g}	۰/۶±۰/۰۸۶^{a}	۱۹/۳۵±۰/۰۹۲^{h}	۳/۸۱±۰/۰۲۶^{f}	۴/۳۳±۰۰^{a}
MPF٪۵	۶/۳۸±۰/۰۲۵^{b}	۰/۲۷±۰/۲۵^{e}	۲۴/۴۲±۰/۱۹۴^{b}	۴/۲۴±۰/۰۵۸^{b}	۱/۰۶±۰۰^{i}
MPF٪۱۰	۶/۲۸±۰/۰۰۵^{c}	۰/۴±۰۰^{cd}	۲۳/۷۸±۰/۱۳۵^{c}	۴/۱۵±۰/۰۷۷^{bc}	۱/۲۰±۰۰^{h}
MPF٪۲۰	۶/۱۸±۰/۰۱^{f}	۰/۵۷±۰/۲۵^{a}	۲۲/۶۴±۰/۴۵۳^{d}	۴/۱۱±۰/۰۶۴^{c}	۱/۳۲±۰۰^{g}
WOF٪۵	۶/۲۲±۰۰۰^{d}	۰/۳۹±۰/۰۰۵^{cd}	۲۲/۸۳±۰/۰۳۰^{d}	۴/۱۴±۰/۰۵۱^{bc}	۱/۵۴±۰۰^{f}
WOF٪۱۰	۶/۱۹±۰۰۰^{c}	۰/۴۴±۰/۰۰۵^{bc}	۲۱/۱۳±۰/۱۵۳^{f}	۳/۹۹±۰۰۰^{de}	۲±۰۰^{e}
WOF٪۲۰	۶/۱۷±۰۰۰^{f}	۰/۴۶±۰/۰۲۸^{b}	۲۰/۳۶±۰/۱۸۵^{g}	۳/۹۵±۰۰۰^{e}	۲/۹۵±۰۰^{c}

حروف متفاوت در هر ستون از لحاظ آماری، بیانگر اختلاف معنی دار ($p<۰/۰۵$) هستند.

CF: آرد هسته سنجد MPF: آرد پوسته و گوشت سنجد WOF: آرد سنجد کامل

مواد معدنی

جدول ۴ نتایج آنالیز میانگین تیمارهای تهیه شده از سطوح و درصدهای مختلف آرد سنجد را نشان می‌دهد. عناصر معدنی روی و مس در نمونه‌های حاوی آرد سنجد کامل، بالاتر از نمونه‌های دیگر بود و میزان عناصر معدنی آهن و کلسیم در نمونه‌های حاوی آرد پوسته و گوشت سنجد، بیشترین مقدار را داشت. نتایج پژوهش تأثیر معنی‌دار ($p<0.05$) درصدهای مختلف آرد سنجد بر نمونه‌های کیک را تأیید کرد و نمونه‌های حاوی ۲۰ درصد آرد سنجد بیشترین میزان عناصر معدنی را به خود اختصاص دادند. و عنصر آهن در بین عناصر اندازه‌گیری شده بالاترین میزان را در تمامی سطوح آرد سنجد نشان

داد. تفاوت مواد معدنی در کیک‌های حاوی قسمت‌های مختلف آرد سنجد به دلیل تفاوت میزان مواد معدنی در قسمتهای مختلف سنجد است که در جدول ۲ آورده شد که نتایج این پژوهش با نتایج Sahan و همکاران (۲۰۱۵) و Ullah Khan و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت.

جدول ٤- نتایج جایگزینی سطوح و درصدهای مختلف آرد سنجد بر مواد معدنی کیک

تیمار	آهن	کلسیم	روی	مس
شاهد	۰/۰±۶۸/۰۰۵^{i}	۰/۱۵±۰/۰۲^{h}	۰/۷۱±۰/۰۱۱^{g}	۰/۳۱±۰/۰۰۷^{h}
CF٪۵	۰/۷۱±۰/۰۰۵^{i}	۰/۲۰±۰/۰۱^{g}	۰/۵۸±۰/۰۱۱^{i}	۰/۴۲±۰/۰۰۵^{g}
CF٪۱۰	۰/۹۹±۰/۰۰۵^{h}	۰/۲۳±۰/۰۱^{g}	۰/۶۸±۰/۰۱۵^{h}	۰/۴۸±۰/۰۰۵^{e}
CF٪۲۰	۱/۱۷±۰/۰۰۵^{g}	۰/۲۸±۰/۰۲^{f}	۰/۸۲±۰/۰۱۱^{f}	۰/۶۲±۰/۰۰۵^{b}
MPF٪۵	۲/۰۸±۰/۰۱۷^{e}	۰/۲۸±۰/۰۲^{c}	۱/۰۶±۰/۰۴^{e}	۰/۴۶±۰/۰۰۵^{f}
MPF٪۱۰	۲/۳۸±۰/۰۱۷^{c}	۰/۴۵±۰/۰۱^{b}	۱/۱۹±۰۰^{d}	۰/۵۰±۰/۰۰۵^{d}
MPF ۲۰٪	۲/۷۲±۰/۰۱۷^{a}	۰/۴۸±۰/۰۱^{a}	۱/۲۲±۰۰^{c}	۰/۶۱±۰/۰۰۵^{bc}
WOF٪۵	۲/۰۳±۰/۰۵۱^{f}	۰/۲۸±۰/۰۱^{f}	۱/۲۲±۰۰^{c}	۰/۵۱±۰/۰۰۵^{d}
WOF٪۱۰	۲/۱۸±۰/۰۵۲^{d}	۰/۳۱±۰/۰۰۵^{e}	۱/۵۲±۰/۰۱۵^{b}	۰/۶۰±۰/۰۰۵^{c}
WOF ٪۲۰	۲/۶۰±۰/۰۲۰^{b}	۰/۳۴±۰/۰۰۵^{d}	۱/۸۱±۰/۰۱۱^{a}	۰/۷۱±۰/۰۰۵^{a}

حروف متفاوت از لحاظ آماری، بیانگر اختلاف معنی دار ($p<۰/۰۵$) هستند.

CF: آرد هسته سنجد MPF: آرد پوسته و گوشت سنجد WOF: آرد سنجد کامل

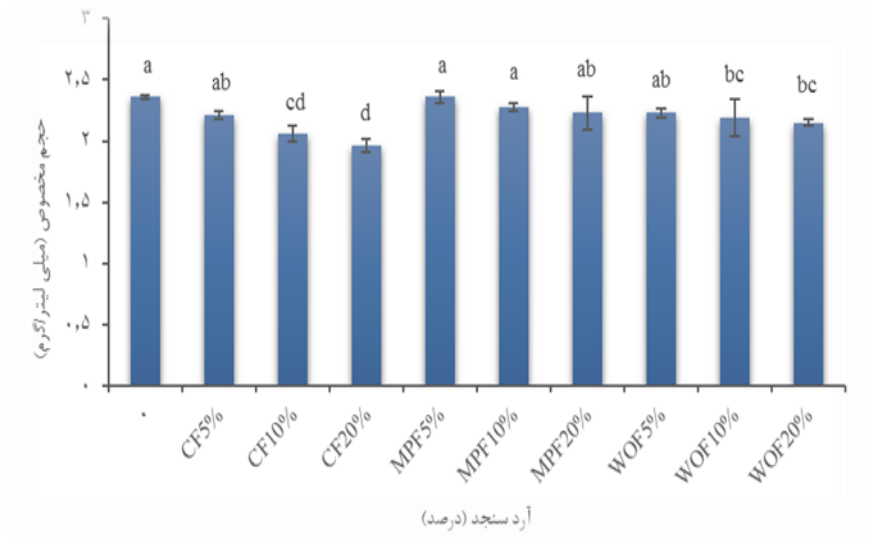
حجم مخصوص کیک

همان‌طور که از شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزودن آرد سنجد از حجم نمونه‌ها کاسته شد به گونه‌ای که نمونه‌ای که شامل ۲۰ درصد آرد سنجد کامل بود کمترین حجم مخصوص را داشت. می‌توان گفت کمترین حجم مخصوص مربوط به نمونه‌های آرد سنجد کامل سپس نمونه‌های حاوی آرد هسته سنجد و در آخر بیشترین حجم مخصوص مربوط به نمونه‌های پوسته و گوشت سنجد بود. حجم کیک نشان‌دهنده‌ی میزان هوا، بخارآب تولید شده، دی‌اکسیدکربن و میزان تغییرات آن در طول پخت خمیر کیک می‌باشد. افزودن آرد سنجد، به دلیل حضور فیبر موجود در هسته و پوسته آن نسبت به گوشت سنجد، در ترکیب کیک باعث کاهش در حجم ویژه کیک گردید و اما پوسته و گوشت سنجد به دلیل فیبر کمتر نسبت به هسته سنجد و پودر کامل سنجد با افزایش درصد پودر سنجد حجم مخصوص کیک را افزایش داد این نتایج در جدول۲ آورده شد. کاهش ارتفاع کیک با افزایش مقدار آرد سنجد به اختلال در احتباس گاز توسط فیبرها و کاهش حجم در این کیک‌ها را به کاهش ظرفیت نگهداری گاز و کم شدن میزان انبساط خمیر در طی پخت نسبت داد. نتایج مشابهی در مطالعات ایوبی (۱۳۹۷) بر روی استفاده از آرد سنجد در کیک فنجانی به‌دست آمد.

بافت کیک

بافت مواد غذایی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین خصوصیات کیفی محصول، نقش مهمی در پذیرش کلی توسط مصرف‌کنندگان دارد. نتایج تأثیر سطوح مختلف آرد سنجد بر میزان سفتی بافت کیک بدون گلوتن طی بازه زمانی ۱، ۷ و ۱۴ روز پس از پخت در شکل ۳ نشان داده شده است. با افزایش آرد سنجد سفتی نمونه‌ها افزایش یافت کمترین سفتی در بین تیمارها، متعلق به نمونه‌های حاوی آرد پوسته و گوشت سنجد، و بیشترین سفتی مربوط به نمونه‌های حاوی آرد هسته سنجد بود. در تمامی زمان‌های نگهداری کیک، با افزایش درصد آردهای سنجد میزان سفتی بافت افزایش یافت. در محصولات بدون گلوتن به‌دلیل عدم وجود شبکه گلوتنی مهاجرت رطوبت از مغز به پوسته کیک راحت‌تر است و علت اصلی سفت شدن بافت کیک را می‌توان در کریستال شدن اجزای نشاسته به‌ویژه آمیلوپکتین در طول دوره نگهداری کیک و مهاجرت رطوبت از مغز کیک به سمت پوسته کیک جستجو کرد. وطن‌دوست و همکاران (۱۳۹۴) نیز گزارش نمودند که افزودن پودر سنجد به نان همبرگر تا سطح ۱۰ درصد با کاهش سفتی و در سطوح بالاتر از ۱۰ درصد با افزایش سفتی همراه بود. نتایج پیوستگی بافت کیک در شکل ۴ آمده است. پیوستگی به میزان انعطاف‌پذیری بافت و برگشت آن به حالت اولیه بستگی دارد. پیوستگی در روز اول برای تیمارهای پوسته و گوشت و سنجد کامل با افزایش درصد آرد سنجد افزایش اما با افزایش درصد آرد هسته سنجد پیوستگی بافت کاهش یافت. در روز هفتم نیز تیمارهای پوسته و گوشت سنجد با افزایش درصد آرد سنجد افزایش پیوستگی را به همراه داشتند. تیمارهای سنجد کامل و هسته سنجد با افزایش درصد آرد، کاهش پیوستگی و در روز چهاردهم تیمارهای آرد سنجد با افزایش درصد آرد، کاهش پیوستگی را نشان دادند. طی فرآیند بیاتی،

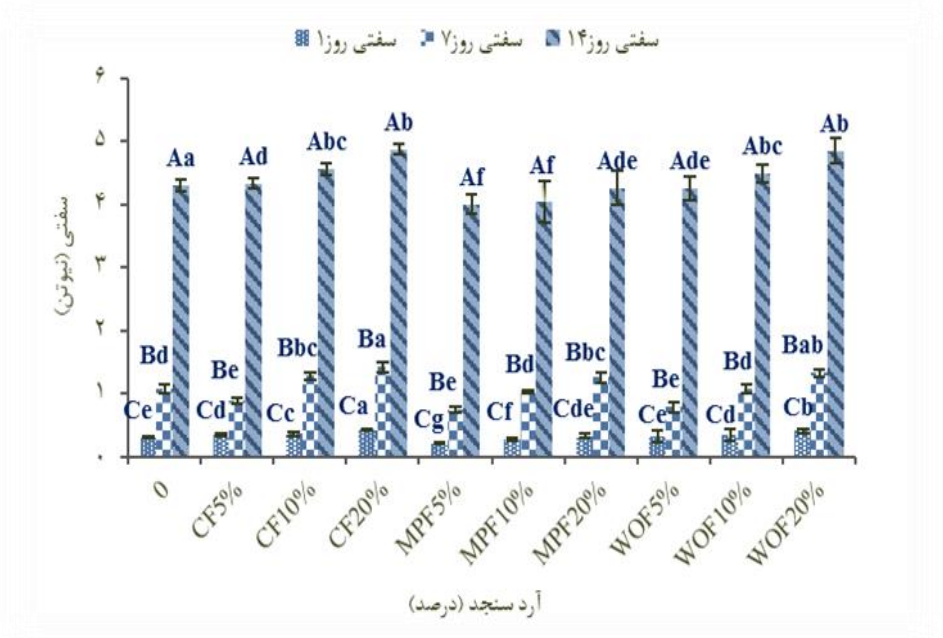
مغز رطوبت از دست می‌دهد که نشان‌دهنده کاهش اتصال بین مواد است و این خود می‌تواند عاملی جهت کاهش پیوستگی بافت طی بیاتی باشد. معمولاً در محصولات فاقد گلوتن، به‌دلیل عدم وجود شبکه ویسکوالاستیک که قادر به حفظ حباب‌های هوا است، پیوستگی مطلوبی تشکیل نمی‌شود (کشاورزی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). Sharoba و همکاران (۲۰۱۳) با افزودن ضایعات میوه و سبزیجات به‌عنوان منبع فیبر به کیک و بررسی ویژگی‌های آن، کاهش پیوستگی بافت کیک با افزودن میوه و سبزیجات را در تمامی تیمارها شاهد بودند که دلیل آن را به اضافه کردن فیبر نسبت دادند که موجب انسجام کیک شد.



شکل ۲- تأثیر سطوح و درصدهای مختلف آرد سنجد بر میزان حجم مخصوص کیک

حروف متفاوت از لحاظ آماری، بیانگر اختلاف معنی دار (p<۰/۰۵) هستند.

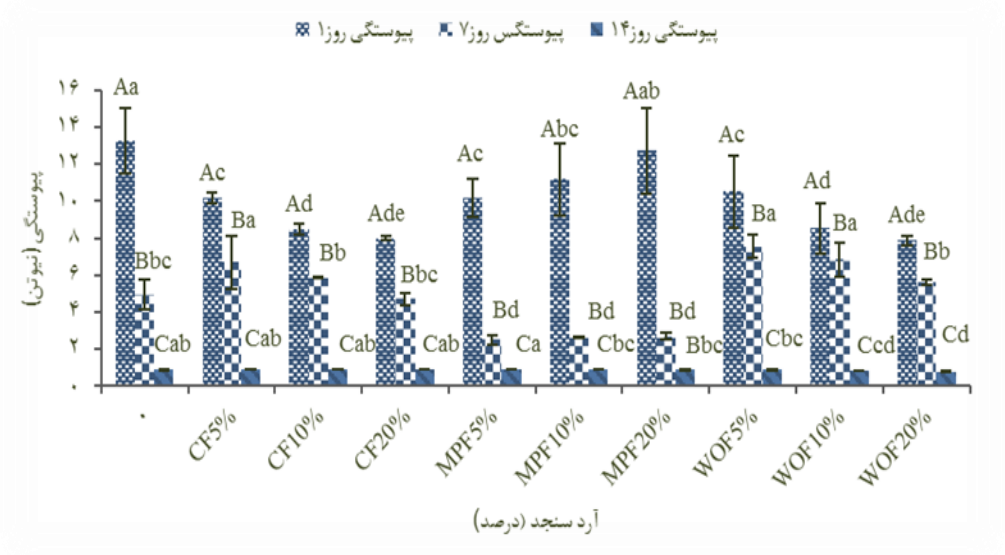
CF: آرد هسته سنجد MPF: آرد پوسته و گوشت سنجد WOF: آرد سنجد کامل



شکل ۳- تأثیر سطوح و درصدهای مختلف آرد سنجد بر سفتی بافت کیک در روزهای ۱، ۷ و ۱٤ روز پس از پخت

حروف بزرگ اختلاف معنی دار(p<۰/۰۵) در روزهای مختلف و حروف کوچک اختلاف معنی دار در یک روز را نشان می‌دهند.

CF: آرد هسته سنجد MPF: آرد پوسته و گوشت سنجد WOF: آرد سنجد کامل

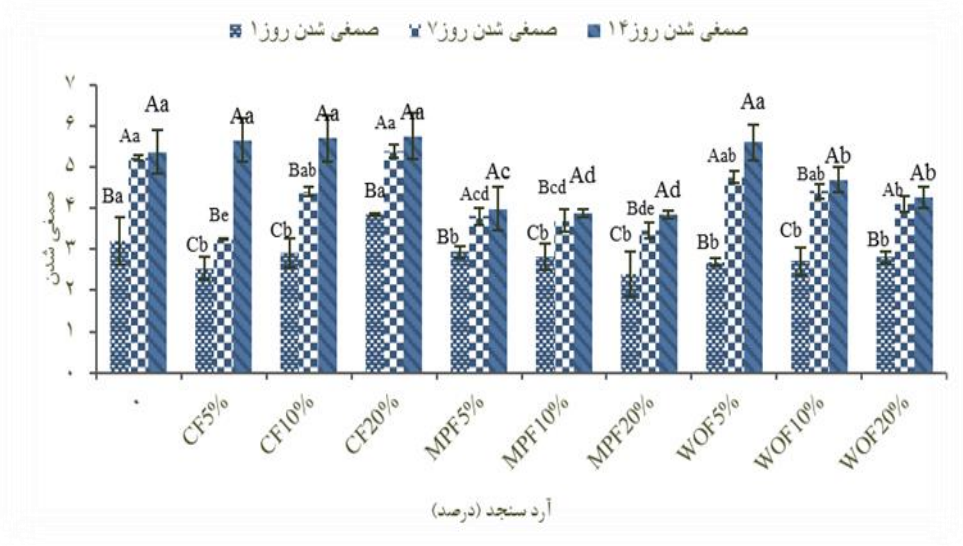


شکل ٤- تأثیر سطوح و درصدهای مختلف آرد سنجد بر پیوستگی بافت کیک در روزهای ۱، ۷ و ١٤ روز پس از پخت

حروف بزرگ اختلاف معنی دار($p<۰/۰۵$) در روزهای مختلف و حروف کوچک اختلاف معنی دار در یک روز را نشان می‌دهند.

CF: آرد هسته سنجد MPF: آرد پوسته و گوشت سنجد WOF: آرد سنجد کامل

نتایج صمغی شدن بافت کیک در شکل ۵ آمده است. صمغی‌شدگی در روز اول، برای تیمارهای هسته سنجد و سنجد کامل، با افزایش درصد آرد افزایش یافت. برای تیمارهای پوسته و گوشت سنجد با افزایش درصد آرد، صمغی شدن کاهش را نشان داد. در روزهای هفتم و چهاردهم نیز تیمارهای پوسته و گوشت و سنجد کامل کاهش صمغی شدن، و برای تیمارهای هسته سنجد افزایش صمغی شدن ایجاد شد. Kim و همکاران (۲۰۱۲) با افزودن پودر نوعی کاکتوس به کیک اسفنجی افزایش صمغی شدن بافت را مشاهده کردند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.



شکل ٥- تأثیر سطوح و درصدهای مختلف آرد سنجد بر صمغی شدن بافت کیک در روزهای ۱، ۷ و ١٤ روز پس از پخت

حروف بزرگ اختلاف معنی دار($p<۰/۰۵$) در روزهای مختلف و حروف کوچک اختلاف معنی دار در یک روز را نشان می‌دهند.

CF: آرد هسته سنجد MPF: آرد پوسته و گوشت سنجد WOF: آرد سنجد کامل

رنگ کیک

رنگ‌سنجی نمونه‌ها در جدول ۵ آمده است. بر اساس نتایج، افزایش سطح پودر سنجد، باعث کاهش معنی‌دار روشنی پوسته کیک شد. تأثیر جایگزینی آرد ذرت با پودر سنجد، بر قرمزی سطح پوسته کیک نیز معنی‌دار بود در هر سه نوع آرد سنجد، با افزایش درصد آرد سنجد، میزان قرمزی نمونه‌ها افزایش یافت. استفاده از پودر سنجد، کاهش معنی‌دار زردی پوسته کیک را به دنبال داشت به‌طوری که بیشترین زردی در شاهد و کمترین زردی در تیمار ۲۰ درصد آرد هسته سنجد مشاهده شد.

جدول ۵- اثر آرد سنجد بر فاکتورهای رنگی پوسته کیک

تیمار	L*	a*	b*	BI
شاهد	۴۱/۰۹±۰/۶۴^{a}	۳/۸۳±۰/۵۱^{g}	۲۰/۵۱±۰/۴۱^{a}	۶۳/۶۸±۰/۶۹^{d}
CF٪۵	۳۵/۷±۰/۹۱^{b}	۶/۷۱±۰/۲۴^{de}	۱۶/۳۰±۰/۳۷^{c}	۷۳/۳۵±۰/۴۷^{c}
CF٪۱۰	۳۱/۲۹±۱/۲۴^{c}	۷/۶۸±۰/۴۶^{c}	۱۴/۷۴±۰/۵۰^{d}	۸۰/۱۳±۱/۳۱^{b}
CF٪۲۰	۲۳/۳۶±۱/۷۰^{f}	۹/۶۳±۰/۳۳^{a}	۱۰/۰۴±۰/۴۸^{g}	۸۶/۷۶±۱/۲۱^{a}
MPF٪۵	۳۹/۱۴±۲/۰۲^{a}	۴/۸۰±۰/۲۱^{f}	۱۷/۵۸±۰/۳۹^{b}	۶۵/۵۸±۰/۶۵^{d}
MPF٪۱۰	۳۴/۰۴±۲/۵۴^{b}	۵/۰۱±۰/۰۳^{f}	۱۷/۳۲±۰/۶۰^{bc}	۷۳/۳۵±۰/۴۳^{c}
MPF٪۲۰	۲۹/۵۱±۰/۳۹^{cd}	۶/۷۹±۰/۵۵^{de}	۱۲/۵۸±۰/۶۳^{e}	۷۶/۵۲±۰۰^{bc}
WOF٪۵	۲۸/۳۹±۰/۷۸^{de}	۶/۲۴±۰/۱۵^{e}	۱۴/۲۸±۰/۶۲^{d}	۷۳/۶۲±۰/۵۱^{c}
WOF٪۱۰	۲۷/۶۷±۰/۴۱^{de}	۷/۱۵±۰/۰۳^{cd}	۱۱/۳۷±۰/۷۰^{f}	۷۴/۸۲±۰/۴۳^{c}
WOF٪۲۰	۲۶/۶۹±۰/۲۱^{e}	۸/۴۳±۰/۳۹^{b}	۱۰/۱۰±۰/۳۷^{g}	۷۷/۵۲±۰/۲۴^{bc}

حروف متفاوت در هر ستون از لحاظ آماری، بیانگر اختلاف معنی دار ($p<۰/۰۵$) هستند.

CF: آرد هسته سنجد MPF: آرد پوسته و گوشت سنجد WOF: آرد سنجد کامل

جدول ٦- اثر آرد سنجد بر خصوصیات حسی کیک بدون گلوتن بر پایه آرد ذرت

تیمار	رنگ	بافت	عطر و بو	طعم و مزه	قابلیت جویدن	پذیرش کلی
شاهد	۳/۱۰±۱/۱۶^{b}	۳/۴۰±۰/۷۴^{b}	۴/۴۰±۱/۱۷^{a}	۳/۷۰±۰/۹۵^{a}	۴/۲۰±۰/۷۹^{a}	۳/۷۰±۰/۶۷^{a}
CF٪۵	۳/۱۰±۰/۸۹^{b}	۳/۴۰±۱/۰۷^{b}	۴/۲۰±۰/۹۲^{a}	۳/۰۵±۰/۷۶^{c}	۳/۵۰±۰/۷۱^{b}	۳/۰۵±۰/۷۷^{c}
CF٪۱۰	۳/۶۵±۱/۱۱^{a}	۳/۱۰±۰/۷۴^{c}	۴/۴۰±۰/۷^{a}	۲/۹۰±۰/۸۷^{c}	۳/۲۰±۰/۸۵^{a}	۳/۴۵±۰/۷۶^{b}
CF٪۲۰	۳/۷۵±۱/۱۸^{a}	۳/۰۰±۰/۵۲^{c}	۴/۳۰±۰/۸۵^{a}	۳/۰۵±۰/۶۴^{c}	۳/۰۰±۰/۹۴^{c}	۳/۱۷±۰/۸۷^{c}
MPF٪۵	۴/۱۰±۰/۷۴^{a}	۳/۸۰±۰/۸۴^{a}	۴/۵۰±۱/۰۱^{a}	۳/۶۰±۰/۷۹^{a}	۴/۱۰±۰/۹۲^{a}	۳/۸۰±۰/۶۷^{a}
MPF٪۱۰	۳/۹۰±۰/۸۹^{a}	۳/۴۰±۱/۰۳^{b}	۴/۴۵±۰/۶۸^{a}	۳/۵۵±۰/۹۲^{b}	۳/۵۰±۰/۹۷^{b}	۳/۳۵±۰/۷۶^{b}
MPF٪۲۰	۴/۵۰±۰/۵۷^{a}	۴/۱۵±۰/۷۳^{a}	۴/۵۵±۰/۹۲^{a}	۴/۲۰±۰/۶۹^{a}	۳/۸۰±۰/۹۱^{a}	۴/۲۰±۰/۴۷^{a}
WOF٪۵	۳/۹۰±۰/۹۵^{a}	۳/۹۵±۰/۷۴^{a}	۴/۶۰±۰/۸۴^{a}	۳/۴۰±۱/۰۷^{b}	۳/۷۰±۰/۶۴^{a}	۳/۵۵±۰/۷۱^{b}
WOF٪۱۰	۴/۰۵±۰/۷۲^{a}	۳/۴۰±۰/۹۹^{b}	۴/۴۰±۱/۰۷^{a}	۳/۷۰±۰/۷۵^{a}	۳/۴۰±۰/۸۴^{b}	۳/۰۰±۰/۹۳^{c}
WOF٪۲۰	۳/۲۰±۱/۰۵^{b}	۳/۶۰±۰/۸۴^{a}	۴/۳۰±۰/۹۵^{a}	۳/۵۰±۰/۸۷^{b}	۳/۱۵±۰/۷۶^{c}	۳/۵۰±۰/۷۵^{b}

حروف متفاوت در هر ستون از لحاظ آماری، بیانگر اختلاف معنی دار ($p<۰/۰۵$) هستند.

CF: آرد هسته سنجد MPF: آرد پوسته و گوشت سنجد WOF: آرد سنجد کامل

ارزیابی نتایج اندیس قهوه‌ای شدن نیز بر تأثیر معنی‌دار پودر سنجد بر این ویژگی دلالت داشت. اندیس قهوه ای شدن پوسته با افزایش سطح پودر سنجد در هر سه نوع آرد سنجد افزایش یافت. بیشترین اندیس قهوه‌ای شدن برای نمونه حاوی ۲۰درصد آرد هسته سنجد و کمترین مربوط به نمونه شاهد بود. می‌توان گفت که بیشترین روشنی و زردی در بین تمامی تیمارها بعد از نمونه شاهد برای نمونه پوسته و گوشت سنجد سپس برای سنجد کامل و در آخر برای هسته سنجد بود و برای قرمزی و اندیس قهوه‌ای شدن

نمونه‌های حاوی آرد هسته سنجد بیشترین قرمزی و اندیس قهوه‌ای شدن را نشان دادند. طی فرآیند پخت کیک، پوسته کیک آب خود را از دست داده و با افزایش دما، رنگ پوسته کیک به دلیل واکنش قهوه‌ای شدن میلارد و کاراملیزاسیون به تدریج قهوه‌ای می‌شود. دلیل این تغییر رنگ می‌تواند وجود مقادیر بالای قندهای مونوساکاریدی در پودر سنجد باشد که این امر سبب افزایش شدت واکنش میلارد و تیره‌تر شدن کیک گردد (ایوبی، ۱۳۹۷). تیرگی رنگ کیک، کلوچه و دونات با افزودن آرد سنجد در مطالعات Sahan و همکاران (۲۰۱۳)، ایوبی (۱۳۹۷) و مهربان سنگ آتش و همکاران (۱۳۹۲) نیز گزارش شد.

ارزیابی حسی

نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های کیک در جدول ۶ آورده شده است. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از ارزیابی حسی نشان داد که افزودن آرد سنجد بر میزان بافت و پذیرش کلی کیک اسفنجی، تفاوت معنی‌دار داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد نمونه حاوی ۲۰ درصد آرد پوسته و گوشت سنجد از لحاظ رنگ، طعم و قابلیت جویدن بیشترین امتیاز را در بین مصرف‌کنندگان داشت و نمونه حاوی ۵ درصد آرد پوسته و گوشت سنجد از لحاظ بافت، قابلیت جویدن و پذیرش کلی بیشترین امتیاز را کسب کرد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش جایگزینی آرد سنجد امتیازدهی قابلیت جویدن کاهش یافت. از نظر رنگ و عطر نمونه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند و از نظر طعم اختلاف بین نمونه‌ها معنی‌دار بود کمترین امتیاز را نمونه‌های حاوی آرد هسته سنجد کسب کردند.

نتیجه‌گیری

ارزش تغذیه‌ای نسبتاً پایین محصولات بدون گلوتن برای بیماران سلیاکی و سایر مصرف‌کنندگان این محصولات، محدودیت‌ها و مشکلات تهیه و دسترسی به محصولات بدون گلوتن، موجب شده متخصصین صنایع غذایی در جهت بهبود ارزش تغذیه‌ای، توسعه و عرضه محصولات بدون گلوتن تلاش کنند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، افزودن پودر سنجد به کیک بدون گلوتن سبب افزایش رطوبت، فیبر، مواد معدنی وکاهش حجم مخصوص نسبت به نمونه شاهد شد ($p<0/05$). افزودن آرد سنجد میزان روشنی پوسته کیک‌ها را کاهش و سبب تیره‌تر شدن پوسته کیک‌ها نسبت به نمونه شاهد شد ($p<0/05$). بیشترین سفتی در نمونه‌های حاوی آرد هسته سنجد دیده شد پیوستگی بافت نمونه‌ها نیز با افزودن آردهای سنجد کاهش یافت و کمترین پیوستگی در نمونه‌های آرد هسته سنجد دیده شد صمغی شدن بافت نیز با افزودن آردهای سنجد و با گذشت زمان نگهداری افزایش یافت. همچنین با توجه به نظرات ارزیاب‌ها می‌توان بیان داشت که آرد سنجد به‌عنوان یک ماده عملگرا به دلیل داشتن ویژگی‌های عملکردی و تغذیه‌ای مفید، می‌تواند به‌عنوان یک افزودنی طبیعی و یک ترکیب غنی‌کننده جهت بهبود کیفیت و ارزش تغذیه‌ای کیک، به فرمول این محصول اضافه گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان جهت حمایت مالی از این پژوهش، اعلام می‌دارند.

منابع

AACC International. 2000. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists (9thed). St. Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists.

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists.

Ayoubi, A. (2018). The Effect of Wheat Flour Replacement with Eleaagnus Angustifolia Powder on Quality Characteristics of Cupcake. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 13 (2), 79-88.

Barzagar, H. & Zangeneh, N. (2017). Investigation on production and evaluation of gluten free cake with rice flour and maize flour combination. *2nd Conference & Exhibition on Methods to Increase the Shelf-life of Food Products*.

Dadvar, P., Eatayesalehi, E. & Sheikholeslami, Z. (2018). Gluten free cake formulation and qualitative properties. *Journal of Food Science and Technology*, 10 (2): 57-70.

Drabińskaa, N., Ciskaa, E., Szmatowiczb, B. and Krupa. Kozaka, U. (2017). Broccoli by-products improve the nutraceutical potential of gluten-free mini sponge cakes. *Food Chemistry*. 267: 170-177.

Ghasemzadeh, S., Nasehi, B. & Noshad, M. (2018). Formulation Optimization of Gluten-free Bread based on Quinoa, Corn and Rice Flour. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 12 (1), 59-68.

Institute of Standards and Industrial Research of Iran 9266. Foods- Determination of Lead, Cadmium, Copper, Iron, and Zinc - Atomic absorption spectrophotometry.

Institute of Standards and Industrial Research of Iran 8652. Water quality- Determination of total calcium and magnesium by titration with EDTA.

Jogihalli, P. Singh, L. & Sharanagat, V.S. (2017). Effect of microwave roasting parameters on functional and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum*). *Food Science and Technology*. 79: 223-233.

Keshavarzipour, M., Abbasi, H. & Fazel, M. 2018. Investigation of the Effect of Guar and Xanthan Gum and Sodium Stearoyl Lactylate on Qualitative Properties of Gluten-Free Sponge Cake, Based on Maize Starch and Okara**.** *Food Technology and Nutrition.* 51 (2): 87-100.

Khaki Rizi, M. Eatayesalehi, E. Mosharaf, L. & Tajalli, F. (2013). Physiochemical compounds of oleaster (Elaeagnus angustifolia L.) For use in food industries. *Journal of Herbal Drugs*, 3 (1), 15-21.

Kim, J. H., Jung, L. H., Sun, L. H., Jeong, L. M., Young, I. J. and Joo, S. H. (2012). Physical and sensory characteristics of fiber-enriched sponge cakes made with Opuntia humifusa. *Food Science and Technology*. 47: 478-484.

Mehraban sangatash, M., Mohammadi sani, A. & Sarraf, M. (2013). Investigation of physico-chemical and organoleptic properties of donuts enriched with oleaster flour. *National Conference of Passive Defense In Agriculture*.

Namir, M., Abdul Rahman, S. & Mohamed Fawzy, R.H. 2015. Characterization and functionality of alcohol insoluble solids from tomato pomace as fat substitute in low fat cake. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(4), 557-563.

Nourmohammadi, E., Peighambardoust, 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. *Journal of Food Industry Research*, 21 (2), 155-165.

Ozturk, H.I., Aydına, S., Sozerib, D, Demircia, T, Sertc, D. & Akına, N. (2018). Fortification of set-type yoghurts with Elaeagnus angustifolia L. flours: Effects on physicochemical, textural, and microstructural characteristics. *Food Science and Technology*, 90, 620–626.

Saberi, M., Nateghi, L. & Eshaghi, M. R. (2017). Production of Gluten – free sponge cake by using mixture of chickpea flour, rice flour, Guar Gum and Xanthan Gum. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 71 (14), 95-109.

Sahan, Y. Gocmen, D. Cansev, A. Celik, G. Aydin, E. Dundar, A.N. Dulger, D. Kaplan, H.B. Kilci, A. & Gucer, S. (2015). Chemical and techno-functional properties of flours from peeled and unpeeled oleaster (Elaeagnus angustifolia L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88, 34 – 41.

Sahan, Y., Neslihan Dundar, A., Aydin, E., Kilci, A., Dulger, D. & Kaplan, F.B. (2013). Characteristics of cookies supplemented with Oleaster flour (*Elaeagnus angustifolia* L.). Physicochemical sensorial and textural properties. *Journal of Agricultural Science*, 5 (1), 160-168.

Sharma, P. and Gujral, H. S. 2011. Effect of sand roasting and microwave cooking on antioxidant activity of barley. *Food Research International*. 44 (1): 235-240.

Sharoba, A. M., Farrag, M. A. and Abd El-Salam, A. M. (2013). Utilization of some fruits and vegetables waste as a source ofdietary fiber and its effect on the cake making and its quality attributes. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 19 (4): 429-444.

Tavan, Z., Hojjati, M., Nasehi, B. & Jooyandeh, H. (2017). Effect of sesame meal and soluble soybean polysaccharide on properties of Barbary bread. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 48 (2), 233-242.

Ullah Khan, S., Ullah Khan, A., Ali Shah, A.S., Majid Shah, S., Hussain, S., Ayaz, M., & Ayaz, A. (2013). Heavy metals content, phytochemical composition, antimicrobial and insecticidal evaluation of Elaeagnus angustifolia. *Toxicology and Industrial Health*, 32 (1), 154-161.

Vatandoust, S., Azizi, M. H., Hojjatoleslami, M., Molavi, H. & Raesi, Z. (2015). The effect of adding Eleaagnus angustifolia powder to quality characteristics of burger's bread. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 49 (12), 73-84.

Zare, Z., Nouri, L. & Fahimdanesh, M. (2017). Study of the Effect of Replacing Wheat Flour with Oleaster Flour on Physicochemical and Sensory Characteristics of Oily Cake. *Innovation in Food Science and Technology*, 8 (2), 55-63.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 69- 81

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۸۱-۶۹

Effect of different fractions of oleaster (*Elaeagnus angustifolia*) flour on gluten free sponge cake propertie

N. Zangeneh[1], H. Barzegar[2*], M. A. Mehrnia[3], M. Noshad[3], M.Hojjati[2]

Received: 2019.11.15
Accepted: 2020.04.14

Introduction: Celiac is an autoimmune digestive disorder caused by the consumption of gluten and the only way of treatment is consuming gluten free diet. Cake fortification due to its high consumption is pursuing by the bakery industry and the application of dietary fibers is increasing due to its relation to human health.

In this research, the effect of adding different parts of oleaster (core powder, peel and flesh powder and whole powder) at different concentrations (5, 10 and 20%), on physicochemical and sensory properties of gluten free cakes were investigated. Flour structure, functional properties, unique taste, dietary fiber, minerals and phenolic content of oleaster has made it a good ingredient in bakery products, yoghurt, ice cream, baby foods, chocolate and cookies. Oleaster due to the high content of fiber and minerals could be used in preparing gluten free functional foods. Due to the high demand for gluten free products for celiac patients, our goal was formulation optimization of gluten free cake based on corn flour and oleaster.

Materials and methods: Corn flour (Tarkhineh, Tehran), sugar (Zarin Alborz), vanilla and baking powder (Bartar Co.), egg (Telavang), sunflower oil (Ladan) and oleaster were purchased from a local shop in Ahvaz. After cleaning and removing impurities of oleasters, peel, flesh and core were separated, grinded and passed through mesh no. 35. Samples were kept in plastic bags at room temperature. Corn flour was partially (5, 10 and 20%) substituted with Powder of core, peel, flesh and whole oleaster. Moisture, pH, fat, protein, fiber, specific volume, textural properties, color and sensory properties of cakes were determined. Data were analyzed using a completely randomized design in SPSS and graphs were plotted using Excel.

Results and discussion: Low nutritional value and low diversity of gluten free products are major problems for celiac patients. Food scientists are trying to increase the nutritional value of such products through the addition of functional ingredients. Results of the present research showed a significant effect of adding oleaster powder on the physicochemical and sensory properties of free gluten cake samples. By increasing oleaster powder, moisture content of cake samples was increased and the highest moisture content was seen in samples containing peel and flesh powder which is due to presence of hygroscopic constituents like fibers and sugars. The addition of oleaster powders was significantly increased ash of samples which is due to the higher mineral content of oleaster comparing to corn flour. Evaluation of the browning index showed a significant effect of oleaster powder. Crust browning index increased by increasing the powder level in all types of cake samples. The highest browning index was seen in samples containing 20% core powder and the lowest was in the control. The browning index increased because of a rising Maillard reaction due to the higher amount of monosaccharides in oleaster powder. By increasing oleaster powder, firmness of samples increased and the lowest and highest firmness was seen in samples containing peel and flesh and core powder respectively. During storage time, by rising oleaster powder level, firmness increased. A significant increase of firmness was due to decrement of volume and thickening air bubbles walls in cakes crumb. By increasing oleaster powder in cakes, fat and protein content decreased and fiber increased. The lowest fat content was seen in samples containing 20% core powder. Sensory evaluation of cakes approve that oleaster powder could be used as a functional ingredient in cake formulations due to its nutritional and functional properties.

Keywords: Celiac, Gluten free cake, Corn flour, Oleaster flour.

1- MSc. Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
(*Corresponding Author: hbarzegar@asnrukh.ac.ir)

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 83- 91

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۹۱-۸۳

مقاله علمی- پژوهشی

بررسی اثر روش استخراج با حلال‌های آب و متانول بر ویژگی‌های ضداکسایشی و ضدمیکروبی عصاره گیاه بن‌سرخ: مطالعه در شرایط آزمایشگاهی "*in vitro*"

محمد حجتی[۱*]- بهروز علیزاده بهبهانی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۶

چکیده

در این پژوهش، عصاره گیاه بن سرخ با استفاده از حلال‌های متانول و آب و به کمک روش ماسراسیون استخراج شد. راندمان استخراج، ترکیبات فنول کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی (بر پایه مهار رادیکال‌های ۲ و ۲- دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) و ۲، ۲- آزینو بیس- ۳ - اتیل بنزو تیازولین- ۶ - سولفونیک اسید (ABTS)) و اثر ضدمیکروبی (بر پایه آزمون‌های دیسک دیفیوژن آگار، حداقل غلظت مهارکنندگی و حداقل غلظت‌کشندگی) عصاره‌ها با یکدیگر مقایسه گردید. راندمان استخراج و میزان ترکیبات فنولی عصاره متانولی به‌ترتیب ۷/۱۰ درصد و ۸۸/۲۸ mg GAE/g بود در حالی که برای عصاره آبی به‌ترتیب ۴/۶ درصد و ۶۸/۲۹ mg GAE/g بود. فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره آبی (برحسب رادیکال‌های DPPH و ABTS به‌ترتیب ۲/۲۸ mg/mL و ۲/۹۸) به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از عصاره متانولی (برحسب رادیکال‌های DPPH و ABTS به‌ترتیب ۵/۳۳ mg/mL و ۷/۱۲) بود که نشان می‌دهد وجود ترکیبات فنولی تنها عامل مؤثر بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره نمی‌باشد. میزان حداقل غلظت مهارکنندگی از رشد عصاره متانولی برای باکتری‌های *Streptococcus pyogenes*، *Listeria innocua*، *Entrobacter aerogenes*، *Escherichia coli* و *Pseudomonas aeruginosa* به‌ترتیب ۴/۶۸، ۴/۶۸، ۷۵، ۱۸/۷۵ و ۱۸/۷۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود در حالی که برای عصاره آبی بن سرخ به ترتیب ۴/۶۸، ۹/۳۷، ۷۵، ۳۷/۵ و ۳۷/۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود. میزان حداقل غلظت کشندگی عصاره متانولی برای باکتری‌های *Streptococcus pyogenes*، *Listeria innocua*، *Entrobacter aerogenes*، *Escherichia coli* و *Pseudomonas aeruginosa* به‌ترتیب ۱۸/۷۵، ۱۸/۷۵، ۱۵۰، ۱۵۰ و ۳۷/۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود در حالی که برای عصاره آبی بن‌سرخ به‌ترتیب ۳۷/۵، ۳۷/۵، ۳۰۰، ۱۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود. با توجه به نتایج، عصاره گیاه بن سرخ قابلیت استفاده به‌عنوان نگهدارنده طبیعی جهت جلوگیری از اکسیداسیون غذاهای حاوی اسیدهای چرب غیراشباع و همچنین کنترل رشد باکتری‌های بیماری‌زا و مولد فساد را دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: گیاه بن‌سرخ، عصاره متانولی و آبی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فعالیت ضدمیکروبی، ترکیبات فنولی.

مقدمه

افزایش مقاومت باکتریایی در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها، بررسی اثرات ضدمیکروبی اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی را جهت گسترش گروهی از ترکیبات ضدمیکروبی طبیعی افزایش داده است (Rahman *et al*., 2009). از سوی دیگر، اکسیداسیون لیپیدهای موجود در مواد خام یا فراوری شده سبب ایجاد طعم نامطلوب و کاهش کیفیت محصولات غذایی می‌شود. استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی مانند BHA[۳] و BHT[۴] با وجود افزایش پایداری محصولات، به دلیل اثرات سمی این ترکیبات نگرانی‌هایی را در رابطه با ایمنی و سلامت محصولات غذایی ایجاد کرده است (Tepe *et al*., 2005). گیاهان دارویی حاوی طیف وسیعی از ترکیبات فنولی از جمله فنولیک اسیدها، فلاوونوئیدها، تانن‌ها و غیره می‌باشند. وجود این ترکیبات علاوه بر ایجاد خاصیت آنتی‌اکسیدانی که می‌تواند جایگزین مناسبی برای آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی باشد (Pirbalouti, 2019)، دارای اثرات مهارکنندگی و کشندگی بر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا بوده که استفاده از آن‌ها به شدت افزایش داده است (Alizadeh Behbahani *et al*., 2017).

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشیار و استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
(* - نویسنده مسئول: Email: hojjati@asnrukh.ac.ir)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.85992
3 Butylated hydroxyanisole
4 Butylated hydroxytoluene

جنس Allium بزرگ‌ترین و مهم‌ترین جنس خانواده Alliaceae شامل ۷۰۰ گونه می‌باشد که از نظر طعم، رنگ و شکل با یکدیگر تفاوت دارند (Rouis-Soussi *et al*., 2014). این جنس دارای فعالیت ضدباکتری، ضد قارچی و ضدویروس بوده و وجود ترکیبات آنتی‌اکسیدانی قوی، گوگرد و ترکیبات فنولی متعدد، استفاده از آن را در صنعت غذا افزایش داده است (Pirbalouti, 2019).

گونه *Allium jesdianum* با نام محلی بن سرخ، گیاهی پیازدار و مقاوم بوده که در ارتفاعات مدیترانه و ارتفاعات غرب و جنوب غربی ایران یافت می شود و از گذشته استفاده از آن در درمان بیماری‌های گوارشی و روماتیسمی مؤثر بوده است (Kalantari *et al*., 2018؛ امیری، ۱۳۸۵). همچنین اثر ضدسرطانی و ضدافسردگی عصاره این گیاه گزارش شده است (Mousavi *et al*., 2017؛ درستی و همکاران، ۱۳۹۶). Naeini و همکاران (۲۰۲۰) عصاره آبی گیاه بن سرخ را تهیه و اثر ضدقارچی آن را بر Candida تایید کردند.

با توجه به بومی بودن گیاه بن سرخ، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی آن و افزایش نگرانی مصرف‌کننده نسبت به آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی و استفاده بی‌رویه از آنتی‌بیوتیک‌های شیمیایی رایج، هدف از این پژوهش بررسی پتانسیل آنتی‌اکسیدانی و اثر ضدمیکروبی عصاره‌های آبی و متانولی گیاه بن‌سرخ بر باکتری‌های *Entrobacter aerogenes*، *Listeria innocua*، *Streptococcus pyogenes*، *Escherichia coli* و *Pseudomonas aeruginosa* می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه گیاه، مواد شیمیایی و محیط کشت‌های میکروبی

گیاه بن‌سرخ از استان کهگیلویه و بویراحمد تهیه و پس از تأیید جنس و گونه آن در دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، گیاه بن‌سرخ جهت تهیه عصاره، در دمای محیط و در سایه به مدت یک هفته خشک و سپس با آسیاب آزمایشگاهی پودر گردید. محیط کشت‌های مولر هینتون آگار و مولر هینتون براث از شرکت مرک (آلمان)، متانول ۹۶ درصد از شرکت صنایع شیمیایی غدیر (ایران)، و رادیکال DPPH[1]، رادیکال ABTS[2] و معرف تری‌فنل‌تترازولیوم از شرکت سیگما (آمریکا) خریداری گردیدند.

تهیه عصاره

از روش خیساندن (ماسراسیون) جهت تهیه عصاره‌های آبی و متانولی استفاده گردید. عصاره‌های آبی و متانولی به‌ترتیب با افزودن ۵۰ گرم گیاه پودر شده به ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و متانول ۹۶ درصد تهیه شدند. عصاره متانولی و آبی ۲۴ ساعت در آزمایشگاه نگهداری و هر چند ساعت یک‌بار هم‌زده شد. پس از جمع‌آوری مایع رویی، به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ و سپس از فیلتر ۰/۴۵ میکرونی (جهت استریل کردن) عبور داده شد. نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایش‌های مختلف در ظروف استریل در بسته نگهداری شدند (علیزاده بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۲).

بازده استخراج

پس از توزین لوله خالی، ۲۵ میلی‌لیتر از عصاره‌های آبی و متانولی به آن اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک و وزن آن‌ها اندازه‌گیری گردید. اختلاف وزن لوله حاوی عصاره و لوله خالی محاسبه و به‌عنوان میزان وزن خشک نمونه گزارش گردید (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵).

اندازه‌گیری میزان فنول کل

میزان فنول کل موجود در نمونه با استفاده از روش Folin–Ciocalteu اندازه‌گیری شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از هر یک از عصاره‌ها با ۵ میلی‌لیتر معرف Folin–Ciocalteu (رقت ۱/۱۰) مخلوط گردید. پس از ۵ دقیقه نگهداری، ۴ میلی‌لیتر محلول سدیم‌کربنات (۱ مولار) به مخلوط اضافه و پس از ۱۵ دقیقه جذب نمونه‌ها در ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری و نتایج بر اساس میلی‌گرم گالیک اسید موجود در هر گرم نمونه خشک شده گزارش شد (Moradi *et al*., 2014).

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH

فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های آبی و متانولی با استفاده از رادیکال DPPH و بر اساس روش Alizadeh Behbahani و همکاران (۲۰۱۷)، با اندکی تغییر اندازه‌گیری شد. ۰/۱ میلی‌لیتر از نمونه‌ها با ۳/۹ میلی‌لیتر محلول DPPH (۰/۱۲ میلی‌مولار) مخلوط شد. پس از هم‌زدن نمونه‌ها و نگهداری به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی، جذب آن‌ها در ۵۱۷ نانومتر ثبت گردید. درصد فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید:

$$\text{فعالیت مهارکنندگی}(\%) = (Abs_{control} - Abs_{sample} / Abs_{control}) \times 100 \quad (۱)$$

که در این فرمول، $Abs_{control}$ معادل جذب نمونه کنترل و Abs_{sample} جذب هر یک از عصاره‌های آبی و متانولی می‌باشد. غلظتی از

1 2, 2-Diphenyl-1- picrylhydrazyl

2 2, 2′-Azino-bis (3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid)

عصاره که ۵۰ درصد رادیکال DPPH را مهار می‌کند به‌عنوان مقدار IC_{50} گزارش گردید.

فعالیت مهارکنندگی رادیکال ABTS

ابتدا محلول رادیکال کاتیون ABTS ($ABTS^+$) با مخلوط کردن مقادیر یکسانی از محلول‌های ABTS (۰/۷ میلی‌مولار) و پر سولفات پتاسیم (۲/۴۵ میلی‌مولار) و نگهداری به مدت ۱۶ ساعت در دمای اتاق در تاریکی تولید شد.. سپس محلول $ABTS^+$ با استفاده از متانول تا رسیدن به جذب ۰/۷ در ۷۳۴ نانومتر رقیق شد. در ادامه، ۳/۹۰ میلی‌لیتر محلول رقیق شده $ABTS^+$ با ۰/۱۰ میلی‌لیتر از هر یک از عصاره‌ها یا متانول (به‌عنوان کنترل) مخلوط و به مدت ۶ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. پس از اندازه‌گیری جذب نمونه‌ها در ۷۳۴ نانومتر، فعالیت مهارکنندگی رادیکال ABTS با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Alizadeh Behbahani *et al*., 2019):

$$\text{فعالیت مهارکنندگی}\ (\%) = (1- Abs_{sample} - Abs_{control})\times 100 \qquad (۲)$$

در این فرمول، $Abs_{control}$ معادل جذب نمونه کنترل و Abs_{sample} جذب عصاره‌های آبی و متانولی می‌با شد. نتایج آزمون رادیکال ABTS بر اساس IC_{50} گزارش گردید.

تهیه سوسپانسیون میکروبی

باکتری های *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853، *Escherichia coli* ATCC 25922، ATCC 13048 *Entrobacter aerogenes*، *Listeria innocua* ATCC 33090 و *Streptococcus pyogenes* ATCC 12344 از با نک میکروبی گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان تهیه گردید. هر یک از باکتری‌ها ابتدا به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس در محیط مولر هینتون آگار و سپس در محیط مولر هینتون براث کشت داده شد. پس از شستشوی محیط کشت با محلول رینگر، استاندارد نیم مک فارلند (CFU/mL^1 ۱/۵ ×$۱۰^۸$) از سوسپانسیون‌های میکروبی تهیه گردید (حیدری و همکاران، ۱۳۹۸).

آزمون‌های ضدمیکروبی

از ۳ روش دیسک دیفیوژن آگار[2] (DDA) ، حداقل غلظت مهارکنندگی[3] (MIC) و حداقل غلظت کشندگی[4] (MBC) جهت بررسی فعالیت ضدمیکروبی عصاره‌های آبی و متانولی گیاه بن سرخ استفاده شد.

دیسک دیفیوژن آگار

جهت اندازه‌گیری فعالیت ضدمیکروبی عصاره‌های آبی و متانولی با استفاده از دیسک دیفیوژن آگار از روش Azhdarzadeh و همکاران (۲۰۱۶) با کمی تغییر استفاده شد. ابتدا ۱۰۰ میکرولیتر باکتری به پلیت‌های حاوی مولر هینتون آگار استریل اضافه گردید. سپس دیسک‌های استریل (قطر ۶ میلی‌متر) آغشته به غلظت‌های مختلف عصاره (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) روی پلیت‌ها تثبیت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شد. پس از پایان زمان گرمخانه گذاری، مناطق مهارکننده، با اندازه‌گیری قطر هاله بر اساس میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

حداقل غلظت مهارکنندگی

هر یک از عصاره‌های آبی و متانولی جهت رسیدن به غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر با محیط مولر هینتون براث مخلوط و رقت‌های متوالی از آن تهیه گردید (۱۵۰، ۷۵، ۳۷/۵، ۱۸/۷۵، ۹/۳۷، ۴/۶۸، ۲/۳۴ و ۱/۱۷). سپس ۱۰ میکرولیتر از سوسپانسیون‌های میکروبی به همراه ۱۵۰ میکرولیتر از رقت‌های تولیدی به پلیت ۹۶ خانه‌ای انتقال داده شد. پس از ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری در دمای ۳۷ درجه سلسیوس، ۱۰ میکرولیتر محلول تری‌فنل‌تترازولیوم ۰/۵ درصد به چاهک‌ها اضافه و مجدداً به مدت ۳ ساعت گرمخانه‌گذاری شد. اولین غلظتی که در آن رشد باکتری مشاهده نشد (عدم وجود رنگ قرمز) به‌عنوان حداقل غلظت مهارکنندگی گزارش گردید (Noshad *et al*., 2018).

حداقل غلظت‌کشندگی

حداقل غلظت کشندگی عصاره‌های آبی و متانولی با استفاده از روش پورپلیت تعیین شد. رقتی که در روش حداقل غلظت مهارکنندگی تغییر رنگی مشاهده نشد، بر محیط کشت مولر هینتون آگار کشت داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شد. غلظتی که در آن هیچگونه کلنی مشاهده نشد به‌عنوان حداقل غلظت کشندگی گزارش گردید (Alizadeh Behbahani *et al*., 2018، وسیعی و همکاران، ۱۳۹۴).

1 Colony forming unit/mL
2 Disc diffusion agar
3 Minimum inhibitory concentration
4 Minimum bactericidal concentration

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت پذیرفت. از آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($p<0.05$) جهت بررسی معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌ها استفاده شد. تمام آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند.

نتایج و بحث

بازده استخراج

میزان بازده استخراج به عوامل مختلفی از جمله نوع حلال، ترکیبات موجود در نمونه، دما و زمان استخراج بستگی دارد که در شرایط یکسان حلال مورد استفاده بسیار تأثیرگذار است (Do *et al.*, 2014). میزان بازده عصاره‌های آبی و متانولی گیاه بن سرخ به‌ترتیب ۴/۶ ±۰/۲۸ درصد و ۷/۱±۰/۲۰ درصد بود (جدول ۱). بازده بالاتر استخراج با متانول بیانگر این حقیقت است که متانول قادر به استخراج هر دو نوع ترکیبات غیرقطبی و نیمه قطبی بوده در حالی که آب قادر به استخراج ترکیبات قطبی می‌باشد (Alizadeh Behbahani *et al.*, 2019). در راستای نتایج این مطالعه، راندمان بالاتر عصاره‌های الکلی نسبت به عصاره‌های آبی در مطالعات مختلف گزارش شده است (Martinez-Correa *et al.*, 2011، وسیعی و همکاران، ۱۳۹۴).

جدول ۱- بازده استخراج، محتوای فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های متانولی و آبی گیاه بن‌سرخ

عصاره	بازده استخراج (٪)	فنول کل (میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم عصاره خشک)	فعالیت آنتی اکسیدانی (بر حسب IC_{50}؛ میلی‌گرم در میلی‌لیتر)	
			مهار رادیکال DPPH	مهار رادیکال ABTS
متانولی	۷/۱۰±۰/۲۰[a]	۸۸/۲۸±۰/۲۰[a]	۵/۳۳±۰/۸۲[a]	۷/۱۲±۰/۲۹[a]
آبی	۴/۶±۰/۲۸[b]	۶۸/۲۹±۰/۵۲[b]	۲/۲۸±۰/۴۲[b]	۲/۹۸±۰/۵۰[b]

حروف غیرمشابه (a و b) در یک ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد است.

محتوای فنول کل

ترکیبات فنولی در بخش‌های مختلف گیاه وجود دارند که علاوه بر بهبود پایداری غذاهای حاوی چربی، با کاهش بیماری‌های قلبی، می‌توانند اثرات مفیدی بر سلامتی انسان داشته باشند (Pinelo *et al.*, 2004). محتوای فنول کل با روش Folin–Ciocalteu که روشی راحت، ساده و قابل تکرار است، تعیین شد. مکانیسم عمل آن شامل احیای ترکیب مولیبیدن در کمپلکس phosphotungstic- phosphomolybdic به‌عنوان معرف در حضور آنتی‌اکسیدان می‌باشد (Dutta *et al.*, 2012). میزان ترکیبات فنولی به نوع نمونه، حلال و دمای مورد استفاده برای استخراج بستگی دارد (González-Palma *et al.*, 2016). در شرایط یکسان، میزان فنول حاصل از عصاره آبی برابر با ۶۸/۲۹ ±۰/۵۲ و برای عصاره متانولی برابر با ۸۸/۲۸ ±۰/۲۰ میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم عصاره خشک بود (جدول ۱). مقادیر بالای ترکیبات فنولی عصاره متانولی می‌تواند به دلیل استخراج اسیدهای فنولیک غیرقطبی و نیمه قطبی باشد (Thippeswamy *et al.*, 2005). این نتایج با یافته‌های حاصل از Rameshkumar و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر میزان بیشتر فنول موجود در عصاره متانولی در مقایسه با عصاره آبی برگ‌های گیاه *Mollugo nudicaulis* در تطابق می باشد. همچنین Dailey و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر حلال‌های مختلف بر میزان فنول کل استخراجی، با تأکید بر اهمیت نوع حلال مورد استفاده، بالاترین مقدار را با استفاده از حلال‌های متانولی و استونی گزارش کردند.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

آنتی‌اکسیدان‌ها در مهار فرایندهای اکسیداسیون چربی‌ها و روغن‌ها اهمیت دارند. در سامانه‌های بیولوژیکی، آنتی‌اکسیدان‌ها مانع از شروع و انتشار واکنش‌های زنجیره‌ای اکسیداتیو شده و از این طریق در جلوگیری از بیماری‌های ناشی از موجودات زنده بسیار مؤثر می‌باشند (Martinez-Correa *et al.*, 2011). در این پژوهش از دو روش فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH و رادیکال ABST بر اساس IC_{50} جهت ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های متانولی و آبی استفاده گردید. فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس IC_{50} رادیکال DPPH عصاره آبی و متانولی به ترتیب برابر با ۲/۲۸ ±۰/۴۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و ۵/۳۳ ±۰/۸۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر پایه IC_{50} رادیکال ABST برای عصاره‌های آبی و متانولی به ترتیب برابر با ۲/۹۸ ±۰/۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و ۷/۱۲ ±۰/۲۹ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود (جدول ۱). با وجود میزان فنول بالاتر در عصاره متانولی، عصاره آبی فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به عصاره متانولی نشان داد. گزارش شده است که اگرچه وجود ترکیبات فنولی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی مؤثر است، اما تنها عامل تعیین‌کننده نمی‌باشند (Javanmardi *et al.*, 2003).

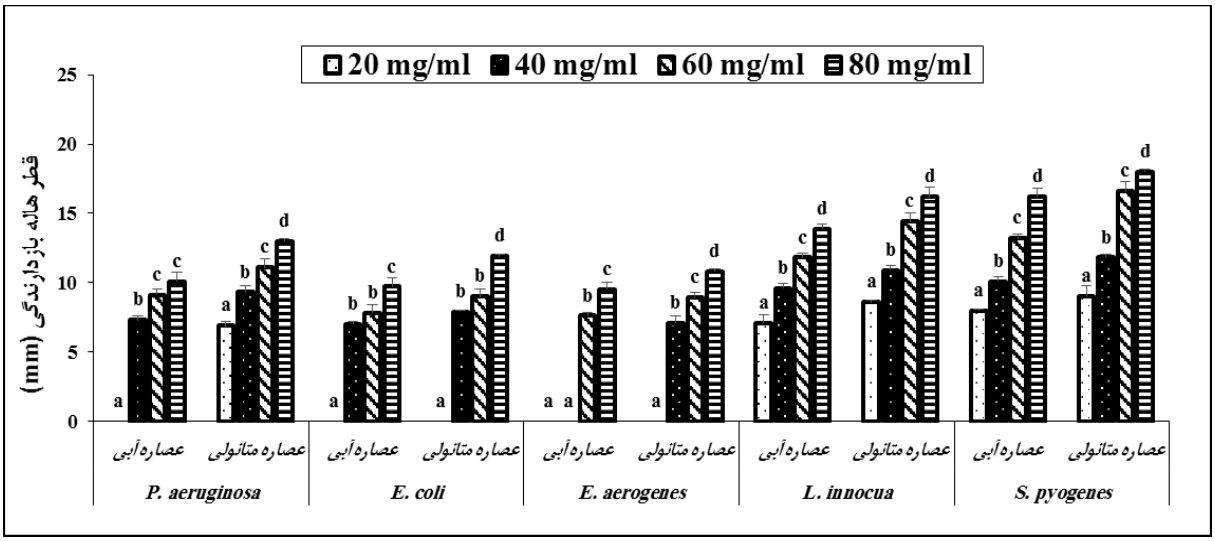
پتانسیل آنتی‌اکسیدانی می‌تواند در نتیجه وجود سایر مولکول‌ها و اجزای موجود در عصاره باشد که ممکن است توسط روش‌های مذکور اندازه‌گیری نشده باشند (González-Palma *et al*., 2016). همچنین، علاوه‌بر تعداد گروه‌های هیدروکسیل تشکیل‌دهنده ساختار آنتی‌اکسیدان، موقعیت قرارگیری این گروه‌ها، ترکیب گروه‌های کتونی و وجود پیوندهای دوگانه نیز می‌توانند بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مؤثر باشند (طباطبایی یزدی و همکاران، ۱۳۹۵).

فعالیت ضدمیکروبی

عفونت و مسمومیت غذایی ناشی از باکتری‌های گرم مثبت و منفی یکی از شایع‌ترین علل مرگ‌ومیر در کشورهای در حال توسعه می‌باشد. با وجود کارایی ترکیبات شیمیایی در پیشگیری و کنترل بیماری‌های ناشی از عفونت و مسمومیت غذایی، استفاده مکرر از این ترکیبات، علاوه‌بر ایجاد مقاومت میکروبی سبب تجمع مواد شیمیایی در زنجیره غذایی می‌شود. این امر منجر به استفاده از ترکیبات طبیعی از جمله عصاره‌های گیاهی به‌عنوان ماده ضدمیکروبی برای حفظ محصولات غذایی شده است (Mostafa *et al*., 2018). فعالیت ضدمیکروبی عصاره‌های آبی و متانولی گیاه بن‌سرخ به روش دیسک دیفیوژن آگار در شکل ۱، نشان شده است. در غلظت ۲۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر عصاره آبی بن‌سرخ بر باکتری‌های *P. aeruginosa*، *E. coli* و *E. aerogenes* و عصاره متانولی بر باکتری‌های *E. coli* و *E. aerogenes* هیچ فعالیت ضدمیکروبی نشان نداد. اگرچه عصاره متانولی در غلظت ۴۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر روی باکتری *E. aerogenes* دارای فعالیت ضدمیکروبی بود، اما در عصاره آبی در این غلظت هیچگونه هاله عدم رشد مشاهده نگردید. بالاترین و کمترین قطر هاله عدم رشد در غلظت ۸۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر عصاره‌های آبی و اتانولی، به ترتیب در باکتری‌های *S. pyogenes* و *E. aerogenes* مشاهده شد.

نتایج حداقل غلظت مهارکنندگی و حداقل غلظت کشندگی عصاره بن سرخ در جدول ۲، گزارش شده است. حداقل غلظت مهارکنندگی عصاره‌های آبی و متانولی برای باکتری *E. aerogenes* برابر با ۷۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر و برای باکتری *S. pyogenes* برابر با ۴/۶۸ میلی‌گرم در میلی‌لیتر بود. حداقل غلظت کشندگی عصاره‌های متانولی و آبی برای باکتری *E. coli* برابر با ۱۵۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر بود.

اجزای موجود در عصاره‌های گیاهی (ترپنوئیدها، آلکالوئیدها و ترکیبات فنولی) با آنزیم‌ها و پروتئین‌های غشای سلولی میکروبی واکنش داده و با ایجاد اختلال در پراکندگی پروتون‌ها به سمت بیرون سلول منجر به مرگ سلولی یا مهار آنزیم‌های مورد نیاز جهت سنتز اسیدهای آمینه می شوند. علاوه بر این، اثر مهارکنندگی عصاره‌های گیاهی را می‌توان به ویژگی آبگریزی آن‌ها نیز نسبت داد که در نتیجه واکنش با پروتئین‌های غشای سلولی و میتوکندری منجر به تخریب و تغییر در نفوذپذیری آن‌ها می شوند (Mostafa *et al*., 2018). توانایی متانول در استخراج ترکیبات قطبی و غیرقطبی و همچنین خاصیت آبگریزی عصاره‌های گیاهی می‌تواند دلیلی بر فعالیت ضدمیکروبی بیشتر عصاره متانولی در مقایسه با عصاره آبی باشد. در راستای نتایج حاصل از این پژوهش، Faden (۲۰۱۸) از دو حلال آب و متانول جهت استخراج عصاره دانه‌های *Areca catechu* استفاده و بیان کرد که عصاره متانولی دارای فعالیت ضدمیکروبی بیشتری بر باکتری‌های *E. coli* و *Staphylococcus aureus* مورد بررسی داشته است.



شکل ۱- قطر هاله بازدارندگی عصاره‌های متانولی و آبی گیاه بن‌سرخ در آزمون دیسک دیفیوژن آگار.

جدول ۲- حداقل غلظت مهارکنندگی و کشندگی عصاره متانولی و آبی گیاه بن‌سرخ در برابر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا

	میکروارگانیسم				
	S. pyogenes	*L. innocua*	*E. aerogenes*	*E. coli*	*P. aeruginosa*
عصاره	حداقل غلظت مهارکنندگی رشد (میلی‌گرم در میلی‌لیتر)				
متانولی	۴/۶۸	۴/۶۸	۷۵	۱۸/۷۵	۱۸/۷۵
آبی	۴/۶۸	۹/۳۷	۷۵	۳۷/۵	۳۷/۵
	حداقل غلظت کشندگی (میلی‌گرم در میلی‌لیتر)				
متانولی	۱۸/۷۵	۱۸/۷۵	۱۵۰	۱۵۰	۳۷/۵
آبی	۳۷/۵	۳۷/۵	۳۰۰	۱۵۰	۷۵

همچنین Karaman و همکاران (۲۰۰۳)، در بررسی فعالیت ضدمیکروبی عصاره آبی و متانولی *Juniperus oxycedrus* با استفاده از روش دیسک دیفیوژن آگار، حداقل غلظت مهارکنندگی و حداقل غلظت کشندگی، بیان کردند که عصاره متانولی بر باکتری‌های مورد بررسی اثر ضدمیکروبی بیشتر داشته است. نتایج آزمون‌های دیسک دیفیوژن آگار، حداقل غلظت کشندگی و حداقل غلظت مهارکنندگی نشان دهنده مقاومت بیشتر باکتری‌های گرم منفی از جمله *E. coli* و *E. aerogenes* نسبت به باکتری‌های گرم مثبت مانند *S. pyogenes* در برابر عصاره‌های آبی و متانولی می‌باشد. مقاومت بیشتر باکتری‌های گرم منفی را می‌توان به ساختار دیواره سلولی آن‌ها نسبت داد. باکتری‌های گرم منفی دارای یک سد نفوذ ناپذیری مؤثر می‌باشند که از یک غشای بیرونی لیپوپلی ساکارید تشکیل شده است که قابلیت محدود سازی نفوذ عصاره گیاه به داخل سلول را دارا می‌باشد؛ در حالیکه باکتری‌های گرم مثبت دارای یک لایه پپتیدوگلیکان شبیه به مش با خاصیت نفوذپذیری بیشتری می‌باشند (Biswas *et al.*, 2013).

نتیجه‌گیری

حضور ترکیبات زیست فعال با فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی در عصاره گیاه بن سرخ در این مطالعه نشان داده شد. محتوای فنول کل عصاره متانولی بیشتر از عصاره آبی بود و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالای عصاره‌های آبی و متانولی بیانگر کاربرد بالقوه عصاره گیاه بن‌سرخ به‌عنوان آنتی‌اکسیدان طبیعی جهت بهبود پایداری اکسایشی مواد غذایی و روغن‌های غیرا شباع می‌باشد. عصاره گیاه بن سرخ، به‌ویژه عصاره متانولی، سبب جلوگیری از رشد و همچنین از بین بردن میکروارگانیسم‌های مولد فساد و پاتوژن گردید. بنابراین از عصاره زیست فعال گیاه بن سرخ می‌توان به‌عنوان نگهدارنده‌ی طبیعی و جایگزین آنتی‌بیوتیک های شیمیایی برای جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌های مضر، درمان بیماری‌های عفونی و افزایش ایمنی محصولات غذایی استفاده کرد.

قدردانی و تشکر

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی شماره ۹۸۱/۵۲ می‌باشد و نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان جهت حمایت انجام این طرح تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

Ahmadi, E., Abdollahi, A., Najafipour, S., Meshkibaf, MH., Fasihi-Ramandi, M., Namdar, N., Abdollahi, S., Mousavi, SM., SamiZadeh, B., Allahverdi, GH., 2016. Surveying the effect of the phenol compounds on antibacterial activity of herbal extracts: In vitro assessment of herbal extracts in Fasa-Fars Province. *Journal of Fasa University of Medical Sciences, 6:* 210-220.

Alizadeh Behbahani, B., Noshad, M., & Falah, F., 2019. Cumin essential oil: Phytochemical analysis, antimicrobial activity and investigation of its mechanism of action through scanning electron microscopy. *Microbial Pathogenesis, 136*, 103716.

Alizadeh Behbahani, B., Noshad, M., & Falah, F., 2019. Study of chemical structure, antimicrobial, cytotoxic and mechanism of action of *Syzygium aromaticum* essential oil on foodborne pathogens. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, *13*(1), 875-883.

Alizadeh Behbahani, B., Shahidi, F., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., & Mohebbi, M., 2017. Antioxidant activity and antimicrobial effect of tarragon (*Artemisia dracunculus*) extract and chemical composition of its essential oil. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *11*(2), 847-863.

Alizadeh Behbahani, B., Shahidi, F., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., & Mohebbi, M., 2017. Use of *Plantago major* seed mucilage as a novel edible coating incorporated with *Anethum graveolens* essential oil on shelf life extension of beef in refrigerated storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, *94*, 515-526.

Alizadeh Behbahani, B., Tabatabaei Yazdi, F., Shahidi, F., Mohebbi, M., 2014. Antifungal Effect of Aqueous and Methanolic *Avicennia Marina* Leaves Extracts on *Alternaria Alternata* and *Penicillium Citrinum. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences, 12 (2),* 1015-1024. [In Persian].

Alizadeh Behbahani, B., Yazdi, F. T., Shahidi, F., Noorbakhsh, H., Vasiee, A., & Alghooneh, A., 2018. Phytochemical analysis and antibacterial activities extracts of mangrove leaf against the growth of some pathogenic bacteria. *Microbial Pathogenesis*, *114*, 225-232.

Amiri, H. (2007). Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Allium jesdianum* Boiss. & Buhse from Iran. *Journal of Medicinal Plants, 1 (S3)*:39-44.

Azhdarzadeh, F., & Hojjati, M., 2016. Chemical composition and antimicrobial activity of leaf, ripe and unripe peel of bitter orange (*Citrus aurantium*) essential oils. *Nutrition and Food Sciences Research*, *3*(1), 43-50.

Biswas, B., Rogers, K., McLaughlin, F., Daniels, D., & Yadav, A., 2013. Antimicrobial activities of leaf extracts of guava (*Psidium guajava* L.) on two gram-negative and gram-positive bacteria. *International Journal of Microbiology*, *2013*, 1-7.

Dailey, A., & Vuong, Q. V., 2015. Effect of extraction solvents on recovery of bioactive compounds and antioxidant properties from macadamia (*Macadamia tetraphylla*) skin waste. *Cogent Food & Agriculture*, *1(1)*, 1115646.

Do, Q. D., Angkawijaya, A. E., Tran-Nguyen, P. L., Huynh, L. H., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S., & Ju, Y. H., 2014. Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of Limnophila aromatica. *Journal of Food and Drug Analysis*, *22(3)*, 296-302.

Dorosti, N., Zarabi, S., Ahmadi, Sh., Rostami, R., Rashidi Pour, M., 2017. Anticancer activity evaluation of methanolic extract of *Allium Jesdianum* and *Nectaroscordeum coelzi* against HeLa and K562 cell lines. *Yafteh*, *19(1)*, 31-41.

Dutta, A. K., Gope, P. S., Makhnoon, S., Rahman, S., Siddiquee, M. A., & Kabir, Y. 2012. Effect of solvent extraction on phenolic content, antioxidant and α-amylase inhibition activities of Swertia chirata. *International Journal of Drug Development and Research*, *4*, 317-325.

Faden, A. A. (2018). Evaluation of antibacterial activities of aqueous and methanolic extracts of areca catechu against some opportunistic oral bacteria. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, *15*(3), 655-659.

González-Palma, I., Escalona-Buendía, H. B., Ponce-Alquicira, E., Téllez-Téllez, M., Gupta, V. K., Díaz-Godínez, G., & Soriano-Santos, J., 2016. Evaluation of the antioxidant activity of aqueous and methanol extracts of Pleurotus ostreatus in different growth stages. *Frontiers in Microbiology*, *7*, 1099.

Heydari, S., Jooyandeh, H., Alizadeh Behbahani, B., Noshad, M., 2019. Invitro determination of chemical Compounds and antibacterial activity of Lavandula essential oil against some Pathogenic microorganisms. *Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences, 27 (4),* 77-89. [In Persian].

Javanmardi, J., Stushnoff, C., Locke, E., & Vivanco, J. M., 2003. Antioxidant activity and total phenolic content of Iranian Ocimum accessions. *Food Chemistry*, *83*(4), 547-550.

Kalantari, H., Shamsi Ehsan, T., Samimi, A., Kheradmand, P., & Shirani, M., 2018. Histopathological and biomedical parameters determination in the protective effect of hydroalcoholic extract of *Allium jesdianum* on hepatotoxicity induced by bromobenzene in mice. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences*, *14*(2), 15-24.

Karaman, I., Şahin, F., Güllüce, M., Öğütçü, H., Şengül, M., & Adıgüzel, A. (2003). Antimicrobial activity of aqueous and methanol extracts of *Juniperus oxycedrus* L. *Journal of Ethnopharmacology*, *85*(2-3), 231-235.

Martinez-Correa, H. A., Magalhães, P. M., Queiroga, C. L., Peixoto, C. A., Oliveira, A. L., & Cabral, F. A., 2011. Extracts from pitanga (*Eugenia uniflora* L.) leaves: influence of extraction process on antioxidant properties and yield of phenolic compounds. *The Journal of Supercritical Fluids*, *55*(3), 998-1006.

Moradi, S., Razavi, S. H., & Vasiee, A., 2014. Antioxidant and antimicrobial activity of *Thymus vulgaris* L. on some pathogenic bacteria '*in vitro*'. *Agricultural Advances*, *3*(4), 124-130.

Mostafa, A. A., Al-Askar, A. A., Almaary, K. S., Dawoud, T. M., Sholkamy, E. N., & Bakri, M. M., 2018. Antimicrobial activity of some plant extracts against bacterial strains causing food poisoning diseases. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *25*(2), 361-366.

Mousavi, R., Fashi, Z. H., Jahromy, M. H., & Rasooli, R., 2017. Potential of the Allium jesdianum Extract in Suppression of Anxiety and Depression in Mice. *British Biomedical Bulletin*, *5*, 302-307.

Naeini, A., Yaraee, R., & Shokri, H., 2020. Antifungal and immunomodulatory activity of *Allium jesdianum* Boiss extracts. *Journal of Herbmed Pharmacology*, *9*(1).

Noshad, M., Hojjati, M., & Alizadeh Behbahani, B. (2018). Black Zira essential oil: Chemical compositions and antimicrobial activity against the growth of some pathogenic strain causing infection. *Microbial Pathogenesis*, *116*, 153-157.

Pinelo, M., Manzocco, L., Nuñez, M. J., & Nicoli, M. C., 2004. Solvent effect on quercetin antioxidant capacity. *Food Chemistry*, *88*(2), 201-207.

Pirbalouti, A. G., 2019. Phytochemical and bioactivity diversity in the extract from bulbs and leaves of different populations of *Allium jesdianum*, a valuable underutilized vegetable." *ACTA Scientiarum polonorum-Hortorum cultus*, *18*(2), 115-122.

Rahman, A., & Kang, S. C., 2009. In vitro control of food-borne and food spoilage bacteria by essential oil and ethanol extracts of *Lonicera japonica* Thunb. *Food Chemistry*, *116*(3), 670-675.

Rameshkumar, A., & Sivasudha, T., 2012. In vitro antioxidant and antibacterial activity of aqueous and methanolic extract of *Mollugo nudicaulis* Lam. leaves. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *2*(2), S895-S900.

Tabatabaei Yazdi, F., Alizadeh Behbahani, B., Vasiee, A., Roshanak, S., Mortazavi. A., 2017. Production of an antimicrobial edible coating based on *Plantago major* seed mucilage in combination with *Heracleum persicum* essential oil: its properties and application in beef. *Applied Microbiology in Food Industries, 3(3),* 1- 21. [In Persian].

Tepe, B., Daferera, D., Sokmen, A., Sokmen, M., & Polissiou, M., 2005. Antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and various extracts of *Salvia tomentosa* Miller (Lamiaceae). *Food Chemistry*, *90*(3), 333-340.

Thippeswamy, N. B., & Naidu, K. A., 2005. Antioxidant potency of cumin varieties-cumin, black cumin and bitter cumin-on antioxidant systems. *European Food Research and Technology*, *220*(5-6), 472-476.

Vasiee, A., Tabatabaei, Y.F., & Mortazavi, S.A., 2016. The antibacterial activity of coriander (*coriandeum sativum*) on pathogenic microorganisms "in vitro". *Iranian Journal of Infectious Diseases and Tropical Medicine, 20(71),* 59-66. [In Persian].

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 83- 91

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۹۱-۸۳

Evaluation of the effect of aqueous and methanolic extraction methods on the antioxidant and antimicrobial characteristics of *Allium jesdianum* extract: *in vitro* study

M. Hojjati[1*], B. Alizadeh Behbahani[2]

Received: 2020.03.13
Accepted: 2020.04.25

Introduction: There is a remarkable interest in developing natural antimicrobial compounds of essential oils and plant extracts origin, due to the increase of bacterial resistance to common antibiotics. On the other hand, lipid oxidation in raw or processed materials leads to food rancidity and deterioration. In this way, synthetic antioxidants such as butylated hydroxytoluene (BHT) and butylated hydroxyanisole (BHA) are used to prolong the storage stability of food products. Nevertheless, the toxicologists and nutritionists have documented the side effects and potential toxic effects of synthetic antioxidants. Herbs contain a wide variety of phenolic compounds such as phenolic acids, flavonoid, tannins and so forth. These bioactive compounds could be therefore used as natural antioxidants and antimicrobial agents to suppress lipid oxidation and food spoilage. In this context, *Allium jesdianum* extracts were obtained and their antioxidant and antimicrobial activities were investigated.

Materials and methods: *A. jesdianum* was exposed to methanolic and aqueous maceration-based extraction methods to extract its bioactive compounds with positive biological activity. The extraction yield, total phenolic compounds, antioxidant activity (based on DPPH and ABTS radical scavenging activity), and antimicrobial activity (based on disc diffusion agar, minimum inhibitory concentration, and minimum bactericidal concentration methods) of the methanolic and aqueous extracts were evaluated and compared to each otherr.

Results and discussion: The methanolic extract of *A. jesdianum* had higher extraction yield of 7.1±0.2% compared to the aqueous extract with 4.6±0.28% extraction yield, mainly due to the ability of methanol to extract both nonpolar and semi-polar compounds. The total phenolic compounds of the methanolic extract were also remarkably higher than the aqueous counterpart (88.28% *vs.* 68.29% mg gallic acid/g dried extract), indicating that the solvent type plays a significant role in extracting bioactive compounds. However, the aqueous extract was able to significantly scavenge DPPH and ABTS radicals compared to the methanolic extract. This means that the presence of phenolic compounds is not the only factor affecting the antioxidant activity of plant extracts. The bioactive extracts of *A. jesdianum* were able to suppress the growth of or kill the examined bacteria *P. aeruginosa*, *E. coli*, *E. aerogenes*, *L. innocua*, and *S. pyogenes*; and this effect was more pronounced in the methanolic extract. Therefore, *A. jesdianum* methanolic and aqueous extracts could be used as natural preservatives to improve the oxidative stability of food products rich in unsaturated fatty acids, and to inhibit the growth of spoilage and pathogenic microorganisms, treat infections, and increase the safety of food products.

Keywords: *Allium jesdianum*, Methanolic and aqueous extract, Antioxidant activity, Antimicrobial activity, Phenolic compounds.

1, 2. Associate Professor and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
(*Corresponding author's email: hojjati@asnrukh.ac.ir)

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 93- 106

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۰۶-۹۳

مقاله علمی- پژوهشی

بررسی تاثیر افزودن کدو سبز (*Cucurbita pepo*) بر ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی و حسی ماست همزده طی نگهداری

مرضیه سلامی[۱]- معصومه مهربان سنگ آتش[۲*]- احمد احتیاطی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱

چکیده

ماست از محصولات لبنی است که اثرات سلامت بخشی مانند کنترل مشکلات گوارشی، تحریک سیستم ایمنی و افزایش طول عمر دارد. فیبرها با جذب آب، باعث افزایش حجم غذا و تسهیل دفع می‌شوند. همچنین با افزایش مصرف فیبر، خطر بیماری‌های قلبی و عروقی، چاقی مفرط، دیابت و سرطان روده بزرگ کاهش می‌یابد. کدوسبز از سبزیجاتی است که ویژگی‌هایی مفید مانند اثر بر سطح قند و چربی خون دارد. در این تحقیق اثر افزودن کدوسبز به‌صورت پودر و گرانول در سطح‌های ۰/۷، ۱/۴ و ۲ درصد به ماست همزده بر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی شامل pH، اسیدیته، آب‌اندازی، سفتی بافت، رنگ و ویژگی‌های حسی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اثر زمان نگهداری، طی ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ روز بر این ویژگی‌ها ارزیابی گردید. نتایج، بیانگر اثر معنی‌دار نوع، درصد کدوسبز و مدت زمان نگهداری بر pH، اسیدیته و سفتی بافت بود ($P<0.05$). طی زمان، اسیدیته، افزایش و pH کاهش یافت. در هیچ یک از تیمارها در طول زمان، آب‌اندازی مشاهده نشد. سفتی بافت نمونه‌های حاوی پودر کدوسبز بیشتر از نمونه‌های حاوی گرانول بود و طی زمان، سفتی بافت افزایش یافت. از روز اول تا روز پنجم، سفتی بافت افزایش یافت و طی روز پنجم به دهم کاهش سفتی مشاهده شد و نهایتا تا روز پانزدهم سفتی بافت افزایش یافت. اثر نوع، سطح افزودن و اثر متقابل این متغیرها روی تغییرات شاخص‌های L^* و a^* و b^* رنگ معنی‌دار بود ($P<0.05$). با افزایش درصد کدو شاخص L^* ابتدا روند افزایشی و سپس کاهشی داشت و شاخص‌های a^* و b^* ابتدا روند کاهشی و سپس افزایشی داشتند. روشنی و سبزی رنگ نمونه‌های حاوی گرانول بیشتر از نمونه‌های حاوی پودر بود. مقدار شاخص a^* تقریباً در نمونه‌های حاوی گرانول بیشتر از نمونه‌های حاوی پودر بود در حالی که مقدار شاخص b^* در نمونه‌های حاوی پودر بیشتر بود. ویژگی‌های حسی نمونه‌ها (رنگ، طعم، رایحه، قوام، احساس دهانی و پذیرش کلی) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر زمان افزایش یافت ($P<0.05$). ارزیاب‌ها تفاوتی در نوع و درصد کدوسبز قائل نشدند و بیشترین امتیاز شاخص‌های حسی در روز پانزدهم بود و نمونه مطلوب ازنظر ارزیاب‌ها، ماست حاوی ۱/۴ درصد گرانول کدوسبز بود.

واژه‌های کلیدی: اسیدیته، بافت، ویژگی‌های حسی، کدو سبز، ماست.

مقدمه

کدوسبز با نام علمی *Cucurbita pepo*، ازجمله محصولات کشاورزی با ارزش دارویی است. ویژگی‌های مفید متعددی برای کدوسبز بیان شده که شامل کمک به درمان پروستات خوش‌خیم و جذام است (Dhiman *et al*., 2012). کدوسبز از تجمع کلسترول در دیواره رگ‌های خونی، جلوگیری می‌کند. هم‌چنین ویتامین‌های A و E آن، در ترکیب با اسیدهای چرب چندغیراشباعی جذب آنتی‌اکسیدان‌های محلول در چربی را تقویت نموده و کمک شایانی به بازسازی مؤثر سلول‌های مغزی می‌کند (Grubben, 2000). مصرف فیبرها در رژیم غذایی توصیه شده است. فیبرها، در پیشگیری از ابتلا به بیماری‌های قلبی با کم کردن از میزان جذب چربی‌ها مؤثر هستند. همچنین با کاهش جذب رادیکال‌های آزاد در پیشگیری از سرطان می‌توانند مؤثر باشند و از سوی دیگر به دلیل نداشتن کالری یا داشتن کالری بسیار ناچیز، باعث افزایش کالری مضاعف و چاقی نمی‌شوند (Sendra *et al*., 2010).

غنی‌سازی فراورده‌های صنعتی با کدوسبز، یک راهکار برای افزایش سرانه مصرف این سبزی است. Różyło و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقات خود به بررسی نان گندم غنی‌شده با کدوسبز پرداختند و عنوان کردند که کدوسبز تأثیر زیادی در بهبود ویژگی‌های نان‌های رژیمی خواهد داشت. مطالعات متعددی نیز در جهت افزودن فیبر در محصولات لبنی به‌منظور افزایش ویژگی‌های بهبود سلامتی آن‌ها انجام شده است. در این راستا، افزودن منابع گیاهی که حاوی مقادیر

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی کاشمر، کاشمر، ایران.
۲- استادیار، گروه پژوهشی کیفیت و ایمنی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mehraban@acecr.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i5.83221

قابل توجهی فیبر هستند (سبوس برنج، فیبر گندم و اینولین) به محصولات لبنیات انجام شده است (Mousavi *et al.*, 2019).

در سال‌های اخیر، دانش مصرف‌کنندگان در مورد مواد غذایی و فواید سلامتی مرتبط با آن‌ها افزایش یافته است و نیاز به تولید مواد غذایی با فواید سلامتی‌بخشی وجود دارد. مطالعات اپیدمیولوژیک نشان داده‌اند که مصرف غذاهای تخمیر شده با کاهش خطرات دیابت نوع ۲، سندرم متابولیک و بیماری‌های قلبی همراه با بهبود مدیریت وزن همراه است (Fernandez *et al.*, 2017). ماست یکی از پرطرفدارترین محصولات لبنی است که در اثر تخمیر لاکتیکی شیر توسط باکتری‌های لاکتیک اسید گرمادوست شکل می‌گیرد. این محصول اثرات سلامت بخش متعددی مانند اثر ضدسرطانی، کاهش کلسترول خون، ضدحساسیت، بهبود زیست دسترسی کلسیم و سایر مواد مغذی، کنترل عفونت‌های گوارشی، تحریک سیستم ایمنی و افزایش طول عمر دارد (Ladjevardi *et al.*, 2015). از جهت دیگر، با افزایش دریافت فیبرها، خطر بیماری‌های قلبی و عروقی، چاقی مفرط، دیابت و سرطان روده بزرگ نیز کاهش می‌یابد. مقدار فیبر مورد نیاز برای زنان و مردان به‌ترتیب ۳۸ و ۲۵ گرم در روز توصیه شده است (Zomorodi, 2012). این موضوع توجه به اهمیت فیبر، در فراورده‌های غذایی پرمصرف مانند ماست را افزایش می‌دهد.

افزودن میوه‌ها و سبزی‌ها باعث تغییر در ویژگی‌های ماست می‌شود. تحقیقات Yıldız و Özcan (۲۰۱۶) در مورد افزودن پوره‌های گیاهی کدوسبز، کدو تنبل، هویج و نخود سبز به ماست وHayaty Nejad و همکاران (۲۰۱۴) در مورد افزودن سطوح مختلف عصاره اسفناج و کیوی نشان داد که طی مدت نگهداری pH کاهش یافت در حالی‌که نتایج Asadi و Karami (۲۰۱۷) در مورد افزودن سطوح مختلف سیر به ماست طی مدت نگهداری افزایش pH را نشان داد و به‌نظر می‌رسد، نحوه اثر گذاری سبزی بر فعالیت های میکروبی نمونه ویژگی‌های میوه و سبزی به ماست بر تغییرات pH طی نگهداری موثر است. نتایج Yıldız و Özcan (۲۰۱۶) و HayatyNejad و همکاران (۲۰۱۴) در مورد ماست حاوی میوه‌ها و سبزی‌ها، نشان‌دهنده افزایش اسیدیته ماست طی مدت نگهداری است. ویژگی‌های بافتی از دیگر ویژگی‌های ماست است که تحت تأثیر افزودنی‌ها قرار می‌گیرد. در گزارش‌های Mousavi و همکاران (۲۰۱۹) در مورد ماست غنی‌شده با بذر کتان، افزایش در سفتی بافت گزارش شد. درحالی‌که برخی مطالعات نشان داده‌اند که افزودن ترکیب‌های عملگر به ماست منجر به کاهش سفتی بافت می‌شود. محققان گزارش کردند که افزودن ژل آلوئه‌ورا و عصاره‌های گیاهی ازجمله زیتون، پیاز، مرکبات و سیر به ماست باعث کاهش سفتی یا استحکام ماست می‌شوند (Mousavi *et al.*, 2019). آب‌اندازی یک ویژگی نامطلوب است که گاهی بر اثر افزودن برخی افزودنی‌ها به ماست، طی دوره نگهداری به‌وجود می‌آید. Yousef و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که افزودن پوره یا عصاره میوه‌ها برای تولید ماست، الزاماً منجر به افزایش میزان آب‌اندازی نمی‌شود، که این نتیجه در ماست تولید شده با پوره موز به‌دست آمد. بنابراین می‌توان گفت که هرچه ترکیبات افزودنی، هماهنگی بیش‌تری با شبکه ماست داشته باشند و آب بیش‌تری را در خود محصور کنند، می‌توانند باعث کاهش میزان آب‌اندازی ماست شوند. محققان در ماست حاوی فیبر کاهش آب‌اندازی را گزارش کردند (Karami and Asadi, 2017). محمدی الستی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی ماست حاوی اسفناج و جلبک *Spirulinaplatensis* کاهش میزان آب‌اندازی را با افزایش غلظت اسفناج گزارش کردند. همچنین توحیدزاده و همکاران (۱۳۹۲) نیز در مورد افزودن فیبر هویج به ماست میوه‌ای زردآلو، طی دوره نگهداری کاهش میزان آب اندازی ماست را مشاهده کردند. در مطالعه Hayaty Nejad و همکاران (۲۰۱۴) در مورد ماست حاوی اسفناج و کیوی، افزایش آب‌اندازی اعلام شد. ویژگی‌های حسی نیز به‌شدت تحت تأثیر نوع، غلظت افزودنی به ماست و زمان نگهداری است. در تحقیق Mousavi و همکاران (۲۰۱۹) در مورد ماست حاوی بذر کتان، کاهش ویژگی‌های حسی، نسبت به نمونه شاهد اعلام شد. درحالی‌که در نتایج Asadi و Karami (۲۰۱۷) در مورد افزودن آویشن اشعه دیده و اتوکلاو شده به دو صورت پودر و پرک به ماست گزارش شد که افزایش زمان نگهداری، منجر به تغییر معنی‌داری در ویژگی پذیرش کلی نمونه‌ها گردید و با افزایش زمان نگهداری، پذیرش کلی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت.

هدف از این پژوهش، بررسی تاثیر افزودن سطوح مختلف انواع کدوسبز خشک (پودر و گرانول) بر ماست و همچنین بررسی اثر زمان نگهداری بر ویژگی‌های شیمیایی، بافتی و حسی ماست همزده است.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه جهت تولید ماست همزده حاوی کدوسبز، شامل شیر (ماده خشک بدون چربی ۸/۴ درصد، اسیدیته ۱۴/۴ درجه دورنیک و چربی ۲/۸ درصد) از شرکت تولیدی گرینه (نیشابور، ایران)، شیرخشک بدون چربی و پودر آب‌پنیر با ماده خشک ۹۷ درصد از شرکت نصر دالیا (مشهد، ایران)، پایدارکننده از شرکت Lactoprot (آلمان)، آغازگر حاوی سویه‌های *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* و *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* به فرم DVS (Chr-Hanse، دانمارک) و کدوسبز تازه بدون آسیب‌دیدگی ظاهری و علائم فساد از فروشگاه محلی و سایر مواد شیمیایی از شرکت Merck (آلمان) تهیه شد.

آماده‌سازی کدوسبز خشک

پس از شستشو و جدا کردن ضایعات، برش‌هایی به ضخامت ۵ میلی‌متر تهیه شد و سپس در خشک‌کن هوای داغ (ساینا، ایران) در

دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت تا رطوبت ۱۰ درصد، خشک شدند. نمونه‌های خشک، در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شده و در یخچال نگهداری شدند. نمونه خشک‌شده با آسیاب خانگی (Moulinex, Franc) پودر شده و سپس از الک با مش ۹۰-۸۰ عبور داده شدند. پودر کدو درون کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شده و در یخچال نگهداری گردید (Guiné *et al.*, 2011). برای تولید گرانول، ابتدا کدوسبز تازه، رنده شده و سپس در خشک‌کن هوای داغ خشک گردید. درصد رطوبت گرانول و پودر کدو با دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتالی (And, Mx50, Japan) اندازه‌گیری شدند.

تولید ماست هم‌زده

با توجه به ماده خشک پودر و گرانول و درصد کدوسبز و ماده خشک بدون چربی شیر، (۰/۵ تا ۲) درصد (وزنی/ وزنی) شیر خشک بدون چربی، ۱ درصد (وزنی/ وزنی) پودر آب‌پنیر بدون چربی و ۰/۲ درصد (وزنی/ وزنی) پایدارکننده، در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به شیر افزوده شد و همگن گردید تا ماده خشک شیر با افزودن چربی به حدود ۱۵ درصد رسید. شیر فرموله شده، در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه در پاستوریزاتور صفحه‌ای (شرق صنعت، ایران) پاستوریزه و تا دمای ۴۳ درجه سانتی‌گراد سرد و آغازگر در غلظت ۲/۵ درصد تلقیح شد. نمونه‌ها تا رسیدن به اسیدیته ۹۰ درجه دورنیک گرمخانه‌گذاری گردید. انواع کدوسبز آماده‌شده به نسبت ۰/۷، ۱/۴ و ۲ درصد به مخازن ماست اضافه شده و در تانک همزن همگن شدند و در نهایت در لیوان‌های ۱۰۰ گرمی توسط دستگاه پرکن ماست تک‌نفره پر شده و سپس درب‌بندی انجام شد. نمونه‌ها به مدت ۱۵ روز در سردخانه در دمای ۴ تا ۶ درجه سانتی‌گراد، نگهداری شدند (محمدی الستی و همکاران، ۱۳۹۵). این فرآیند در پایلوت شرکت صنایع غذایی گرینه انجام گردید.

pH

pH نمونه‌های ماست مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۵۲ با استفاده از pHمتر دیجیتالی (827, Metrohm, Swiss) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری اسیدیته با روش تیتراسیون با استفاده از سود یک‌نهم نرمال انجام شد. درنهایت اسیدیته برحسب اسید لاکتیک از ضرب مقدار میلی‌لیتر سود یک‌نهم در ۱۰ (در واحد دورنیک) محاسبه شد (Katsiari *et al.*, 2002).

آب‌اندازی

۱۵ میلی‌لیتر از نمونه در لوله فالکون قرار داده شده و وزن شد. سپس در g × ۲۰۰ برای ۲۰ دقیقه در دستگاه سانتریفوژ (Sigma, Germany) سانتریفوژ شد. فاز مایع، جدا شده و باقیمانده، مجدداً وزن گردید. درصد آب‌اندازی از نسبت وزن رسوب باقیمانده بر وزن اولیه محاسبه شد (Ramirez-Santiago *et al.*, 2010).

ویژگی‌های بافتی

ویژگی‌های بافتی نمونه‌های ماست، با استفاده از دستگاه آنالیزبافت، طبق روش اکستروژن برگشتی، با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (TA-Plus, AMETEK Lloyd, USA) مجهز به لودسل ۵۰ نیوتن و پروب استوانه‌ای با قطر ۵۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. نفوذ پروب با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه به درون نمونه‌ها به میزان ۴۰ درصد ارتفاع نمونه و با نیروی حد آستانه ۰/۱ نیوتن تنظیم گردید. آزمون بافت برای هر نمونه در ۳ تکرار انجام پذیرفت. شاخص سفتی (نیوتن) توسط نرم‌افزار دستگاه تعیین شد (امیری عقدایی و همکاران، ۱۳۸۹).

رنگ

اندازه‌گیری رنگ ماست به روش پردازش تصویر انجام گردید. نمونه ماست، درون جعبه تصویربرداری با پوشش دیواره مشکی با کمترین انعکاس نور، با استفاده از دوربین دیجیتال (NIKON D3100, NICON, Japan) تصویربرداری شد و در قالب JPEG ذخیره شد. پس از برش تصویر، با استفاده از پلاگین تبدیل فضای رنگی، فضای رنگی تصویر از RGB به LAB تبدیل شد و درنهایت متوسط مقادیر در هر یک از کانال‌های L^*، a^* و b^* محاسبه شد. فرایند پردازش تصویر و استخراج داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار ImageJ انجام شد (احتیاطی و همکاران، ۱۳۸۷).

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی با ۱۳ ارزیاب آموزش دیده با استفاده از روش هدونیک ۱۰ امتیازی انجام شد. نمونه‌ها ازنظر ویژگی‌های ارگانولپتیکی (رنگ، طعم، رایحه، قوام، احساس دهانی و پذیرش کلی) در دمای ۵-۴ درجه سانتی‌گراد و در روزهای اول، پنجم، دهم و پانزدهم نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفتند (ید ملت و همکاران ۱۳۹۶).

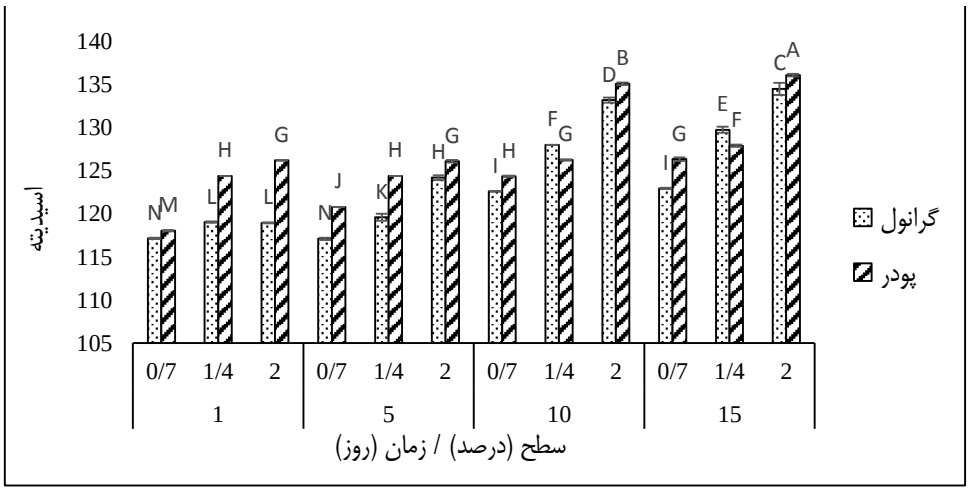
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش‌ها در قالب فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی و حداقل در سه تکرار انجام گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل نوع افزودن کدوسبز در دو سطح (پودر و گرانول)، درصد افزودن کدوسبز در سه سطح (۰/۷، ۱/۱۴ و ۲) درصد و مدت زمان نگهداری در چهار سطح (۱، ۵، ۱۰ و ۱۵روز) بود. تجزیه واریانس نتایج و مقایسه میانگین با آزمون LSD با استفاده از نرم‌افزار MiniTab نسخه ۱۷ انجام شد. نمودارها با نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

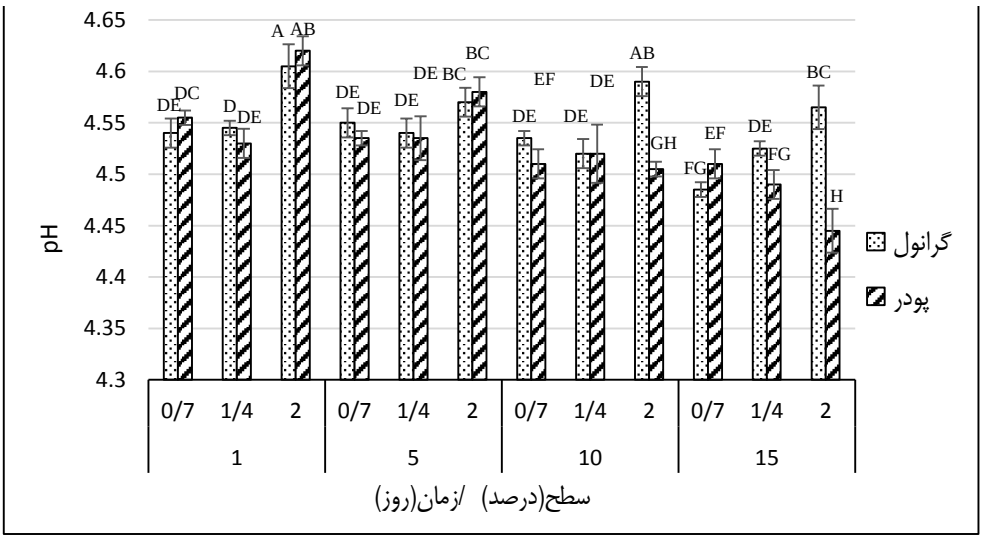
نتایج و بحث

pH و اسیدیته

آنالیز واریانس داده‌ها (جدو ۱g) نشان می‌دهد که اثر نوع، سطح افزودن کدو، مدت زمان نگهداری و اثر متقابل این متغیرها روی تغییرات اسیدیته و PH معنی‌دار بود ($p<0.05$). شکل ۱ تاثیر نوع و سطوح مختلف تیمار را بر اسیدیته طی مدت زمان نگهداری نشان می‌دهد. کمترین اسیدیته مربوط به نمونه ماست حاوی ۰/۷ درصد گرانول کدوسبز در روز اول و بیشترین اسیدیته مربوط به نمونه ماست حاوی ۲ درصد پودر کدو در بیشترین زمان نگهداری بود. شکل ۲ تأثیر نوع و سطوح مختلف تیمار را بر pH طی مدت‌زمان نگهداری نشان می‌دهد. بیشترین pH مربوط به نمونه ماست حاوی ۲ درصد پودر کدوسبز در روز اول نگهداری و کمترین pH مربوط به نمونه ماست حاوی ۲ درصد پودر کدوسبز در روز پانزدهم نگهداری بود.



شکل ۱- تغییرات اسیدیته ماست حاوی کدو طی دوره نگهداری



شکل ۲-تغییرات pH ماست حاوی کدو طی دوره نگهداری

تحقیقات نشان داده‌اند که سبزی‌ها که حاوی ترکیب های قندی، پروتئین‌ها و فیبرها هستند، روی رشد باکتری‌های آغازگر تأثیر می‌گذارند (Kailasapathy *et al.*, 2008). همچنین کدوسبز دارای خاصیت قلیایی است و با توجه به کوچک‌تر بودن ذرات پودر کدوسبز نسبت به گرانول که منجر به سطح تماس بیشتر پودر کدوسبز با ماست نسبت به گرانول می‌شود، انتشار ترکیب های بیشتر بوده و تأثیر خاصیت قلیایی کدوسبز بر خنثی‌سازی اسید ماست در نمونه پودر کدوسبز بیشتر است و این امر موجب افزایش pH این نمونه ماست گردیده است. با افزایش زمان، اسیدیته افزایش و pH کاهش پیدا کرد که عامل آن، فعالیت متابولیکی باکتری‌های اسیدلاکتیک ماست است. آغازگرها با مصرف قند و تولید اسیدهای آلی باعث افزایش اسیدیته و کاهش pH می‌شوند (Karami and Asadi, 2017). شیب افزایش

اسیدیته در طول زمان نسبت به شیب کاهش pH در طول زمان بیشتر است که می‌تواند به دلیل وجود WPC در فرمولاسیون ماست باشد که باعث افزایش میزان پروتئین‌های شیر شده و به دلیل تأثیر آن‌ها بر ظرفیت بافری کل مخلوط، ظرفیت بافری را افزایش داده است و به دلیل تأثیر مطلوب پروتئین‌های سرمی روی رشد میکروارگانیسم‌های آغازگر، اسیدیته افزایش پیدا کرد، ولی به دلیل افزایش ظرفیت بافری محیط، شیب کاهش pH کم است (Karami and Asadi, 2017). نتایج تحقیق حاضر در مورد کاهش pH با تحقیقات Asadi و Karami (۲۰۱۷) در مورد افزودن آویشن به ماست طی مدت زمان نگهداری و Yıldız و Özcan (۲۰۱۶) در مورد افزودن پوره‌های گیاهی (کدوسبز، کدوتنبل، هویج، نخودسبز) به ماست، همسو است. Safari و همکاران (۲۰۱۷) در ماست حاوی سیر و El-Batawy وFarahat (۲۰۱۳) نیز در ماست همزده حاوی پوره میوه‌های پاپایا، آناناس، کیوی و کاکی، کاهش pH را طی مدت زمان نگهداری، گزارش کردند.

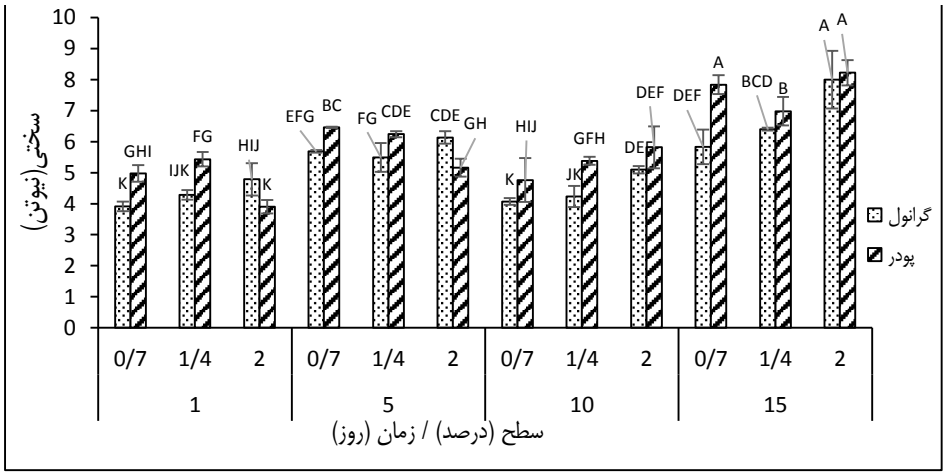
آب‌اندازی

نتایج نشان داد که در هیچ‌یک از تیمارها، طی نگهداری، آب‌اندازی مشاهده نشد و درصد آب‌اندازی صفر بود که به دلیل وجود هیدروکلوییدها در ماست می‌باشد. هیدروکلوئیدها به علت داشتن وزن مولکولی زیاد و داشتن گروه‌های هیدروکسیل فراوان، قادرند پیوندهای هیدروژنی متعددی با موکول‌های آب ایجاد نمایند (Schmidt and Smith, 1992). مطالعهMishra و Kumar (۲۰۰۴) نشان می‌دهد که آب‌اندازی، رابطه معکوسی با غلظت پایدارکننده افزوده شده دارد. همچنین، حضورWPC در فرمولاسیون ماست، باعث به‌وجود آمدن شبکه منظم و به‌هم فشرده با حفرات کمتر و ریزتر در ماست می‌شود (Aziznia *et al*., 2008). ماست‌هایی که ساختار متراکم‌تر دارند، ظرفیت نگهداری آب بالاتری دارند (Aziznia *et al*., 2008). همچنین حضور فیبر در کدوسبز نیز باعث افزایش جذب آب و کاهش آب‌اندازی می‌شود. Yousef و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که افزودن پوره یا عصاره میوه‌ها برای تولید ماست الزاماً منجر به افزایش میزان آب‌اندازی نمی‌شود، که این نتیجه در ماست تولیدشده با پوره موز به‌دست آمد. همچنین محققان در گزارشات خود کاهش آب‌اندازی در ماست حاوی فیبر را اعلام کردند (Karami and Asadi, 2017). به‌طور کلی، افزودن پودر کدوسبز، تاثیری منفی بر پایداری ماست همزده نداشت.

سفتی بافت

آنالیز واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان می‌دهد که اثر نوع، سطح افزودن کدو، مدت زمان نگهداری و اثر متقابل این متغیرها روی تغییرات سفتی بافت معنی‌دار بود ($p<0.05$). شکل ۳ تأثیر نوع و سطوح مختلف تیمار بر سفتی بافت را طی مدت زمان نگهداری نشان می‌دهد. کمترین سفتی بافت، مربوط نمونه ماست حاوی ۰/۷ درصد گرانول کدوسبز در روز اول نگهداری و بیشترین سفتی بافت، مربوط به نمونه ماست حاوی ۲ درصد پودر کدوسبز در روز پانزدهم نگهداری است. سفتی بافت نمونه‌های حاوی پودر کدوسبز بیشتر از نمونه‌های حاوی گرانول کدوسبز بود. این مسئله نشان می‌دهد با کوچک‌تر شدن ذرات، سفتی بافت افزایش یافت. این نتایج با نتایج Sendra و همکاران (۲۰۱۰) که ادعا کردند با جذب آب توسط فیبر مرکبات با ذرات درشت در ماست می‌توان ساختار ژل را تقویت کرد، مطابقت ندارد. علت را می‌توان در متفاوت بودن نوع فیبر ازنظر ساختمانی دانست. وقتی اندازه ذرات فیبر کوچک‌تر باشد در مقدار معین از فیبر، کل تعداد ذرات فیبر بیشتر است و نتیجتاً، اثرات تخریبی آن نیز بیشتر خواهد بود. اما فیبر کدوسبز دارای ساختمان همگن بوده و با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات آن، جذب آب بیشتر شده و سفتی بافت نیز بیشتر می‌شود. باگذشت زمان، سفتی بافت از روز اول نگهداری تا روز پنجم افزایش یافت که احتمالا به مکانیسم برهمکنش هیدروکلوئیدها و پروتئین‌های شیر متاثر از pH محیط، مربوط می‌باشد زیرا هیدروکلوئیدها، باعث ژله‌ای شدن محیط می‌گردند و به دلیل خاصیت هیدروفیلیک بالا با آب تعامل قوی برقرار کرده و با حبس آب آزاد موجود در ساختار مواد غذایی موجب بهبود بافت می‌شوند (ید ملت و همکاران ۱۳۹۶). از طرف دیگر وجود شیرخشک بدون چربی و WPC موجود در فرمولاسیون با افزایش میزان اتصالات عرضی در شبکه ژلی ماست، موجب تشکیل شبکه سه‌بعدی و ساختار ژلی مستحکم‌تر می‌شود که افزایش سفتی بافت ماست را به دنبال دارد (امیری عقدایی و همکاران، ۱۳۸۹). سفتی بافت از روز پنجم تا دهم سیر نزولی داشته و مجدداً تا روز پانزدهم سیر صعودی داشته است. در توضیح این پدیده می‌توان گفت که نقش دیگر هیدروکلوییدها دلیل کاهش سفتی بافت از روز پنجم تا دهم نگهداری در نمونه‌های ماست می‌باشد. پلی‌ساکاریدهای تشکیل‌دهنده هیدروکلوئیدها بین پروتئین‌های کازئین (میسل‌های‌کازئین) قرار گرفته و موجب ایجاد تداخل در تشکیل شبکه سه‌بعدی پروتئین شده که درنهایت ساختار میکروسکوپی درشت‌تر و بازتری ایجاد می‌نماید و درنتیجه باعث کاهش سفتی بافت می‌شود (امیری عقدایی و همکاران، ۱۳۸۹). از طرف دیگر کاهش سفتی بافت می‌تواند به دلیل افزایش pH باشد. ازآنجاکه pH بر جاذبه و پیوندهای بین مولکول‌ها اثر می‌گذارد، لذا ویژگی‌های بافتی ژل را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و درنهایت با گذشت زمان، سفتی بافت نمونه‌ها بیشتر شده به‌طوری‌که بالاترین سفتی بافت، در نمونه‌های مربوط به روز پانزدهم نگهداری بود که این افزایش سفتی بافت در طول دوره نگهداری به دلیل ایجاد تغییرات در آرایش و اتصالات پروتئین‌ها با یکدیگر و افزایش ماده

خشک است. در گزارش‌های Yıldız و Özcan (۲۰۱۶) در رابطه با تولید ماست با انواع پوره‌های گیاهی، بالاترین سفتی بافت در ماست با پوره هویج و کمترین سفتی بافت در نمونه‌های با کدوسبز عنوان شد که نشان می‌دهد که نوع میوه و سبزی مورداستفاده، در استحکام بافت ماست تأثیر می‌گذارد. Mousavi و همکاران (۲۰۱۹) افزایش سفتی بافت ماست حاوی بذر کتان را با افزایش مقدار فیبر گزارش کردند. Safari و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقات خود گزارش کردند که در ماست حاوی سیر، با افزایش درصد پودر سیر در ماست، سفتی بافت افزایش پیدا نکرد. گروه تحقیقاتی Behnia و همکاران (۲۰۱۴) نیز، افزایش میزان سفتی بافت ماست کم‌چرب حاوی صمغ دانه شاهی را طی دوره نگهداری گزارش کردند.



شکل ۳- تغییرات سفتی بافت ماست حاوی کدو طی دوره نگهداری

جدول ۱- آنالیز واریانس ماست حاوی کدو سبز (ویژگی‌های شیمیایی و بافتی)

منبع	pH		اسیدیته		سفتی بافت	
	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات
A	۱	۰/۰۰۵ ***	۱	۶۹/۸۴۲ ***	۱	۵/۸۳۶ ***
B	۲	۰/۰۰۵ ***	۲	۲۶۴/۵۸۳ ***	۲	۱/۱۴۱ ***
C	۳	۰/۰۰۷ ***	۳	۲۳۷/۸۰۱ ***	۳	۲۱/۷۱۸ ***
A*B	۲	۰/۰۰۴ ***	۲	۲/۳۲۷ ***	۲	۲/۸۱۰ ***
A*C	۳	۰/۰۰۳ ***	۳	۱۰/۴۹۱ ***	۳	۰/۴۹۶*
B*C	۶	۰/۰۰۱*	۶	۱۱/۷۰۸ ***	۶	۱/۳۸۱۳ ***
A*B*C	۶	۰/۰۰۳ ***	۶	۷/۲۷۴ ***	۶	۰/۵۵۶**
خطا	۲۴	۰/۰۰۱	۴۲	۰/۰۴۸	۴۲	۰/۱۴۳
کل	۴۷		۶۵			

A: نوع کدو سبز؛ B: درصد کدو سبز؛ C: زمان نگهداری؛ *: P<0.05؛ **: P<0.01؛ ***:P<0.001

رنگ

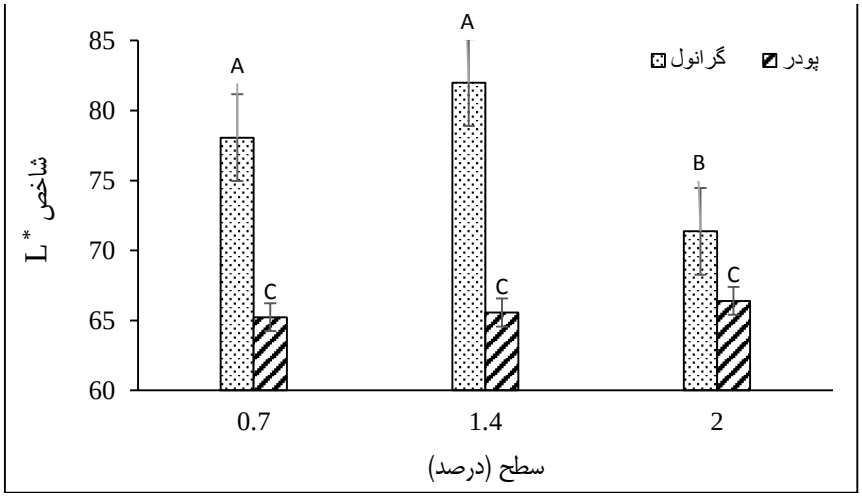
آنالیز واریانس داده‌ها (جدول۲) نشان می‌دهد که اثر نوع، سطح افزودن کدو و اثر متقابل این متغیرها روی تغییرات شاخص L^* و a^* و b^* رنگ معنی‌دار بود ($p<0.05$). شکل ۴ تغییرات شاخص L^* رنگ ماست حاوی کدو را نشان می‌دهد. بیشترین شاخص L^* رنگ، مربوط به نمونه ماست حاوی ۱/۴ درصد گرانول کدوسبز و کمترین شاخص L^* رنگ، مربوط به نمونه ماست حاوی ۰/۷ درصد پودر کدوسبز بود. میزان شاخص L^* که نشان‌دهنده میزان روشنی رنگ است در نمونه‌های حاوی گرانول کدوسبز بیشتر از نمونه‌های حاوی پودر کدوسبز بود. به‌عبارتی‌دیگر پودر کدوسبز باعث تیره‌تر شدن رنگ نمونه‌ها گردید. علت را می‌توان کوچک‌تر بودن ذرات پودر نسبت به گرانول دانست که باعث می‌شود تعداد ذرات پودر کدوسبز در واحد حجم بیشتر از تعداد گرانول کدوسبز در واحد حجم باشد و موجب تیره‌تر شدن نمونه‌های حاوی پودر کدوسبز شود. با افزایش درصد کدوسبز، شاخص L^* تا سطح ۱/۴ درصد کدو افزایش و سپس تا سطح ۲ درصد سیر نزولی داشت. علت کاهش شاخص L^* از سطح

۱/۴ تا سطح ۲ درصد کدوسبز، افزایش نسبت کدو در ماست است که باعث تیره‌تر شدن محصول می‌شود، ولی این‌که باوجود افزایش مقدار کدو در ماست از سطح ۰/۷ تا ۱/۴ درصد، شاخص L^* افزایش یافته است ممکن است به دلیل توزیع بیشتر ذرات و کمتر شدن، این ذرات در سطح و همچنین آبگیری اولیه ذرات باشد. انعکاس نور از سطح محصول، به عوامل مختلفی به‌ویژه حضور آب در سطح و تخلخل سطحی وابسته است. میوه‌ها و گیاهانی که به ماست اضافه می‌شود تأثیر زیادی بر ویژگی‌های رنگ ماست دارند. شکل ۵ تغییرات شاخص a^* رنگ ماست حاوی کدو را نشان می‌دهد. مقدار مطلق شاخص a^*، تقریباً در نمونه‌های حاوی گرانول کدوسبز بیشتر از نمونه‌های حاوی پودر کدوسبز است. ازآنجاکه منفی بودن a^*، تمایل به رنگ سبز را نشان می‌دهد، بنابراین سبزی رنگ نمونه‌های حاوی گرانول کدوسبز بیشتر است. شکل ۶ تغییرات شاخص b^* رنگ ماست حاوی کدو را نشان می‌دهد. ازآنجاکه مقادیر مثبت b^*، معادل رنگ زرد و مقادیر منفی این کمیت، معادل رنگ آبی است. مثبت بودن شاخص b^*، نشانه زرد بودن رنگ نمونه‌ها است. مقدار مطلق شاخص b^* در نمونه‌های حاوی پودر بیشتر است که احتمالاً به نشت بیشتر رنگ‌دانه زرد این سبزی در بافت ماست و همچنین توزیع گسترده‌تر آن، در بافت نمونه است.گزارش‌های Gurlin و Ayar (۲۰۱۴) در مورد افزودن میوه‌های هویج سیاه، گیلاس، بلوبری و توت‌فرنگی به ماست نشان داد که میزان شاخص L^* در تمامی نمونه‌ها بالا بود و در تمامی تیمارها روشنایی محصول حفظ شد و نمونه حاوی هویج سیاه کمترین شاخص L^* و نمونه حاوی گیلاس بیشترین شاخص L^* را داشت. Mousavi و همکاران (۲۰۱۹) محققان در مورد ماست حاوی بذر کتان و در نمونه ماست حاوی فیبر پرتقال، کاهش میزان L^* و افزایش a^* و b^* را گزارش کردند (Mousavi *et al.*, 2019) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. در مطالعات محققان در ماست حاوی فیبر سیب و گندم، کاهش میزان روشنایی اعلام شد (فرقانی و همکاران، ۱۳۹۶).

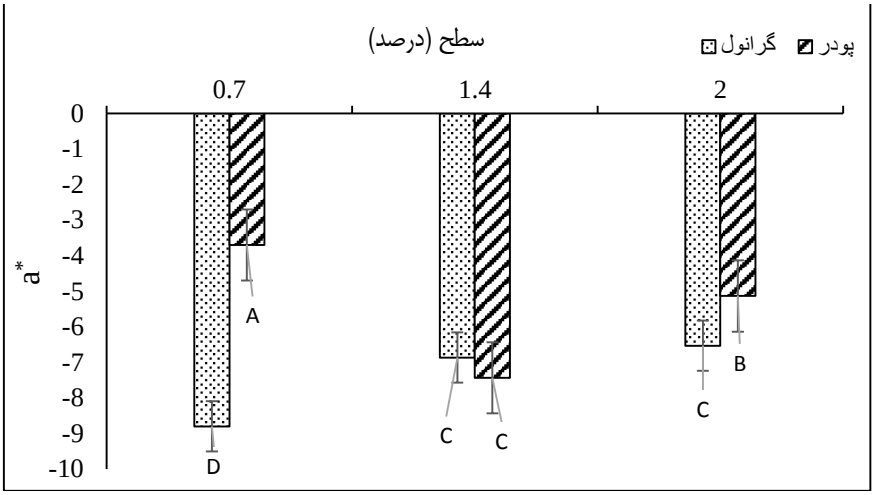
جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس ویژگی‌های رنگی ماست حاوی کدو سبز

		شاخص L^*	شاخص a^*	شاخص b^*
منبع	**درجه آزادی**	**مجموع مربعات**	**مجموع مربعات**	**مجموع مربعات**
A	۱	۵۸۵/۹۶۱ ***	۱۷/۶۰۲۲ ***	۱۴۳۴/۶۹ ***
B	۲	۳۶/۲۱۶ *	۲/۷۱۷۲ *	۸۲/۱۹ ***
A*B	۲	۵۱/۵۸۲ **	۱۲/۴۱۷۲ ***	۶۰/۷۷ ***
خطا	۱۲	۶/۵۹۱	۰/۴۰۵۶	۱/۶۸
کل	۱۷	–	–	–

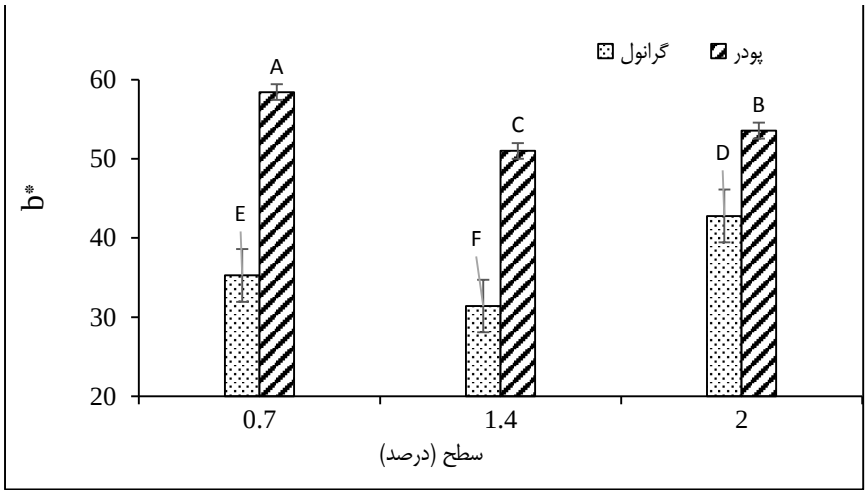
A: نوع کدو سبز؛ B: درصد کدو سبز؛ *: P<0.05؛ **: P<0.01؛ ***:P<0.001



شکل ٤- تغییرات L^* رنگ ماست حاوی کدو



شکل ۵- تغییرات a^* رنگ ماست حاوی کدو



شکل ٦- تغییرات b^* رنگ ماست حاوی کدو

ارزیابی حسی

آنالیز واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان می‌دهد که اثر نوع تیمار و سطوح مختلف تیمار روی تغییرات ویژگی‌های حسی معنی‌دار نبود. بااین‌حال اثر زمان روی تغییرات ویژگی‌های حسی معنی‌دار بود. بیشترین امتیاز رنگ، مربوط به نمونه ماست حاوی ۰/۷ درصد پودر کدوسبز در روز پانزدهم بود. شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش زمان، امتیاز رنگ، طی مدت نگهداری افزایش یافت. این مسئله احتمالاً به آبگیری بیشتر ذرات، توزیع گسترده‌تر و احتمالاً انتشار رنگ و یکنواختی ظاهر محصول مرتبط می‌باشد. Godarzi و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی در مورد بهینه‌سازی نوشیدنی تخمیری ماست میوه‌ای (توت‌فرنگی) گزارش کردند که با افزایش درصد میوه، امتیاز رنگ افزایش یافت و ارزیاب‌ها نمونه‌های تیره‌تر را بیشتر پسندیدند؛ اما در این پژوهش، ارزیاب‌ها تفاوتی در امتیاز رنگ با افزایش درصد سبزی قائل نشدند. Safari و همکاران (۲۰۱۷) نیز در بررسی ویژگی‌های حسی ماست همزده حاوی سیر اختلاف آماری قابل‌توجه ازنظر مطلوبیت رنگ، هم‌زمان با افزایش سیر گزارش نکردند.

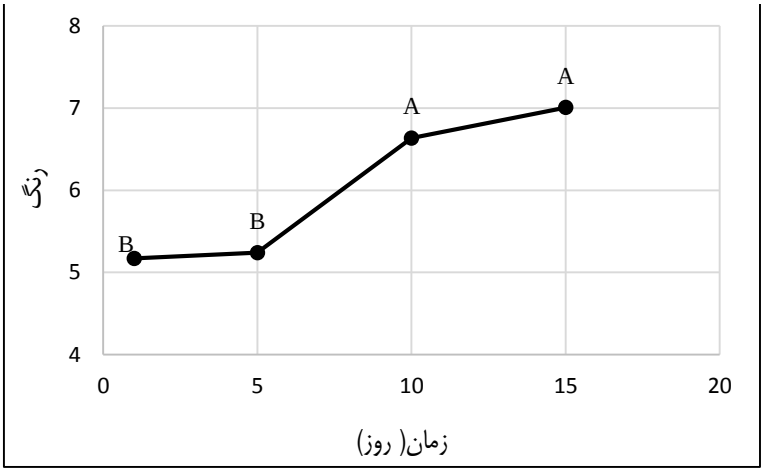
با افزایش زمان، امتیاز طعم از روز اول تا روز دهم افزایش و سپس تا روز پانزدهم نگهداری اندکی کاهش یافت که معنی‌دار نبود (شکل ۸). که ممکن است این کاهش اندک امتیاز طعم به دلیل افزایش اسیدیته، باشد که از حد مطلوبیت خارج‌شده است. بیشترین امتیاز طعم، مربوط به نمونه ماست حاوی ۲ درصد پودر کدوسبز در روز پایانی نگهداری بود. نتایج محمدی الستی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی ماست حاوی اسفناج و جلبک *Spirulina platensis* نشان دادکه با افزایش غلظت اسفناج و همچنین افزایش زمان نگهداری اختلاف معنی‌داری ازنظر پذیرش طعم بین نمونه‌های مختلف مشاهده نشد. Shakerian و همکاران (۲۰۱۲) اثر افزودن اسانس *Kelussia odoratissma* را به ماست را بر ویژگی‌های حسی به مدت ۳۰ روز بررسی کردند. این محققان بیان کردند که اختلاف امتیاز طعم تیمارها

نسبت به نمونه شاهد معنی‌دار نبود. استفاده از مربا، کارامل، فیبر و کازئینات به‌طور معنی‌داری موجب بهبود طعم ماست همزده می‌شوند (Karami and Asadi, 2017).

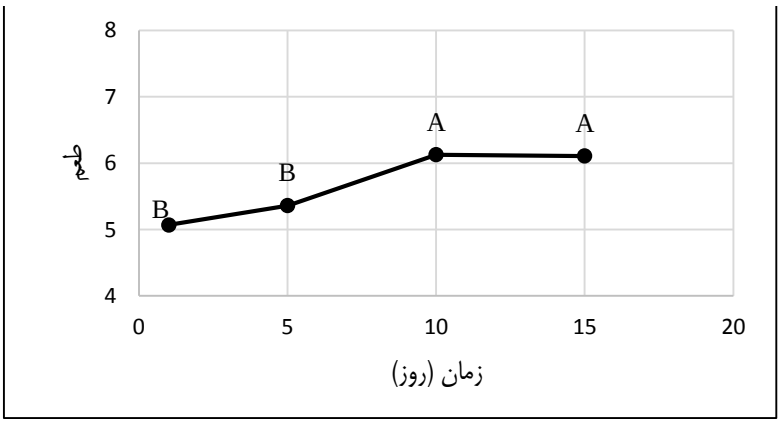
جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس ماست حاوی کدو سبز (شاخص‌های حسی)

		رنگ	طعم	رایحه	قوام	احساس دهانی	پذیرش کلی
منبع	**درجه آزادی**	**مجموع مربعات**	**مجموع مربعات**	**مجموع مربعات**	**مجموع مربعات**	**مجموع مربعات**	**مجموع مربعات**
A	۱	۷/۲۱۷	۰/۰۰۲	۱۰/۶۷۸	۰/۰۶۹	۰/۰۳۱	۹/۹۲۸
B	۲	۰/۷۰۹	۰/۰۰۹	۰/۸۰۶	۰/۴۸۰	۳/۴۴۴	۰/۱۸۱
C	۳	۶۸/۷۴۲ *	۲۲/۰۰۵ *	۱۷/۱۴۹ *	۲۰/۵۳۳ *	۱۹/۹۱۴*	۱۲/۷۸۹ *
A*B	۲	۲/۵۹۱	۶/۷۹۱	۱/۱۶۲	۲/۰۸۱	۵/۰۳۵	۳/۵۵۲
A*C	۳	۲/۶۴۸	۰/۷۳۱	۰/۶۵۹	۰/۹۰۸	۱/۳۱۶	۱/۱۷۴
B*C	۶	۵/۵۶۳	۳/۱۵۹	۱/۳۵۰	۰/۶۸۷	۱/۳۷۱	۰/۹۴۱
A*B*C	۶	۱/۱۳۹	۰/۴۷۷	۰/۵۸۱	۰/۹۹۴	۰/۱۰۴	۰/۷۲۵
خطا	۲۸۸	۴/۱۰۴	۴/۷۱۲	۴/۳۴۴	۱/۸۰۲	۴/۵۰۹	۴/۰۷۶۳
کل	۳۱۱	۳۱۱	۳۱۱	۳۱۱	۳۱۱	۳۱۱	۳۱۱

A: نوع کدو سبز؛ B: درصد کدو سبز؛ C: زمان؛ *: $p<0.001$

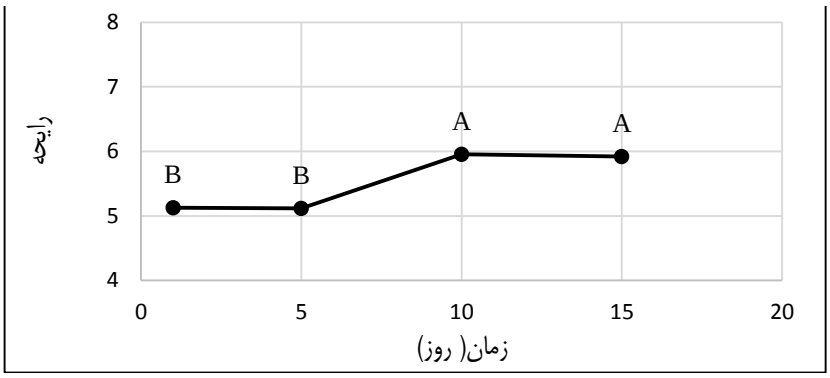


شکل ۷- تغییرات امتیاز رنگ ماست حاوی سطوح مختلف انواع کدو طی دوره نگهداری



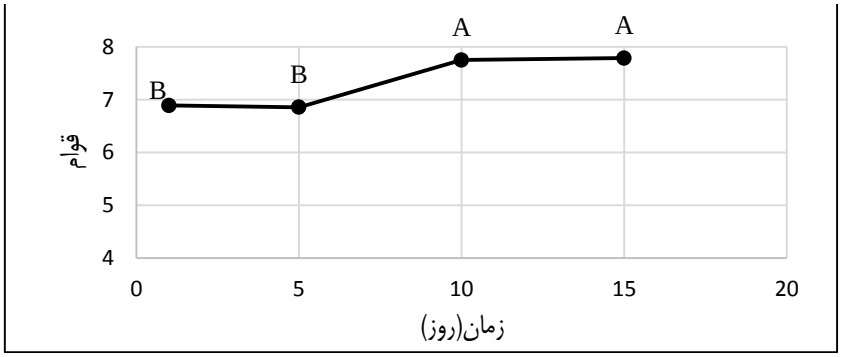
شکل ۸- تغییرات امتیاز طعم ماست حاوی سطوح مختلف انواع کدو طی دوره نگهداری

مطابق با شکل ۹ با افزایش زمان، امتیاز رایحه از روز اول نگهداری تا روز پنجم اندکی کاهش یافت که معنی‌دار نبود و سپس تا روز دهم افزایش یافت و مجدداً از روز دهم تا روز پانزدهم اندکی کاهش یافت که معنی‌دار نبود. این پدیده احتمالاً متأثر از تغییرات متابولیکی در ماست، شدت تخمیر و تشکیل ترکیب های فرار مؤثر بر رایحه دارد. ارزیابان، بیشترین امتیاز رایحه را به نمونه ماست حاوی ۲ درصد گرانول کدوسبز در روز دهم نگهداری دادند. Shakerian و همکاران (۱۳۹۲) در مورد افزودن عصاره *Kelussiaodoratissma* در غلظت‌های مختلف در مدت زمان نگهداری عنوان کردند که بین نمونه شاهد و تیمارها از نظر امتیاز رایحه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. گزارش‌های محمدی الستی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی ماست حاوی اسفناج نشان داد که با افزایش غلظت اسفناج، اختلاف معنی‌داری ازنظر مطلوبیت رایحه مشاهده نشد. در بررسی اثر افزودن عصاره سیر به نمونه ماست توسط ارزیاب‌های حسی مشاهده گردید که افزودن سیر سبب کاهش امتیاز اختصاص داده‌شده به رایحه به نمونه‌های حاوی عصاره در مقایسه با ماست ساده گردید (Safari *et al.*, 2017). تفاوت در نوع ترکیب های فرار سبزی‌ها، ویژگی‌های ماتریکس نمونه و دمای آزمون بر نتایج ارزیابی حسی تأثیر قابل‌توجهی دارد و منشأ تفاوت در مشاهدات متفاوت محققان می‌باشد.



شکل ۹- تغییرات امتیاز رایحه ماست حاوی سطوح مختلف انواع کدو طی دوره نگهداری

بهترین نمونه از نظر قوام از دید ارزیابان، ماست حاوی ۱/۴ درصد پودر کدوسبز در روز دهم نگهداری بود. مطابق با شکل ۱۰، با افزایش زمان، امتیاز قوام از روز اول نگهداری تا روز پنجم اندکی کاهش یافت که معنی‌دار نبود ولی این شاخص، در ادامه دوره نگهداری افزایش یافت. علت سیر صعودی امتیاز قوام، طی زمان را می‌توان به تأثیر هیدروکلوییدها نسبت داد. هیدروکلوئیدها به‌دلیل خاصیت هیدروفیلیک بالا با آب تعامل قوی برقرار کرده و با حبس آب آزاد موجود در ساختار مواد غذایی موجب بهبود بافت و افزایش قوام بافت می‌شوند (ید ملت و همکاران، ۱۳۹۶). به‌نظر می‌رسد، تقویت شبکه ژل ماست، افزایش رضایت ارزیابان را به سبب سفت‌تر بودن بافت به‌همراه داشته است. افزودن چربی، فیبر و مربای کارامل، طی زمان نگهداری به‌طور معنی‌داری ویژگی ظاهری بافت را نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌دهد (Karami and Asadi, 2017).



شکل ۱۰- تغییرات امتیاز قوام ماست حاوی سطوح مختلف انواع کدو طی دوره نگهداری

بیشترین امتیاز احساس دهانی مربوط به نمونه ماست حاوی ۲ درصد پودر کدوسبز در روز پایانی نگهداری بود. شکل ۱۱ تغییرات امتیاز احساس دهانی ماست حاوی کدو را طی مدت نگهداری نشان می‌دهد. با افزایش زمان، امتیاز احساس دهانی از روز اول تا روز دهم نگهداری افزایش یافت و از روز دهم به بعد امتیاز احساس دهانی تغییر چندانی نداشت. به‌نظر می‌رسد، احساس دهانی مصرف ماست،

ارتباط و همبستگی بالایی با قوام ماست دارد و افزایش قوام محصول، به‌دلیل ایجاد ویژگی پخش‌پذیری و پلاستیسته، افزایش امتیاز احساس دهانی را به‌همراه داشته است. نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات Asadi و Karami (۲۰۱۷) همخوانی دارد. این محققان طی افزودن آویشن اشعه دیده و به دو صورت پودر و پرک به ماست گزارش کردند که افزایش زمان نگهداری منجر به تغییر معنی‌داری، ویژگی احساس دهانی نمونه‌ها می‌شود و با افزایش زمان نگهداری، احساس دهانی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. محققان در تحقیقات خود گزارش کردند که استفاده از مربا، کارامل، فیبر کازئینات به‌طور معنی‌داری موجب بهبود احساس دهانی ماست همزده می‌شوند افزایش ویژگی احساس دهانی با افزایش زمان نگهداری در گزارش‌های فرقانی و همکاران (۱۳۹۶) در ماست فراسودمند حاوی شیر یولاف اعلام شد.

شکل ۱۱- تغییرات امتیاز احساس دهانی ماست حاوی سطوح مختلف انواع کدو طی دوره نگهداری

بیشترین امتیاز پذیرش کلی، مربوط به نمونه ماست حاوی ۱/۴ درصد گرانول کدوسبز در روز دهم نگهداری بود. شکل ۱۲ تغییرات امتیاز پذیرش کلی ماست حاوی کدو را طی مدت نگهداری نشان می‌دهد. با افزایش زمان، امتیاز پذیرش کلی از روز اول تا روز دهم افزایش یافت و از روز دهم، تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. پذیرش کلی، شاخصی متشکل از همه شاخص‌های حسی است. با توجه به اینکه همه شاخص‌های حسی مورد بررسی، با افزایش زمان بهبود یافت، افزایش پذیرش کلی محصول طی زمان قابل‌انتظار بود. حیاتی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی در مورد بهینه‌یابی فرمولاسیون ماست طعم‌دار قالبی از سطوح مختلف عصاره *Spinaciaoleracea* و کیوی اعلام کردندکه افزایش درصد عصاره اسفناج اثر معنی‌داری بر پذیرش کلی نمونه‌های ماست داشت و افزودن طعم‌دهنده کیوی نیز با بهبود طعم، تأثیر معنی‌داری بر پذیرش کلی نمونه‌های ماست داشت. باید این مسئله مورد توجه قرار گیرد که شدت طعم میوه‌ها و سبزی‌های مختلف، تنوع گسترده‌ای دارد و منشأ تفاوت نتایج محققان است. Asadi و Karami (۲۰۱۷) در تحقیقات خود در مورد افزودن آویشن اشعه دیده و اتوکلاو شده به دو صورت پودر و پرک به ماست گزارش کردند که افزایش زمان نگهداری منجر به تغییر معنی‌داری در ویژگی پذیرش کلی نمونه‌ها گردید و با افزایش زمان نگهداری به علت عطروطعم مطلوب آویشن، پذیرش کلی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

شکل ۱۲- تغییرات امتیاز پذیرش کلی ماست حاوی سطوح مختلف انواع کدو طی دوره نگهداری

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثر افزودن (۰/۷، ۱/۴، ۲) درصد کدوسبز به‌صورت پودر و گرانول به ماست جهت بررسی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی شامل pH، اسیدیته، سینرسیس، سفتی بافت، رنگ و ویژگی‌های حسی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اثر زمان نگهداری (۱، ۵، ۱۰، ۱۵) بر این ویژگی‌های در کلیه حالات ارزیابی گردید. نتایج، نشان داد که اثر نوع، سطح افزودن کدو، مدت زمان نگهداری و اثر متقابل این متغیرها روی تغییرات pH، اسیدیته، سفتی بافت معنی‌دار بود. با افزایش زمان، pH به‌طور معنی‌داری در هر بازه زمانی کاهش و اسیدیته، افزایش پیدا کرد. در هیچ یک از تیمارها در طول زمان، آب‌اندازی مشاهده نشد. سفتی بافت نمونه‌های حاوی پودر کدوسبز بیشتر از نمونه‌های حاوی گرانول بود و به‌طورکلی باگذشت زمان تا پایان مدت نگهداری، سفتی بافت افزایش یافت. اثر نوع، سطح افزودن کدو و اثر متقابل این متغیرها روی تغییرات شاخص‌های *L و *a و *b رنگ معنی‌دار بود. روشنی و تمایل به سبزی رنگ نمونه‌های حاوی گرانول کدوسبز بیشتر از نمونه‌های حاوی پودر کدوسبز بود. مقدار مطلق شاخص *b، در نمونه‌های حاوی پودر بیشتر بود. ویژگی‌های حسی نمونه‌ها (رنگ، طعم، رایحه، قوام، احساس دهانی و پذیرش کلی) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مدت زمان نگهداری قرار گرفت. ارزیاب‌ها تفاوتی در نوع و درصد کدوسبز قائل نشدند و بیشترین امتیاز شاخص‌های حسی در روز پانزدهم نگهداری بود. بیشترین امتیاز پذیرش کلی، مربوط به نمونه ماست حاوی ۱/۴ درصد گرانول کدوسبز در روز دهم نگهداری بود و اسیدیته، بافت و درصد ماده خشک نمونه حاوی ۱/۴ درصد گرانول خوب و قابل‌قبول بود. توصیه می‌شود که برای تولید در مقیاس صنعتی از ۱/۴ درصد گرانول کدوسبز استفاده شود.

منابع

Amiri oghdaee, S.S., Aalami, M., Rezaei, R. 2010. The Effect of Hydrocolloid on Seed Yogurt on Physicochemical and Sensory Properties of Low Fat Yogurt. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 6, 201-209

Ayar, A., Gurlin, E. 2014. Production and sensory, textural, physico-chemical properties of flavored spreadable yogurt. Life Science Journal, 11, 58-65.

Aziznia, S., Khosrowshahi, A., Madadlou, A., Rahimi, J. 2008. Whey protein concentrate and gum tragacanth as fat replacers in nonfat yogurt: chemical, physical, and microstructural properties. *Journal of Dairy Science*, 91, 2545-2552.

Behnia, A., Karazhiyan, H., Niazmand, R., Mohammadi, N. A. 2014. Effect of Cress seed gum on rheological and textural properties of low-fat yoghurt. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 255-266.

Dhiman, K., Gupta, A., Sharma, D., Gill, N., Goyal, A. 2012. A review on the medicinally important plants of the family Cucurbitaceae. *Asian Journal of Clinical Nutrition*. 4, 16-26.

Ehtiati, A., Mohebbi, M., Shahidi, F. 2008. Application of image processing in soy flour fortified bread calorimetry. The 18th National Congress of Food Science and Technology, October 24 and 25, Mashhad, Iran.

Farahat, A. M., El-Batawy, O. 2013. Proteolytic activity and some properties of stirred fruit yoghurt made using some fruits containing proteolytic enzymes. *World Journal of Dairy and Food Sciences*. 8, 38-44.

Foroughani, S., Peigambardoost, S. H., EladGhafari, a. 2017. Investigation of physical and chemical sensory properties of processed yogurt containing oat milk. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 48, 288-279.

Godarzi, O., Mazaheri, T. M., Porazerang, H. 2015. Optimization of Formulation Fermented Drink Yoghurt with Fruit Juice using Response Surface Methodology. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*.11:1-12.

Grubben, G. 2004. Plants resources of tropical Africa 2. Vegetables. PROTA foundation, Wageningen, Netherlands.

Guiné, R. P., Pinho, S., Barroca, M. J. 2011. Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*.) *Food and bioproducts processing*, 89, 422-428.

Hayatinegad, J., Mohamadisani, A., Hojjatoleslamy, M. 2013. Optimization of formulation of flavored cast yogurt enriched with *Spinacia oleracea* extract and measurement of its physicochemical, sensory and microbial properties during storage. Second National Conference on Food Science and Technology. May 9-10. Islamic Azad University of Quchan Branch. Quchan. Iran.

Hayatynejad, J., Mohamadisani, A., Hojjatoleslamy, M. 2014. Sensory acceptability and quality of flavored yogurt enriched with Spinacia oleracea extract. Nutrition & Food Science, 44, 182-192.

Fernandez, M.A., Picard-Deland, É., Le Barz, M., Daniel, N. Marette, A. 2017. Yogurt and health. *In Fermented foods in health and disease prevention* (pp. 305-338). Academic Press.

ISIRI, 2006, Fermented products Products-pH, No. 2852.

Kailasapathy, K, Harmstorf, I. & Phillips, M. 2008. Survival of Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium animalis ssp. lactis in stirred fruit yogurts. *LWT-Food Science and Technology*, 41**,** 1317-1322.

Karami, M., Asadi, J. 2017. Rheological, Physico-Chemical and Sensorial Attributes of Stirred Yoghurt with Irradiated and Autoclaved Thyme. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 14, 241-252.

Katsiari, M.C., Voutsinas, L.P., Kondyli, E. 2002. Manufacture of yoghurt from stored frozen sheep's milk. Food chemistry. 77, 413-420.

Kumar, P., Mishra, H. 2004. Mango soy fortified set yoghurt: effect of stabilizer addition on physicochemical, sensory and textural properties. Food Chemistry. 87, 501-507.

Ladjevardi, Z., Gharibzahedi, S., Mousavi, M. 2015. Development of a stable low-fat yogurt gel using functionality of psyllium (Plantago ovata Forsk) husk gum. Carbohydrate Polymers. 125, 272-280.

Mohammadi Elasti, F., FadaeiNoghani, V., Khosravi-Darani, K. 2016. Effect of different concentrations of Spirulina platensis on some chemical and sensory properties of probiotic spinach yogurt. Journal of Food Industry Research. 26. 142-128.

Mousavi, M., Heshmati, A., Daraei-Garmakhany, A., Vahidinia, A., Taheri, M. 2019. Texture and sensory characterization of functional yogurt supplemented with flaxseed during cold storage. Food science & nutrition. 7, 907-917.

Özcan, T., Yıldız, E. 2016. Determination of Textural and Sensory Properties of Yogurt Produced with The Vegetable Puree. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 4, 579-587.

Ramirez-Santiago, C., Ramos-Solis, L., Lobato-Calleros, C., Peña-Valdivia, C., Vernon-Carter, E., Alvarez-Ramírez., J. 2010. Enrichment of stirred yogurt with soluble dietary fiber from *Pachyrhizus erosus* L. Urban: Effect on syneresis, microstructure and rheological properties. *Journal of Food Engineering*. 101, 229-235.

Różyło, R., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Jakubczyk, A., Karaś, M., Różyło, K. 2014. Wheat bread with pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) pulp as a functional food product. *Food technology and biotechnology*. 52, 430-438.

Safari, N., Fazel, M., Jahadi, M. 2017. Investigation the Effect of *Allium canadanse* Plant Powder on Physicochemical Properties of Stirred Yoghurt. *Iranian Journal of Food Science and Technology*. 14, 333-342.

Schmidt, K., Smith, D. E. 1992. Rheological properties of gum and milk protein interactions. *Journal of Dairy Science*, 75, 36-42.

Sendra, E., Kuri, V., Fernandez-Lopez, J., Sayas-Barbera, E., Navarro, C., Perez-Alvarez, J. 2010. Viscoelastic properties of orange fiber enriched yogurt as a function of fiber dose, size and thermal treatment. *LWT-Food Science and Technology*. 43, 708-714.

Shakerian, A., Sohrabi, M.J., Ghasemi Pirbalouti, A. 2012. Effect of Bakhtiari celery (*Kelussiaodoratissma Mozaff*) on sensory properties and shelf life of set yogurt. *Journal of Herbal Drugs (An International Journal on Medicinal Herbs).* 3, 41-48.

Tohidzadeh, M., Khosrowshahiasl, A., Zomorodi, Sh., Elhami Rad, A. 2013. Effect of carrot fiber on *Lactobacillus casei* survival and apricot yogurt quality using response surface methodology. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*. 6, 122-114.

Yad Melat, M. 2017. Effect of using some native gum on the physicochemical, tissue and sensory properties of yogurt. MSc thesis. Ramin University of Agriculture and Natural Resources, Khuzestan, Iran.

Yousef, M., Nateghi, L., Azadi, E. 2013. Effect of different concentration of fruit additives on some physicochemical properties of yoghurt during storage. *Annals of Biological Research*. 4, 244-249.

Zomorodi, Sh. 2012. Physicochemical, rheological and sensory properties of stirred fruit yoghurt fortified by wheat fiber. Food research 22 (4), 443-454.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 93- 106

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۰۶-۹۳

Effect of adding zucchini (*Cucurbita pepo*) on the physico-chemical and sensory properties of stirred yogurt during storage

M. Salami[1], M. Mehraban Sangatash[2*], A. Ehtiati[2]

Received: 2019.09.26
Accepted: 2019.12.02

Introduction: Yogurt is one of the most popular dairy products, which has numerous health effects on human body. Dietary fiber consumption is highly recommended. Fibers are highly hydrophilic and absorb water into the digestive track, increase the volume of food and thereby facilitating excretion. These are some health benefits of these compounds. Consumption of fiber-containing yogurt can be helpful for people who suffer from cardiovascular diseases, hypertension, diabetes and obesity. Zucchini, as a vegetable, is a source of fibers and due to its health-promoting effects, can be used in dairy products. The aim of this study is to evaluate the effects of different levels of dried zucchini on stirred yogurt during storage.

Materials and Methods: The raw materials for the production of the functional yogurt were zucchini, milk, skim milk powder, whey powder, hydrocolloids stabilizer compound and starter culture. Fresh zucchini was hot-air dried at 70 °C for 7 hours. Two forms of the dried zucchini (powder and granule) were added to fresh yogurt at levels of 0.7, 1.4, and 2%. The samples were then tested on days 1, 5, 10 and 15 for acidity (titration method), pH, texture stiffness (back extrusion), syneresis, color (using image processing) and sensory properties, including color, taste, aroma, consistency, mouthfeel and overall acceptance. The experiments were triplicated and analysis of variance was performed using Minitab software at 95% confidence interval. For the significant variables, the means were compared using LSD method. Graphs were drawn using MS-Excel.

Results and Discussion: The effects of zucchini form and level of addition, storage time and interaction of these variables were significant ($P<0.05$) on the titratable acidity, pH and firmness. Over time, pH decreased and acidity increased, which was related to the starter activity and acid production. Due to the use of stabilizer and whey protein, all samples showed no syneresis. The firmness of the samples containing zucchini powder was higher than that of the granule- ($P<0.05$). This might be related to the homogeneous structure of zucchini fiber, which increased water absorption regarding its lower particle size. Firmness increased from day one to day five, due to the high water absorption of hydrocolloids that bind to free water present in the yogurt structure. The presence of milk proteins and whey protein concentrate in the yogurt formula enhanced crosslinking in the particle gel network, which resulted in a stronger gel structure. During longer storage, firmness decreased from day 5 to day 10, probably was due to the increased pH, which affects the proteins and polysaccharides interaction. The effects of the form and level of zucchini and the interaction between these variables were significant ($p <0.05$) on the changes in L*, a*, and b*. The L* and a* values which were higher in the samples containing zucchini granules than in the zucchini powder, most probably due to the smaller particle sizes of the powder compared with the granules, causing the number of the powder particles per unit volume to be larger and the powder-containing samples to become darker. In terms of the level of addition, L* increased as the zucchini level rose to 1.4% and then declined to 2%. The sensory properties of all samples were significantly affected by the storage time ($P<0.05$). With increase in the storage time, all the sensory scores increased. The highest overall acceptance score belonged to the yogurt sample containing 1.4% granule on the 10th day of storage. Overall, zucchini is a good candidate for yogurt fortification. This incorporation results in a greenish yogurt with more health functionalities. The highest overall acceptance score was obtained for the yogurt containing 1.4% zucchini granule on the 10th day of storage (best consumption date) and the results showed acceptable firmness for this sample.

Keywords: acidity, texture, sensory, yogurt, zucchini

1. Department of Food Science and Technology, ACECR Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran
2. Department of Food Quality and Safety, Food Science and Technology Research Institute, ACECR Khorasan Razavi Branch, Mashhad, Iran
(* Corresponding Author: mehraban@acecr.ac.ir)

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 107- 120

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۲۰-۱۰۷

مقاله علمی- پژوهشی

ارزیابی و مقایسه خصوصیات حسی، بافتی و رنگ خامه کم‌چرب با استفاده از تحلیل مولفه اصلی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی

سید علی محمدی[۱]- محسن قدس روحانی[۲*]- مسعود نجف نجفی[۳]- مرتضی کاشانی‌نژاد[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۲

چکیده

در این تحقیق اثر مقادیر مختلف صمغ کنجاک (۰/۲ تا ۰/۶ درصد)، میزان چربی (۱۸ تا ۲۵ درصد) و فشار هموژن (۱۰۰ تا ۲۰۰ بار) بر خصوصیات حسی، بافتی و رنگ خامه کم‌چرب مورد بررسی قرار گرفت و سپس این خصوصیات با استفاده از روش‌های تحلیل مولفه اصلی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی مقایسه گردید. نتایج حاصل از ارزیابی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از روش سطح پاسخ حاکی از آن بود که افزایش فشار هموژن سبب افزایش سختی، قوام، چسبندگی، *b، امتیاز حسی بافت، امتیاز حسی عطر و پذیرش کلی نمونه‌ها شد. در حالی که افزایش چربی منجر به افزایش چسبندگی، *L، *b، امتیاز حسی طعم، امتیاز حسی عطر و پذیرش کلی نمونه‌ها گردید. افزایش صمغ کنجاک نیز سبب افزایش سختی، قوام، چسبندگی و امتیاز حسی بافت شد. پراکنش پاسخ‌ها در فضای مولفه‌های اصلی نیز نشان داد که صفات دستگاهی سختی و قوام در مجاورت هم و نزدیک به امتیاز حسی بافت قرار گرفتند که مجاورت این صفات حاکی از آن بود که صفات اندازه‌گیری شده توسط ارزیاب‌ها تقریباً معادل پارامترهایی بود که توسط روش‌های دستگاهی اندازه‌گیری شده بودند. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی ضریب همبستگی میان داده‌های حسی و دستگاهی نشان داد که بالاترین میزان همبستگی بین سختی و امتیاز حسی بافت (یک ارتباط خطی مثبت قوی (۰/۷۷۴)) و قوام و امتیاز حسی بافت (یک ارتباط خطی مثبت قوی (۰/۷۶۰)) وجود داشت.

واژه‌های کلیدی: تحلیل مولفه اصلی، خامه کم‌چرب، رگرسیون حداقل مربعات جزئی، صمغ کنجاک، فشار هموژن.

مقدمه

خامه عبارت است از چربی تغلیظ شده شیر، که در آن چربی به‌صورت گلبول‌هایی که توسط یک غشاء محافظت می‌شوند، وجود دارد. از نظر فیزیکی، خامه نیز مانند شیر نوعی امولسیون چربی در آب می‌باشد (قدس روحانی، ۱۳۸۵). در سال‌های اخیر در پی افزایش سطح آگاهی مردم در رابطه با مضرات مصرف چربی، تقاضا برای فراورده‌های کم‌چرب افزایش قابل توجهی پیدا کرده است (Worrasinchai *et al.*, 2006). فراورده‌های لبنی نیز به‌عنوان یکی از منابع مهم غذایی، شاهد تغییرات عمده‌ای بوده‌اند و تحقیقات فراوانی جهت تهیه فرآورده‌های لبنی با درصد چربی پایین انجام شده است (غلامحسین‌پور، ۱۳۹۰). همزمان با افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان نسبت به تاثیر رژیم غذایی در سلامت آنها، محققان اقدام به تولید فراورده‌هایی نموده‌اند که ضمن تامین سلامت مصرف کننده، از نظر ویژگی‌های حسی و اقتصادی قابل رقابت با فراورده‌های متداول در بازار باشد. از طرفی کاهش چربی منجر به کاهش ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی فرآورده، مانند طعم و مزه، احساس دهانی و بافت می‌شود. بنابراین تولید یک محصول کم‌چرب با همان ویژگی‌های محصول پرچرب، دشوار است. به‌منظور تقلید عملکردهای متفاوت چربی در محصول کم‌چرب، مواردی از قبیل قوام محصول، تاثیر اندازه ذرات بر احساس دهانی (Merril *et al.*,1994)، رنگ، طعم و ویژگی‌های رئولوژیکی، بایستی مورد توجه قرار گیرد (Liu *et al.*, 2007). جایگزین‌های چربی ماکرومولکول‌هایی هستند که به منظور تامین تمام یا قسمتی از وظایف چربی در یک فرآورده غذایی مورد استفاده قرار گرفته و نسبت به چربی کالری کمتری ایجاد می‌نمایند (Duffy & Anderson 1998). کنجاک، هیدروکلوئید

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، تکنولوژی تولید فراورده های نوین لبنی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۲ و ۳- استادیار و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۴- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Qhods@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.81470

پلی‌ساکاریدی و خنثی است که به‌خاطر توانایی جذب آب بالا، به‌عنوان تشکیل‌دهنده ژل و عامل سفت‌کننده در غذاهای سنتی آسیایی استفاده می‌شود (Zhang *et al*., 2015). به‌علاوه، از آن به‌عنوان یکی از ویسکوزترین فیبرهای رژیمی یاد می‌کنند. این ماده پلی‌ساکارید بی‌رنگ و بی‌مزه است که از غده گیاه آمورفوفالوس کنجاک به‌دست می‌آید. ساختار خطی از قندهای دی‌گلوکوپیرانوز و دی‌مانوپیرانوز دارد که به‌صورت تصادفی با نسبت ۱ به ۱/۶ قرار داشته و به صورت پیوندهای β (1- 4) قرار گرفته اند که باعث شده این ماده ژل پایدار در مقابل حرارت ایجاد کند. این ماده ۵ تا۱۰ درصد گروه آسیل دارد که باعث محلول بودن آن در محیط‌های آبی و انعطاف‌پذیری زنجیره می‌شود (محروقی، ۱۳۹۶). استفاده از کنجاک در کشورهای غربی به‌عنوان یک جزء در غذاهای فراسودمند روبه گسترش است (Al-Ghazzewi , 2007). صمغ کنجاک عملکردی دوگانه دارد، از یک سو به دلیل غیرقابل‌هضم بودن یک فیبر غذایی محسوب می‌شود و به‌خاطر نقش مهم آن در کنترل وزن، اصلاح متابولیسم میکروبی روده، خارج ساختن رادیکال‌های آزاد، ممانعت از رشد تومورهای نهفته و پیشرفته نادر، بسیار مورد توجه است (Chua *et al*., 2012). از سوی دیگر به خاطر توانایی جذب آب بالا، به‌عنوان تشکیل‌دهنده ژل و عامل سفت‌کننده در غذاهای سنتی آسیایی اهمیت زیادی دارد (Zhang *et al*., 2015).

در پژوهش صورت گرفته در مورد تاثیر پایدارکننده‌ها بر پایداری امولسیون خامه قنادی با ۳۶٪ چربی، مشخص شد که افزودن مخلوط پایدارکننده‌ها از جمله کاراگینان، صمغ دانه خرنوب و سیترات سدیم به میزان ۰/۲۵٪، آب‌انداختگی خامه را در مدت نگهداری، کاهش می‌دهد (Smith *et al*., 2000). در پژوهش انجام شده توسط ایوبی و مظاهری تهرانی (۱۳۹۴)، آرد کامل سویا از ۵ درصد تا ۲۲/۵ درصد در فرمولاسیون خامه کم‌چرب با ۳۰ درصد چربی استفاده شد. اثر فرمولاسیون بر خواص فیزیکوشیمیایی و حسی ارزیابی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که فرمولاسیون خامه به‌طور معنی‌داری بر تمامی خواص خامه اثر گذاشت. در پژوهش صورت گرفته توسط غلامحسین‌پور و مظاهری‌تهرانی (۱۳۹۰) نیز از خامه کم‌چرب ۳۰ درصد چربی به‌عنوان پایه تولید و کنسانتره پروتئینی شیر در مقادیر صفر تا ۱۱/۱ درصد استفاده گردید و اثر آن، بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی خامه بررسی شد. نتایج نشان داد که در مقایسه با نمونه شاهد با افزایش میزان کنسانتره پروتئینی، اسیدیته و ویسکوزیته ظاهری به‌طور معنی‌داری افزایش و چربی، آب‌انداختگی و pH به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابند. همچنین نمونه‌های تولیدی در پارامترهای حسی رنگ و ظاهر، یکنواختی و بو امتیازات لازم را به‌دست آوردند اما در سایر موارد امتیاز قابل قبولی حاصل نگردید. امیری و رادی (۱۳۷۸) نیز از دو نوع نشاسته اصلاح شده به میزان ۵ و ۱۰ درصد به‌عنوان یک جایگزین چربی در خامه کم‌چرب استفاده کردند. نتایج این بررسی نشان داد که افزودن نشاسته اصلاح شده در سطح جایگزینی ۵ درصد به دلیل حفظ حالت خامه‌ای و دارا بودن بافت و طعمی قابل قبول، برای تهیه خامه کم‌چرب می‌تواند مفید باشد. امام جمعه و همکاران (۱۳۸۶) اثر افزودن کنسانتره پروتئین آب پنیر بر روی خصوصیات فیزیکی خامه لبنی شیرین هموژنیزه شده بررسی نمودند و نشان دادند که افزودن کنسانتره پروتئین آب پنیر ویسکوزیته ظاهری خامه‌های زده نشده را افزایش داد. فرحناکی و همکاران (۱۳۹۰) اثر ژلاتین به‌عنوان هیدروکلوئید جایگزین چربی در تولید خامه کم‌چرب را بررسی کردند و نشان دادند که ژلاتین قادر به بهبود ویژگی‌های نمونه‌های خامه کم‌چربی و نزدیک کردن ویژگی‌های آن به ویژگی‌های خامه شاهد ۳۰ درصد چربی می‌باشد. روش‌های آماری که برای بیان و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده همزمان چند متغیر به‌کار می‌رود تحلیل چندمتغیره نامیده می‌شود. یکی از این روش‌ها، تحلیل مولفه اصلی (PCA) (Principal components analysis) می‌باشد. PCA یک روش آماری مفید برای فشرده‌سازی اطلاعات تصاویر، کاهش تعداد پاسخ‌های یک آزمایش یا فرایند با پاسخ‌های زیاد به‌وسیله ترکیب نمودن پاسخ‌ها می‌باشد بدون اینکه اطلاعات اصلی داده‌ها نادیده گرفته شود (Tenenhaus *et al*., 2005).

یکی از ابزارهای مهم برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته از روی متغیرهای مستقل، استفاده از معادلات رگرسیون می‌باشد. وجود برخی از معایب همچون وجود هم خطی بین متغیرهای مستقل یا توضیحی در برخی از مطالعات باعث نامعتبر شدن مطالعات رگرسیونی (حداقل مربعات عمومی) شده است. از این رو محققان روش‌های جدیدی برای بنا کردن معادله پیش بینی ارائه داده‌اند که روش رگرسیونی موسوم به کمترین مربعات جزئی از مهمترین این معادلات می‌باشد. دراین روش مؤلفه‌های جدید متعامدی که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند، ایجاد شده سپس از این مؤلفه‌ها برای ساختن معادله رگرسیونی استفاده می‌شود. در مدل رگرسیون PLS ضرایب استاندارد VIP (Variable Importance in Projection) منعکس‌کننده اثر تک‌تک xها بر روی yها می‌باشد و به آسانی در نمودار PLS قابل مشاهده است و به این ترتیب مؤثرترین متغیرها و درجه اهمیت آنها به سرعت شناسایی و تشخیص داده می‌شوند. آزمون رگرسیون حداقل مربعات جزئی می‌تواند به خوبی ویژگی‌های حسی بافت را بوسیله اندازه‌گیری‌های دستگاهی بافت پیش‌بینی کند و ارتباط بین ماتریس‌های حسی و فیزیکی را مورد آنالیز قرار دهد (Tenenhaus *et al*., 2005). در این تحقیق سعی شده است با استفاده از صمغ کنجاک و کنترل شرایط فرایند، ضمن کاهش میزان چربی، ویژگی‌های حسی، فیزیکوشیمیایی و بافتی خامه را در سطح قابل قبولی حفظ نمود. در ادامه طرح پس از اندازه‌گیری صفات مذکور، همبستگی ویژگی‌های دستگاهی و حسی با استفاده از روش‌های تحلیل مولفه اصلی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

خامه تازه ۳۰ درصد چربی و شیر پاستوریزه سه درصد چربی از شرکت فراورده‌های لبنی رضوی و صمغ کنجاک تولید کشور چین از شرکت فود کم (FoodChem) تهیه گردید.

روش تهیه خامه کم چرب

ابتدا خامه اولیه از نظر درصد چربی و اسیدیته مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس صمغ کنجاک در شیر پاستوریزه ۴۵ درجه سانتی‌گراد مخلوط و به‌صورت ملایم حرارت داده شد تا کاملا حل گردد. در ادامه با استفاده از مربع پیرسون مخلوط شیر و صمغ تا رسیدن به درصد چربی‌های مورد نظر، به خامه اولیه اضافه شد. سپس مخلوط حاصل در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و با فشار ۱۰۰ تا ۲۰۰ بار و با استفاده از هموژنایزر پیستونی (HL1.2، HST، آلمان) هموژنیزه شد. مخلوط نهایی به‌صورت غیرمداوم در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه پاستوریزه و در لیوان های پلی‌اتیلن بسته‌بندی و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمون‌ها در یخچال نگهداری شد. لازم به ذکر است که میزان صمغ، فشار هموژن و درصد چربی خامه بر مبنای تیمارهای داده شده توسط نرم افزار تعیین گردید.

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی با استفاده از آزمون چشایی (Taste panel) به روش هدونیک (Hedonic method) به‌صورت آزمون پنج نقطه‌ای (از خیلی بد: ۱، تا خیلی خوب: ۵) انجام شد (قدس روحانی، ۱۳۸۸) . تعداد داوران ۷ نفر، شامل ۴ نفر مرد و ۳ نفر زن (در محدوده سنی ۲۵ تا ۴۰ سال) بودند که از بین متخصصان شاغل در بخش تولید و کنترل کیفیت شرکت فرآورده‌های لبنی رضوی مشهد انتخاب و آموزش های لازم را در این زمینه دیده بودند. نمونه‌ها (بسته‌های ۱۰۰ گرمی) مدتی قبل از سردخانه خارج شده و پس از رسیدن به دمای محیط، در اختیار داوران قرار می‌گرفت. داوران نمونه‌ها را از نظر طعم، بافت، عطر، رنگ و پذیرش کلی مورد ارزیابی قرار دادند.

آزمون اکستروژن برگشتی

آزمون اکستروژن برگشتی عبارت است از اعمال نیرو به ماده غذایی تا زمانی که آن ماده از طریق یک خروجی, مانند شکاف‌ها یا سوراخ‌های موجود در سلول آزمایش به بیرون جریان یابد. هدف اعمال نیرو در این مرحله این است که ساختار آن از هم پاشیده و از طریق خروجی‌ها به بیرون ریخته شود . اغلب، نیروی بیشینه مورد نیاز برای بیرون ریخته شدن نمونه را اندازه‌گیری کرده و از آن به‌عنوان شاخص کیفیت بافتی استفاده می‌شود. بیشترین مقدار نیرو در قسمت مثبت نمودار به‌عنوان سختی (Hardness)، مساحت زیر نمودار در قسمت مثبت به‌عنوان قوام (Consistency) و مساحت زیر نمودار در قسمت منفی به‌عنوان چسبندگی (Adhesiveness) در نظر گرفته شد.

برای انجام این آزمون از دستگاه (Texture Analyzer Stable Micro Systems, London, UK) استفاده شد. در این آزمون از سیلندر با قطر ۵۰۰ میلی‌متر و عمق ۱۰ سانتی‌متر و پروب با قطر ۴۰ میلی‌متر و ضخامت ۱۳ میلی‌متر استفاده شد. سرعت حرکت پروب ۱/۶۷ میلی‌متر برثانیه، در دمای ۴ درجه سلسیوس و در سه تکرار در نظر گرفته شد (Sajedi *et al*., 2014).

اندازه‌گیری رنگ

جهت تهیه تصویر نمونه‌ها از اسکنر (HP scan jet G4010) استفاده شد. نمونه‌ها به‌صورت یکنواخت درون یک پلیت کاملا شفاف قرار گرفتند و سپس پلیت بر روی اسکنر قرار گرفت و روی آنها توسط پارچه ضخیم و کاملا تیره پوشانده شد. تصاویر تهیه شده برای آنالیز در فرمت JPEG ذخیره‌سازی شدند و سپس آنالیز تصاویر با استفاده از نرم‌افزار Image J (National Institute of Health, USA) صورت پذیرفت. از مدل رنگی L* CIE L*a*b* (سیاه صفر تا سفید ۱۰۰)، a* (قرمز ۶۰ تا سبز ۶۰-) و b* (زرد ۶۰ تا آبی ۶۰-) نیز برای تعیین پارامترهای رنگ خامه کم‌چرب استفاده شد که میانگین مقادیر L* و a* و b* برای ۲۰ نمونه خامه کم‌چرب در سه تکرار اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

این طرح به روش کاملاً تصادفی در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD) با شش تکرار در نقطه مرکزی برای سه متغیر و در سه سطح انجام شد (جدول۱) به صورتی که تعداد کل تیمارها ۲۰ تیمار شد. نتایج پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری (Design-Expert version 10) به روش سطح پاسخ (R.S.M) آنالیز شد و هر یک از متغیرهای پاسخ در قالب مدل رگرسیون چندجمله‌ای ارائه شدند. همچنین با استفاده از جدول آنالیز واریانس (ANOVA) معنی‌دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و متقابل ضرایب مدل رگرسیون برای هر پاسخ در سطوح ۰/۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۰۱ بررسی گردید.

نتایج و بحث

تعیین مدل‌ها

معادلات به‌دست آمده برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته با استفاده از روش سطح پاسخ برای متغیرهای معنی‌دار در جدول ۲ آمده است. برای بررسی صحت مدل از ضریب تبیین (R^2) و تست عدم برازش استفاده گردید. همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده است ضریب تبیین برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده بالاتر از ۰/۸ بوده و فاکتور عدم برازش نیز برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین بالا بودن ضریب تبیین و معنی‌دار

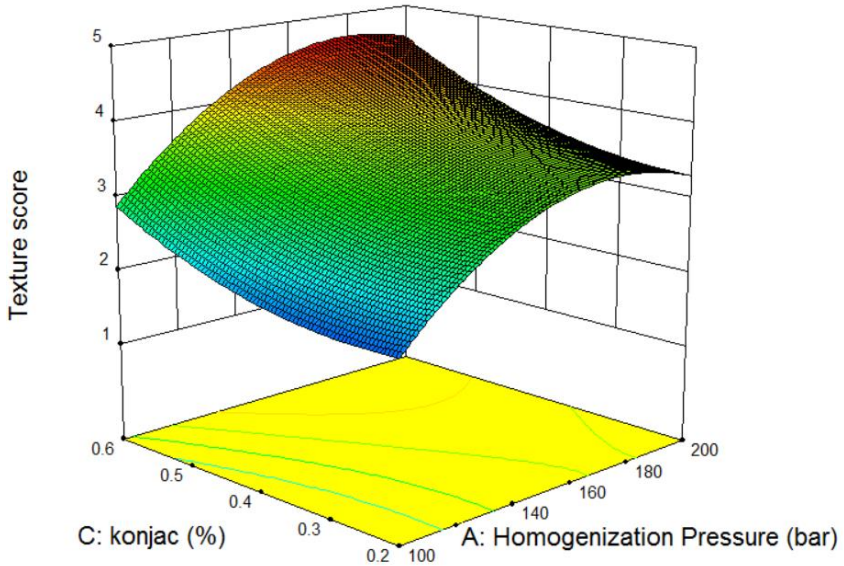
نبودن عدم برازش برای تمامی پاسخ‌ها صحت مدل را برای برازش اطلاعات تأیید می‌کند. برای مشاهده بهتر اثر متغیرهای مستقل بر روی صفات مورد آزمایش، نمودارهای سطح پاسخ برای هر صفت رسم گردید.

جدول ۱- متغیرهای مستقل در فرآیند تولید خامه کم‌چرب و سطوح آنها

متغیر	نماد	سطوح کد بندی شده متغیر		
		+۱	۰	−۱
فشار هموژن (بار)	X1	۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰
چربی (درصد)	X2	۲۵	۲۱/۵	۱۸
صمغ کنجاک (درصد)	X3	۰/۶	۰/۴	۰/۲

جدول ۲- معادلات به‌دست آمده برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته با استفاده از روش سطح پاسخ

متغیرهای وابسته	معادله	F Value	p-value Prob > F	ضریب تبیین	ضریب تغییرات	عدم برازش
امتیاز حسی بافت	$y_2 = -9/32 + 0/074A + 0/27B + 9/3C + 1/13 \times 10^{-3}AB + 1/13 \times 10^{-3}AC - 0/64BC - 2.9 \times 10^{-4}A^2 - 2/25 \times 10^{-3}B^2 + 7/43C^2$	۶/۳۱	۰/۰۰۵۷	۰/۹۹	۱۴/۲۴	n.s
امتیاز حسی طعم	$y_2 = 3/88 + 0/29A + 0/055B + 0/055C + 1/14AB - 0/86AC - 1/21BC - 0/17A^2 + 0/25B^2 + 0/52C^2 + 1/06ABC - 1/50A^2B + 0/96A^2C - 1/23AB^2$	۶/۲۱	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹	۵/۲۲	n.s
امتیاز حسی عطر	$y_2 = 4/04 + 0/16A + 0/38B + 0/13C + 0/61AB$	۲۶/۷۲	۰/۰۰۱	۰/۹۸	۱/۹۹	n.s
پذیرش کلی	$y_2 = -6/67 + 0/059A + 0/39B - 0/137C + 8/05 \times 10^{-4}AB$	۵/۰۳	۰/۰۱۲۳	۰/۸۳	۰/۸۳	n.s
سختی	$y_1 = 232/46 + 100/24A + 134/89B + 143/75C + 178/54AB - 104/8AC - 143/37BC - 32/53A^2 + 98/07B^2 + 102/13C^2 + 171/18ABC - 183/83A^2B + 115/76A^2C - 172/03AB^2$	۶۲/۲۷	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹	۸/۸۷	n.s
قوام	$y^2 = 3777/11 + 1605/73A + 2144/12B + 2776/95C - 1342/35AB - 2071/24AC - 488/431BC - 406/04A^2 - 1502/29B^2 + 2679/02C^2 - 2631/73ABC + 1696/25A^2B - 251436A^2C$	۹۹/۸۱	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹	۶/۵۰	n.s
چسبندگی		۹۲۶/۲۰	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹	۲/۴۵	n.s
L*	$y_1 = 89/41 + 0/13A + 0/15B - 2/5 \times 10^{-3}C - 0/2AB + 0/71AC - 0/39BC - 0/10A^2 + 0/044B^2 + 0/075C^2$	۴۴/۲۳	۰/۰۰۰۳	۰/۹۹	۰/۰۸۳	n.s
b*	$y_2 = 7/20 + 0/049A + 0/26B + 6/5 \times 10^{-3}C + 0/025AB - 0/098AC - 0/17BC + 12/60A^2 - 0/21C^2 + 0/020ABC - 0/055A^2B + 0/13A^2C - 0/17AB^2$	۳۴۴/۶۶	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹	۰/۲۴	n.s



شکل ۱- تأثیر صمغ کنجاک و فشار هموژن بر روی امتیاز حسی بافت نمونه‌ها (چربی ۲۵ درصد)

امتیاز حسی بافت

نتایج بررسی‌ها نشان داد که در بین اثرات خطی، متقابل و درجه دوم، اثر خطی فشار هموژن در سطح ۹۹ درصد و اثر خطی صمغ کنجاک در سطح ۹۵ درصد بر روی امتیاز حسی بافت نمونه‌ها معنی‌دار بود در حالی که چربی و کلیه اثرات متقابل هیچگونه اثر معنی‌داری بر امتیاز حسی بافت نمونه‌ها در روز اول نداشتند. شکل۱ تأثیر صمغ کنجاک و فشار هموژن را بر روی امتیاز حسی بافت نمونه‌ها در شرایطی که چربی در نقطه بیشترین (۲۵ درصد) ثابت نگه‌داشته شده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱ در شرایطی که چربی در مقدار بیشترین (۲۵ درصد) ثابت نگه داشته شود بالاترین میزان امتیاز حسی بافت به نمونه حاوی ۰/۶ درصد کنجاک و فشار هموژن ۲۰۰ بار تعلق می‌گیرد. همچنین با افزایش میزان فشار هموژن و صمغ کنجاک امتیاز حسی بافت نمونه‌ها نیز به طور معنی‌دار افزایش می یابد. در تحقیقات سایر محققان نیز اثبات شده است ویسکورزیته نقش مهمی در احساس دهانی خامه ایجاد می‌کند، لذا نمونه‌های دارای هیدروکلوئید بالاتر (زانتان) ویسکوزیته بالاتر و احساس دهانی بالاتری ایجاد نمود (Zhao *et al*., 2009) .

امتیاز حسی طعم

نتایج بررسی‌ها نشان داد که در بین اثرات خطی، متقابل و درجه دوم تنها اثر خطی چربی در سطح ۹۵ درصد و اثرات متقابل صمغ کنجاک – فشار هموژن و چربی–صمغ کنجاک در سطح ۹۵ درصد بر روی امتیاز حسی طعم معنی‌دار بود در حالی که صمغ کنجاک و فشار هموژن به تنهایی هیچگونه اثر معنی‌داری بر امتیاز حسی طعم نمونه‌ها نداشتند. عدم معنی‌داری صمغ کنجاک و فشار هموژن به تنهایی و معنی‌دار شدن اثر متقابل صمغ کنجاک– فشار هموژن بر روی امتیاز حسی طعم نمونه‌ها نشان دهنده اثر سینرژیستی آنها بر روی یکدیگرمی‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش میزان چربی امتیاز حسی طعم نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد این درحالی است که افزایش فشار هموژن تاثیر چندانی برامتیاز حسی طعم نمونه‌ها نداشت.

امتیاز حسی عطر

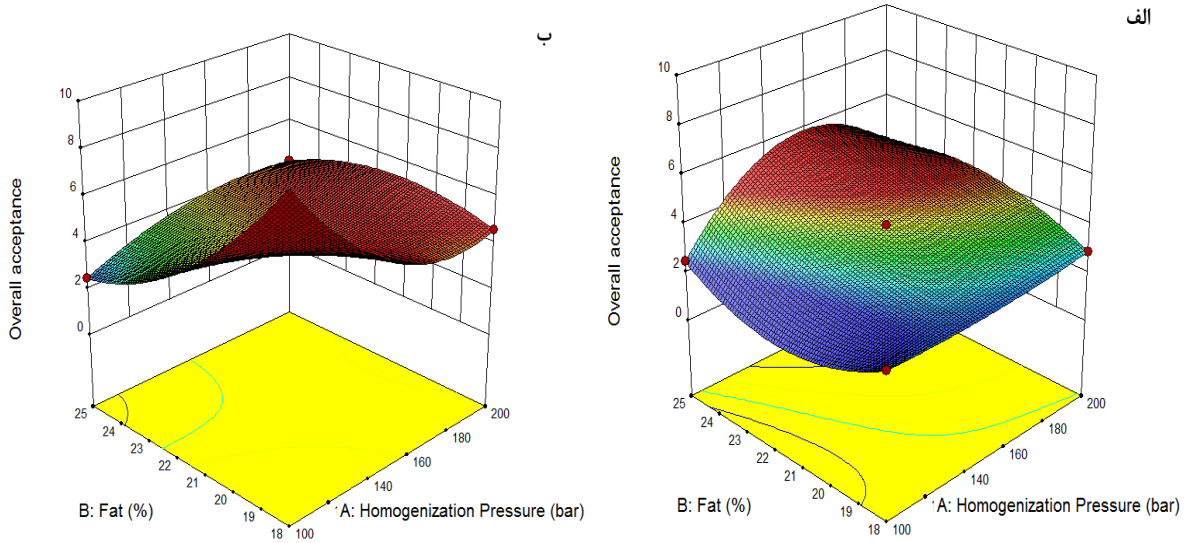
نتایج بررسی‌ها نشان داد که در بین اثرات خطی، متقابل و درجه دوم اثر خطی فشار هموژن و چربی در سطح ۹۵ درصد و چربی در سطح ۹۵ درصد و اثرات متقابل صمغ فشار هموژن– چربی و فشار هموژن– صمغ کنجاک در سطح ۹۵ درصد بر روی امتیاز حسی عطر معنی‌دار بود در حالی که صمغ کنجاک به تنهایی هیچگونه اثر معنی‌داری بر امتیاز حسی عطر نمونه‌ها نداشت. نتایج نشان داد که در شرایطی که صمغ کنجاک در مقدار کمترین باشد با افزایش میزان فشار هموژن و چربی امتیاز حسی عطر نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد این درحالی است که در شرایطی که صمغ کنجاک در مقدار بیشترین باشد با افزایش میزان فشار هموژن و چربی امتیاز حسی عطر نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌دار کاهش می‌یابد که نشان دهنده نقش انتاگونیستی صمغ کنجاک و چربی و فشار هموژن بر امتیاز حسی عطر می‌باشد که منجربه تاثیر منفی بر روند امتیاز حسی عطر نمونه‌ها شده است.

امتیاز حسی رنگ

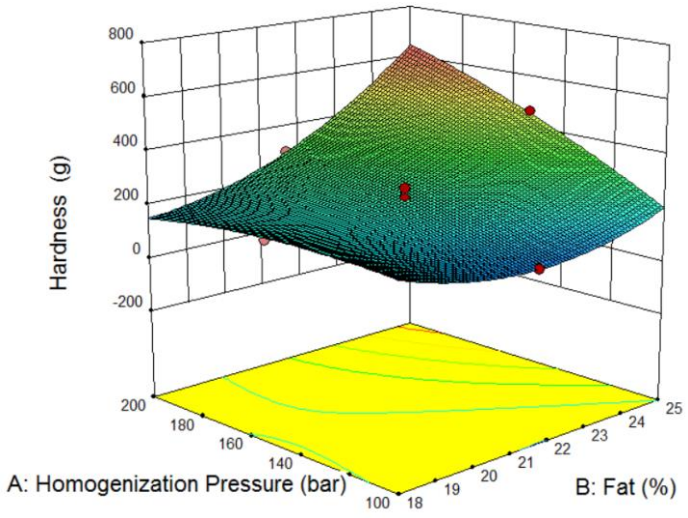
امتیاز حسی رنگ نمونه‌های مورد آزمون بین ۴/۱۵ تا ۴/۵ متغیر بود. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که هیچ کدام از اثرات خطی و درجه دوم و متقابل اثرات چربی، صمغ کنجاک و فشار هموژن بر روی امتیاز حسی رنگ نمونه‌ها در معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵).

پذیرش کلی

نتایج بررسی‌ها نشان داد که در بین اثرات خطی، متقابل و درجه دوم اثر خطی فشار هموژن در سطح ۹۹ درصد و چربی در سطح ۹۵ درصد و اثرات متقابل صمغ کنجاک– چربی در سطح ۹۵ درصد بر روی پذیرش کلی معنی‌دار بود در حالی که صمغ کنجاک به تنهایی هیچگونه اثر معنی‌داری بر پذیرش کلی نمونه‌ها نداشت. عدم معنی‌داری صمغ کنجاک به تنهایی و معنی‌دار شدن اثر متقابل صمغ کنجاک– چربی بر روی پذیرش کلی نمونه‌ها نشان‌دهنده اثر سینرژیستی آنها بر روی یکدیگر می‌باشد.



شکل ۲- تأثیر چربی و فشار هموژن بر روی پذیرش کلی نمونه ها (الف: صمغ کنجاک ۰/۲ درصد، ب: صمغ کنجاک ۰/٦ درصد)



شکل ۳- تأثیر چربی و فشار هموژن بر روی سختی نمونه‌ها (صمغ کنجاک ۰/٤ درصد)

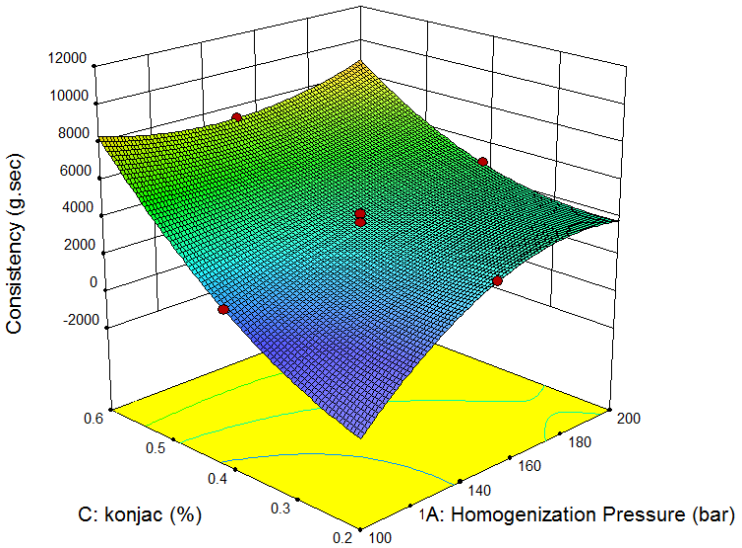
شکل ۲ تأثیر چربی و فشار هموژن را به‌ترتیب بر روی پذیرش کلی نمونه‌ها در شرایطی که صمغ کنجاک به ترتیب در نقطه کمترین (۰/۲ درصد) (شکل الف) و بیشترین (۰/۶ درصد) (شکل ب) ثابت نگه‌داشته شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در شرایطی که صمغ کنجاک در مقدار کمترین باشد با افزایش میزان فشار هموژن و چربی پذیرش کلی نمونه‌ها نیز به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد این درحالی است که در شرایطی که صمغ کنجاک در مقدار بیشترین باشد با افزایش میزان فشار هموژن و چربی پذیرش کلی نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌دار کاهش می‌یابد که نشان دهنده نقش انتاگونیستی صمغ کنجاک بر چربی و فشار هموژن می‌باشد که منجر به تاثیر منفی بر روند پذیرش کلی نمونه‌ها شده است.

سختی

شکل ۳ تأثیر فشار هموژن و چربی را بر روی سختی نمونه‌ها در شرایطی که صمغ کنجاک در نقطه مرکزی (۰/۴ درصد) ثابت نگه‌داشته شده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳ در شرایطی که صمغ کنجاک نمونه‌ها در نقطه مرکزی، ثابت نگه داشته شود با افزایش میزان فشار هموژن و چربی سختی، نمونه‌ها به طور معنی‌دار افزایش می‌یابند. Sajedi و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که میزان چربی بر سختی خامه هوادهی شده موثر است. همچنین با توجه به شکل ۱ با افزایش همزمان فشار هموژن و چربی، سختی نمونه‌ها به میزان بیشتری افزایش می‌یابد که نشان دهنده اثر سینرزیستی چربی و فشار هموژن بر روی سختی نمونه‌ها می باشد. ظاهرا علت این است که هموژنیزاسیون باعث افزایش ویسکوزیته می‌شود و هرچه فشار هموژن بیشتر شود، ویسکوزیته نیز افزایش می‌یابد (قدس روحانی، ۱۳۸۵). بدیهی است که این امر خودبه‌خود باعث افزایش سختی خامه نیز خواهد شد. این در حالی است که نتایج Mulder و Walstra (۱۹۷۴) نشان داد، فشار هموژن بالا به‌ویژه برای نمونه‌های حاوی چربی بالا و مقدار کم غلظت پروتئین‌های سرمی، باعث تخریب ساختار گلبول‌های چربی شده که مقاومت درونی خامه را کاهش می‌دهد.

قوام

شکل ۴ تأثیر صمغ کنجاک و فشار هموژن را بر روی قوام در شرایطی که چربی در نقطه مرکزی (۲۱/۵ درصد) ثابت نگه‌داشته شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش میزان فشار هموژن و صمغ کنجاک قوام نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. به احتمال زیاد افزایش فشار هموژن باعث کاهش توزیع اندزه ذرات موجود در امولسیون شده که با کاهش توزیع اندازه ذرات ویسکوزیته دیسپرسیون و در نتیجه قوام افزایش می‌یابد. صمغ کنجاک نیز با جذب آب آزاد به خود باعث کاهش آب ازاد و درنتیجه افزایش قوام خامه می‌شود (محروقی، ۱۳۹۶). همچنین بر اساس نتایج این تحقیق با افزایش میزان چربی قوام نمونه‌ها نیز افزایش می‌یابد. محمدی (۱۳۹۰) نیز نشان داد که افزایش هموژنیزاسیون منجر به کاهش ضریب قوام محلول نیم درصد کربوکسی متیل سلولز شد.



شکل ٤- تأثیر صمغ کنجاک و فشار هموژن بر روی قوام نمونه‌ها (چربی ۲۱/۵ درصد)

چسبندگی

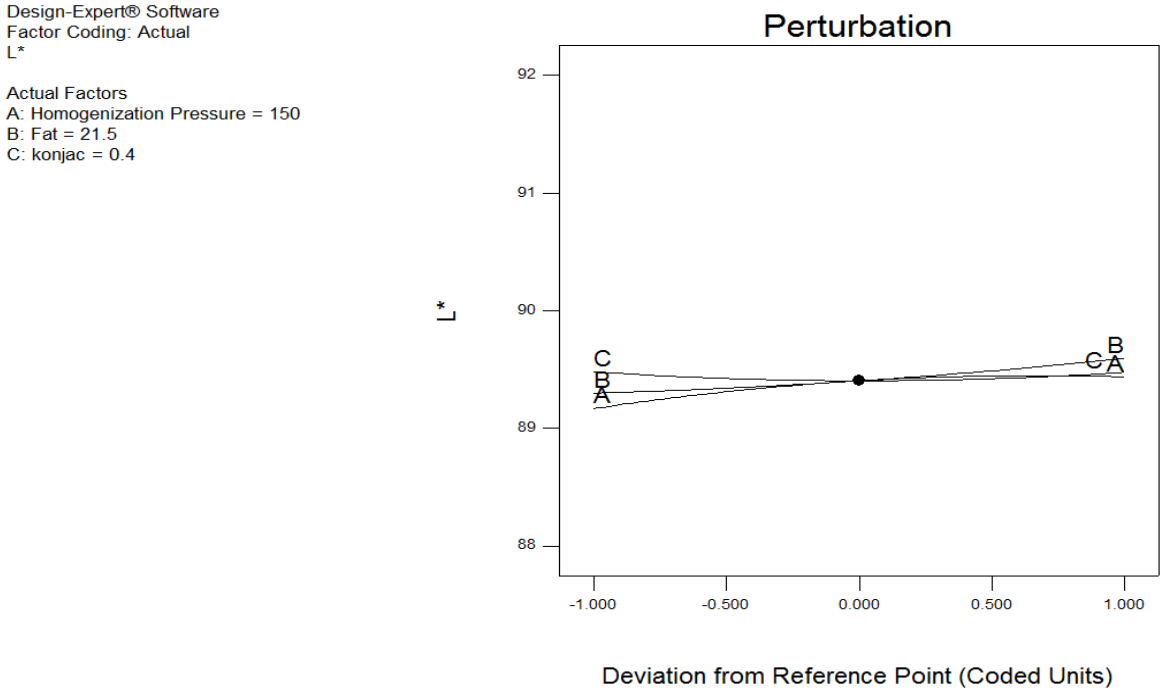
نتایج بررسی‌ها نشان داد که با افزایش میزان فشار هموژن و صمغ کنجاک چسبندگی نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. البته با افزایش همزمان فشار هموژن و چربی، چسبندگی نمونه‌ها به میزان بیشتری افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده اثر سینرزیستی چربی و فشار هموژن بر روی چسبندگی نمونه‌ها می‌باشد. همانطور که در بحث

سختی گفته شد، علت این امر افزایش ویسکوزیته محصول در اثر افزایش فشار هموژن می‌باشد (قدس روحانی،۱۳۸۵) که این افزایش ویسکوزیته منجر به افزایش چسبندگی نیز خواهد شد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش میزان چربی نیز مقادیر چسبندگی افزایش می‌یابد. در ارتباط با چسبندگی نمونه‌های خامه می‌توان گفت که با توجه به این که نیروی چسبندگی، نیروی لازم جهت غلبه بر نیروی جاذبه سطحی بین ذرات است، لذا هر چه ساختار و شبکه کریستال‌های چربی از سختی بیشتری برخوردار باشد، چسبندگی نیز بیشتر خواهد بود که نتایج حاصل از سختی نیز آن را تأیید می‌کند. همچنین چسبندگی نیز مانند سختی تحت تأثیر شبکه سه‌بعدی ایجاد شده توسط صمغ قرار می‌گیرد (معتمدزادگان و همکاران، ۱۳۹۲).

L^*

نتایج بررسی‌ها نشان داد که در بین اثرات خطی، متقابل و درجه دوم، اثر خطی چربی در سطح ۹۵ درصد و اثرات متقابل صمغ کنجاک- فشار هموژن و چربی- فشار هموژن در سطح ۹۹ درصد و چربی-صمغ کنجاک در سطح ۹۹ درصد بر روی L^* نمونه‌ها معنی‌دار بود در حالی که صمغ کنجاک و فشار هموژن به تنهایی هیچگونه اثر معنی‌داری بر L^* نمونه‌ها در روز اول نداشت. عدم معنی‌داری صمغ کنجاک و فشار هموژن به تنهایی و معنی‌دار شدن اثرات متقابل صمغ کنجاک- فشار هموژن بر روی L^* نمونه‌ها نشان دهنده اثر سینرژیستی آنها بر روی یکدیگر می‌باشد. شکل ۶ تأثیر چربی، صمغ کنجاک و فشار هموژن را بر روی L^* نمونه‌ها نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود با افزایش میزان فشار هموژن و صمغ کنجاک و چربی L^* نمونه‌ها مقدار کمی افزایش می‌یابد اگرچه همانطور که در قبل ذکر شد این تغییرات برای فشار هموژن و صمغ کنجاک معنی‌دار نیست. پراکندگی نور در هر سیستمی مربوط به ناهماهنگی مولکولی و یا حتی سطح اتم‌ها می‌باشد. تغییر در روشنایی تیمارها می‌تواند ناشی از تغییرات ساختار ناشی از اثرات تیمارها باشد که منجر به تغییرات متفاوت پراکنش نور می‌گردد (عظیمیان دهکردی، ۱۳۹۵).



شکل۵- تأثیر چربی، صمغ کنجاک و فشار هموژن بر روی L^* نمونه‌ها

a^*

نتایج بررسی‌ها نشان داد که هیچ کدام از اثرات خطی و درجه دوم و متقابل اثرات چربی، صمغ کنجاک و فشار هموژن بر روی a^* نمونه‌ها در معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$).

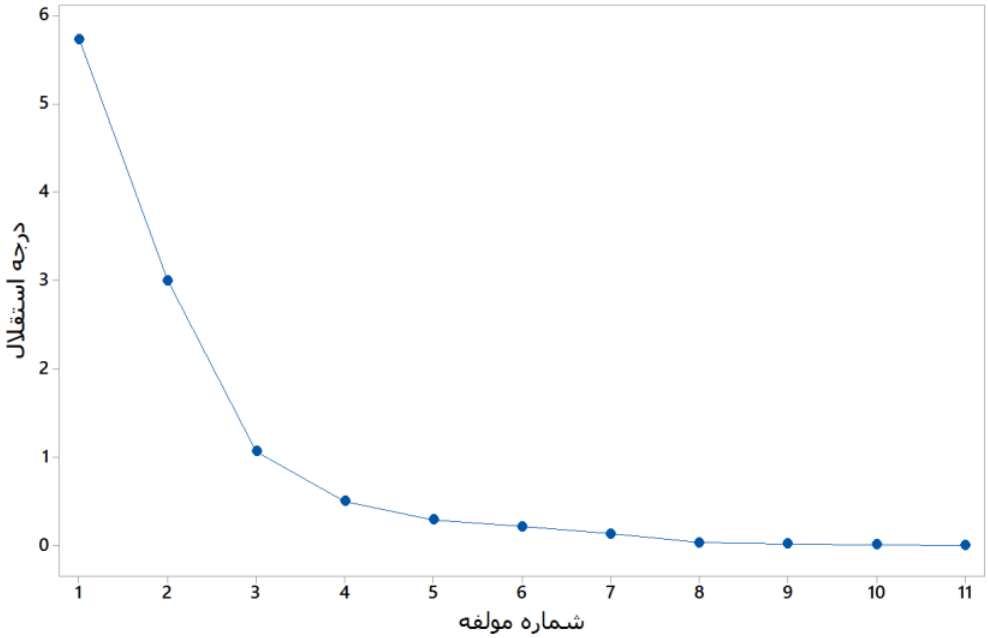
b^*

در بین تمامی مدل‌ها، مدل چندجمله‌ای درجه سه بهترین برازش را بر داده‌های مورد آزمون داشت که نشان‌دهنده رفتار غیرخطی اثرات چربی، صمغ کنجاک و فشار هموژن بر b^* نمونه‌ها می‌باشد. همچنین

نتایج بررسی‌ها نشان داد که در بین اثرات خطی، متقابل و درجه دوم، اثر خطی چربی و فشار هموژن و کلیه اثرات متقابل چربی، صمغ کنجاک و فشار هموژن در سطح ۹۹ درصد بر روی b* نمونه‌ها معنی‌دار بود به‌طوری که با افزایش چربی و فشار هموژن b* نمونه‌ها افزایش یافت. در حالی که صمغ کنجاک به تنهایی هیچگونه اثر معنی‌داری بر b* نمونه‌ها نداشت. میزان چربی بالاتر در خامه به دلیل رنگ زرد طبیعی چربی و همچنین کاهش پراکنش نور در اثر الحاق بیشتر گویچه‌های چربی منجر به افزایش b* (زردی) خامه گردید. عدم معنی‌داری صمغ کنجاک به تنهایی و معنی‌دار شدن اثرات متقابل آن با فشار هموژن و چربی بر روی b* نمونه‌ها نشان‌دهنده اثر سینرژیستی آن بر روی فشار هموژن و چربی می‌باشد که می‌تواند ناشی از تفاوت در اندازه گویچه‌های چربی و غلظت پروتئین‌های سرمی سطح گویچه‌های چربی در غلظت‌های متفاوت چربی، صمغ کنجاک و فشار هموژن باشد (عظیمیان دهکردی، ۱۳۹۵).

همبستگی بین خصوصیات حسی، فیزیکوشیمیایی و بافتی آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)

جهت بررسی رابطه بین پارامترهای حسی، فیزیکوشیمیایی و بافتی نمونه‌های خامه، نمودار پراکنش آن‌ها در فضای PC مورد استفاده قرار گرفت. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود از مجموع ۱۳ مؤلفه که با درجات استقلال متفاوت تعریف شده‌اند فقط دو مولفه دارای درجه استقلال بالاتر از یک می‌باشند که به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در نظر گرفته شدند. بنابراین مولفه‌های اصلی PCA داده‌های مربوط به ۲۰ نمونه خامه با دو مؤلفه اصلی به‌ترتیب ۴۵/۲۷٪ و ۲۷/۳۲٪ واریانس محاسبه شده‌اند.



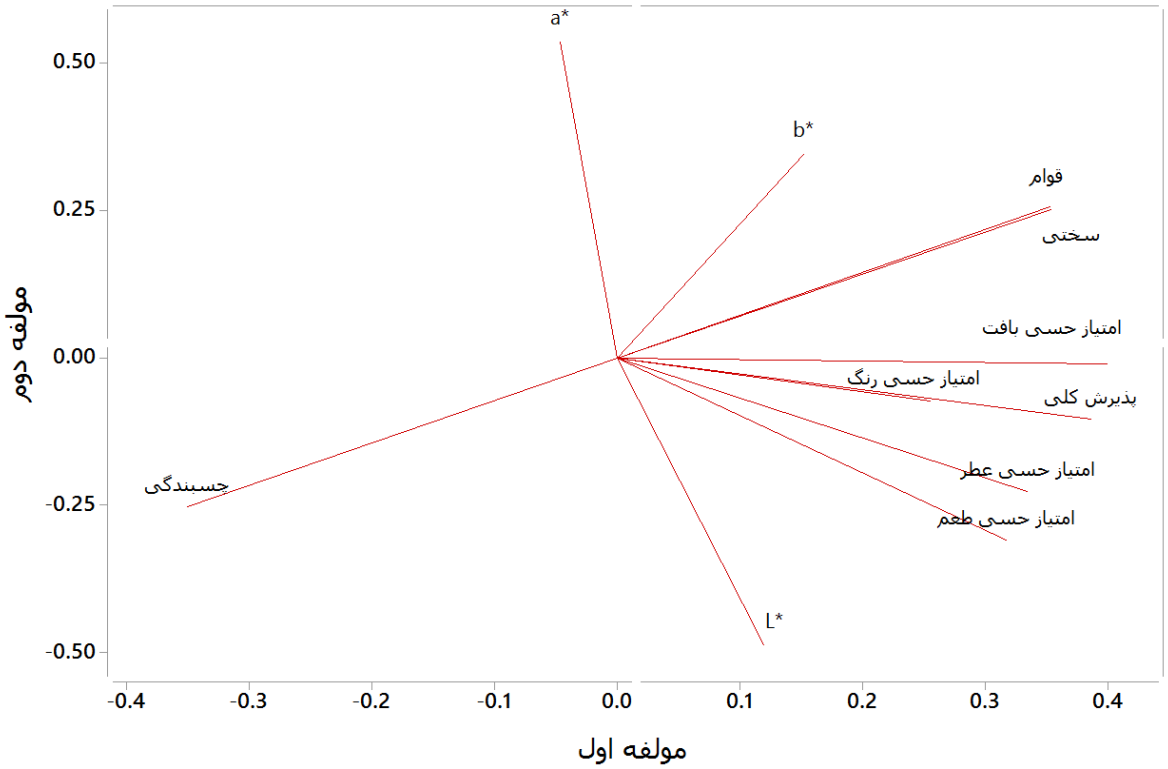
شکل ٦- مولفه‌های اصلی به‌عنوان تابعی از درجه استقلال نمونه‌های خامه کم‌چرب

شکل ۷ پراکنش پارامترهای حسی، فیزیکوشیمیایی و بافتی را بر مبنای دو مولفه اول و دوم نشان می‌دهد. همان‌طور که از موقعیت صفات در فضای PC مشاهده می‌گردد، صفات دستگاهی سختی و قوام در مجاورت هم و نزدیک به امتیاز حسی بافت قرار گرفته‌اند. همچنین امتیاز عطر، امتیاز طعم، امتیاز رنگ و پذیرش کلی نمونه‌ها در مجاورت هم بودند. مجاورت صفات حاکی از آن است که صفات اندازه‌گیری شده توسط ارزیاب‌ها تقریباً معادل پارامترهایی است که توسط روش‌های دستگاهی اندازه‌گیری شده‌اند. علاوه بر این، رابطه‌ای نزدیک بین سختی و قوام با پذیرش کلی نمونه‌ها وجود دارد که این امر نشان می‌دهد که از بین صفات اندازه‌گیری شده، این ویژگی‌ها دارای اهمیت بالاتری نسبت به سایر پارامترها برای پذیرش کلی مصرف‌کنندگان می‌باشد. Monaco و همکاران (۲۰۰۸) رابطه و همبستگی بالایی بین سختی بافت دستگاهی و سفتی بافت حسی در ۱۵ ماده غذایی مختلف جامد را گزارش نمودند. از بررسی ارتباط بین پارامترهای بافتی و ویژگی‌های حسی می‌توان در جهت بهینه‌سازی کمی و دستگاهی خصوصیات بافتی مواد غذایی استفاده نمود.

ضریب همبستگی میان داده‌های حسی و دستگاهی

ارتباط میان اندازه گیری‌های خصوصیات حسی، فیزیکوشیمیایی و بافتی نمونه‌های خامه در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به

جدول ۳ بالاترین میزان ارتباط بین سختی و امتیاز حسی بافت (یک ارتباط خطی مثبت قوی (۰/۷۷۴)) و قوام و امتیاز حسی بافت (یک ارتباط خطی مثبت قوی (۰/۷۶۰)) می‌باشد. از طرفی همبستگی پذیرش کلی با سختی (۰/۶۷۵) ، قوام (۰/۶۶۷)، و چسبندگی (۰/۷۰۹-) قابل توجه است بدین معنی است که افزایش سختی، قوام و کاهش چسبندگی منجر به افزایش پذیرش کلی نمونه‌ها می‌گردد. این داده‌ها نشان دهنده راهکاری مفید برای صنعت می‌باشد، چرا که استفاده از داده‌های دستگاهی در مقابل داده‌های حسی (نیازمند آموزش پانلیست و هزینه زیاد) از دقت بالاتری و با هزینه کمتری امکان‌پذیر است و می‌توان از این طریق میزان پذیرش مصرف کننده را تخمین زد (Gonzalez Vinas *et al*, 2007).



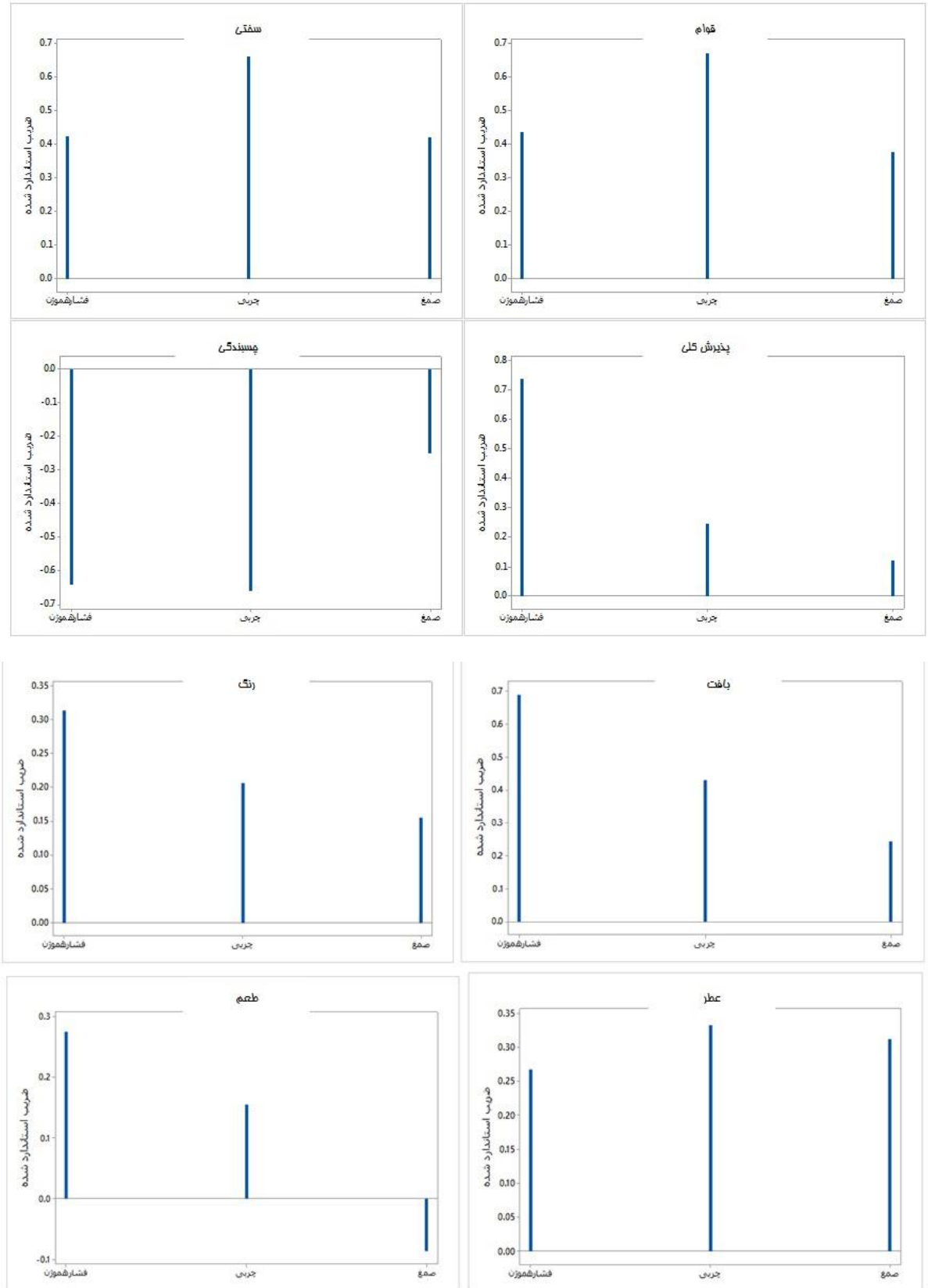
شکل ۷- سهم ویژگی‌های دستگاهی و حسی اندازه‌گیری شده در دو مولفه اصلی اول و دوم

جدول ۳- ضریب همبستگی میان داده‌های حسی و سفتی دستگاهی خامه کم‌چرب

	امتیاز حسی بافت	امتیاز حسی طعم	امتیاز حسی عطر	امتیاز حسی رنگ	پذیرش کلی
سختی	۰/۷۷۴	۰/۳۸۷	۰/۴۸۳	۰/۲۸۶	۰/۶۷۵
قوام	۰/۷۶۰	۰/۳۹۱	۰/۴۷۹	۰/۳۰۹	۰/۶۶۷
چسبندگی	-۰/۷۶۹	-۰/۳۵۰	-۰/۴۱۱	-۰/۳۵۲	-۰/۷۰۹
L*	۰/۲۵۵	۰/۶۶۳	۰/۴۲۷	۰/۱۶۵	۰/۴۵۰
a*	۰/۰۲۵	-۰/۴۷۹	-۰/۴۹۸	-۰/۲۳۰	-۰/۰۴۵
b*	۰/۲۵۸	۰/۰۳۹	۰/۲۵۱	۰/۳۵۲	۰/۱۰۷

ضریب اهمیت در رگرسیون PLS

شکل ۸ ضریب اهمیت تخمین زده شده به‌وسیله رگرسیون PLS بین تک‌تک متغیرهای مستقل (فشار هموژن، چربی و صمغ کنجاک) با متغیرهای وابسته صفات حسی و بافتی (سختی، قوام، چسبندگی، امتیاز بافت، امتیاز طعم، امتیاز عطر، امتیاز رنگ و پذیرش کلی) نمونه‌های خامه کم‌چرب را نشان می‌دهد. در این اشکال هرچه فاصله اثر به عدد یک نزدیک‌تر و یا بیشتر باشد اهمیت بالاتری پیدا می‌کنند.



شکل ۸- ضریب اهمیت تخمین زده شده بوسیله رگرسیون PLS بین متغیرهای مستقل با متغیرهای وابسته صفات حسی نمونه‌های خامه کم چرب

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد چربی بالاترین اهمیت مثبت را درخصوص سختی، قوام و امتیاز عطر و آروما دارد درحالی که بر چسبندگی دارای بالاترین اهمیت منفی است. فشار هموژن نیز بالاترین اهمیت مثبت را در خصوص امتیاز حسی بافت، امتیاز حسی رنگ و پذیرش کلی نمونه‌ها دارد.

نتیجه‌گیری

خصوصیات حسی و دستگاهی محصولاتی مانند خامه نقش مهمی در ویژگی‌های کاربردی و بازارپسندی محصول دارد. در خامه این ویژگی‌ها عمدتاً تحت تاثیر فرایند تولید، میزان چربی و افزودنی‌های به کار رفته در آن قرار می‌گیرد. در این پژوهش اثر مقادیر مختلف صمغ کنجاک، میزان چربی و فشار هموژن بر ویژگی‌های حسی، فیزیکوشیمیایی و بافتی خامه کم‌چرب توسط روش‌های دستگاهی و ارزیابی حسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که صمغ کنجاک به عنوان یک هیدروکلوئید می‌تواند به‌عنوان جایگزین مناسب چربی در خامه مورد استفاده قرار گیرد و خواص حسی، فیزیکوشیمیایی و بافتی مطلوبی را در آن ایجاد کند. همچنین نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین خصوصیات حسی و خصوصیات دستگاهی نشان داد که صفات اندازه‌گیری شده توسط ارزیاب‌ها تقریباً معادل پارامترهایی هستند که توسط روش‌های دستگاهی اندازه‌گیری شده‌اند. بنابراین روش‌های دستگاهی در بیشتر موارد به خوبی می‌تواند صفات حسی خامه را پیش بینی کند و جایگزین بخشی از روش‌های ارزیابی حسی گردد.

منابع

امیری، ص. و رادی، م. ۱۳۷۸ . بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی- چشایی خامه کم چرب تهیه شده از نشاسته گندم اصلاح شده ، هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی.

ایوبی،ا. و مظاهری تهرانی، م. ۱۳۹۴. بررسی امکان استفاده از آرد کامل سویا در فرمولاسیون خامه. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران. دوره ۱۲، شماره ۴۹، صفحه 103-112

عظیمیان دهکردی، ا.۱۳۹۵ . اثر صمغ فارسی و امولسیفایرها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خامه قنادی. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

غلامحسین پور، ع.ا. و مظاهری تهرانی، م. ۱۳۹۰. استفاده از کنسانتره پروتئینی شیر (MPC-85) در تولید خامه کم چرب و ارزیابی خواص فیزیکوشیمیایی و حسی آن. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران. جلد ۷. شماره ۲. ۱۷۸-۱۷۲.

فرحناکی، ع.، صفری، ز.، احمدی گورجی، ف. و مصباحی، غ. ر. ۱۳۹۰ . کاربرد ژلاتین به عنوان هیدروکلوئید جایگزین چربی در تولید خامه کم چرب. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۴۵-۵۲ ، دوره ۸، شماره ۳۱.

قدس روحانی، م. ۱۳۸۵. مبانی شیمی شیر، انتشارات پژوهش توس

قدس روحانی، م. ۱۳۸۵. اصول فراوری شیر و فراورده های شیری، انتشارات نشر آموزش کشاورزی

قدس روحانی، م.، مرتضوی، ع . مظاهری تهرانی، م. رضوی، م. ع. ۱۳۸۸. بررسی اثر شرایط فرآیند بر ویژگی های شیمیایی و حسی پنیر فتای فراپالایش شده تولیدی از مخلوط شیر گاو و شیر سویا. فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران. ۶ (۱) : ۸۷- ۹۸

محمدی، س. م. ۱۳۹۰. تأثیرامواج فراصوت، هموژنیزاسیون و تنش‌های برشی بر خواص فیزیکوشیمیایی صمغ کربوکسی متیل سلولز، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

محروقی، م.، قدس روحانی، م. رشیدی، ح. ۱۳۹۶. بررسی افزودن هیدروکلوئیدهای کنجاک و زانتان بر ویژگی های بافتی پنیر پروسس بخش پذیر. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۳۰۶- ۲۹۳، دوره ۱۴، شماره ۶۸.

معتمدزادگان، ع.، شهیدی، ا.، حسینی پرور، ه. و ابدالی، س.۱۳۹۲. بررسی اثر نوع ژلاتین بر ویژگی‌های کاربردی ماست قالبی فاقد چربی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، شماره ۴۷، صفحات ۲۲۱-۲۳۰.

Bahramparvar, M. and mazaheri Tehrani, M. 2011. Application and function of stabilizers in ice cream. *Food reviews international*.27(4):389-407.

Chua, M., Chan, K., Hocking, T.J., Williams, P. A., Perry, C. J. and Baldwin, T.C .2012. Methodologies for the extraction and analysis of konjacglucomannan from corms of Amorphophalluskonjac K. Koch. *Carbohydrate Polymers* 87(3) 2202–2210.

Duffy, V.B., and Anderson, G.H. 1998. Position of the american dietetic association: use of nutritive and nonnutritive sweeteners. *Journal of the American Dietetic Association*, 98, 5, 580-587.

Emam jome, Z., Mousavi, M.E. and Ghorbani, A.V. 2008. Effect of WPC addition on the physical properties of homogenized sweetened dairy cream. *International Journal of Dairy Technology*. 67(2), 183-191.

Fenelon, M., Tobin, A., Fitzsimons, J., and Kelly, A. 2011. The effect of native and modified konjac on the physical attributes of pasteurized and UHT treated skim milk. *International Dairy Journal*, 21, 790-797.

GonzalezVinas, MA. Ballesteros, C., Martín-Alvarez, PJ. and Cabezas, L.. 2007. Relationship between sensory and instrumental measurements of texture for artisanal and industrial Manchego cheeses. *Journal Sens Stud*, 22, 462– 476.

Koca, N., & Metin, M. 2004. Textural, melting and sensory properties of Dairy Jornal, 14 (4) 365 - 31

Liu, H., Xu, X.M. and Guo, S.h.D. 2007. Rheological, texture and sensory properties of lowfat mayonnaise with different fat mimetics. Food Science and Technology; 946-954.

Merrill, R.K., Oberg, C. and McMahon, D. 1994. A method for manufacturing reduced fat Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci*. 77: 1783–1789.

Monaco, DI., Cavella,S and Masi,P. 2008. Predicting sensorycohesiveness, hardness and springiness of solid foods from instrumental measurements. University of Naples Federico II, Italy University of NaplesFederico II, Italy.

Mulder, H. and Walstra, P. 1974. The Milk Fat Globule. Emulsion as Applied to Milk Products and Comparable Foods. Center for agricultural publishing and documentation, *Wageningen*, the Netherlands.

Sajedi, M., Nasirpour, A., Keramat, J. and Desobry, S. 2014. Effect of modified whey protein concentrates on physical properties and stability of whipped cream. *Food Hydrocolloids.* 36: 93 – 101.

Smith, A.K., Kakuda,Y., and Goff, H.D. 2000. Changes in protein and fat structure in whipped cream caused by heat treatment and addition of stabilizer to the cream. *Food Research International*, 33, 697-706.

Takigami S, Takiguchi T, Phillips G O. Microscopical studies of the tissue structure of konjac tubers.1997. Food Hydrocolloids; 11, 479-484

Tenenhaus, M., Pages, J., Ambroisine, L. and Guinot, C.. 2005. PLS methodology to study relationships between hedonic judgments and product characteristics. *Food Quality and Preference*, 16, 315-325.

Worrasinchai, S., Suphantharika, M., Pinjai, S. and Jammong, P. 2006. β-Glucan prepared from spent brewer's react as a fat replacer in mayonnaise. *Food Hydrocolloids;* 20:68- 8.

Zhang, L., Xue, Y., Xu, J., Li, Z. and Xue, C. 2015. Effects of deacetylation of konjac glucomannan on Alaska Pollock surimi gels subjected to high-temperature (120℃) treatment, *Food Hydrocolloids*, 43, 125-131.

Zhao, Q. Z., Zhao, M. M., Li, J. R., Yang, B., Su, G. W., Cui, C. and Jiang, Y. M. 2009. Effect of Hydroxypropyl Methylcellulose on the Textural and Whipping Properties of Whipped Cream. *Food Hydrocolloids*, 23, 2168-2173.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 107- 120

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۲۰-۱۰۷

Evaluation and comparison of sensory, color, and rheological properties of low fat cream containing Konjac gum by Principal component analysis (PCA) and Partial least squares (PLS) regression

S. A. Mohammadi[1], M, Ghods Rohani[2*], M. Najaf Najafi[2], M. Kashaninejad[3]

Received: 2019.06.22
Accepted: 2020.03.31

Introduction: In recent years, with increasing public awareness about the harmful effect of fat consumption, demand for low-fat dairy products has increased significantly. On the other hand, fat reduction reduces the rheological and sensory properties of food, such as taste, flavor, texture and mouth feel. Therefore, it is difficult to produce a low-fat product with the same characteristics of high-fat product. In order to imitate different functions of fat in low-fat foods, such as consistency of the product, mouth feel, color, flavor and rheological properties should be considered. Fat substitutes are macromolecules that are used to provide all or part of the fat functions in a food product and produce less calorie intake than fat. Konjac is a neutral and polysaccharide hydrocolloid that is used as a gelling agent in traditional Asian foods due to its high ability in absorbing water. In addition, it is one of the most viscous dietary fiber. The use of konjac in western countries is expanding as a component in functional foods. Konjac can therefore be used as an appropriate substitute for fat in dairy products such as cream, which in addition to reducing the amount of fat can maintain and even improve the physical and other properties of the product. The purpose of this study was to produce low-fat cream with good nutritional value, variety in formulation, as well as lower prices.

Materials and methods: Fresh cream of 30% fat and pasteurized milk were purchased from Razavi Dairy Company and konjac gum was provided from Food Chem (China). First, the gum was mixed with the pasteurized milk at 45°C. Then the mixture was added to the cream of 30% fat to reach the fat content of 18– 25%. The final mixture, after homogenization in the different specified values of pressure, was pasteurized at 85°c for 15 min, and then packed in polyethylene bottles and kept in the refrigerator (4ºC) until theday of experiment. The effect of amounts of Kanjac gum (0.2- 0.6), the amount of fat (18- 25%) and homogenization pressure (100- 200 bar) on the sensory, color, and rheological characteristics of low-fat cream were investigated

Results and discussions: The results of evaluating the characteristics measured using the response surface methodology indicated that the hardness, consistency, adhesiveness, b*, sensory score of texture, sensory score of aroma and overall acceptance of samples significantly increased with an increasing homogenization pressure. Also increasing fat content caused an increasing the adhesiveness, L*, b*, sensory score of taste, sensory score of aroma and total acceptance of samples. Increasing the konjac gum content also increased hardness, consistency, adhesiveness, and sensory score of texture. The distribution of responses in the principal component also showed that the instrumental measures like hardness and consistency were close to the sensory score of texture of the samples. This proximity of these attributes indicated that the properties measured by the panelists were approximately equivalent to the parameters which were measured by instrumental methods. Also, the results of the correlation coefficient between sensory and instrumental measurements showed that the highest correlation between hardness and sensory score of texture (a strong positive linear relationship (0.774), and between the consistency and sensory score of texture (a strong positive linear relationship (0.760)). Rheological and sensory properties in products such as cream, play an important role in the processing and marketability of the product. In cream, these characteristics are mainly influenced by the method of production, the amount of fat, and potential additives used. The results of this study showed that konjac gum as a hydrocolloid can be used as a proper substitute for fat in the cream, and with suitable sensory, color and rheological properties. The results of this study about the correlation between sensory properties and instrumental specification showed that the properties measured by the panelists are approximately equivalent to the parameters measured by the instrumental methods. Therefore, the results of instrumental methods in most cases can well predict the sensory properties of the cream and then can be replaced it.

Keywords: Principal component analysis, Low fat cream, partial least squares regression, Konjac gum, Homogenization pressure

1. MSc of Novel Dairy Products Manufacture, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
2. Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
3. PhD student of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.
(* Corresponding Author: Qhods@yahoo.com)

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 121- 132

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۳۲-۱۲۱

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی آثار تغییرات دمایی بر پارامترهای سینتیکی-اکسایشی تری‌آسیل‌گلیسرول‌های زیتون، کانولا و کنجد در حضور آنتی‌اکسیدان سزامول

محدرضا تورانی[۱]- رضا فرهوش[۲]*- محمدتقی گلمکانی[۳]- علی شریف[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۱

چکیده

در این پژوهش شاخص‌های سینتیکی-اکسایشی تری‌آسیل‌گلیسرول‌های زیتون، کنجد و کانولا در حضور سطوح غلظتی ۰/۰۱ تا ۰/۱۶ درصد سزامول و دماهای ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که افزایش دما عدد پراکسید متناظر با طول دوره اکسایش کند (PV_{IP}) را برای تری‌آسیل‌گلیسرول‌های کنجد و کانولا کاهش داده است، لیکن تغییرات این شاخص برای تری‌آسیل‌گلیسرول‌های زیتون بی‌معنی بود. ضرایب حرارتی به‌دست آمده در کلیه غلظت‌های سزامول برای تری‌آسیل‌گلیسرول‌های روغن زیتون نسبت به دو روغن دیگر کمتر بود که نمایانگر پایداری حرارتی بیشتر این روغن در حضور این آنتی‌اکسیدان است. ثابت سرعت مصرف سزامول (k_S) برای تری‌آسیل‌گلیسرول‌های زیتون، کنجد، و کانولا در غلظت ۰/۰۱ درصد و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب برابر با ۱/۷۲، ۱/۹۲، و ۲/۳۴ h^{-1} بود که با افزایش دما به شکل محسوسی این ثابت افزایش یافت، به‌طوری که روند تغییرات این شاخص برای سامانه‌های تری‌آسیل‌گلیسرولی غیراشباع‌تر بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: اجماع کلوئیدی، سزامول، سینتیک

مقدمه

اکسایش لیپیدی یکی از اساسی‌ترین عوامل مؤثر بر کاهش کیفیت یا زوال روغن‌های خوراکی است. این واکنش همراه با تولید ترکیبات مضری است که ممکن است سلامت مصرف‌کننده را تهدید نماید (Sanders, 1989؛ Frankel, 1998؛ Shahidi, 2005). پارامترهای زیادی بر شدت واکنش اکسایش اثر گذارند که دما یکی از مهمترین این فاکتورهاست (Shahidi, 2005). افزایش دما روند تغییرات ناشی از اکسایش را تسریع می‌نماید، ضمن آنکه مدت زمان ماندگاری روغن‌ها را به شدت کاهش می‌دهد (Farhoosh, 2007؛ Mahdavianmehr *et al.*, 2016). روش‌های بی‌شماری برای به تعویق انداختن اکسایش روغن‌ها به‌کار گرفته شده است که یکی از مهمترین و پرکاربردترین این روش‌ها، افزودن آنتی‌اکسیدان‌هاست. امروزه آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی به دلیل ایمنی و ویژگی‌های مطلوب حسی بیشتر در کانون توجه قرار گرفته‌اند (Frankel, 1998؛ Pérez-Jiménez *et al.*, 2005؛ Omar, 2010). سزامول به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی ارزشمند ممکن است، کمک به‌سزایی در تأمین سلامت روغن‌های خوراکی فرآهم آورد. سزامول که آنتی‌اکسیدانی نسبتاً غیرقطبی است از روغن کنجد استحصال می‌شود (Hayes *et al.*, 2011؛ Hwang *et al.*, 2013). این آنتی‌اکسیدان که دارای خاصیت کریستالی نیز می‌باشد، دارای یک عامل فنلی به همراه یک گروه عاملی بنزودی‌اکسال[۵] است (Shahidi, 2005). هر ملکول سزامول ضمن دارا بودن سرعت واکنشگری مناسب، قادر است دو رادیکال آزاد موجود در محیط را جمع‌آوری نماید که یکی از آن‌ها مربوط به خود ملکول سزامول و دیگری مربوط به رادیکال باقی‌مانده از آن می‌باشد. لذا این آنتی‌اکسیدان طبیعی، قدرت مهارکنندگی فوق‌العاده‌ای از خود نشان می‌دهد (Kurechi *et al.*, 1980). سزامول به‌دلیل دارا بودن ویژگی‌های قابل توجه دارویی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تحقیقات علوم پزشکی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گونه‌های فعال اکسیژن که به‌طور پیوسته در اثر واکنش‌های متابولیکی در موجودات زنده تشکیل می‌شوند، ممکن است سبب اکسایش و صدمه به ماکروملکول‌های سلولی و بیماری‌های مرتبط مانند تصلب شرایین، سرطان و سایر بیماری‌ها

[۱]، ۲ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار، استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
(* - نویسنده مسئول: Email: rfarhoosh@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.80211
5 Methylenedioxy

شوند که سزامول قادر است این واکنش‌های مخرب را تا اندازه‌ای محدود نماید (Balsano & Alisi, 2009).

تعیین داده‌های سینتیکی حرارتی و ارزیابی شاخص‌های ترمودینامیکی از دیرباز برای شناسایی بهتر مکانیسم‌ها و رویدادهای ناشی از افزایش دما مورد استفاده قرار گرفته است. بررسی متغیرهای دما و زمان در کنار یکدیگر و تلفیق این مؤلفه‌ها، اطلاعات ارزشمندی نسبت به آثار محیطی بر مواد غذایی فراهم می‌آورد (Go´mez-Alonso *et al*., 2004). این پارامترها به‌ویژه برای روغن‌های خوراکی از اهمیت بسیاری برخوردارند. تحقیقات بی‌شماری در زمینه آثار تغییرات دمایی بر عملکرد آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی انجام گرفته است که عمده‌ترین آن‌ها مبتنی بر پایش شاخص‌های اکسایشی به‌خصوص اندازه‌گیری محصولات اولیه اکسایش و بررسی نقش آنتی‌اکسیدان‌ها در افزایش زمان ماندگاری روغن‌های پر مصرفی همچون زیتون، کانولا، سویا، کنجد و ماهی بوده است (Farhoosh & Hoseini-yazdi, 2014؛ Mahdavianmehr *et al*., 2016؛ Farhoosh, 2018؛ Farhoosh *et al*., 2008). از آنجایی که فساد شیمیایی، عمده‌ترین فساد روغن‌های خوراکی به‌شمار می‌آید و با تأکید بر این که مصرف‌کننده با خصوصیات این نوع فساد کمتر آشنایی دارد، نقش دانشمندان غذایی در حوزه تأمین سلامت روغن‌های خوراکی بیش از هر ماده غذایی دیگری پررنگ می‌گردد. از این رو، اطلاعات سینتیکی- حرارتی به‌دست آمده به‌خصوص در حضور آنتی‌اکسیدان طبیعی مانند سزامول که از اقبال مناسبی برای مصرف برخوردار است، ممکن است کمک به‌سزایی در تبیین شرایط دمایی و زمان نگهداری روغن‌های خوراکی گوناگون در حضور این آنتی‌اکسیدان ارزشند فراهم آورد. برای نیل به این هدف، سه روغن کنجد، زیتون و کانولا که به لحاظ درجه غیراشباعیت با یکدیگر متفاوت بودند انتخاب گردیدند و ثابت سرعت اکسایش آن‌ها در حضور غلظت‌های مختلف سزامول و در دماهای بالا (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) مورد بررسی قرار گرفت تا ضمن تعمیم این نتایج به دمای محیط (شکل ۱)، عملکرد سزامول در این روغن‌ها و زمان ماندگاری آن‌ها در این دما شبیه‌سازی شود.

مواد و روش‌ها

روغن‌های کنجد، کانولا و زیتون مورد استفاده در این پژوهش از شرکت کشت و صنعت گلبرگ بهاران-کرج تهیه گردیدند. این روغن‌ها کاملا تصفیه شده و فاقد هرگونه آنتی‌اکسیدان افزودنی بودند. کلیه روغن‌ها بلافاصله پس از تولید خریداری گردیدند و تا زمان انجام پژوهش در تاریکی و دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سایر ترکیبات و مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمون‌های گوناگون این پژوهش، ضمن دارا بودن تاریخ مصرف مناسب، از خلوص بالایی برخوردار بودند و از شرکت‌های سیگما و مرک تهیه گردیدند.

عملیات تخلیص روغن‌ها

روغن‌ها به‌صورت طبیعی یا ناشی از فرآیندهای تصفیه‌ای که بر آن‌ها اعمال می‌شود، حاوی ترکیبات کم‌مقداری[1] هستند که ممکن است به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر شدت اکسایش اثرگذار باشند. بدیهی است، حذف این ترکیبات تضمین‌کننده بررسی صحیح عملکرد آنتی‌اکسیدانی سزامول در سامانه‌های لیپیدی مورد مطالعه است. به‌منظور حذف یا کاهش قابل ملاحظه مقادیر ترکیبات فنلی، توکوفرول‌ها، هیدروپراکسیدها و فلزات موجود، خالص‌سازی روغن‌ها توسط روش کروماتوگرافی جذبی و بدون استفاده از حلال انجام پذیرفت (Toorani *et al*., 2019؛ Yoshida *et al*., 1992). به اختصار، از دو ستون شیشه‌ای که به‌صورت سری (قطر داخلی ۲۹ میلی‌متر و ارتفاع ۳۶ سانتی‌متر) به هم متصل بودند استفاده گردید. هر ستون از ۷۰ گرم آلومینا یا اکسید آلومینیوم و ۱۰ گرم سیلیکاژل که در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت فعال شده بود، به‌طور کاملاً یکنواخت پر گردید. تقریباً ۱۲۰ گرم از هر روغن به آرامی به ستون اول افزوده شد. به‌منظور تسهیل خروج روغن از ستون کروماتوگرافی، از پمپ خلاء استفاده گردید. محتویات خروجی از ستون اول به ستون دوم منتقل و مجددا چرخه قبل تکرار گردید. راندمان تخلیص یک سوم روغن مصرفی بود. تری‌آسیل‌گلیسرول‌های خالص تا زمان انجام آزمون‌ها در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و فضاسر[2] محفظه‌های نگهداری توسط گاز ازت پر گردیدند. حداکثر زمان نگهداری، یک هفته بود.

آماده‌سازی نمونه‌ها و ایجاد شرایط اکسایش مهار شده

فرآیند اکسایش مهار شده سامانه‌های لیپیدی مورد مطالعه، با افزودن غلظت‌های مختلف سزامول در شرایط تسریع شده حرارتی پیگیری شد. به اختصار، تری‌آسیل‌گلیسرول‌ها خالص هر روغن (۵ گرم) که محتوی غلظت‌های مختلف سزامول شامل ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۸ و ۰/۱۶ درصد وزنی/وزنی (و یا ۰/۷۲۴، ۱/۴۴۸، ۲/۸۹۶، ۵/۷۹۲ و ۱۱/۵۸۴ میلی‌مول) بود، به درون پتری دیش‌های جداگانه با قطر ۵ سانتی‌متر انتقال یافت. از استون به‌عنوان حلال برای الحاق سزامول به سامانه‌های لیپیدی استفاده گردید که در نهایت توسط گاز نیتروژن از سامانه زدوده شد. ارزیابی فرآیند اکسایش تسریع شده در دمای ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در آون و از طریق پایش انباشتگی هیدروپراکسیدها (عدد پراکسید) طی زمان انجام پذیرفت. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، مختصات طولی محل تلاقی دو خط

1 Miner components

2 Head space

برازش یافته بر منحنی‌های آغازین و انتشار نشان‌دهنده طول دوره القاء (IP)[1] است. سایر شاخص‌ها توسط علائم و معادلات ارائه شده در این شکل محاسبه گردیدند (Farhoosh & Hoseini-Yazdi, 2013).

ترکیب اسیدهای چرب روغن‌ها

تعیین ترکیب اسیدهای چرب روغن‌ها توسط دستگاه گازکروماتوگراف (Hewlett-pockard، Hp-5890، آمریکا) و با روش استر متیل اسیدهای‌چرب انجام پذیرفت. به اختصار، حدود ۰/۳ گرم روغن مورد آزمایش در ۷ میلی‌لیتر ان-هگزان حل گردید و ۲ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید پتاسیم متانولی ۲ نرمال به آن افزوده شد. مخلوط حاصل به مدت نیم ساعت در حمام آب گرم ۵۰ درجه سانتی‌گراد گرم‌خانه‌گذاری گردید. با تکمیل فرآیند متیله‌سازی، حدود ۴ میکرولیتر از نمونه به دستگاه گازکروماتوگراف تزریق شد. این دستگاه مجهز به آشکارساز یونی شعله‌ای و ستون CP-FIL 88 با اندازه قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و طول ۶۰ متر بود. از نیتروژن به‌عنوان گاز حامل و با سرعت جریانی معادل ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد. در نهایت، منحنی به‌دست آمده از دستگاه با منحنی استاندارد مورد مقایسه قرار گرفت تا نوع و مقدار هر اسید چرب سازنده روغن بر حسب درصد تعیین گردد (AOCS, 1989). ترکیب اسیدهای چرب روغن‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نمایش داده شده است.

آزمون DPPH[2]

به‌منظور بررسی عملکرد آنتی‌اکسیدانی سزامول، توانایی این آنتی‌اکسیدان در جمع‌آوری رادیکال‌های DPPH مورد پایش قرار گرفت (Sanchez-Moreno *et al.*, 1998). به اختصار، ۲ میلی‌لیتر از غلظت‌های مختلف متانولی سزامول (۱ تا ۱۰ میکروگرم/ میلی‌لیتر) با ۲ میلی‌لیتر محلول متانولی ۰/۱ میلی‌مول DPPH مخلوط گردیدند. پس از یک ساعت گرم‌خانه‌گذاری در تاریکی و دمای محیط، جذب رقت‌های مختلف در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت گردید. درصد مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد بر حسب معادله ذیل محاسبه شد.

$$\%I = \frac{A_C - A_S}{A_C} \times 100 \qquad (۱)$$

که I% درصد مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH، Ac جذب شاهد و As جذب نمونه است. پس از رسم نمودار درصد مهارکنندگی در برابر غلظت آنتی‌اکسیدان، بهترین معادله خط[3] روی داده‌ها برازش شد و در نهایت غلظتی که در آن سزامول قادر به مهار ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد بود به عنوان IC_{50} محاسبه گردید.

عدد پراکسید (PV)[4]

با توجه به مقدار پیشرفت اکسایش، بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۳ گرم نمونه روغن در لوله‌های آزمایش ۱۵ میلی‌لیتری وزن شد و با ۹/۸ میلی‌لیتر حلال کلروفرم: متانل (نسبت ۷ : ۳) مخلوط و به مدت ۳ ثانیه هم زده شد. مقدار۵۰ میکرو لیتر محلول آبی تیوسیانات آمونیوم (۳۰ درصد وزنی/ حجمی) به مخلوط اضافه و به مدت ۵ ثانیه مجددا هم‌زده شد. مقدار ۵۰ میکرو لیتر محلول کلرید آهن II {(۴ گرم باریم کلرید دهیدراته در ۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه) + (۰/۵ گرم سولفات آهن هفت‌آبه در ۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه) + (۲ میلی‌لیتراسید هیدروکلریک ۱۰ نرمال) محلول تهیه شده برای حذف باریم سولفات فیلتر گردید} به مخلوط اضافه گردید و پس از گذشت پنج دقیقه، جذب نمونه در طول موج ۵۰۰ نانومتر در برابر شاهد تعیین گردید. اعداد پراکسید بر حسب میلی‌اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن ($meq\ O_2/kg\ oil$)[5] گزارش شد (Shanta & Decker, 1994).

محاسبه داده‌های سینتیکی

واکنش اکسایش از نوع واکنش‌های مرتبه صفر است که در آن سرعت واکنش مستقل از غلظت واکنش دهنده‌ها می‌باشد و توسط معادله ۲ بیان می‌شود.

$$\int_{PV_0}^{PV_{IP}} dPV = K \int_{0}^{IP} dt \qquad (۲)$$

که PV_0 عدد پراکسید در زمان صفر، PV_{IP} عدد پراکسید متناظر با طول دوره IP، dt تغییرات زمان و k ثابت سرعت اکسایش می‌باشد. با توجه به اینکه PV_0 تقریبا برابر با صفر است، معادله زیر پس از تبدیل و مرتب‌سازی از معادله فوق به‌دست می‌آید.

$$PV_{IP} = K\,(IP) \qquad (۳)$$

به‌صورت غیرمستقیم از ارتباط لگاریتم دوره اکسایش کند در مقابل دمای مطلق (رابطه ۴)، زمان پایداری اکسایشی سامانه‌های لیپیدی در دماهای گوناگون قابل محاسبه است (شکل ۱).

$$\mathrm{Log}\,(IP) = A\,(T) + B \qquad (۴)$$

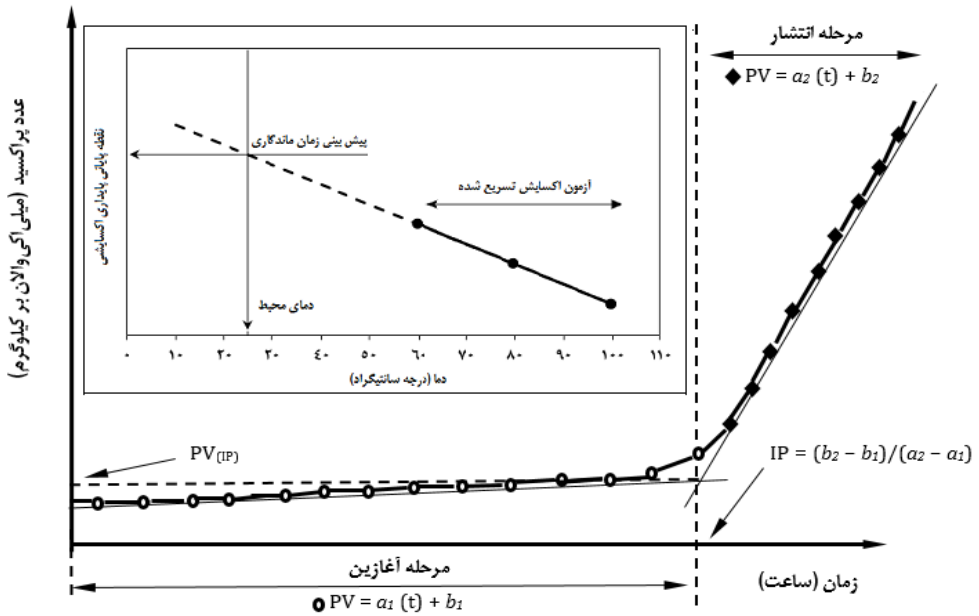
که A و B به‌ترتیب شیب و عرض از مبدأ معادله می‌باشند.

1 Induction period (IP)
2 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)
3 Best fit line
4 Peroxide value (PV)
5 Milliequivalent oxygen per kilogram oil (meq O2/kg oil)

جدول ۱- ترکیب اسیدهای چرب روغن‌های کنجد، زیتون و کانولا

اسیدهای چرب (درصد)	نماد شیمیایی	روغن‌ها		
		کنجد	زیتون	کانولا
لوریک	C۱۲:۰	۰/۳۵± ۰/۰۱[a]	۰/۴۴± ۰/۰۸[a]	–
میریستیک	C۱۴:۰	۰/۴۸± ۰/۰۵[b]	–	–
پالمتیک	C۱۶:۰	۱۲/۸۵± ۰/۳۶[b]	۱۴/۱۶± ۰/۷۵[a]	۹/۴۷± ۰/۹۰[c]
پالمیتولئیک	C۱۶:۱	۰/۱۲± ۰/۰۳[c]	۰/۷۳± ۰/۰۳[a]	۰/۵۸± ۰/۰۳[b]
استئاریک	C۱۸:۰	۲/۸۸± ۰/۰۲[a]	۱/۲۸± ۰/۰۴[b]	۱/۲۹± ۰/۰۱[b]
اولئیک	C۱۸:۱	۳۱/۹۷± ۰/۶۹[c]	۵۷/۳۸± ۰/۸۳[a]	۴۳/۱۶± ۰/۷۵[b]
لینولئیک	C۱۸:۲	۴۹/۱۱± ۰/۷۹[a]	۲۱/۸۶± ۰/۵۶[c]	۳۳/۹۱± ۰/۶۲[b]
لینولنیک	C۱۸:۳	۱/۳۷± ۰/۱۸[c]	۳/۱۹± ۰/۲۵[b]	۹/۹۷± ۰/۳۵[a]
آراشیدیک	C۲۰:۰	۰/۴۹± ۰/۰۶[b]	۰/۵۲± ۰/۱۰[b]	۰/۹۲± ۰/۰۸[a]
بهنیک	C۲۲:۰	۰/۳۷± ۰/۱۰[b]	۰/۱۷± ۰/۰۴[c]	۰/۶۹± ۰/۰۳[a]
اسیدهای‌چرب اشباع	SFA[1]	۱۷/۴۲± ۰/۳۱[a]	۱۶/۵۷± ۰/۴۵[a]	۱۲/۳۷± ۰/۴۲[b]
اسیدهای‌چرب تک‌غیراشباع	MUFA[2]	۳۲/۰۹± ۰/۳۴[c]	۵۸/۱۱± ۰/۲۷[a]	۴۳/۷۴± ۰/۳۱[b]
اسیدهای چرب چندغیراشباع	PUFA[3]	۵۰/۴۸± ۰/۲۳[a]	۲۵/۳۲± ۰/۱۷[c]	۴۳/۸۸± ۰/۳۳[b]
اسیدهای چرب چندغیراشباع/اشباع	PUFA/SFA	۲/۹۰± ۰/۰۹[b]	۱/۵۳± ۰/۱۶[c]	۳/۵۵± ۰/۱۱[a]
اسیدهای چرب تک‌غیراشباع/چندغیراشباع	MUFA/PUFA	۰/۶۴± ۰/۱۲[c]	۲/۲۹± ۰/۱۰[a]	۰/۹۹± ۰/۱۳[b]

میانگین‌های (± انحراف استاندارد) دارای حروف لاتین غیرمشترک در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($P < ۰/۰۵$).



شکل ۱- نحوه محاسبه دوره القای اکسایش لیپیدی و زمان ماندگاری بر حسب انباشتگی هیدروپراکسیدها

1 Saturated fatty acids (SFA)
2 Monounsaturated fatty acids (MUFA)
3 Polyunsaturated fatty acids (PUFA)

سرعت مصرف آنتی‌اکسیدان در مرحله آغازین اکسایش که از واکش مرتبه اول پیروی می‌کند توسط معادله ۵ قابل محاسبه است.

$$-\int_{C_0}^{C_{Cr}} \frac{dC}{C} = \int_{IP_C}^{IP} k_S \, dt \qquad (۵)$$

در این معادله، dC تغییرات غلظت آنتی‌اکسیدان، C_0 غلظت ابتدایی آنتی‌اکسیدان، C_{Cr} حداقل غلظت آنتی‌اکسیدان برای به‌روز فعالیت آنتی‌اکسیدانی، dt تغییرات زمان، IP_C طول دوره اکسایش کند بدون حضور آنتی‌اکسیدان و k_S ثابت سرعت مصرف آنتی‌اکسیدان می‌باشد. معادله فوق پس از تبدیل و مرتب‌سازی به شکل معادله زیر بیان می‌شود.

$$\mathrm{Ln}\,(C_0) = k_S\,(IP - IP_0) + \mathrm{Ln}\,(C_{Cr}) \qquad (۶)$$

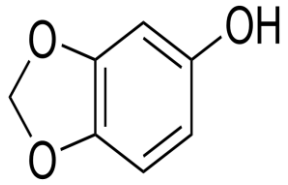
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

کلیه آزمون‌ها در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در سه تکرار، سه سطح دمایی (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد)، پنج سطح غلظتی (۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۶۰۰ پی‌پی‌ام) و سه روغن مختلف (کنجد، زیتون و کانولا) انجام شد. میانگین صفات با نرم‌افزار آماری SPSS و بر اساس آزمون آماری دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

قدرت مهارکنندگی سزامول توسط آزمون DPPH

اختمان شیمیایی ملکول سزامول در شکل ۲ نمایش داده شده است. این ملکول دارای یک گروه هیدروکسیل در موقعیت پارا می‌باشد که توسط دو اتم اکسیژن موجود در ساختمانش تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Erkan *et al*., 2008).



شکل ۲- ساختمان شیمیایی سزامول

مکانیسم اصلی فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های فنلی، جذب رادیکال‌های آزاد توسط انتقال مستقیم اتم هیدروژن (HAT)[1] است که سایر مکانیسم‌ها، مانند انتقال تک الکترون نیز ممکن است در این زمینه اثرگذار باشند (Wright *et al*., 2001). نتیجه آزمون مهارکنندگی نشان داد میزان سزامول مورد نیاز برای مهار پنجاه درصد از رادیکال‌های DPPH برابر ۳۷/۱ میکرومول می‌باشد. Yeo و همکاران (۲۰۱۰) اثر فعالیت جذب رادیکالی سزامول را توسط این روش برابر با TBHQ و بیشتر از توکوفرول و BHT گزارش نمودند. سایر تحقیقاتی که در این حوزه برای برخی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و سنتزی انجام شده است، حاکی از IC_{50} (بر حسب میکرومول) به شرح ذیل می‌باشد: اسید گالیک، ۲۹/۴۵؛ اسید آسکوربیک، ۲۰؛ آلفا توکوفرول، ۱۰۵/۲۹؛ هیدروکسی تیروزول، ۱۲/۷۲؛ بوتیل هیدروکسی تولوئن، ۵۰؛ و پروپیل‌گالات، ۳۰/۳ (Asnaashari *et al*., 2014؛ Badary *et al*., 2003؛ Aldini *et al*., 2006). مقایسه کمیت‌های مزبور حاکی از فعالیت نسبتاً قدرتمند سزامول به‌عنوان آنتی‌اکسیدانی طبیعی است.

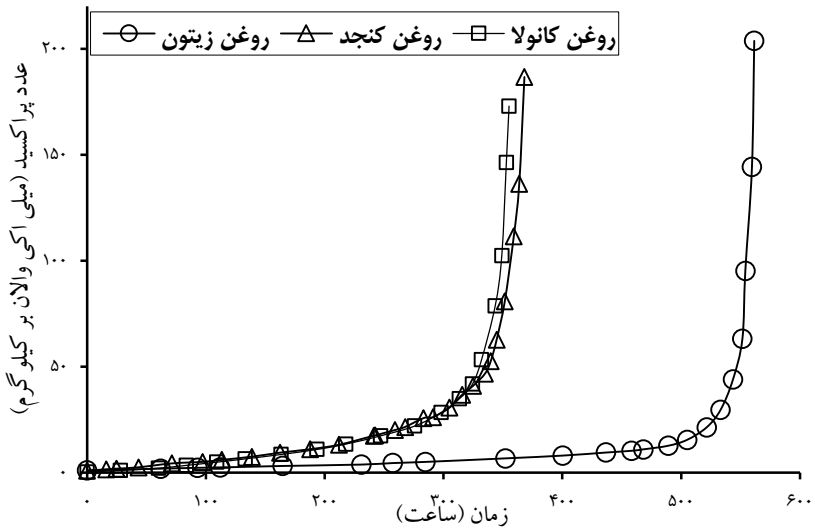
در شکل ۳ نمودار سینتیکی اکسایش مهارشده تری‌آسیل‌گلیسرول‌های مورد بررسی نمایش داده شده است. طول دوره اکسایش کند تری‌آسیل‌گلیسرول‌های زیتون به بیش از ۵۲۰ ساعت در غلظت ۰/۰۱ درصد سزامول و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد رسید و به‌ترتیب تری‌آسیل‌گلیسرول‌های کنجد و کانولا با تقریبا ۳۳۰ و ۳۲۵ ساعت در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. این در صورتی است که تری‌آسیل‌گلیسرول‌های این روغن‌ها در شرایط اکسایش مهار نشده فقط چندین ساعت در این دما مقاومت کردند (روغن زیتون: ۶/۵۱، روغن کنجد ۲/۹۳ و روغن کانولا ۲/۵۳ ساعت). این نتایج نشان داد که توانمندی سزامول در مهار اکسایش سامانه‌های لیپیدی مدل نیز مانند آزمون مهارکنندگی DPPH بسیار زیاد است.

تجزیه و تحلیل پارامترهای سینتیکی

PV_{IP} که بیانگر غلظت بحرانی میسلی (CMC[2]) در تئوری اجماع کلوئیدی[3] است، نقطه کیفی انتقال فاز اکسایش از مرحله مقدماتی به مرحله انتشار است (Chaiyasit *et al*., 2007). در این نقطه که رشد میسلی و پایداری اکسایشی روغن‌ها در فاز مقدماتی متوقف می‌شود همراه است با غالب شدن واکنش دوملکولی[4] هیدرپراکسیدها ($2LOOH \rightarrow LOO + LO + H_2O$) که به یکباره روند اکسایش به دلیل حمله ناگهانی تعداد بسیار زیاد رادیکال‌ها به اسیدهای چرب غیراشباع وارد فاز جدیدی می‌شود. نتایج میانگین PV_{IP} مربوط به کلیه غلظت‌های سزامول برای دو سامانه لیپیدی کنجد و کانولا نزدیک به یکدیگر و به شکل فزآینده‌ای از تری‌آسیل‌گلیسرول‌های زیتون بیشتر بود (جدول ۲). از آنجایی که افزایش غلظت سزامول در هر روغن هیچ الگو و نظم مشخصی را در PV_{IP} ایجاد نکرده است و با تأکید بر اینکه پراکندگی اعداد PV_{IP} مربوط به هر غلظت حول عدد میانگین مجموع غلظت‌ها توزیع نرمال دارد چنین می‌توان نتیجه گرفت که PV_{IP} مستقل از غلظت آنتی‌اکسیدان موجود در محیط بوده و تحت تأثیر ساختمان

1 Hydrogen Atom Transfer (HAT)
2 Critical micelle concentration (CMC)
3 Association Colloids
4 Bi molecular

اسیدچربی روغن‌ها قرار می‌گیرد (جدول ۲). انتظار می‌رود سامانه‌های لیپیدی مقاوم به اکسایش PV_{IP} کوچکتری داشته باشند. Farhoosh و Nyström (۲۰۱۸) گزارش دادند که PV_{IP} مستقل از غلظت آنتی‌اکسیدان مورد استفاده بوده و تحت تأثیر نوع آنتی‌اکسیدان می‌باشد.



شکل ۳- نمودار سینتیکی اکسایش تری‌آسیل‌گلیسرول‌های کنجد، زیتون و کانولا در غلظت ۰/۰۱ درصد سزامول و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد

افزایش دما موجب کاهش محسوس PV_{IP} در هر دو سامانه تری‌آسیل‌گلیسرولی کنجد و کانولا گردید. در حالیکه تفاوت معنی‌داری بین میانگین این پارامتر در دماهای مختلف برای تری‌آسیل‌گلیسرول‌های زیتون مشاهده نشد (جدول ۲)، علت این رویداد توسط تئوری اجماع کلوئیدی قابل توضیح است. بر اساس این تئوری؛ در تمامی روغن‌های گیاهی مقادیری حدود ۰/۰۲ تا ۰/۰۵ درصد آب وجود دارد که منشأ این آب ممکن است دانه روغنی، آب افزوده شده ناشی از فرآیند تصفیه و یا واکنش دو ملکولی ناشی از اکسایش باشد (Laguerre *et al*., 2013). به طورکلی در روغن‌ها ترکیبات فعال در سطح بسیاری ممکن است به‌صورت طبیعی (مانند مونو، دی‌آسیل‌گلیسرول‌ها، فسفولیپیدها و آنتی‌اکسیدان‌ها) موجود باشند و یا طی فرآیند اکسایش ایجاد شوند (از قبیل هیدروپراکسیدها). این ترکیبات که موجب کاهش کشش بین‌سطحی می‌شوند، توانایی ایجاد میسل‌های معکوس[1] یا سازه‌های لایه‌ای[2] در توده روغن را دارند. بدین ترتیب روغن‌ها واجد ساختمان منظم فیزیکی با میکرو رآکتورهای[3] کوچک هستند که واکنش اکسایش در این سازه‌ها شکل می‌گیرند. فصل مشترک آب و روغن، جایگاه‌های فعال اکسایش می‌باشند که به‌درستی آنتی‌اکسیدان‌ها در این نقاط قرار می‌گیرند. بنابراین، آنتی‌اکسیدان‌ها با استقرار در نزدیکی بخش قطبی میکروامولسیون‌ها براحتی رادیکال‌های فعال را به دام انداخته، از نشر آن‌ها جلوگیری می‌کنند. از آنجایی که هیدروپراکسیدهای تولید شده از اسیدهای چرب غیر اشباع‌تر، قطبیت بیشتر و بالطبع نیروی محرکه بیشتری برای مهاجرت به فصل مشترک آب و روغن نسبت به اسیدهای چرب تک غیراشباع دارند، بنابراین تعداد میسل‌ها و ظرفیت افزایش سایز میسلی نیز در این روغن‌ها بسیار بیشتر است. پیامدهای این رخداد افزایش غلظت بحرانی میسلی یا همان PV_{IP} است (Ghnimi *et al*., 2017). از آنجایی که افزایش دما سرعت تجزیه هیدروپراکسیدهای غیراشباع‌تر را تسریع می‌کند و مقدار تولید ترکیبات قطبی بسیار بیشتر می‌شود، ظرفیت پذیرش فصل مشترک آب و روغن از ترکیبات قطبی زودتر به پایان می‌رسد از این‌رو روغن‌های غیراشباع‌تر (مانند کانولا و کنجد) نسبت به روغن‌های اشباع‌تر (زیتون) پاسخ بیشتری به محرک افزایش دما و غلظت بحرانی میسلی می‌دهند.

اثر افزایش دما بر ثابت سرعت اکسایش برای تری‌آسیل‌گلیسرول‌های مورد مطالعه از یک الگوی یکسان تبعیت نکرد، به‌نحوی که شیب افزایش میانگین ثابت سرعت برای تری‌آسیل‌گلیسرول‌های زیتون نسبت به دو سامانه دیگر بسیار ملایم بود (جدول ۲). با توجه به این که روغن‌های مورد بررسی به لحاظ درجه غیراشباعیت به کلی با یکدیگر متفاوتند (جدول ۱)، نتایج به‌دست آمده، برآیندی از اختلاف متوسط سرعت اکسایش اسیدهای چرب لینولنیک، لینولئیک، اولئیک و استئاریک می‌باشد که به‌ترتیب برابر با ۲۵۰۰، ۱۲۰۰، ۱۰۰ و ۱ است (Hsieh & Kinsella, 1989).

1 Reverse micelles
2 Lamellar
3 Microreactors

جدول ۲- پارامترهای سینتیکی اکسایش سامانه‌های تری‌آسیل‌گلیسرولی در حضور غلظت‌های مختلف سزامول و دماهای ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد

پارامتر	غلظت	روغن کانولا $PV = a_1(t) + b_1$				روغن کنجد $PV = a_1(t) + b_1$			
		a (×۱۰^{۳})	b	$PV_{(IP)}$	k (×۱۰)	a (×۱۰^{۳})	b	$PV_{(IP)}$	k (×۱۰)
۶۰ °C	۰/۰۱	۱/۶۵± ۰/۰۳ k	۴/۳۱± ۰/۰۴ b	۲۷/۸۷± ۰/۳۲ c	۰/۸۶± ۰/۰۱ k	۰/۵۷± ۰/۰۳ h	۱۲/۳۷± ۰/۱۷ d	۰/۳۳± ۰/۰۰ j	۱/۶۰± ۰/۰۱ k
	۰/۰۲	۱/۵۴± ۰/۰۳ l	۴/۲۵± ۰/۰۴ b	۲۹/۰۸± ۰/۲۱ ab	۰/۸۰± ۰/۰۱ l	۰/۳۶± ۰/۰۴ i	۱۱/۹۳± ۰/۲۲ e	۰/۲۱± ۰/۰۰ kl	۱/۴۹± ۰/۰۲ l
	۰/۰۴	۱/۴۹± ۰/۰۱ l	۶/۶۰± ۰/۰۳ a	۲۷/۹۶± ۰/۲۸ c	۰/۷۲± ۰/۰۰ m	۰/۱۶± ۰/۰۲ k	۱۲/۲۹± ۰/۳۲ d	۰/۲۰± ۰/۰۱ l	۱/۴۴± ۰/۰۶ lm
	۰/۰۸	۱/۳۵± ۰/۰۳ m	۴/۱۲± ۰/۱۰ d	۲۹/۲۷± ۰/۳۲ a	۰/۷۱± ۰/۰۱ n	۰/۲۷± ۰/۰۲ j	۱۱/۹۲± ۰/۱۰ e	۰/۱۹± ۰/۰۱ lm	۱/۳۵± ۰/۰۳ m
	۰/۱۶	۱/۲۳± ۰/۰۱ n	۴/۳۵± ۰/۰۶ b	۲۸/۶۷± ۰/۱۹ b	۰/۶۴± ۰/۰۰ o	۰/۷۵± ۰/۰۰ g	۱۱/۵۵± ۰/۲۵ e	۰/۱۷± ۰/۰۲ m	۱/۲۸± ۰/۰۷ m
میانگین		-	-	۲۸/۵۷± ۰/۳۶	۰/۷۵± ۰/۰۱	-	۱۲/۰۱± ۰/۲۲	۰/۲۰± ۰/۰۱	-
۸۰ °C	۰/۰۱	۱۱/۵۴± ۰/۰۲ f	۱/۸۶± ۰/۰۲ i	۲۱/۳۰± ۰/۲۵ g	۶/۳۷± ۰/۰۱ f	۲/۴۱± ۰/۰۲ d	۱۵/۴۷± ۰/۲۷ a	۲/۰۹± ۰/۰۱ f	۹/۸۷± ۰/۱۱ f
	۰/۰۲	۹/۹۵± ۰/۰۵ g	۴/۲۸± ۰/۰۳ c	۲۳/۸۸± ۰/۲۷ e	۵/۰۶± ۰/۰۳ g	۳/۶۶± ۰/۰۳ b	۱۴/۰۴± ۰/۲۴ b	۱/۵۷± ۰/۱۶ g	۸/۷۱± ۰/۰۵ g
	۰/۰۴	۸/۱۴± ۰/۱۰ h	۳/۴۱± ۰/۱۰ e	۲۲/۴۴± ۰/۲۲ f	۴/۲۴± ۰/۰۳ h	۲/۸۵± ۰/۱۰ c	۱۳/۶۲± ۰/۱۱ c	۱/۳۸± ۰/۱۱ gh	۷/۵۲± ۰/۰۵ h
	۰/۰۸	۶/۶۶± ۰/۱۲ i	۱/۴۲± ۰/۱۵ e	۲۲/۳۶± ۰/۲۸ f	۳/۷۶± ۰/۰۴ i	۲/۸۵± ۰/۱۷ c	۱۲/۴۰± ۰/۱۶ d	۱/۱۳± ۰/۰۶ hi	۶/۴۶± ۰/۱۱ i
	۰/۱۶	۵/۵۲± ۰/۱۵ j	۲/۰۳± ۰/۲۹ h	۲۰/۴۴± ۰/۱۵ f	۳/۰۱± ۰/۰۲ j	۱/۹۳± ۰/۱۵ e	۱۰/۴۶± ۰/۰۹ h	۰/۹۰± ۰/۱۴ i	۵/۲۳± ۰/۰۷ j
میانگین		-	-	۲۲/۰۸± ۰/۲۸	۴/۴۹± ۰/۰۰	-	۱۲/۶۳± ۰/۴۷	۱/۴۱± ۰/۱۴	-
۱۰۰ °C	۰/۰۱	۴۳/۰۱± ۰/۰۷ a	۱/۸۷± ۰/۰۲ i	۲۴/۱۳± ۰/۱۸ d	۲۳/۹۵± ۰/۰۸ a	۱/۶۱± ۰/۰۵ f	۱۳/۷۱± ۰/۲۵ c	۷/۹۰± ۰/۱۸ a	۳۶/۳۷± ۰/۰۴ a
	۰/۰۲	۳۵/۱۵± ۰/۰۵ b	۲/۲۹± ۰/۰۳ g	۲۱/۶۹± ۰/۲۲ h	۱۹/۰۷± ۰/۱۱ b	۳/۸۰± ۰/۰۰ a	۱۲/۷۶± ۰/۳۱ d	۵/۹۰± ۰/۱۱ b	۳۱/۴۷± ۰/۰۲ b
	۰/۰۴	۲۸/۶۲± ۰/۰۶ c	۳/۴۶± ۰/۱۰ e	۱۹/۵۰± ۰/۱۲ i	۱۴/۵۸± ۰/۰۵ c	۲/۴۷± ۰/۰۷ d	۱۱/۸۴± ۰/۲۲ e	۵/۰۰± ۰/۱۴ c	۲۶/۷۰± ۰/۰۸ c
	۰/۰۸	۲۴/۹± ۰/۱۱ d	۳/۵۸± ۰/۱۵ e	۱۹/۰۵± ۰/۳۷ ij	۱۲/۵۲± ۰/۰۹ d	۲/۸۹± ۰/۰۵ c	۱۱/۲۹± ۰/۱۱ f	۴/۲۵± ۰/۰۶ d	۲۳/۴۵± ۰/۰۱ d
	۰/۱۶	۲۲/۶۲± ۰/۱۹ e	۲/۹۰± ۰/۲۹ f	۱۹/۹۹± ۰/۳۴ j	۱۱/۸۵± ۰/۱۲ e	۲/۹۳± ۰/۱۲ c	۱۰/۹۸± ۰/۱۷ g	۳/۶۵± ۰/۱۷ e	۲۰/۶۵± ۰/۱۵ e
میانگین		-	-	۲۰/۸۷± ۰/۴۲	۱۶/۴۰± ۰/۱۱	-	۱۲/۱۲± ۰/۳۰	۵/۳۴± ۰/۲۲	-

پارامتر	غلظت	روغن کنجد $PV = a_1(t) + b_1$		
		a (×۱۰^{۳})	b	$PV_{(IP)}$
۶۰ °C	۰/۰۱	۲/۹۲± ۰/۰۴ d	۲۸/۶۳± ۰/۲۵ d	۰/۸۷± ۰/۰۲ k
	۰/۰۲	۳/۲۱± ۰/۰۵ c	۲۹/۶۵± ۰/۳۲ c	۰/۸۱± ۰/۰۱ l
	۰/۰۴	۲/۲۴± ۰/۰۸ e	۳۱/۷۱± ۰/۲۹ b	۰/۸۰± ۰/۰۰ l
	۰/۰۸	۳/۷۲± ۰/۱۸ b	۳۱/۴۷± ۰/۴۱ b	۰/۷۳± ۰/۰۰ m
	۰/۱۶	۳/۴۸± ۰/۰۶ b	۳۲/۹۷± ۰/۵۲ a	۰/۶۹± ۰/۰۱ n
میانگین		-	-	۰/۷۸± ۰/۰۱
۸۰ °C	۰/۰۱	۱/۴۹± ۰/۰۸ f	۲۲/۱۵± ۰/۲۲ h	۵/۵۵± ۰/۰۲ f
	۰/۰۲	۲/۹۵± ۰/۱۱ d	۲۵/۶۰± ۰/۴۴ e	۴/۶۹± ۰/۰۳ g
	۰/۰۴	۲/۵۹± ۰/۰۳ b	۲۴/۶۱± ۰/۳۲ f	۳/۹۴± ۰/۰۵ h
	۰/۰۸	۴/۴۱± ۰/۱۲ a	۲۲/۷۵± ۰/۲۰ g	۳/۲۵± ۰/۰۶ i
	۰/۱۶	۳/۴۵± ۰/۱۳ bc	۲۰/۶۹± ۰/۲۵ i	۲/۶۹± ۰/۱۲ j
میانگین		-	-	۴/۰۲± ۰/۱۱
۱۰۰ °C	۰/۰۱	۱/۶۲± ۰/۰۴ f	۲۰/۰۹± ۰/۱۷ j	۲۰/۱۹± ۰/۰۵ a
	۰/۰۲	۲/۷۸± ۰/۰۳ d	۲۰/۶۰± ۰/۲۸ i	۱۶/۶۴± ۰/۰۴ b
	۰/۰۴	۲/۵۶± ۰/۰۷ b	۱۹/۸۰± ۰/۳۱ jk	۱۳/۵۸± ۰/۰۷ c
	۰/۰۸	۲/۹۱± ۰/۰۱ d	۱۹/۶۴± ۰/۴۴ k	۱۲/۲۶± ۰/۰۹ d
	۰/۱۶	۳/۶۲± ۰/۰۹ b	۱۹/۰۳± ۰/۲۳ l	۱۰/۴۱± ۰/۰۵ e
میانگین		-	-	۱۴/۶۱± ۰/۱۳

میانگین‌های (± انحراف استاندارد) دارای حروف لاتین مشترک درون یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند. a شیب معادله آغازین اکسایش، b عرض از مبدا معادله آغازین اکسایش، $PV_{(IP)}$ عدد پراکسید در نقطه IP ($meq.kg^{-1}$)، k ثابت سرعت تولید هیدروپراکسیدها ($meq.kg^{-1}.h^{-1}$).

پایداری اکسایشی در دمای محیط

پارامترهای سینتیکی به‌دست آمده از معادله ۴، در جدول ۳ نمایش داده شده است. شیب این معادله (پارامتر A) که به‌عنوان ضریب حرارتی[1] نیز معرفی می‌شود، برای تری‌آسیل‌گلیسرول‌های زیتون نسبت به دو سامانه دیگر کمتر بود که نمایانگر پایداری حرارتی بیشتر این روغن نسبت به دو روغن دیگر است. مقادیر بالای این فاکتور نشان می‌دهد برای تغییر مشخصی در سرعت اکسایش نیاز به تغییرات حرارتی کمتری است (Farhoosh & Hoseini-yazdi, 2014). افزایش غلظت سزامول موجب کاهش این پارامتر گردید که حاکی از افزایش پایداری حرارتی با افزایش غلظت سزامول می‌باشد.

پارامترهای سینتیکی فهرست شده در جدول ۳، به شکل مطلوبی زمان پایداری اکسایشی سامانه‌های تری‌آسیل‌گلیسرولی مورد مطالعه را در دمای محیط شبیه‌سازی نمود. نتایج نشان داد که روند افزایش پایداری اکسایشی همه سامانه‌ها با افزایش غلظت سزامول یکسان نبوده است (شکل ۴)، به‌نحوی که غیراشباعیت تنها عامل مؤثر بر افزایش کارآیی سزامول بود. افزایش ۱۶ برابری غلظت سزامول در بهترین حالت (روغن کانولا) تقریبا یک سوم به زمان پایداری اکسایشی نسبت به غلظت ۰/۰۱ درصد افزود. این نتیجه حاکی از آن است که عملکرد بهینه سزامول در همان غلظت ۰/۰۱ درصد حاصل شده است.

ارتباط خطی بسیار مناسبی ($R^2 \geq$ ۰/۹۹۹) بین معکوس میانگین دوره‌های القاء (غلظت‌های ۰/۰۱ تا ۰/۱۶ درصد سزامول) و میانگین‌های ثابت سرعت اکسایش تری‌آسیل‌گلیسرول‌های کنجد، زیتون و کانولا در دماهای ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد (شکل ۵). از برون‌یابی نقطه‌ای مدل‌های خطی به‌دست آمده، مشخص گردید که میانگین ثابت سرعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب برای تری‌آسیل‌گلیسرول‌های زیتون، کنجد و کانولا برابر با

[1] Temperature coefficient

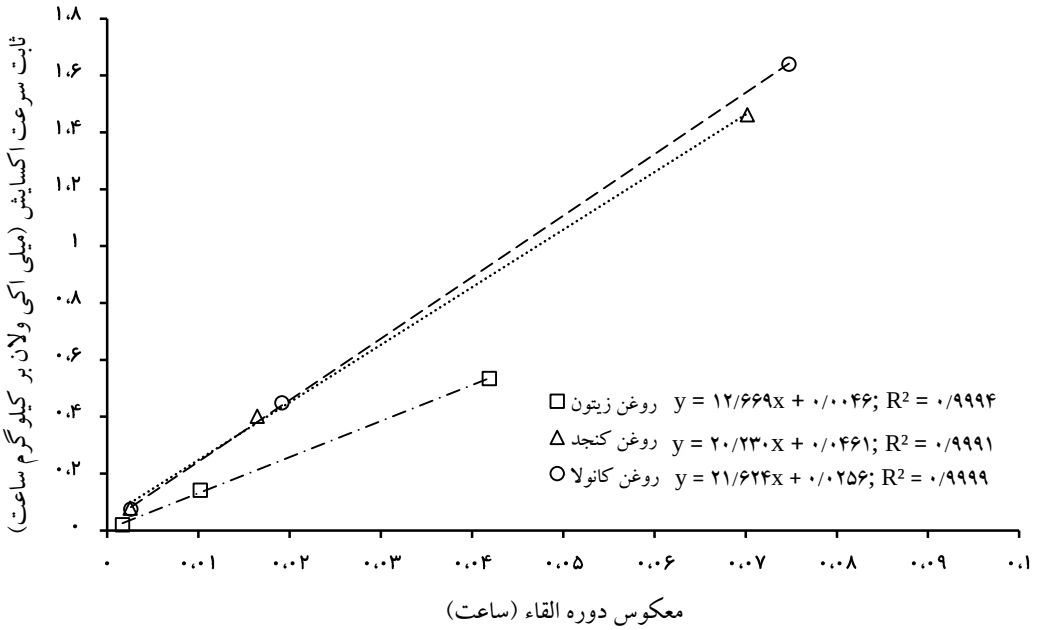
$۵۹/۷۹ \times ۱۰^{-۴}$، $۴۹۰/۳۹ \times ۱۰^{-۴}$ و $۲۸۸/۹۷ \times ۱۰^{-۴}$ بود. نکته حائز اهمیت این که تری‌آسیل‌گلیسرول‌های کنجد به رغم دارا بودن زمان پایداری اکسایشی بیشتر در دمای محیط نسبت به تری‌آسیل‌گلیسرول‌های کانولا، میانگین ثابت سرعت اکسایشی بیشتری داشت. با این اوصاف احتمالا علت عملکرد مطلوب سزامول در تری‌آسیل‌گلیسرول‌های کنجد ناشی از بیشتر بودن غلظت بحرانی میسلی (PV_{IP}) بوده است.

جدول ۳- پارامترهای سینتیکی و زمان ماندگاری روغن‌ها در حضور غلظت‌های مختلف سزامول

روغن‌ها	غلظت (٪)	Log (IP) = A (T) + B				IP (25°C)
		A (×۱۰۲)	B	R^2		
زیتون	۰/۰۱	−۳/۵۸ ± ۰/۰۲bc	۱۴/۵۹ ± ۰/۰۳cd	۰/۹۸۸		۱۱/۵۷ ± ۰/۰۱e
	۰/۰۲	−۳/۵۳ ± ۰/۰۴bc	۱۴/۴۶ ± ۰/۰۵e	۰/۹۹۴۶		۱۲/۰۳ ± ۰/۰۲d
کانولا	۰/۰۴	−۳/۴۹ ± ۰/۰۱cd	۱۴/۳۷ ± ۰/۰۲e	۰/۹۹۵۵		۱۲/۸۳ ± ۰/۰۱c
	۰/۰۸	−۳/۴۵ ± ۰/۰۵cd	۱۴/۲۶ ± ۰/۰۷f	۰/۹۹۶۴		۱۳/۳۹ ± ۰/۰۰b
	۰/۱۶	−۳/۴۱ ± ۰/۰۶d	۱۴/۱۶ ± ۰/۰۹g	۰/۹۹۴۲		۱۳/۹۹ ± ۰/۰۱a
کنجد	۰/۰۱	−۳/۸۰ ± ۰/۰۲a	۱۵/۰۸ ± ۰/۰۶a	۰/۹۷۱۴		۸/۰۱ ± ۰/۰۳o
	۰/۰۲	−۳/۷۲ ± ۰/۰۵ab	۱۴/۸۷ ± ۰/۰۲b	۰/۹۷۹۵		۸/۴۰ ± ۰/۰۱n
	۰/۰۴	−۳/۶۵ ± ۰/۰۱b	۱۴/۶۹ ± ۰/۰۱cd	۰/۹۸۹۱		۸/۹۷ ± ۰/۰۲l
	۰/۰۸	−۳/۵۹ ± ۰/۰۶bc	۱۴/۵۵ ± ۰/۰۸cd	۰/۹۹۰۸		۹/۷۸ ± ۰/۰۱i
	۰/۱۶	−۳/۵۵ ± ۰/۰۲bc	۱۴/۴۵ ± ۰/۰۲d	۰/۹۹۲۷		۱۰/۳۹ ± ۰/۰۲g
	۰/۰۱	−۳/۷۸ ± ۰/۰۴a	۱۵/۰۶ ± ۰/۰۴a	۰/۹۸۶۵		۸/۵۹ ± ۰/۰۱m
	۰/۰۲	−۳/۶۷ ± ۰/۰۲b	۱۴/۷۵ ± ۰/۰۱c	۰/۹۹۵		۹/۰۸ ± ۰/۰۰k
	۰/۰۴	−۳/۵۷ ± ۰/۰۳bc	۱۴/۴۶ ± ۰/۰۷d	۰/۹۹۵۵		۹/۲۱ ± ۰/۰۲j
	۰/۰۸	−۳/۵۸ ± ۰/۰۰bc	۱۴/۵۳ ± ۰/۰۴cd	۰/۹۹۶۵		۱۰/۱۴ ± ۰/۰۱h
	۰/۱۶	−۳/۵۳ ± ۰/۰۱c	۱۴/۴۱ ± ۰/۰۰e	۰/۹۹۵۴		۱۰/۷۷ ± ۰/۰۲f

*میانگین‌های (± انحراف استاندارد) دارای حروف لاتین مشترک درون یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند. T دما، A شیب معادله، B عرض از مبدأ، R^2 ضریب همبستگی، IP دوره اکسایش کند بر حسب ماه.

شکل ٤- درصد افزایش زمان ماندگاری (در ۲۵ درجه سانتی‌گراد) تری‌آسیل‌گلیسرول‌های کنجد، زیتون و کانولا در غلظت‌های ۰/۰۲ تا ۰/۱٦ درصد سزامول نسبت به غلظت ۰/۰۱ درصد



شکل ۵- ارتباط بین معکوس میانگین دوره‌های القاء (غلظت‌های ۰/۰۱ تا ۰/۱۶ درصد سزامول) و میانگین‌های ثابت سرعت اکسایش تری‌آسیل‌گلیسرول‌های کنجد، زیتون و کانولا در دمای ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد

جدول ٤- ثابت سرعت مصرف و حداقل غلظت سزامول برای بروز فعالیت آنتی اکسیدانی در دماهای ٦٠، ٨٠ و ١٠٠ درجه سانتی‌گراد

پارامتر	$Ln (C_0) = k_S (IP-IP_0) + Ln (C_{Cr})$		
	k_S (×۱۰^۲)	C_{Cr} (×۱۰^۲)	R^2
٦٠ درجه سانتی‌گراد	۱/۷۲ ± ۰/۰۲ i	۱/۴۶ ± ۰/۰۹ i	۰/۹۸۸۷
روغن زیتون	۲/۳۴ ± ۰/۰۲ g	۵/۰۶ ± ۰/۱۱ h	۰/۹۹۵۱
روغن کانولا	۱/۹۲ ± ۰/۰۱ h	۱۹/۹۸ ± ۰/۱۲ g	۰/۹۹۴۰
روغن کنجد			
۸۰ درجه سانتی‌گراد	۶/۴۸ ± ۰/۱۵ f	۸۰/۷۹ ± ۰/۵۵ f	۰/۹۷۹۶
روغن زیتون	۸/۲۸ ± ۰/۱۲ d	۵۶۰/۶۹ ± ۱/۲۸ a	۰/۹۷۲۶
روغن کانولا	۷/۶۱ ± ۰/۱۹ e	۴۱۵/۴۱ ± ۱/۳۱ b	۰/۹۷۴۱
روغن کنجد			
۱۰۰ درجه سانتی‌گراد			
روغن زیتون	۲۳/۴۷ ± ۰/۱۱ c	۱۹۳/۴۶ ± ۱/۲۲ e	۰/۹۸۸۶
روغن کانولا	۳۹/۰۸ ± ۰/۱۷ a	۲۵۱/۶۶ ± ۱/۱۰ d	۰/۹۹۹۰
روغن کنجد	۳۴/۲۵ ± ۰/۱۴ b	۳۴۰/۰۰ ± ۱/۸۷ c	۰/۹۹۳۱

*میانگین‌های (± انحراف استاندارد) دارای حروف لاتین مشترک درون یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند. C_0 غلظت اولیه سزامول، k_S ثابت سرعت مصرف سزامول (h^{-1})، C_{Cr} حداقل غلظت سزامول برای بروز فعالیت آنتی‌اکسیدانی (ppm)، R^2 ضریب همبستگی.

آنچه به وضوح مشخص است فعالیت آنتی‌اکسیدانی سزامول قادر به تغییر الگوی فوق نبوده است به‌طوری که افزایش غلظت تا چندین برابر نیز تأثیری در این رابطه نداشته است. ارتباط خطی با ضریب همبستگی مناسبی ($R^2 \geq$ ۰/۹۷۲) از رابطه بین لگاریتم طبیعی غلظت سزامول و تغییرات طول دوره اکسایش کند سامانه‌های تری‌آسیل‌گلیسرولی به‌دست آمد که پارامترهای مربوط به آن در جدول ۴ فهرست شدند. نتایج حاکی از آن بود، افزایش دما به شکل محسوسی سرعت مصرف سزامول را افزایش داده است که در این راستا سامانه‌های لیپیدی غیراشباع‌تر متحمل تغییرات بیشتری شدند (جدول ۴). نتایج پژوهشگران مختلف نیز صحت این رویداد را در مورد آنتی‌اکسیدان‌های

گوناگون به اثبات رسانده است (Xin *et al*., 2009؛ Takeungwongtrakul *et al*., 2016). ثابت سرعت مصرف سزامول به شکل معنی‌داری در تری‌آسیل‌گلیسرول‌های کانولا بیشتر از تری‌آسیل‌گلیسرول‌های کنجد بود که احتمالا ناشی از درصد بالای اسید لینولنیک بوده است (جدول ۱). افزایش دما حداقل غلظت مورد نیاز برای به‌روز فعالیت آنتی‌اکسیدانی سزامول را افزایش داد. این الگو برای تری‌آسیل‌گلیسرول‌های زیتون به‌صورت خطی و برای تری آسیل گلیسرول‌های کنجد و کانولا به شکل هذلولی بود. بدین معنی که در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، غلظت آستانه به‌روز فعالیت آنتی‌اکسیدانی سزامول افزایش چشمگیری داشته، اما در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد این مقدار به شکل معنی‌داری کاهش یافته است. این موضوع ممکن است به تغییر مکانیسم اکسایش اسیدهای چرب غیراشباع‌تر یا تغییر مکانیسم عملیاتی سزامول در دماهای بالاتر مربوط شود (Frankel, 1984؛ Marinova *et al*., 2002).

نتیجه‌گیری

پارامترهای سینتیکی-حرارتی به‌خوبی توانایی پیش‌بینی زمان ماندگاری روغن‌ها را در شرایط گوناگون دمایی و غلظت‌های مختلف سزامول دارند. بررسی ثابت‌های سرعت اکسایش روغن‌های مختلف در حضور سزامول به تنهایی قادر به پیش‌بینی پایداری اکسایشی روغن‌ها نیست که به این منظور سایر شاخص‌ها از جمله عدد پراکسید متناظر با طول دوره اکسایش کند نیز باید مد نظر گرفته شود. درجه غیراشباعیت روغن‌ها عامل مؤثر بر عدد پراکسید متناظر با طول دوره اکسایش کند است که با افزایش دما این شاخص کاهش می‌یابد. محدودسازی سرعت اکسایش با سازوکار افزایش غلظت سزامول میسر نشد تا عملکرد بهینه سزامول در غلظت‌های پایین مشاهده شود.

منابع

Aldini, G., Piccoli, A., Beretta, G., Morazzoni, P., Riva, A., Marinello, C. & Maffei Facino, R., 2006, Antioxidant activity of polyphenols from solid olive residues of c.v. Coratina. *Fitoterapia*, 77, 121-128.

AOCS, 1989. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil chemist's Society, fourth Edition, Champaign, IL.

Asnaashari, M., Farhoosh, R. & Sharif, A., 2014, Antioxidant activity of gallic acid and methyl gallate in triacylglycerols of Kilka fish oil and its oil-in-water emulsion. *Food Chemistry*, 159, 439-444.

Balsano, C. & Alisi, A., 2009, Antioxidant effects of natural bioactive compounds. *Current Pharmaceutical Design*, 15, 3063-3073.

Badary, O. A., Taha, R. A., Gamal El-Din, A. M. & Abdel-Wahab, M. H., 2003, Thymoquinone is a potent superoxide anion scavenger. *Drug and Chemical Toxicology*, 26, 87-98.

Chaiyasit, W., Elias, R. J., Mcclements, D. J. & Decker, A., 2007, Role of physical structures in bulk oils on lipid oxidation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47, 299-465.

Erkan, N., Ayranci, G., & Ayranci. E., 2008, Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus Officinalis* L.) extract, blackseed (Nigella sativa L.) essential oil, carnosic acid, rosmarinic acid and sesamol. *Food Chemistry*, 110, 76-82.

Farhoosh, R., 2007, the effect of operational parameters of the Rancimat method on the determination of the oxidative stability measures and shelf-life prediction of soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84, 205-209.

Farhoosh, R., 2018, A kinetic Approach to evaluate the structure-based performance of antioxidants during lipid oxidation, *Journal of Food Science*, 83, 101-107.

Farhoosh, R. & Hoseini-Yazdi, S. Z., 2013, Shelf-life prediction of olive oils using empirical models developed at low and high temperatures. *Food Chemistry*, 141, 557-565.

Farhoosh, R. & Hoseini-Yazdi, S. Z., 2014, Evolution of oxidative values during kinetic studies on olive oil oxidation in the Rancimat test. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91, 281-293.

Farhoosh, R., Niazmand, R., Rezaei, M., & Sarabi, M., 2008, Kinetic parameter determination of vegetable oil oxidation under Rancimat test conditions. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110, 587-592.

Farhoosh, R. & Nyström, L., 2018, Antioxidant potency of Gallic acid, methyl gallate and their combinations in sunflower oil triacylglycerols at high temperature. *Food Chemistry*, 244, 29-35.

Frankel, E. N., 1984, Lipid Oxidation: Mechanisms, products and biological significance. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61, 1908-1917.

Frankel, E. N., 1998, Lipid Oxidation. *The Oily Press*, Dundee, Scotland, 1-303.

Ghnimi, S., Budilarto, E. & Kamal-Eldin, A., 2017, the new paradigm for lipid oxidation and insights to microencapsulation of omega-3 fatty acids. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16, 1206-1218.

Go´mez-Alonso, S., Mancebo-Campos, V., Salvador, M. D. & Fregapane, G., 2004, Oxidation kinetics in olive oil triacylglycerols under accelerated shelf-life testing (25-75 °C). *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106, 369-375.

Hayes, J. E., Allen, P., Brunton, N., O'Grady, M. N., & Kerry, J. P., 2011, Phenolic composition and in vitro antioxidant capacity of four commercial phytochemical products: Olive leaf extract (*Olea europaea* L.), lutein, sesamol and ellagic acid. *Food Chemistry*, 126, 948-955.

Hsieh, R. J. & Kinsella, J. E., 1989, Oxidation of polyunsaturated fatty acids: mechanisms, products, and inhibition with emphasis on fish. *Advances in Food and Nutrition Research*, 33, 233-341.

Hwang, H.-S., Winkler-Moser, J. K., Bakota, E. L., Berhow, M. A., & Liu, S. X., 2013, Antioxidant activity of sesamol in soybean oil under frying conditions. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90, 659-666.

Kurechi, T. Kikugawa, K. & Kato, T., 1980, Studies on the antioxidants. XIII. Hydrogen donating capability of antioxidants to 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 28, 2089-2093.

Laguerre, M., Bayrasy, C., Panya, A., Weiss, J., McClements, J., Lecomte, J., Decker, E. A., & Villeneuve, P., 2013, What makes good antioxidants in lipid-based systems. The next theories beyond the polar paradox. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55, 183-201.

Mahdavianmehr, H., Farhoosh, R., & Sharif, A., 2016, Thermal antioxidative kinetics of hydroxytyrosol in selected lipid systems of different unsaturation degree. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93, 1655-1661.

Marinova, E. M., Yanishlieva, N. V. & Totseva, I. R., 2002, Antioxidant activity and mechanism of action of trans-resveratrol in different lipid systems. *International Journal of Food Science and Technology*, 37, 145-152.

Omar, S, H., 2010, Cardioprotective and neuroprotective roles of oleuropein in olive. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 18, 111-121.

Pérez-Jiménez, F., Álvarez de Cienfuegos, G., Badimon, L., Barja, G., Battino, M., Blanco, A., 2005, International conference on the healthy effect of virgin olive oil. *European Journal of Clinical Investigation*, 35, 421-424.

Sanchez-Moreno, C., Larrauri, J. A. & Saura-Calixto, F., 1998, A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 270-276.

Sanders, T. A. B., 1989, Nutritional aspects of rancidity. In: Rancidity in Foods. *Eds. J.C. Allen, R.J. Hamilton*. El., London, pp. 125-139.

Shahidi, F., 2005, Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 6th edition, Volume 1, Edible Oil and Fat Products: Chemistry, Properties, and Health Effects, *John wiley and Sons*, Hoboken, USA.

Shantha, N. C. & Decker, E. A., 1994, Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. *Journal of AOAC International*, 77, 421-424.

Takeungwongtrakul, S. & Benjakul, S., 2016, Astaxanthin degradation and lipid oxidation of Pacific white shrimp oil: kinetics study and stability as affected by storage conditions. *International Aquatic Research*, 8, 15-27.

Toorani, M. R., Farhoosh, R., Golmakani, M. & Sharif, A., 2019, Antioxidant activity and mechanism of action of sesamol in triacylglycerols and fatty acid methyl esters of sesame, olive, and canola oils. *LWT - Food Science and Technology*, 103, 271-278.

Wright, J. S., Johnson, E. R. & Dilabio, G.A., 2001, predicting the activity of phenolic antioxidants: Theoretical method, analysis of substituent effects, and application to major families of antioxidants. *Journal of the American Chemical Society*, 123, 1173-1183.

Xin, J., Imahara, H. & Saka, S., 2009, Kinetics on the oxidation of biodiesel stabilized with antioxidant. *Fuel*, 88, 282-286.

Yeo, J.D., Jeong, M. K., Park, C.U. & Lee J., 2010, Comparing Antioxidant Effectiveness of Natural and Synthetic Free Radical Scavengers in Thermally-Oxidized Lard using DPPH Method. *Journal of Food Science*, 75, 258-262.

Yoshida, H., Kondo, I. & Kajimoto, G., 1992, Participation of free fatty acids in the oxidation of purified soybean oil during microwave heating. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 69, 1136-1140.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 121- 132

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۳۲-۱۲۱

The effects of temperature changes on the kinetic parameters of sesame, canola and olive oils in the presence of sesamol

M. R. Toorani [1], R. Farhoosh[2*], M. T. Golmakani[3], A. Sharif [4]

Received: 2018.12.08
Accepted: 2019.05.01

Introduction: Lipid oxidation is one of the most important factors affecting the loss of quality or the deterioration of edible oils. This reaction is accompanied by the production of harmful compounds that may threaten consumer's health. Several parameters affect the severity of the oxidation reaction, among them temperature is one of the most important parameter to consider. Lipid oxidation increase significantly with the increase of temperature, which drastically reduces the length of the shelf life of the oils. Numerous methods have been used to postpone the oxidation of oils that one of the most useful methods is the addition of antioxidants. Nowadays, natural antioxidants have been located in the hotspot of attention from safety and sensory characteristics point of view. Sesamol as a valuable natural antioxidant may help to provide healthy edible oils. The determination of thermal kinetic data and the evaluation of thermodynamic indices have long been used to the better identify the mechanisms and the events caused by temperature elevation. Examining the temperature and time variables together and merging these components could provide valuable information about the environmental effects of foodstuffs. These parameters are particularly important for edible oils. Hence, the kinetic-thermal information of the oils oxidation in the presence of sesamol may provide the valuable assistance in explaining the storage conditions of various edible oils in the presence of this antioxidant.

Materials and methods: The sesamol's ability to quench free radicals was determined by DPPH test and at 517 nm. The oil purification process was performed by adsorption column chromatography in order to eliminate minor components that may be interfere with the oxidation reaction. The evaluation of the accelerated oxidation process in presence of sesamol was carried out in a dry oven and through monitoring the accumulation of hydroperoxides (peroxide value) over time at 60, 80 and 100 °C. The peroxide value was measured spectrophotometrically at 500 nm. The induction period of oils oxidation was determined through two lines fitted on initiation and propagation steps of the oxidation curve. The rate constants of the oils oxidation and sesamol consumption, the peroxide value corresponding to the length of induction period (PV_{IP}), the minimum sesamol concentration to demonstrate the antioxidant activity and the oxidative stability time of lipid systems at ambient temperature were also determined by oxidation kinetic data.

Results and discussions: The results of inhibitory test showed that the amount of sesamol required to inhibit 50 percent of the DPPH radicals is equal to 1 mM. The induction period of olive oil has reached to over 520 h in presence of 0.01% sesamol at 60 °C, whereas sesame and canola oils were placed in the subsequent positions with nearly 330 and 325 h, respectively. The average extent of PV_{IP} (all sesamol concentrations) for two lipid systems i.e. sesame and canola oils was close to each other and drastically higher from olive oil. This delocalization of the numbers suggests that the PV_{IP} is independent of the antioxidant concentration available and is affected by the fatty acids structure of oils. The effect of temperature elevation on the rate constant of oxidation for different oils did not follow the same pattern, so that the slope of increase of the rate constant for olive oil was very mild than to the other two oils. The results showed that the increase in temperature has markedly increased the rate of sesamol consumption, so that unsaturated lipid systems have undergone significant changes in this regard. Increasing the temperature increased the minimum concentration required for the antioxidant activity of sesamol. This pattern was linear for olive oil and hyperbolic for sesame and canola oils.

Keywords: sesamol, kinetic, antioxidant activity, oils oxidation

1. PhD student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3 Associate Professor, Department of Food Science and Technology, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
(*Corresponding Author Email: rfarhoosh@um.ac.ir)

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 133- 142

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۴۲-۱۳۳

مقاله علمی- پژوهشی

تولید بستنی مبتنی بر تخم‌مرغ فراسودمند حاوی ایمونوگلوبین Y بر علیه باکتری *هلیکوباکتر پیلوری*

سحر صباحی[۱]- علی مرتضوی*[۲]- محمدرضا نصیری[۳]- آرش قزوینی[۴]- فخری شهیدی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۴

چکیده

امروزه، مصرف‌کنندگان به دنبال غذاهای هستند که باعث سلامتی شده و خطر ابتلا به بیماری‌ها را کاهش دهد. تخم‌مرغ به‌عنوان منبع بزرگی از ایمونوگلوبین Y است که نقش بسیار مهمی در ایمنی غیرفعال دارد. از این رو، این پژوهش با هدف ایجاد ایمنی غیرفعال خوراکی در برابر باکتری *هلیکوباکتر پیلوری* که شیوع بسیار وسیعی در جهان داشته و عامل اصلی زخم و سرطان معده است، صورت پذیرفت. بدین منظور، سلول‌های باکتری *هلیکوباکتر پیلوری* با استفاده از فرمالدهید غیرفعال و پس از ترکیب با ادجوانت فعال و غیرفعال فروند به ۴ نقطه از سینه مرغ نژاد لگهورن سفید تزریق زیرجلدی شد. استخراج آنتی بادی IgY با استفاده از پلی‌اتیلین گلایکول و کیفیت و غلظت آن با استفاده از روش های SDS-PAGE و برادفورد مورد بررسی قرار گرفت. از زرده تخم‌مرغ‌های حاوی IgY به‌منظور تولید بستنی تخم‌مرغی استفاده و محصول در مقایسه با بستنی وانیلی مورد ارزیابی حسی قرار گرفت. از تست الایزا غیرمستقیم به‌منظور بررسی فعالیت IgY استخراجی، همچنین فعالیت IgY در طی سه ماه پس از تولید استفاده شد. حضور دو باند ۲۵ و ۶۷ کیلودالتونی بر روی ژل نشان از کیفیت مناسب روش استخراج داشت و غلظت IgY استخراجی ۱۱/۴۶ میلی گرم بر میلی‌لیتر برآورد شد. آنالیز فعالیت IgY با روش الایزا نشان داد که بیشترین میزان این آنتی‌بادی در هفته دوم داشته و بعد از ۳ ماه نگهداری بستنی تخم‌مرغی در دمای ۱۸-، ۹۴ درصد از فعالیت آنتی‌بادی حفظ شده است. بررسی ارزیابی حسی بین بستنی حاوی IgY و نمونه شاهد نشان دهنده عدم تفاوت معنی داردر ۵ پارامتر اصلی تست چند نقطه ای می باشد. بنابراین، با توجه به فعال بودن آنتی‌بادی IgY در آزمایش‌های الایزا، امکان اتصال IgY حاضر در بستنی تخم‌مرغی تولید شده در این پژوهش با باکتری *هلیکوباکتری پیلوری* فراهم بوده و این محصول می‌تواند در پیشگیری از تکثیر باکتری *هلیکوباکتری پیلوری* موثر عمل کند.

واژه‌های کلیدی: ایمونوگلوبین Y، بستنی، ایمنی‌زایی غیرفعال، *هلیکوباکترپیلوری*.

مقدمه

تخم‌مرغ یکی از مواد غذایی بسیار مغذی است که در بقاء و رشد انسان، نقش بسیار حیاتی دارد. تخم‌مرغ منبع اصلی مواد مغذی مانند پروتئین‌ها، چربی، اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع، کلسترول، کولین، فولات، آهن، کلسیم، فسفر، سلنیوم، روی و ویتامین‌های A، B2، B6، B12، D، E و K است (Réhault-Godbert *et al.*, 2019). تخم‌مرغ همچنین منبع بسیار مناسبی از کارتونوئیدهای آنتی اکسیدانی[۵]، لوتین[۶] و زاکزانتین[۷] است (Abdel-Aal *et al.*, 2013). لذا، با توجه به خواص تغذیه‌ایی بسیار مناسب، این ماده غذایی به‌عنوان یکی از کاندیدهای اصلی جامعه، جهت تامین نیاز به مواد مغذی در نظر گرفته می شود.

در سال ۱۸۹۳، ایده انتقال ایمنی غیرفعال آنتی‌بادی‌های اختصاصی از مرغ به جوجه از طریق تخم‌مرغ، توسط Klemperer گزارش شد (Rahman *et al.*, 2013). بعد از آن، در سال ۱۹۶۹ دانشمندان اصطلاح IgY را برای آنتی‌بادی‌های زرده تخم‌مرغ ارائه کردند (Leslie and Clem, 1969). IgY، آنتی بادی سرمی اصلی دوزیستان، خزندگان و پرندگان بوده و دارای مشترکاتی با آنتی‌بادی‌های IgG و IgE پستاندارن است (Taylor *et al.*, 2008). IgY گیلکوپروتئینی است که اولین بار به‌عنوان یک گاماگلوبولین شناخته شده و به‌طور متوسط ۱۰-۲۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در زرده

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- استاد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- استاد، گروه میکروبیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: morteza@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/ifstrj.v16i5.83058

5 Antioxidant Carotenoid
6 Lutein
7 Zeaxanthin

تخم‌مرغ و ۵-۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در خون تولید می‌شود. دومین[1] اصلی این آنتی‌بادی برخلاف آنتی‌بادی‌های پستاندارن فاقد منطقه لولا[2] است، بنابراین انعطاف‌پذیری کمتری جهت اتصال به اپی‌توپ-های آنتی‌ژنی دارد. با این حال، بررسی‌ها نشان می‌دهد که IgY تمایل ۳ تا ۵ برابری و همچنین سرعت بالاتری جهت اتصال به یک آنتی ژن در مقایسه با IgG دارد (Ikemori *et al*., 1993; Lemamy *et al*., 1999; Rahman *et al*., 2013). پژوهشگران با استفاده از ایده انتقال ایمنی غیرفعال در مرغ، تولید آنتی‌بادی‌های اختصاصی برعلیه گونه‌های مختلف باکتریایی و ویروسی را با هدف کاربرد در علوم پزشکی و تحقیقات ایمونولوژیک بهینه‌سازی نمودند (Xu *et al*., 2011, Nassiri *et al*., 2015; Narat *et al*., 2003).

مقدار بسیار ناچیزی از آنتی‌ژن (در محدوده میلی‌گرم یا میکروگرم) معمولا می‌تواند پاسخ کافی از IgY را در بدن مرغ به همراه داشته باشد و تیتر آنتی‌بادی در طی چند هفته و چند ماه باقی بماند (Rahman *et al*., 2013). از این رو، استفاده از IgY به‌عنوان ایمنی درمانی دارای چندین خصیصه جذاب است. مهمترین این ویژگی‌ها عدم واکنش با سیستم ایمنی بدن انسان است و گیرنده‌های FC انسان مانع التهاب‌های غیراختصاصی می‌شود (Larsson *et al*., 1993)، به‌منظور استخراج IgY نیازی به استفاده از ترکیبات سمی و یا مواد افزودنی نیست، امکان کنترل کلسترول و تری‌گلسیرید تخم‌مرغ در سطوح بسیار ناچیز وجود دارد (Nilsson *et al*., 2008)، آنتی‌بادی IgY به همراه پروتئین‌های دیگر دارای اثر آنتی میکروبی و تحریک‌کننده ایمنی هستند (Kovacs-Nolan *et al*., 2005). آلرژی به تخم‌مرغ به دلیل اجزای آلبومین سفیده تخم‌مرغ است که سبب پاسخ‌های ایمنی می‌گردد، لذا، به‌منظور تامین نیاز این مصرف‌کنندگان، IgY خالص شده در بازار ارائه می‌گردد. در مقایسه با واکسیناسیون، ایمونودرمانی غیرفعال دارای مزایایی از قبیل شروع سریع و موضعی، قابلیت استفاده در دامنه وسیع تر سنی (کودک و بزرگسال)، فعالیت اختصاصی بالا و سمی نبودن برای مصرف در جیره انسان می‌باشد. آنتی‌بادی IgY در دامنه دمایی ۳۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد و pH بین ۳/۵ تا ۱۱ فعال بوده و در برابر تریپسین و کیموتریپسین کاملا مقاوم است (Rahman *et al*., 2013).

باکتری *هلیکوباکتر پیلوری* یکی از عوامل اصلی گاستریت مزمن فعال و سرطان بدخیم معده است و به‌عنوان فاکتور کلیدی تشدید زخم معده شناخته می شود (Backert *et al*., 2016). این باکتری با تحریک مداوم ترشحات معده، زخم‌ها را تشدید می‌کند (Czinn & Blanchard, 2011; Kabir, 2007; Sutton &Lee, 2011). گزارش‌ها نشان می‌دهند که میزان شیوع *هلیکوباکتر پیلوری* در بین کودکان ۱/۸ تا ۶۵ درصد و در بعضی کشورها در بین بزرگسالان این باکتری تا ۹۰ درصد شیوع دارد (Aitila *et al*., 2019). بنابراین، از بین بردن *هلیکوباکترپیلوری* نکته اصلی درمان زخم معده در بزرگسالان است (Yong *et al*., 2015). در بین درمان‌های جدید، استفاده از منابع طبیعی مانند پروبیوتیک‌ها و عصاره‌های گیاهی، ایمونوگلوبولین زرده تخم‌مرغ به‌عنوان موثرترین، قوی‌ترین و ارزان‌ترین دارو شناخته می‌شود (Mony *et al*., 2019; Hong *et al*., 2018).

ایمنی درمانی دهانی[3] یکی از مسیرهای جذاب استفاده از IgY در درمان بیماری‌های عفونی انسان است، زیرا دهان محل ورودی بسیاری از عوامل عفونی است (Russo *et al*., 2001). قابلیت جذب IgY از سلول‌های روده وجود ندارد، لذا، این آنتی بادی سبب واکنش‌های سیستامتیک نمی‌گردد. بنابراین خطر واکنش‌های آلرژیک زمانی که IgY به شکل خوراکی مصرف می‌شود، وجود نخواهد داشت (Matsunaga *et al*., 2000). علاوه بر این، تجویز خوراکی تخم مرغ به‌منظور افزایش تحمل سیتمیک صورت می‌پذیرد (Rahman *et al*., 2013). این بدان معنی است، که مصرف روزانه IgY بدون هیچ گونه خطر برای سلامت انسان سبب کنترل جمعیت میکروبی دستگاه گوارش می شود. در حال حاضر، چندین اختراع و مطالعه در خصوص تولید فرآورده‌های حاوی IgY انجام شده، که نتایج آن تجاری نشده است (Yamane *et al*., 2003; Horie *et al*., 2004; Chen *et al*., 2003). در این مطالعات از ماست به‌عنوان حامل IgY استفاده کردند که با توجه به حضور نمک کلروسدیم و همچنین سایر ترکیبات این ماده غذایی، پایداری آنتی‌بادی کاهش یافته است. پژوهش‌ها نشان داده که بستنی با توجه به مزایایی همچون دمای نگهداری ۲۰-، حضور کربوهیدرات‌ها (سبب افزایش ماندگاری آنتی‌بادی می‌شود) (Aradat *et al*., 2000, Lee *et al*., 2003)، مشتری‌پسند بودن و امکان استفاده مستقیم تخم‌مرغ در آن، گزینه بسیار مناسب‌تر جهت تولید یک ماده غذایی حاوی IgY است.

هدف از انجام این پژوهش، تولید بستنی تخم‌مرغی حاوی آنتی‌بادی IgY بر علیه باکتری *هلیکوباکترپیلوری* برای اولین بار می‌باشد. همچنین ارزیابی حسی با استفاده از آزمون استاندارد چندنقطه‌ای صورت پذیرفت. استفاده روزانه از این بستنی می‌تواند جمعیت میکروبی *هلیکوباکتری پیلوری* را کنترل و از به‌روز بیماری‌های زخم معده و سرطان معده جلوگیری نماید.

1 Domain
2 Hinge
3 Oral Immunotherapy

مواد و روش‌ها

پرورش مرغ‌ها

۶ مرغ سفید نژاد لگهورن در هفته سیزدهم از مرکز تحقیقات علوم دامی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه گردید. این مرغ‌ها تحت شرایط محیطی ۱۸ ساعت نور و ۶ ساعت خاموشی و با دسترسی به جیره آزاد پرورش داده شدند (Nasiri *et al*., 2016).

آماده‌سازی آنتی‌ژن

باکتری *هیلکوباکتر پیلوری* از آزمایشگاه میکروبیولوژی بیمارستان قائم مشهد تهیه و به‌منظور رشد آن از محیط کشت مایع Mueller-Hinton استفاده شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شدند و سپس کدورت با استفاده از دستگاه اسپکتوفوتومتر در OD 550 و با استفاده از روش Blanchard و همکاران (۲۰۱۲) صورت پذیرفت. سپس $۱۰^{۹}$ کلنی از باکتری‌های *هلیکوباکترپیلوری* با استفاده از ۵ میلی‌لیتر بافر کلروسدیم ۸۵ درصد شستشو (۳ بار) و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰rpm سانتریفوژ گردید. به‌منظور غیرفعال کردن باکتری، پلت‌ها در ۰/۳ درصد از فرمالدهید سوسپانسیون و سپس ۱۰ دقیقه در دمای محیط انکوبه گردید. سوسپانسیون به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ rpm سانتریفوژ و سپس پلت‌های باکتری در ۵ میلی‌لیتر کلروسدیم ۸۵ درصد محلول و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Loibner *et al*., 2016).

ایمنی‌زایی در مرغ

دو گروه از مرغ‌ها (هر گروه ۳ تکرار) به‌عنوان گروه‌های کنترل و تیمار در نظر گرفته شدند. در ۱۶ هفتگی اولین ایمنی‌زایی با استفاده از حجم مشابه از آنتی‌ژن و ادجوانت کامل فروند با تزریق به ۴ محل از سینه مرغ (هر محل ۲۵۰ میکرولیتر) صورت پذیرفت. از ادجوانت کامل فروند بدون اضافه کردن آنتی ژن جهت تزریق نمونه‌های کنترل استفاده شد. تزریق مرحله دوم، در ۱۸ هفتگی و با استفاده از ادجوانت ناقص فروند صورت پذیرفت. تزریق سوم در ۲۰ هفتگی و با استفاده از ادجوانت کامل فروند انجام شد. یک هفته بعد از اولین تزریق، نمونه‌های تخم‌مرغ به شکل روزانه جمع‌آوری و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Pauly *et al*., 2011).

خالص‌سازی IgY

جداسازی و خالص‌سازی IgY با استفاده از روش پلی‌اتیلین گلایکول (PEG600) (مرک، آلمان) صورت پذیرفت (Pauly *et al*., 2011). به‌طور خلاصه، زرده تخم‌مرغ از سفیده جدا شد و پس از حذف غشائی زرده، محتویات زرده در بافر سالین فسفات (pH=7.6) به اندازه دو برابر حجم زرده ریخته و سپس با استفاده از ورتکس همزده شد. سپس ۳/۵ درصد وزنی–حجمی از PEG به این محلول اضافه گردید. این مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه در دمای محیط بر روی شیکر قرار داده شد و سپس در ۱۳۰۰۰ rpm به مدت ۲۰ دقیقه در ۴ درجه سانتیگراد سانتریفوژ شد. به‌منظور حذف چربی‌ها، محلول رویی بر روی کاغذ واتمن ریخته شده و سپس فیلتر شد. پس از آن PEG با غلظت حجمی وزنی ۸ درصد به محلول اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای محیط بر روی شیکر قرار گرفت. سپس محلول به مدت ۲۰ دقیقه مطابق مرحله قبل سانتریفوژ شد. پلت تشکیل شده در ۱۰ میلی‌لیتر بافر سالین فسفات حل و سپس ۱۲ درصد وزنی حجمی PEG به آن اضافه و مطابق مراحل قبل سانتریفوژ گردید. پلت تشکیل شده در ۲ میلی‌لیتر بافر سالین فسفات حل و در بافر سالین فسفات به مدت ۱۶ ساعت و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد دیالیز گردید. IgY تولیدی با استفاده از SDS-PAGE و روش برادفورد مورد بررسی قرار گرفت.

آزمایش الایزا به‌منظور شناسایی فعالیت اختصاصی آنتی‌بادی

به‌منظور برآورد فعالیت اختصاصی آنتی‌بادی خالص شده بر با کتری *هلیکوباکتر پیلوری* از روش الایزا استفاده شد. بدین منظور ۱۰۰ میکرولیتر از غلظت‌های مختلف باکتری *هلیکوباکترپیلوری* ($۱۰^{۳}$، $۱۰^{۴}$، $۱۰^{۵}$ و $۱۰^{۶}$CFU) درکف پلیت الایزا کوت شد و به مدت ۱ ساعت در دمای محیط قرار داده شد. سپس پلیت ۳ بار با محلول سالین فسفات حاوی ۰/۰۵ درصد Tween20 شستشو و ۱/۵ درصد بافر بلوکه‌کننده ۱/۵ درصد BSA به آن اضافه گردید. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از آنتی‌بادیIgY تولیدی بر روی آنتی‌ژن ریخته و به مدت ۱ ساعت در ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شد. نمونه‌ها با استفاده از محلول سالین بافر شستشو و سپس آنتی‌بادی ثانویه rabbit anti-chicken IgY H&L (HRP) با غلظت ۱ به ۱۰۰۰۰ و با شماره کاتولوگ C2288 (سیگما، امریکا) در پلیت ریخته و به مدت ۱ ساعت در ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه گردید. به‌منظور شناسایی براساس رنگ، از O-phenylenediamine مطابق دستور سازنده (Sigma, USA) استفاده شد. سرانجام با استفاده از ۵۰ میکرولیتر اسید سولفوریک ۲ نرمال، واکنش متوقف و جذب آن در ۴۹۲ نانومتر خوانش شد (Nasiri *et al*., 2016).

آماده‌سازی بستنی تخم‌مرغی

آماده‌سازی بستنی تخم‌مرغی مطابق پژوهش Herald و همکاران (۲۰۰۸) صورت پذیرفت. زرده تخم‌مرغ حاوی IgY به‌منظور تولید بستنی تخم‌مرغی و به‌منظور کنترل بستنی وانیلی تولید گردید.

بدین منظور، ۱/۴۶ گرم زرده تخم‌مرغ، ۰/۲۰ گرم پایدارکننده، ۱/۳۶ گرم شیر بدون چربی، ۶/۰۵ شکر، ۲۳/۵۲ گرم شیر پاستوریزه و ۹/۰۷ گرم خامه با هم ترکیب و به مدت ۱۰ دقیقه در ۷۰ درجه سانتی‌گراد همزده شد. سوسپانسیون تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد سرد و در ۱۵۰۰ psi هموژن گردید. سوسپانسیون هموژن در ۴ درجه سانتی‌گراد به سرعت سرد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در نهایت سوسپانسیون نهایی به دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد منتقل گردید تا بستنی آماده گردد.

بررسی مدت ماندگاری IgY در بستنی

بررسی فعالیت IgY در بستنی با استفاده از روش الایزا ۳ ماه پس از تولید صورت پذیرفت. بدین منظور، ۵ میلی‌لیتر از نمونه با ۵ میلی‌لیتر بافر کربنات (pH=10) ترکیب و سپس با ۱۰ میلی‌لیتر کلروفرم به مدت ۳۰ دقیقه مخلوط شد. محلول به مدت ۳۰ دقیقه در ۳۰۰۰ rpm سانتریفوژ و از محلول بالایی به‌منظور برآورد ماندگاری فعالیت IgY در بستنی استفاده گردید (Horie *et al*., 2004).

ارزیابی حسی بستنی

ارزیابی حسی بستنی تخم‌مرغی از طریق نظرسنجی میزان پذیرش مصرف‌کنندگان برآورد شد. بعد از دو هفته نگهداری بستنی، نمونه‌ها براساس طعم، رنگ، احساس، بافت و پذیرش نهایی با استفاده از مقیاس ۵ درجه‌ای هدونیک مورد ارزیابی قرار گرفتند (Lima *et al*., 2016).

نتایج و بحث

تولید IgY

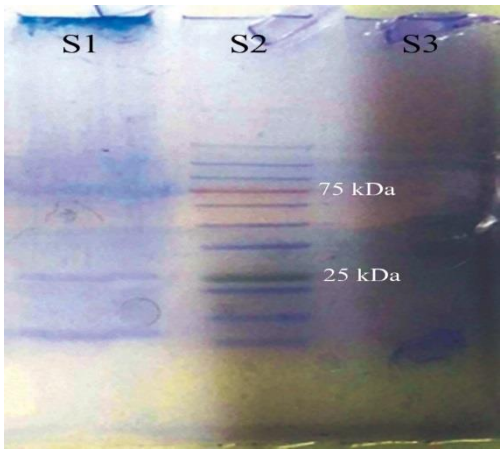
به‌منظور بررسی کیفیت IgY خالص شده، IgY استخراج شده بر روی ژل SDS-PAGE برده شد. حضور ۲ باند قوی ۲۷ و ۶۵ کیلودالتونی بر روی ژل ۱۲ درصد، نشان‌دهنده بهینه بودن شرایط استخراج آنتی‌بادی IgY و صحت انجام کار است (شکل ۱ الف). غلظت آنتی بادی استخراجی با استفاده از روش برادفورد، ۱۱/۴۶ میلی گرم بر میلی لیتر برآورد گردید (شکل ۱ ب). بررسی ها نشان می دهد که خلوص و غلظت آنتی‌بادی IgY دو فاکتور بسیار کلیدی برای استفاده از آن در فرآورده‌های غذایی است (Amro *et al*, 2018). از این رو، بهینه‌سازی روشی مناسب، در این خصوص بسیار حائز اهمیت است. تا به امروز ۲ روش اصلی برای استخراج IgY بر مبنای دو ماده پلی‌اتیلن گلایکول و تریتون[1] صورت گرفته است (Stålberg *et al*., 2001; Pauly *et al*., 2011). با این‌حال اگرچه که غلظت آنتی‌بادی استخراجی با استفاده از تریتون تا ۹۷ درصد حجم کل گزارش شده است (Stålberg *et al*., 2001)، اما این ماده به شدت برای بدن سمی بوده و استفاده از ان فرآیندهای بعدی مربوط به حذف این ماده شیمیایی را اضافه می‌کند که به نوبه خود سبب سختی کار می‌گردد. پلی‌اتیلن گلایکول ماده خوراکی برای انسان است که به‌عنوان اصلی‌ترین ماده به‌منظور خالص‌سازی IgY در پژوهش‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Najdi *et al*., 2016; Nassiri *et al*., 2016; Rahman *et al*., 2013). با این‌حال، به‌نظر می‌رسد استفاده از روش استخراج IgY به میزان بالای با هدف مطالعه وابستگی دارد. زیرا، در مطالعات تولید آنتی‌بادی پلی‌کلونال IgY به‌منظور شناسایی یک آنتی‌ژن در طراحی کیت‌های الایزا، استفاده از روش تریتون توصیه می‌گردد (Cai *et al*., 2012; Liu *et al*., 2013). یکی از اهداف اصلی این مطالعه، حذف مرحله استخراج آنتی‌بادی و اضافه کردن مستقیم زرده تخم‌مرغ به محصول جهت استفاده حداکثری از غلظت آنتی‌بادی تولیدی می‌برد.

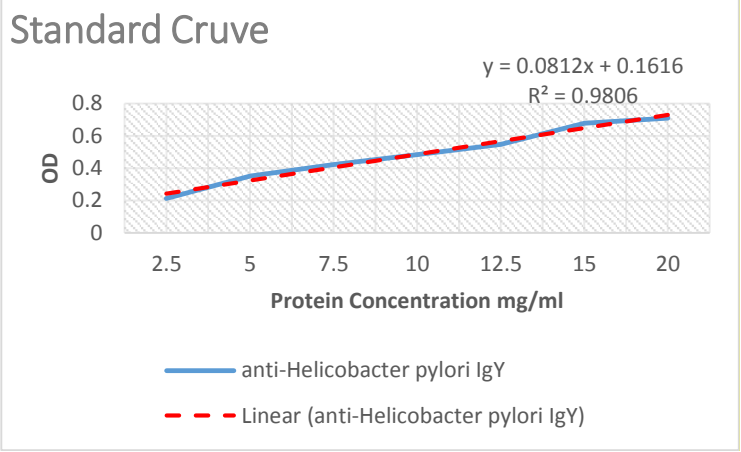
بررسی فعالیت IgY

بررسی نتایج الایزا نشان می‌دهد که انتی‌بادی IgY خالص شده می‌تواند با تمایل بالا به باکتری *هلیکوباکتری پیلوری* متصل گردد کند (شکل ۲ الف). همچنین آنالیز نتایج الایزا مشخص می‌کند که اختصاصی بودن بسیار بالا جهت اتصال آنتی‌بادی و آنتی‌ژن وجود داشته و تفاوت معنی‌داری بین گروه تیمار و کنترل به‌دست آمد (P-value <0.001). تعیین دز دقیق باکتری به‌منظور ایمنی‌زایی مرغ، نقش بسیار حیاتی در میزان تولید و فعالیت IgY بر علیه آنتی‌ژن‌ها دارد (Müller *et al*., 2015). از طرفی استفاده ادجوانت کامل و ناقص فروند به‌عنوان بهترین ادجوانت برای پرندگان، می‌تواند نقش به‌سزایی در تولید و فعالیت IgY داشته باشد (Schade *et al*., 2005). نتایج به‌دست آمده در این مطالعه با پژوهش‌های ذکر شده، مطابقت دارد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین اتصال انتی‌بادی IgY خالص‌سازی شده از مرغ‌ها بر علیه باکتری *هلیکوباکتر پیلوری* در هفته دوم بعد از آخرین مرحله ایمنی‌زایی ایجاد می‌شود. تولید میزان IgY با دور شدن از زمان تزریق کاهش می‌یابد (شکل ۲ ب). بررسی گزارش‌ها نشان می‌دهد که در هفته دوم تا چهارم بعد از تزریق، بیشترین میزان تولید آنتی‌بادی IgY به‌دست می‌آید (Loibner *et al*., 2016; Nasiri *et al*., 2016). با این حال، باید توجه داشت که تولید IgY می‌تواند برای ۲ ماه در حیوان پایدار شود، اگر شرایط ایمنی‌زایی مانند دز ایمنی‌زایی، استفاده از ادجوانت مناسب و تزریق یادآور ایمنی‌زایی صورت پذیرد. آنالیز نتایج ماندگاری IgY در بستنی نشان می‌دهد که فعالیت IgY بعد از ۹۰ روز تنها ۶ درصد کاهش داشته است (شکل ۲ج). گزارش‌ها نشان می‌دهد که فعالیت

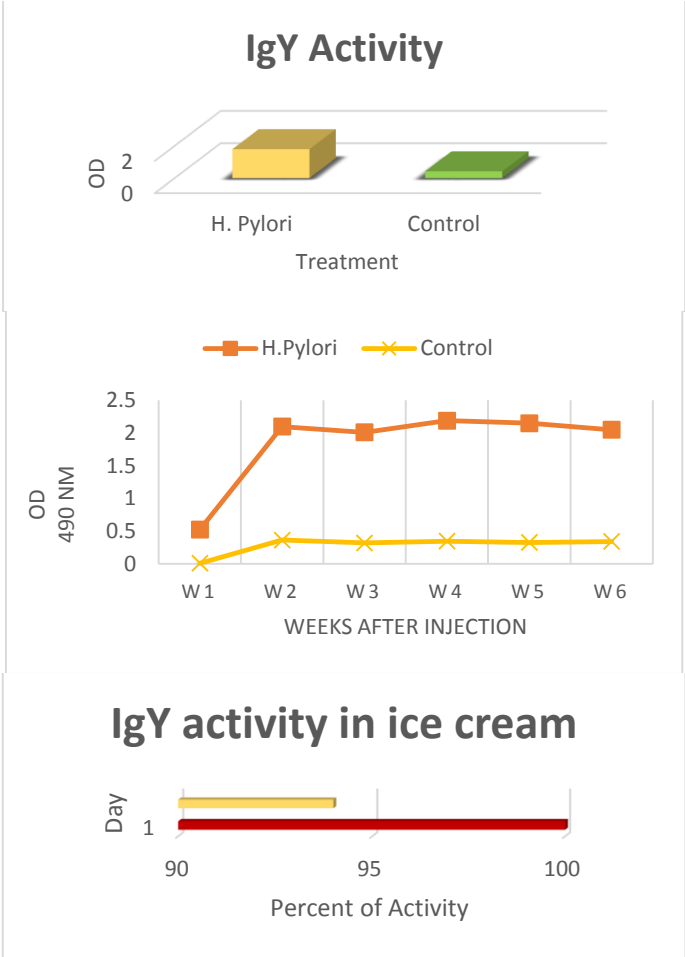
1 Triton

IgY در ماست پس از ۳ هفته ۱۵ درصد کاهش می‌یابد (Horie *et al.*, 2004).





شکل ۱- الف) بررسی آنتی بادی IgY خالص شده بر روی ژل SDS-PAGE ۱۲ درصد. S1: آنتی بادی IgY خالص شده از تخم‌مرغ‌های ایمنی‌زایی شده با *هلیکو باکتر پیلوری*، S2: مارکر پروتئینی شرکت سیناژن، S3: کنترل منفی ب) منحنی استاندارد تعیین غلظت پروتئین IgY. همانطور که در شکل نمایش داده شده ضریب صحت ۹۸ درصد نشان از دقت محاسبه غلظت پروتئین دارد.



شکل ۲- بررسی نتایج به‌دست آمده از آزمون الایزا. الف) نتایج فعالیت آنتی‌بادی IgY بر علیه باکتری *هلیکوباکتر پیلوری*. ب) میزان فعالیت IgY در هفته بعد از ایمنی‌زایی در مرغ، ج) بررسی فعالیت IgY بعد از ۹۰ روز در بستنی.

Mensink و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که شکر می‌تواند نقش بسیار مهمی در حفاظت از پروتئین‌ها و آنتی‌بادی‌ها در مواد غذایی داشته باشد. لذا، بستنی می‌تواند محصولی مناسب‌تر به‌عنوان میزبان پروتئین‌های درمانی باشد. از طرفی در دمای نگهداری ماست در ۴ درجه سانتی‌گراد است که در این دما پروتئین تجزیه می‌شود، اما بستنی در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شود، که این به نوبه خود ماندگاری آنتی‌بادی در محصول را افزایش می‌دهد. مهمتر از همه ترکیبات موجود در زرده تخم‌مرغ خود دارای نقش محافظتی برای آنتی‌بادی IgY هستند، از این رو عدم استخراج IgY و استفاده مستقیم از زرده تخم‌مرغ آن می‌تواند به افزایش ماندگاری IgY در محصول منجر گردد.

آنالیز ارزیابی حسی بستنی

آنالیز نتایج به‌دست آمده از ارزیابی حسی (تست هدونیک) برای مقایسه دو بستنی تخم‌مرغی حاوی IgY و بستنی وانیلی نشان می‌دهد که این بستنی قابلیت تجاری شدن را داشته و هیچ تفاوت معنی‌داری بین ویژگی‌های مورد بررسی آن با نمونه کنترل وجود ندارد (جدول ۱). در بستنی‌های سنتی از زرده تخم‌مرغ به‌عنوان پایدارکننده استفاده می‌شود، در فرمولاسیون‌های مدرن به دلیل کاهش هزینه مواد دیگر جایگزین تخم‌مرغ شده است (Barford, 2001). در مطالعه‌ای پژوهشگران بستنی وانیلی و تخم‌مرغی را از نظر ویژگی‌های بافتی (آنالیز بافت، دمای ذوب، ویسکوزیته و ...) و ارزیابی حسی مقایسه کردند (Herald *et al*., 2008). نتایج آنها نشان داد که هیچ تفاوت معنی‌داری بین بستنی‌های وانیلی و تخم‌مرغی از نظر پارامترهای بافتی و ارزیابی حسی وجود ندارد. لذا، ایده تولید ماده غذایی که باعث سلامتی بدن انسان شده و خطر ابتلا به بیماری را کاهش استقبال مصرف‌کنندگان را به دنبال خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

بستنی یکی از فرآورده‌های مشتری‌پسند و ارزان است که به سبب ویژگی‌های همچون نگهداری در دمای ۱۸- و استفاده از شکر می‌تواند به‌عنوان بهترین کاندید انتقال پروتئین‌های درمانی به بدن انسان باشد. در این مطالعه با اضافه کردن زرده تخم‌مرغ به بستنی، فرآورده غذایی جدیدی با ویژگی‌های درمانی برای انسان بر علیه باکتری *هلیکوباکتر پیلوری* تولید شد. آنتی‌بادی IgY بعد از ۱۲ هفته همچنان به شکل فعال در بستنی حضور داشت و مقایسه ارزیابی حسی این بستنی با بستنی وانیلی تاییدکننده بازارپسندی بستنی تخم‌مرغی می‌باشد. از این‌رو، مهمترین هدف این مطالعه که تولید بستنی فراسودمند به‌منظور پیشگیری و درمان زخم و سرطان معده در افراد درگیر با باکتری *هلیکوباکتر پیلوری* است، به‌دست آمد.

تشکر و قدردانی

این پروژه تحت حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به شماره ۴۶۷۵۱ صورت پذیرفته، که بدین وسیله از این معاونت محترم قدردانی می شود.

جدول ۱- نتایج ارزیابی حسی برای ۵ پارامتر اصلی تست هدونیک بستنی‌های وانیلی و تخم‌مرغی.

فرمول	بافت	احساس	مزه	طعم	رنگ	پذیرش کلی
تخم‌مرغی	۳/۵۶±۰/۲۰۳	۳/۷۵±۰/۲۸۲	۳/۴۳±۰/۲۸۶	۳/۲۵±۰/۲۵۱	۳/۳۱±۰/۲۷۸	۳/۶۲±۰/۲۱
وانیلی	۳/۵۰±۰/۲۰۳	۳/۶۸±۰/۲۸۲	۳/۳۱۲±۰/۲۸۶	۳/۶۸±۰/۲۵۱	۳/۶۲±۰/۲۷۸	۳/۶۸±۰/۲۱

منابع

Abdel-Aal, el-S. M., Akhtar, H., Zaheer, K. & Ali, R. (2013). Dietary sources of lutein and zeaxanthin carotenoids and their role in eye health. *Nutrients*, 9;5(4):1169-85.

Aitila, P., Mutyaba, M., Okeny, S., Ndawula, K. M., Kasule, R., Ssedyabane, F., Okongo, B., Onyuthi Apecu, R., Muwanguzi, E. & Oyet, C. (2019). Prevalence and Risk Factors of Helicobacter pylori Infection among Children Aged 1 to 15 Years at Holy Innocents Children's Hospital, Mbarara, South Western Uganda. *Journal of Tropical Medicine*, 7: 930-942.

Amroa, W.A., Qaisib, W. A. & Razema, F. A. (2017). Production and purification of IgY antibodies from chicken egg yolk. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16, 99-103.

Backert, S., Neddermann, M., Maubach, G., & Naumann, M. (2016). Pathogenesis of Helicobacter pylori infection. Helicobacter, 21, 19–25.

Blanchard, T. G., & Nedrud, J. G. (2006). Laboratory maintenance of helicobacter species. Current protocols in microbiology, Chapter 8, Unit8B.1.

Cai, Y. C., Guo, J., Chen, S. H., Tian, L. G., Steinmann, P., Chen, M. X., Li, H., Ai, L. & Chen, J. X. (2012). Chicken egg yolk antibodies (IgY) for detecting circulating antigens of Schistosoma japonicum. *International Journal for Parasitology*, 61(3), 385-90.

Chen, J.P. & Chang, M.C. (2003) Effect of Anti-Helicobacter pylori Urease Antibody (IgY) as a Food Ingredient on the Decrease of H. pylori in the Stomach of Humans Infected with H. pylori. *Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science*, 41, 408-414.

Czinn, S. J., & Blanchard, T. (2011). Vaccinating against Helicobacter pylori infection. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 8, 133–140.

Hong, K. S., Ki, M. R., Ullah, H. M. A., Lee, E. J., Kim, Y. D., Chung, M. J., Jeong, K. S. (2018). Preventive effect of anti-VacA egg yolk immunoglobulin (IgY) on Helicobacter pylori-infected mice. *Vaccine*, 36(3), 371–380.

Horie, K., Horie, N., Abdou, A.M., Yang, J.O., Yun, S.S., Chun, H.N., Park, C.K., Kim, M. and Hatta, H. (2004). Suppressive effect of functional drinking yogurt containing specific egg yolk immunoglobulin on Helicobacter pylori in humans. *Journal of Dairy Science*, 87, 4073-4079.

Ikemori, Y., Peralta, R. C., Kuroki, M., Yokoyama, H. & Kodama, Y. (1993). Research note: avidity of chicken yolk antibodies to enterotoxigenic Escherichia coli fimbriae. *Poultry Science*, 72, 2361 – 23655.

Jaradat, Z.W. & Marquardt, R. R. (2000). Studies on the Stability of Chicken IgY in Different Sugars, Complex Carbohydrates and Food Materials. *Food and Agricultural Immunology*. 12, 263–272.

Kabir, S. (2007). The current status of *Helicobacter pylori* vaccines: A review. *Helicobacter*, 12, 89–102.

Kovacs-Nolan, J., Phillips, M., Mine, Y. (2005). Advances in the value of eggs and egg components for human health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 8421 - 31;

Larsson, A., Bålöw, R. M., Lindahl, T. L. & Forsberg, P. O. (1993). Chicken antibodies: taking advantage of evolution. *Poultry Science*, 72, 1807 – 1802.

Lemamy, G. J., Roger, P., Mani, J. C., Robert, M., Rochefort, H. & Brouillet, J. P. (1999). High-affinity antibodies from hen's-egg yolks against human mannose-6-phosphate/insulin-like growth-factor-II receptor (M6P/IGFII-R): characterization and potential use in clinical cancer studies. *International Journal of Cancer*, 80, 896 – 902.

Leslie, G. A. & Clem, L. W. (1969). Phylogeny of immunoglobulin structure and function. *Journal of Experimental Medicine*, 130,1337-1345.

Liu, L. N., Jing, F.J., Cui, J., Fu, G. Y. & Wang, Z. Q. (2013). Detection of circulating antigen in serum of mice infected with Trichinella spiralis by an IgY-IgM mAb sandwich ELISA. *Experimental Parasitology*.133(2):150-5.

Loibner, M., Buzina, W. & Viertler, C. (2016). Pathogen Inactivating Properties and Increased Sensitivity in Molecular Diagnostics by PAXgene, a Novel Non-Crosslinking Tissue Fixative. *PLoS One*, 11:1-233 15.

Matsunaga, Y., Wakatsuki, Y., Tabata, Y., Kawasaki, H., Usui, T., Yoshida, M. (2000). Oral immunization with size-purified microsphere beads as a vehicle selectively induces systemic tolerance and sensitization. *Vaccine*, 19:579 – 88.

Mensink, M. A., Frijlink, H. W., van der Voort Maarschalk, K. & Hinrichs, W. L. (2017). How sugars protect proteins in the solid state and during drying (review): Mechanisms of stabilization in relation to stress conditions. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 114:288-295.

Mony, T. J., Kwon, H. S., Won, M. K., Kang, Y. M., Lee, S. H., Kim, S. Y., Bae, D. Y.& Elahi, F. (2019). Anti-urease immunoglobulin (IgY) from egg yolk prevents Helicobacter pylori infection in a mouse model. *Food and Agricultural Immunology*, 30, 662–676.

Müller, S., Schubert, A., Zajac, J.& Dyck, T. (2015). Oelkrug, C. IgY antibodies in human nutrition for disease prevention. *Nutrition Journal*, 20, 14:109.

Najdi, S., Nikbakht Brujeni, G., Sheikhi, N. & Chakhkar, S. (2016). Development of anti-Helicobacter pylori immunoglobulins Y (IgYs) in quail. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 17(2):106-110.

Narat, M. (2003). Production of antibodies in chickens. *Food Technology and Biotechnology*; 41, 259 – 67

Nilsson, E., Hanrieder, J., Bergquist, J. & Larsson, A. (2008). Proteomic characterization of IgY preparations purified with a water dilution method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56:11638 - 11642;

Rahman, S., Van Nguyen, S., Icatlo, F. C., Umeda, K., Kodama, Y. (2013). Oral passive IgY-based immunotherapeutics: a novel solution for prevention and treatment of alimentary tract diseases. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 9(5):1039-48.

Réhault-Godbert, S., Guyot, N. & Nys, Y. (2019). The Golden Egg: Nutritional Value, Bioactivities, and Emerging Benefits for Human Health. *Nutrients*. 22;11(3):684.

Russo, M., Nahori, M. A., Lefort, J., Gomes, E., de Castro Keller, A., Rodriguez, D. (2001). Suppression of asthma-like responses in different mouse strains by oral tolerance. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*, 24:518 - 26;

Schade, R., Gutierrez Calzado, E. J., Sarmiento, R., Chacana, P., Porankiewicz-Asplund, J., Horacio Raúl, T. (2005). Chicken Egg Yolk Antibodies (IgY-technology): A Review of Progress in Production and Use in Research and Human and Veterinary Medicine. *Alternatives to laboratory animals*, 33, 129-54.

Stålberg, J. & Larsson, A. (2001). Extraction of IgY from egg yolk using a novel aqueous two-phase system and comparison with other extraction methods. *Upsala Journal of Medical Sciences*, (2):99-110.

Sutton, P., & Lee, A. (2011). Helicobacter pylori vaccines-the current status. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 14, 1107–1118.

Taylor, A. I., Gould, H. J., Sutton, B. J. & Calvert, R. A. (2008). Avian IgY binds to a monocyte receptor with IgG-like kinetics despite an IgE-like structure. *Journal of Biological Chemistry*, 283, 16384 – 90.

Xu, Y., Li, X., Jin, L., Zhen, Y., Lu, Y., Li, S. (2011). Application of chicken egg yolk immunoglobulins in the control of terrestrial and aquatic animal diseases: a review. *Biotechnology Advances*, 29:860 – 868.

Yamane, T., Saito, Y., Takizawa, S., Goshima, H., Kodama, Y., Horie, N. & Kim, M. (2003). Development of Anti-Helicobacter pylori Urease IgY and Its Application for Food Product. *Food Processing and Ingredients*, 38, 70-78.

Yong, X., Tang, B., Li, B. S., Xie, R., Hu, C. J., Luo, G., Yang, S. M. (2015). *Helocobacter pylori* virulence factor CagA promotes tumorigenesis of gastric cancer via multiple signaling pathways. *Cell Communication and Signaling*, 30, 13-20.

Lee, N. H., Ryu, J. S., Jung, K. Y., Baek, B. S., Sunwoo, S. Y. (2003). Method for the production of the egg containing anti-pathogenic bacteria specific antbodies(igy) and the yogurt and ice cream containing the igy US20030185856A1.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 133- 142

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۴۲-۱۳۳

Production of Beneficial Ice Cream Containing Immunoglobulin Y against *Helicobacter pylori*

S. Sabahi[1], S. A. Mortazavi*[2], M. R. Nassiri[3], K. Ghazvini[4], F. Shahidi[3]

Received: 2019.04.22
Accepted: 2019.10.06

Introduction: Immunoglobin Y (IgY) or egg yolk antibodies have captured attention as substitutes for antibiotics against the presence of disease-causing organisms (Thomsen *et al*., 2016; Li *et al*., 2015; Pereira *et al*., 2019). Compared to mammalian IgG, IgY has several advantages including high yield, cost-effectiveness, and convenience (Li *et al*., 2015). It has been reported that the use of IgY against *Helicobacter pylori* can be particularly useful for prevention and treatment of diseases (Najdi *et al*., 2016). The growth inhibitory effect of IgY antibody is one of its crucial features (Alfarouk *et al*., 2019), meaning that IgY antibody could be consumed daily with no health risks. Therefore, daily consumption of IgY requires a suitable host. The ice cream is the best choice for this proposed, because this product is maintained at -18 C and ice cream composition has positive effect on the function of IgY. Therefore, we develop a new product for the prevention and treatment of *Helicobacter pylori.*

Material and Methods: The Mueller-Hinton media was used for *H. pylori* growth. Then, 10^9 colonies of bacterium were inactivated by formaldehyde methods. The 3 white leghorn chickens (Animal Science Department of Ferdowsi University of Mashhad) of 16 weeks old were immunized by *H. pylori* and Freund's complete adjuvant with an equal volume. The reminder immunization was done two weeks later and using of Freund's incomplete adjuvant for stage 2. One week after the chickens received their last injection, their eggs were collected on a daily basis for eight weeks, labeled and kept at 4 °C (Pauly *et al*., 2011). Extraction and purification of IgY antibody from egg yolk was done using polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) powder (Merck, Germany) according to Polson's method (Pauly *et al*., 2011). The IgY production wasverified by the SDS-PAGE and Bradford methods. The specific activity of IgY antibody against *H. pylori* was examined by ELISA. The absorbance of each well was measured at 492 nm (Nasiri *et al*., 2016). The egg yolk ice cream preparation contains IgY was prepared according to the method of Herald *et al* (2008). For estimation of IgY shelf life in ice cream, the residual activity of IgY after freezing was measured by ELISA. The Sensory evaluation of the egg yolk ice creams was conducted by 5-point hedonic scale through surveys to assess consumers' level of acceptance.

Results and Discussion: The purification of IgY using the SDS-PAGE method was verified correctly and the size of heavy and light chains of IgY was estimated about 65 and 27 kDa. The IgY yield in samples was 11.46 mg/ml, therefore, the high purity and yield of IgY, it could be effectively used as an ideal antibody in the food industry. The purification of IgY from egg yolk by PEG method is remarkably cost effective. The ELISA assay indicated binding of IgY to *H. pylori* antigen that was fixed on plates. Also, the results revealed significant differences between the control and treatment groups (P-value <0.001). The shelf life of IgY in ice cream showed that this product could be most certainly used as bio-food. ELISA analysis confirmed that IgY could remain effective in ice cream for 3 months. The activity of IgY during this period decreased about 6%, which is insignificant. The sensory features of ice cream using hedonic scale revealed that this product could be suitable for marketing, as no significant difference was found between egg yolk and vanilla ice creams. Ice cream is considered as the best candidate for production of IgY bio-foods, as it possesses the features needed to protect IgY and to increase efficiency of IgY activity. The optimum temperature for protection of ice cream was -18 °C that is utterly suitable for IgY protection. Furthermore, ice cream is consumed while cold and studies showed that IgY can remain active at temperatures of up to 80 °C and pasteurization process had no effect on IgY activity (Horie *et al*., 2004). Jaradat *et al* (2000) reported that, IgY activity was inhibited in presence of carbohydrates (sucrose, lactose and trehalose). Therefore, here, we used freeze dried egg yolk to protect IgY.

1. PhD Candidate, Department of Food Industry, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Professor, Department of Food Industry, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: morteza@um.ac.ir.
3. Professor, Department of Animal Science and Institute of Biotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
4. Professor, Department of Microbiology, Faculty of Medical science, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.
(*Corresponding Author Email: Morteza1937@yahoo.com)

Consequently, ice-cream is an ideal candidate for transferring antibodies into human body, as the particular composition of ice cream can properly protect IgY antibodies.

Keywords: Immunoglobin Y, Ice Cream, *H. pylori*, Inactive Immune System.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 143- 172

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۷۲-۱۴۳

مقاله علمی- پژوهشی

بهینه‌سازی تولید نانوامولسیون اسانس پونه کوهی ایرانی حاوی اسیدهای چرب امگا سه با استفاده از روش امولسیفیکاسیون خودبه‌خودی

نسرین فرجی[۱]- محمد علیزاده[۲*]- هادی الماسی[۳]- سجاد پیرسا[۳]- سهیلا فرجی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۳۰

چکیده

اخیرا استفاده از روش‌های کم انرژی به‌دلیل عدم نیاز به تجهیزات گران قیمت و سهولت تولید بسیار رواج یافته است. در این پژوهش، نانوامولسیون اسیدهای چرب امگا سه با استفاده از اسانس پونه کوهی ایرانی به روش امولسیفیکاسیون خودبه‌خودی تهیه گردید. هدف از این مطالعه، بررسی شرایط بهینه تولید نانوامولسیون با استفاده از طرح دی اپتیمال بود، برای این منظور نانوامولسیون‌های حاوی اسیدهای چرب امگا سه با استفاده از اسانس گیاهی پونه کوهی ایرانی با چهار متغیر مستقل غلظت امگا سه (۷۵ -۲۵ درصد)، نوع سورفاکتانت (توئین ۸۰، توئین ۲۰، توئین ۲۰:۸۰ و کازئینات سدیم)، نسبت سورفاکتانت به روغن (۳۰۰ -۱۰ درصد) و مدت زمان نگهداری (۶۰ -۱ روز) تولید گردیدند و تاثیر آنها بر پارامترهایی مانند میانگین قطر ذرات، توزیع اندازه ذرات، شاخص کدورت، اندیس خامه‌ای شدن، خواص آنتی‌اکسیدانی، اندیس پراکسید، اندیس تیوباربیتوریک اسید، ضریب شکست، بریکس و pH مورد مطالعه قرار گرفت و سپس به‌منظور تعیین بهترین فرمولاسیون بهینه‌سازی انجام گرفت. نتایج نشان دادند که میانگین اندازه قطرات بسیار تحت تاثیر غلظت سورفاکتانت و نوع سورفاکتانت بود و با افزایش مقدار سورفاکتانت، میانگین قطر قطرات کاهش معنی‌داری یافت، در واقع افزایش غلظت سورفاکتانت در نانوامولسیون‌ها در اکثر موارد سبب افزایش میزان جذب سورفاکتانت به سطح W/O گردیده و در نتیجه منجر به کاهش بیشتر کشش سطحی شد و در نهایت سبب کاهش اندازه ذرات و کاهش اندیس خامه‌ای شدن گردید، همچنین افزایش غلظت سورفاکتانت، به علت کاهش میانگین قطر ذرات، پراکنش نوری کاهش یافته و میزان کدورت کاهش یافت، از طرفی افزایش غلظت سورفاکتانت و کاهش اندازه ذرات، در کاهش اندیس پراکسید نیز موثر بود. با استفاده از بهینه‌سازی عددی مقادیر بهینه متغیرهای مستقل نانوامولسیون‌های پونه کوهی ایرانی حامل اسیدهای چرب امگا سه به‌ترتیب، میزان امگا سه ۲۹/۳۱ درصد، مدت زمان نگهداری ۴۰ روز، درصد SOR (۱۰۰) درصد و نوع سورفاکتانت توئین ۲۰:۸۰ تعیین شدند.

واژه‌های کلیدی: نانوامولسیون، اسیدهای چرب غیراشباع، امگا سه، امولسیفیکاسیون خودبه‌خودی، اسانس پونه کوهی ایرانی

مقدمه

استراتژی تولید غذا تنها اطمینان از دریافت غذای کافی برای آحاد جامعه نمی‌باشد، بلکه اطمینان از مصرف غذای کافی همراه با کیفیت خوب و ایمنی بالا، سبب دستیابی به یک رژیم غذایی متعادل و سلامت‌بخش خواهد گردید. از طرفی به تازگی بیشتر مردم دارای نگرانی در خصوص رژیم غذایی خود از نظر سلامت آن می‌باشند. مواد غذا- دارو از ترکیب دو واژه تغذیه و داروسازی تشکیل شده و به‌طور کلی به اجزایی از ماده غذایی گفته می‌شود که علاوه برداشتن خواص تغذیه‌ای پایه، دارای فعالیت بیولوژیکی ارزشمند و سلامتی‌بخش هستند و باعث پیشگیری و یا درمان بیماری‌ها می‌شوند (Saarela *et al.*, 2002). افزایش دانش عمومی در مورد اهمیت رژیم سالم، پیشرفت‌های فنی و تکنولوژیکی در صنایع غذایی، افزایش تقاضا برای مواد غذایی سلامتی‌بخش از طرف مصرف‌کنندگان و پیش‌بینی‌ها برای پیری جمعیت و افزایش هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی علاقه به غذاهای فراسودمند را دو چندان نموده است. مهمترین محصولات فراسودمند عبارتند از غذاهای حاوی: اسیدهای چرب ضروری، ویتامین‌ها، کاروتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها و استرول‌ها. اسیدهای چرب امگاسه، دسته‌ای از اسیدهای چرب چندغیراشباع (معمولاً بیش از دو پیوند دوگانه) می‌باشند که پیش‌ساز بسیاری از ترکیبات ضروری

۱- دکترای علوم و صنایع غذایی، مدیر تحقیق و توسعه شرکت آذین شوشتر، خوزستان، شوشتر، صنایع غذایی مجید.
۲ و۳- به‌ترتیب استاد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه، ایران.
۴- کارشناس ارشد صنایع غذایی، مدیر کنترل کیفیت شرکت آذین شوشتر، خوزستان، شوشتر، صنایع غذایی مجید.
(*-نویسنده مسئول: Email: Nasrin.faraji88@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.84721

در بدن هستند، اسیدهای چرب غیراشباع دوکوزاهگزانوئیک اسید[1]، ایکوزاپنتانوئیک اسید[2]و آلفالینولنیک اسید[3]مهمترین اسیدهای چرب امگا سه محسوب می‌شوند (Maki *et al.*, 2014). اسیدهای چرب امگا سه نقش مهمی در پیشگیری از بیماریهای قلبی- عروقی به‌خصوص در جمعیت های در معرض خطر دارند (Kris-Etherton *et al.*, 2009). فوائد فراوان اسیدهای EPA و DHA در امگا سه تنها محدود به سیستم عروقی نمی‌شود و کمبود این ماده مغذی می۲تواند سبب ایجاد مشکلات جدی شود. به‌طوری که برای عملکرد صحیح سایر قسمت های بدن ضروری هستند، به‌عنوان مثال سبب رشد و نمو، سلامت بافت‌های چشمی، مغزی و بهبود بیماری‌های التهابی مثل آرتروز می‌گردد (Lavie *et al.*, 2009). منابع غذایی امگا سه عبارتند از: روغن‌ماهی، روغن کریل، روغن تخم ماهی، روغن جلبک، روغن بذرکتان، روغن دانه چیا، روغن ساشا اینچی، روغن اچیوم و روغن گیاه شاهدانه. میزان این اسیدهای چرب ضروی امگا سه در موجودات دریایی مانند ماهی‌ها بیشتر از سایر مواد غذایی هست، اما استفاده از ماهی به‌عنوان منبع غنی از اسیدهای چرب غیراشباع به دلیل قیمت بالای آنها، بوی نامطبوع و میزان آلودگی‌هایی مانند فلزات سنگین، قابلیت دسترسی و تامین همیشگی آنها محدودیت هایی دارد (Freemantle Kesavulu *et al.*, 2002 ; Lavie *et al.*, 2009*et al.*, 2006 ;). یکی از راهکارهای مناسب برای جلوگیری از بروز این مشکلات، غنی‌سازی مواد غذایی با اسیدهای چرب امگا سه است، اما محدودیت‌هایی در ارتباط با غنی‌سازی مواد غذایی با روغن ماهی وجود دارد اولا: اسیدهای چرب غیراشباع مولکول های بسیار آبگریزی بوده که محلولیت در آب بسیار پایینی دارند و ثانیا اسیدهای چرب غیراشباع بسیار حساس نسبت به اکسیداسیون هستند و در طی دوران نگهداری دچار فساد شده و تولید ترکیبات نامطبوعی می‌کنند که مصرف را برای مصرف‌کننده با مشکل مواجه می‌کند (Nuchi *et al.*, 2001). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که سیستم‌های تحویلی کلوئیدی مانند امولسیون‌ها، امولسیون‌های چندلایه، امولسیون‌های چندگانه و نانوامولسیون‌ها می‌توانند اسیدهای چرب غیراشباع را درون شرایط آبی قرار داده و پایداری اکسیداسیونی آنها را بهبود دهند. استفاده از نانوحامل‌ها برای انتقال و حفاظت از مواد مغذی محلول در چربی یا به عبارت دیگر انکپسوله کردن این ترکیبات، راهکاری مناسب است (McClements *et al.*, 2007).

سیستم‌های امولسیونی مورد استفاده برای انتقال ترکیبات نیز خود به دو دسته اصلی ماکرو امولسیون معمولی (اندازه ذرات بیشتر از ۱۰۰ نانومتر) و نانوامولسیون (اندازه ذرات حدوداً ۵۰۰-۱۰ نانومتر) تقسیم می‌گردند (Rao and McClements, 2012). به‌دلیل اینکه اندازه ذرات نانوامولسیون بسیار کمتر از طول موج نور است لذا نور را شدید پخش نکرده در نتیجه شفاف و یا تا حدودی کدر هستند (Walker *et al.*, 2015a)، نانوامولسیون‌ها کاربردهای عملی بسیاری در ساخت مواد شیمیایی، صنایع غذایی، دارویی و آرایشی و بهداشتی دارند (Saberi *et al.*, 2013b). یکی از مهمترین کاربردهای نانوامولسیون‌های خوراکی در صنایع غذایی و دارویی برای درون‌پوشانی ترکیبات لیپوفیل مانند اسیدهای چرب ضروری، ویتامین‌های محلول در چربی، مواد عطر و طعمی، رنگ‌ها، مواد نگهدارنده‌ها و داروها هستند. نانوامولسیون‌ها به دو روش پر انرژی (توسط ابزارهای مکانیکی) و کم انرژی تهیه می‌شوند. روش‌های کم انرژی به‌طور کل وابسته به پدیده‌های بین سطحی در مرز بین فازهای آب- روغن هستند و این روش در تولید ذرات کوچک‌تر کاربرد فراوانی دارد (McClements, 2015). تنها محدودیت این روش‌ها نوع روغن، نوع و غلظت امولسیفایر مورد استفاده است. به‌طوریکه باید از غلظت‌های نسبتاً بالایی از امولسیفایرهای سنتزی ریزمولکول استفاده شود که این امر استفاده از این روش‌ها را در بسیاری از مصارف غذایی محدود می‌کند (Rao, 2012). تولید خودبه‌خودی امولسیون یکی از روش‌های کم انرژی تولید نانوامولسیون است که در نتیجه تیتراسیون یک فاز آلی حاوی روغن، سورفاکتانت هیدروفیل و حلال قابل امتزاج با آب در فاز آبی رخ می‌دهد. ویژگی‌های خودبه‌خودی این روش نتیجه حالت‌های غیرتعادلی اولیه دو فاز مختلف است که بدون همزدن در تماس با هم قرار می‌گیرند (Saberi *et al.*, 2013). تشکیل نانوامولسیون توسط امولسیفیکاسیون خودبه‌خودی به دو مکانیزم آشفتگی سطحی در اثر مهاجرت سورفاکتانت به فازی که در آن بیشتر حل می‌شود و انتشار و رشته‌ای شدن در اثر کشاندن مولکول‌های روغن چسبیده به سورفاکتانت به داخل فاز آبی نسبت داده می‌شود (Saberi *et al.*, 2013b). زمانی که دو فاز روغن و آب در مجاورت هم قرار می‌گیرند (تیتر شدن فاز روغن حاوی امولسیفایر درون فازآبی) امولسیفایر موجود در فاز روغنی به فاز آبی که حلالیتش در آن بیشتر است، مهاجرت می‌کند و در نتیجه آشفتگی بین سطحی ایجاد شده و هنگام اضافه کردن امولسیفایر به فاز آبی، مقداری روغن نیز همراه آن وارد فاز آبی می‌شود. این روغن متصل به سورفاکتانت در داخل آب به‌صورت قطرات ریزامولسیون، رشته‌ای می‌شود و سبب تولید خودبه‌خودی قطرات ریز می‌شود. توئین‌ها (توئین ۸۰ یا پلی‌اکسی اتیلن سوربیتان منواولئات و توئین ۲۰ یا پلی‌اکسی اتیلن سوربیتان منو لورات) از دسته سورفاکتانت‌های غیریونی بوده که به‌طور گسترده‌ای در صنعت غذا استفاده می‌شود زیرا سمیت کمی دارند. پروتئین کازئینات سدیم از دسته سورفاکتانت‌های بیوپلیمری بزرگ مولکولی می‌باشند. این مولکول‌ها ساختار تصادفی و انعطاف‌پذیری دارند و ساختار دوم بسیار محدودی دارند و دارای مناطق آبگریز و آبدوست در زنجیره پپتیدی

1DHA
2 EPA
3 ALA

دارند (Méx, 2008). اسانس‌های گیاهی، مایعات روغنی معطر هستند که از بخش‌های مختلف گیاهان به‌دست آمده و به‌عنوان طعم‌دهنده‌های غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Li *et al.*, 2015). مطالعات مختلفی ویژگی‌های ضدمیکروبی، ضدقارچی، ضدویروسی، ضدانگلی و آنتی‌اکسیدانی اسانس‌های گیاهی را تایید نمودند. اسانس‌های ضروری برای غلبه بر مشکلات ناشی از اکسیداسیون و ناپایداری فیزیکی می‌توانند به‌کار گرفته شوند. علاوه بر این، اسانس‌ها در محصولات ایجاد بو و مزه مطلوبی می‌کنند زیرا آنها می‌توانند عطر و طعم‌های نامطلوب مانند روغن ماهی را پوشانده و محصولات غنی شده با روغن ماهی بسیار مطلوب‌تر برای مصرف‌کننده، تولید نمایند. پونه کوهی ایرانی گیاهی معطر از خانواده نعناعیان است، پونه کوهی منبع خوبی از ویتامین K، ویتامینE، منیزیم، منگنز، آهن، کلسیم، اسیدهای چرب امگا سه و امگا شش می‌باشد. این ترکیب به‌طور عمده از مونوترپن‌های اکسیژنه نظیر منتون، پولگون و پیپریتون تشکیل شده‌اند و ترکیبات منوترپن هیدروکربنی مانند لیمونین در مقادیر مختلف در روغن این گیاه نیز یافت می‌شوند (Al-Bayati, 2009). هدف این پژوهش، بررسی شرایط بهینه تولید نانوامولسیون امگا سه با استفاده از اسانس پونه کوهی ایرانی به‌عنوان فاز روغنی همراه امگا سه به روش امولسیفیکاسیون خودبه‌خودی و ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آنها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

روغن ماهی از شرکت داروسازی زهراوی تبریز، کازئینات سدیم، DPPH، متانل از شرکت مرک آلمان (Merck Chemical, Germany) ،توئین ۸۰، توئین ۲۰، هیدروکسید سدیم، فنل فتالئین، تری کلرو استیک اسید، کلروفرم، چسب نشاسته از شرکت سیگما آلدریچ آمریکا (Sigma Aldrich, USA) خریداری شد. اسانس پونه کوهی ایرانی از شرکت دانش بنیان عطر و طعم ماگنولیا (ایران) خریداری شد. آب دوبار تقطیر برای تمام نمونه‌ها تهیه شد. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده با درجه آزمایشگاهی تهیه شدند.

تهیه نانوامولسیون

سیستم نانوامولسیون حاوی امگا سه با استفاده ازروش کم انرژی تشکیل خودبه‌خودی امولسیون روغن در آب با اضافه کردن قطره قطره فاز روغنی (محلول امگا سه در اسانس روغنی حامل به همراه سورفاکتانت‌های توئین ۲۰، توئین ۸۰ و کازئینات سدیم) مطابق طرح آماری (جدول ۱) بر روی آب دیونیزه به نسبت ۲۰ به ۸۰ ، تولید شد، درحین تشکیل، امولسیون به‌طور مداوم توسط همزن مغناطیسی با سرعت بهینه ۸۰۰ دور بر دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت همزده شد. با توجه به تأثیر دما در اندازه ذرات نانوامولسیون، ازهمزن مغناطیسی مجهز به سنسور تنظیم دما (MS-11C Magnetic Stirrer ، Ezdo تایوان) استفاده گردید، به این ترتیب نانوامولسیون مورد نظر تهیه گردید (Saberi *et al.*,2013).

ترکیبات موجود در اسانس پونه کوهی ایرانی

ترکیبات موجود در اسانس گیاهی پونه کوهی با دستگاه گاز کروماتوگرافی- طیف سنجی جرمی (Agilent 6890، آمریکا) به‌صورت کمی اندازه‌گیری شد. این دستگاه با ستون مویینه به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میکرومتر و ضخامت لایه داخلی ۰/۲۵ میکرومتر با برنامه دمایی ۵۰ تا ۲۶۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه و نگهداری ستون در ۲۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه استفاده شد، دمای اتاقک تزریق ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد بود و از گاز هلیوم با سرعت جریان ۱/۵ میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. طیف نگار جرمی مورد استفاده (Agilent 5973) با انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و دمای منبع یونیزاسیون ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد بود. شناسایی اجزا با مقایسه طیف جرمی آنها با طیف ترکیبات در حافظه کامپیوتر و استانداردهای معتبر صورت گرفت (Faraji *et al.*, 2018).

اندازه ذرات و توزیع اندازه ذرات

توزیع اندازه ذرات و قطر متوسط آنها در دستگاه آنالیز کننده ذرات DLS (Shimadzu، ژاپن) با محدوده ۵۰ نانومتر تا ۵۰ میکرومتر تعیین گردید. این دستگاه بر اساس پراکنش نور لیزر عمل می‌کند. اندازه‌گیری ذرات پس از گذشت ۲۴ ساعت از تولید و نگهداری نمونه‌ها در دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) انجام شد. متوسط اندازه ذرات بر اساس قطر میانگین حجمی تعیین شد و کلیه نمونه‌ها در سه تکرار اندازه‌گیری شدند (Saberi *et al.*, 2013). میانگین قطر حجمی (میانگین حجم معادل) مطابق معادله (۱) تعیین شد:

$$D[4,3] = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3} \quad (۱)$$

n_i : تعداد ذرات

d_i: میانگین قطر ذرات

توزیع اندازه ذرات نیز با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد:

$$Span= (D\ 90\%-D10\%)/\ D50\% \quad (۲)$$

D (۹۰٪)، D (۵۰٪) و D (۱۰٪)= قطر حجمی که ذرات کوچکتر از آن، ۹۰ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰ درصد حجم کل ذرات موجود در سیستم را به‌ترتیب تشکیل می‌دهند.

کدورت

کدورت نانوامولسیون‌های تهیه شده با دستگاه اسپکتروفتومتر UV-VIS (UV-1700 Pharma Spec,Shimadzu Corporation) در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Xia and Xu, 2005).

اندیس پراکسید

برای اندازه‌گیری اندیس پراکسید ۵ گرم نمونه در ۳۰ میلی‌لیتر محلول اسید استیک- کلروفرم (نسبت ۳ به ۲) با افزودن ۰/۵ میلی‌لیتر محلول اشباع یدید پتاسیم مخلوط گردیده و پس از گذشت زمان۱ دقیقه، با افزودن ۳۰ میلی‌لیتر آب و در حضور شناساگر نشاسته با محلول سدیم تیوسولفات ۰/۰۱ نرمال تیتر شدند (استاندارد ملی ایران، ۴۱۷۹).

$$PV= (N\times V\times 1000)/M \quad (۳)$$

N= نرمالیته تیوسولفات سدیم

V= حجم مصرفی تیوسولفات سدیم

M= جرم نمونه

اندیس اسید تیوباربیتوریک

اندازه‌گیری این شاخص مطابق با استاندارد ملی شماره ۱۰۴۹۴ انجام گرفت. به این ترتیب که ۲۰۰ میلی‌گرم نمونه با حلال ۱بوتانول به حجم رسانده شد. ۵ میلی‌لیتر از مخلوط روغن– بوتانول مربوط به هر تیمار، به لوله‌های آزمایش خشک انتقال داده شد و ۵ میلی‌لیتر محلول واکنشگر تیوباربیتوریک اسید (۲٪) به آن‌ها اضافه گردید. سپس همه لوله‌های آزمایش در حمام آب ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفتند. بعد از سپری شدن زمان مربوطه و سرد شدن، جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۰ نانومتر خوانده شد و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر نتایج از طریق فرمول زیر محاسبه گردید.

$$TBA= 50(A-B)/M \quad (۴)$$

در این رابطه A میزان جذب نمونه، B میزان جذب نمونه شاهد و M وزن نمونه برحسب میلی‌گرم می‌باشد.

ضریب شکست و بریکس

ضریب شکست و بریکس نمونه‌ها ۲۴ ساعت بعد از تولید نمونه‌ها و همچنین در طی دوران نگهداری مطابق طرح آزمایشی با استفاده از دستگاه رفراکتومتر رومیزی (RX7000a; Atago, Japan) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در سه تکرار اندازه‌گیری شد (Martín-Diana *et al*., 2009).

اندیس خامه‌ای شدن

۱۰ میلی‌لیتر از نمونه تولید شده به یک لوله آزمایش انتقال داده شد و درب آن محکم بسته شد و در طی دوران نگهداری دو فاز شدن نمونه را به دو لایه یک لایه رویی (کرم) و لایه زیری (سرم) مشاهده شد. حجم و ارتفاع نمونه‌ها در طول دوران نگهداری اندازه‌گیری گردید (Chanda *et al*., 2011).

$$\text{Creaming Index (\%)}= (V_t - V_s)/V_t \quad (۵)$$

V_t حجم کل نمونه و V_sحجم سرم می‌باشد.

قدرت آنتی‌اکسیدانی

از پودر DPPH محلول ۰/۱ میلی‌مولار با متانول تهیه شد (۰/۰۰۴گرم از DPPH در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول)، ابتدا دو میلی‌لیتر محلول در هر لوله آزمایش ریخته شد، سپس ۱۰۰ میکرولیتر نمونه اضافه گردید و پس از همزدن به مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه و تاریکی نگهداری شد. میزان جذب نوری به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر با سه تکرار اندازه‌گیری شد. محلول DPPH بنفش رنگ پس از اضافه شدن نمونه به آن بر اساس میزان قدرت آنتی‌اکسیدانی تا رنگ زرد تغییر کرد (Molyneux, 2004).

درصد مهار اکسیداسیون هر نمونه از معادله (۶) محاسبه شد:

$$AI (\%) = (A-A_0)/A_0 \quad (۶)$$

AI: درصد مهارDPPH

A: جذب نمونه‌ها

A_0: جذب محلول کنترل که در آن هیچ ترکیب مورد آزمایش وجود ندارد.

pH

اندازه‌گیری pH در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با pHمتر دیجیتال (7110 WTW، آلمان) با ۳ بار تکرار انجام شد (Martín-Diana *et al*.,2009).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق از طرح دی اپتیمال[1] با بررسی تاثیر چهار فاکتور مستقل شامل میزان امگا سه، زمان نگهداری، نسبت سورفاکتانت به فاز روغنی[2] و نوع سورفاکتانت به‌منظور بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و پایداری فرمولاسیون نانوامولسیون‌های اسانس پونه کوهی ایرانی حاوی اسیدهای چرب امگا سه مطابق جدول ۱ به تعداد ۳۲

1 D-optimal
2 SOR

فرمولاسیون استفاده گردید و پس از آنالیز رگرسیون و یا تعیین مدل های مناسب از روش تابع مطلوبیت عددی برای یافتن شرایط بهینه استفاده شد. سطح خطای نوع اول در این مطالعه برابر ۰/۰۵ در نظر گرفت شد. از نرم‌افزار Design Expert 7.1.6 جهت طراحی آزمایشی، تحلیل داده‌ها، مدل‌سازی، بهینه کردن پارامترها و رسم نمودارهای مربوط به روش سطح پاسخ استفاده گردید. هر یک از متغیرهای تابع میانگین قطر ذرات، شاخص کدورت، شاخص اسپن، اندیس خامه‌ای شدن، اندیس پراکسید، اندیس تیوباربیتوریک اسید، خواص آنتی‌اکسیدانی، pH، ضریب شکست و بریکس در قالب مدل رگرسیون درجه دوم چند متغیره (معادله ۷) به صورت تابعی از متغیرهای مستقل (A، B، C، D) ارائه شدند.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{3} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=i+1}^{3} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{3} \beta_{ii} x_{ii}^2 \quad (۷)$$

در این مدل Y پاسخ پیش‌بینی شده، X_i و X_j متغیرهای مستقل(چهار فاکتور) و β_0 ضریب ثابت، β_i اثرات خطی، β_{ij} اثرات متقابل و β_{ii} اثرات مربعی می‌باشند. کل مدل شامل جملات خطی، درجه دوم و حاصل ضرب‌ها می‌باشد. برای نشان دادن رابطه هر یک از متغیرهای تابع در مدل رگرسیون با متغیرهای مستقل نمودارهای سطوح پاسخ و کانتورپلات ترسیم شدند، به‌منظور ارزیابی صحت مدل‌های برازش داده شده با داده‌های آزمایشی در شرایط بهینه تعیین شده، آزمون‌های مورد نظر صورت گرفته و نتایج ارزیابی کمی و کیفی آن با مقادیر پیشگویی شده توسط مدل مقایسه گردید.

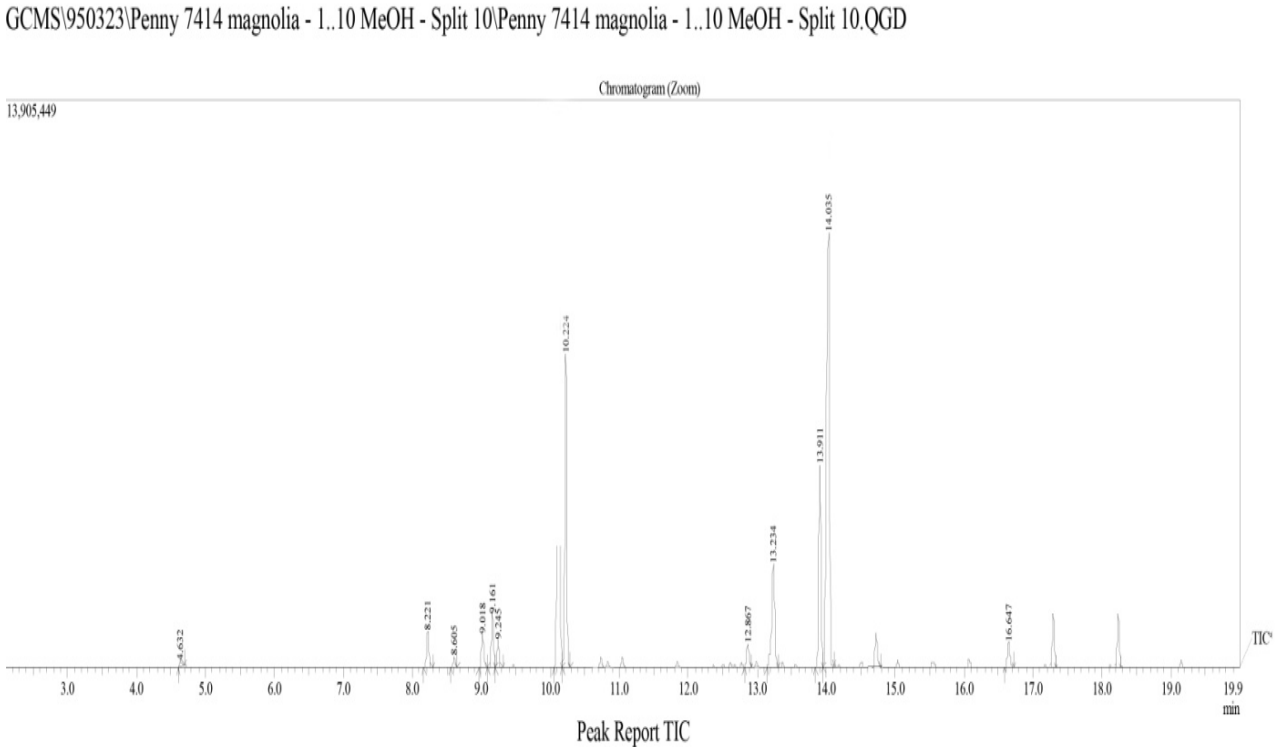
جدول ۱- طرح آماری تولید نانوامولسیون‌های اسانس های حاوی اسیدهای چرب امگا سه

Run order	Block	Factors			
		A: Omega3(%)	B: Storage Time(day)	C: SOR (%)	D:Surfactant type
1	1	75	24.6	300	SC
2	1	52.75	9.26	91.4276	T80
3	1	50	38.17	155	T20
4	1	65	1	10	SC
5	1	50	38.17	155	T20
6	1	75	60	300	T80
7	1	25	60	276.8	T80:20
8	1	75	30.5	10	T80
9	1	25	60	10	T80
10	1	75	60	68	SC
11	1	25	1	10	T20
12	1	75	1	134.7	T80:20
13	1	52.75	9.26	91.4276	T80
14	1	25	1	10	T80
15	1	25	36.4	10	SC
16	1	75	1	300	T80
17	1	71.25	60	10	T80:20
18	1	25	30.5	300	T80
19	1	25	1	242	SC
20	1	25	1	10	T80:20
21	1	71.75	37.875	161.0556	T80:20
22	1	25	60	300	T20
23	1	43.60223	58.82	10	T20
24	1	25	1	10	T80:20
25	1	75	60	10	T20
26	1	50	38.17	155	T20
27	1	40.95159	1	174.0415	T20
28	1	75	1	300	T20
29	1	25	30.5	300	T80
30	1	47	1	300	T80:20
31	1	56.0709	54.1	300	T80:20
32	1	35.25	60	300	SC

نتایج و بحث

کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی اسانس پونه کوهی ایرانی

بر اساس آنالیز اسانس پونه کوهی با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنج جرمی مطابق کروماتوگرام شکل ۱ عمده‌ترین ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس پونه کوهی شامل کاروون (۲۵/۲۵٪)، پلارگون (۱۰/۴۲٪)، لیمونین (۹/۱۲٪)، ائوکالیپتول (۷/۶۰٪)، دی هیدروکاوئول (۷/۰۶٪)، منتون (۶/۷٪)، پیپریتنون (۵/۸٪)، ۱و۸- سینئول (۵/۴٪)، پیپریتنون اکسید (۵/۲٪) و بتا پینین (۲/۷۱٪) و ترکیبات کم مقدار می‌باشند.



شکل۱- آنالیز گازکروماتوگرافی گازی- طیف‌سنج جرمی اسانس پونه کوهی ایرانی

انتخاب مدل کارآمد به‌منظورپیشگویی پاسخ ها

روش سطح پاسخ از روش‌های پیشرفته برای تحلیل و مدل‌سازی داده‌ها است که دارای روش‌های گوناگونی برای طراحی آزمایشی می‌باشد. یکی از پرکاربردترین روش‌ها روش دی‌اپتیمال بوده است. در روش سطح پاسخ به ازای هر متغیر وابسته مدل رگرسیونی چندمتغیره‌ای تعریف می‌شود که تاثیر خطی، درجه دوم و متقابل متغیرهای مستقل را بر روی هر متغیر وابسته بیان می‌کند. مدل‌های به‌دست آمده از آنالیز داده‌های واقعی برای نانوامولسیون‌های پونه کوهی نوشته شده است. ضرائب مربوط به مدل‌های رگرسیونی و نتایج آنالیز واریانس برای هر یک از متغیر های تابع استخراج گردید. برای بررسی صحت مدل‌ها از تست عدم برازش، ضرائب تبیین و تبیین اصلاح شده استفاده گردید. از نظر آماری مدلی مناسب است که تست عدم برازش آن معنی‌دار نبوده و دارای بالاترین مقادیر R^2 و Adj R^2 باشد. هر چه عددR^2 به یک نزدیکتر باشد قدرت مدل برازش یافته در توصیف تغییرات پاسخ به‌عنوان تابعی از متغیرهای مستقل بیشتر می‌باشد (Ghosh *et al.*, 2014).

میانگین قطر ذرات نانوامولسیون‌های اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه

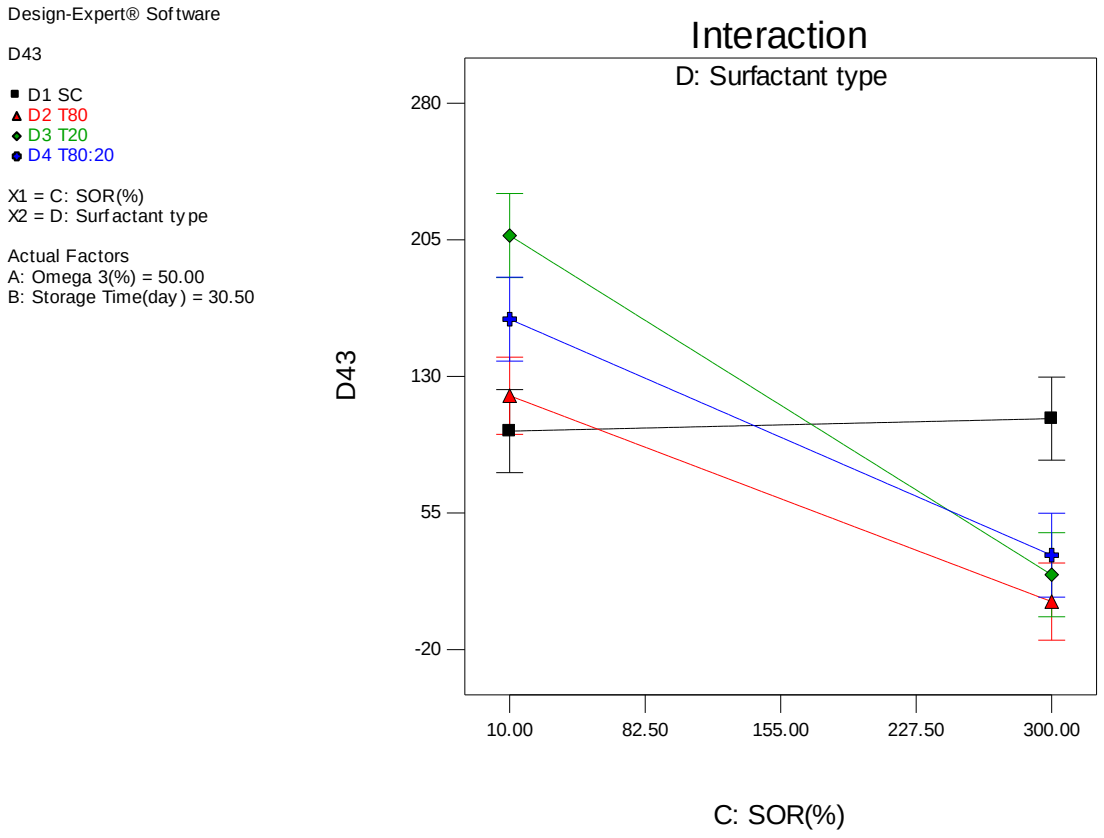
مطابق آنالیز واریانس، عدد F دارای سطح معنی‌دار بالا، P<۰/۰۰۰۱، ضرائب تبیین و تبیین اصلاح شده به‌ترتیب ۰/۹۱۷و ۰/۸۶۱ بودند. به‌منظور اطمینان از صحت مدل انتخاب شده مطابق آنالیز واریانس مربوطه شاخص عدم برازش [1]معنی‌دار نبوده که بیانگر این است که مدل مناسب می‌باشد. بر اساس آنالیز واریانس اثرات خطی مدت زمان نگهداری، درصد SOR و نوع سورفاکتانت بر اندازه‌گیری قطر ذرات نانوامولسیون، اثرات درجه دوم مدت زمان نگهداری و اثرات متقابل مقدار امگا سه در مدت زمان نگهداری،

1 Lack of fit

مقدار امگا سه در درصد SOR و درصد SOR در نوع سورفاکتانت معنی‌دار بودند و درصد SOR بیشترین تاثیر معنی‌داری بر میانگین قطر ذرات را نشان داد. آنالیز داده‌های آزمایش نشان داد که تغییرات میانگین قطر ذرات در نمونه‌های نانوامولسیون اسانس پونه کوهی ایرانی حاوی اسیدهای چرب امگا سه را می‌توان با معادله زیر توصیف کرد.

$$D_{43}= 94.26032-4.845803\ A+13.32244\ B-52.75502C+9.010530\ D1-31.40702D_2+19.94970\ D_3-36.76454\ AB+14.93053\ AC+56.18682\ CD_1-3.77316\ CD_2-40.36668\ CD_3+49.90324\ B^2 \quad (۸)$$

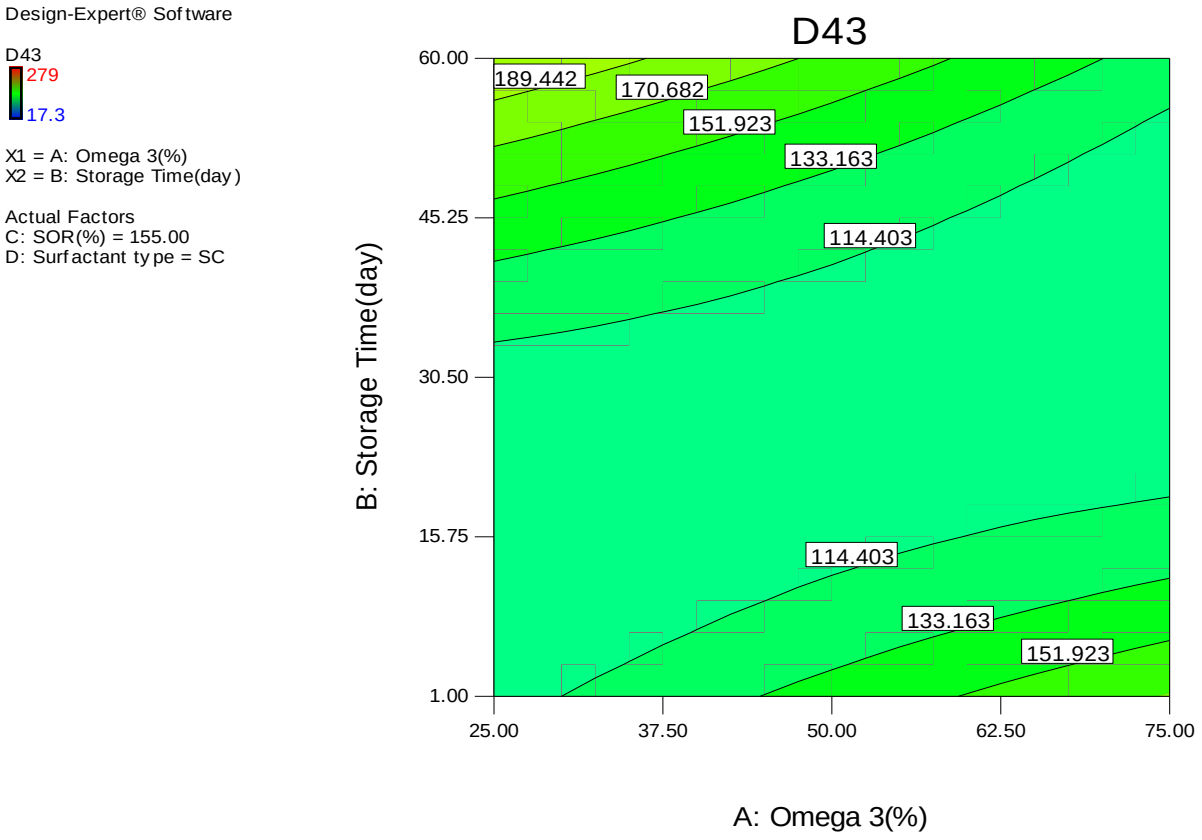
در معادله فوق ضرائب A،B،C، D به‌ترتیب نشانگر مقدار امگا سه (درصد)، مدت زمان نگهداری (روز)، درصد SOR و نوع سورفاکتانت می‌باشند.



شکل۲- نمودار برهمکنش تاثیر درصد SOR و نوع سورفاکتانت بر میانگین قطر ذرات

شکل ۲ نمودار برهمکنش تاثیر درصد SOR و نوع سورفاکتانت در مقادیر ثابت میانی دو پارامتر دیگر بر میانگین قطر ذرات نانوامولسیون اسانس پونه کوهی ایرانی حاوی اسیدهای چرب امگا سه را نشان می‌دهد، در تمامی فرمولاسیون‌ها با افزایش درصد SOR کاهش قابل توجهی در میانگین اندازه ذرات مشاهده گردید. کمترین میانگین قطر ذرات مربوط به فرمولاسیون‌های حاوی سورفاکتانت توئین۸۰ بود. با افزایش درصد SOR در فرمولاسیون‌های حاوی سورفاکتانت کازئینات سدیم، میانگین قطر ذرات تغییرات چندان معنی‌دار نداشت. سورفاکتانت‌های کوچک مولکولی نسبت به سورفاکتانت‌های درشت مولکولی فعالیت سطحی بالاتری داشتند و در غلظت‌های بالاتر سورفاکتانت، تعداد بیشتری از ریزمولکول‌ها به‌صورت کاملا متراکم در سطح بینابینی نسبت به پروتئین‌ها در کنار هم قرار گرفته و کشش سطحی را بیشتر کاهش می‌دهد که منجر به تولید ذرات ریزتر می‌گردد. اما در این نمودار مشاهده می‌گردد که نمونه‌ها در حضور سورفاکتانت کازئینات سدیم میانگین قطر ذرات کمتری داشتند که می‌توان بدین دلیل باشد که با توجه به ساختار منحصر به فرد این پروتئین و داشتن اسیدهای آمینه مختلف، موقعیت‌های بیشتری در مقایسه با سورفاکتانت‌های ریز مولکولی برای برقراری پیوند با اسانس داشته است و همچنین معنی‌دار نبودن تغییرات میانگین قطر ذرات در حضور سورفاکتانت پروتئینی نشانگر

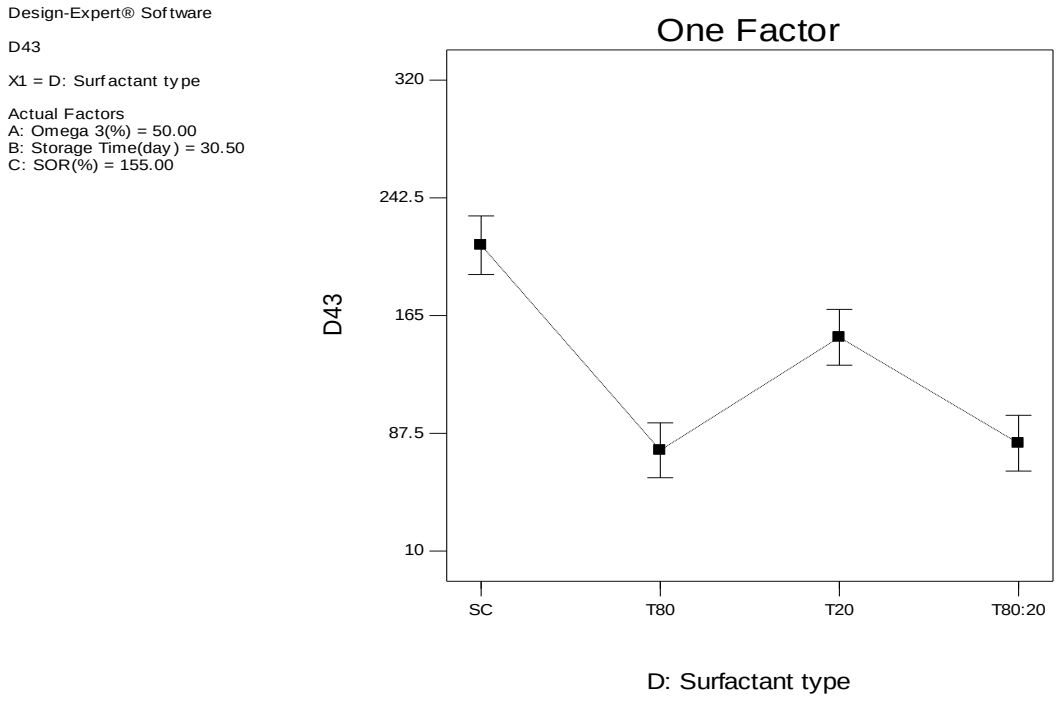
عملکرد بهتر این سورفاکتانت بوده که با مقدار کمتری از پروتئین، اندازه ذرات کوچکتری به‌دست آمد، از طرفی ضخامت نسبی لایه سورفاکتانت کازئینات سدیم نسبت به سورفاکتانت‌های ریز مولکولی نیز افزایش داشت که تا حدودی می‌تواند سبب افزایش اندازه ذرات نیز شود.



شکل۳-نمودار دو بعدی تاثیر مقدار امگا سه و مدت زمان نگهداری بر میانگین قطر ذرات

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، در مقادیر کمتر امگا سه در حضور سورفاکتانت کازئینات سدیم با گذشت مدت زمان نگهداری، میانگین قطر ذرات افزایش یافت و همچنین افزایش همزمان مقدار امگا سه و مدت زمان نگهداری، میانگین قطر ذرات نیز افزایش داشت. در هر محدوده زمانی، تغییر در مقدار امگا سه میانگین قطر ذرات تغییر چندانی نداشتند، در طول مدت زمان نگهداری قطر ذرات ابتدا روند کاهشی و سپس افزایشی داشت و با توجه به نتایج آنالیز واریانس میزان امگا سه تاثیر معنی‌داری نداشته است و بیشترین تاثیر مربوط به مدت زمان نگهداری و درصد SOR بود. از طرف دیگر استفاده از اسانس‌های گیاهی در نانوامولسیون امگا سه به‌منظور پوشاندن عطر و طعم نامطلوب بوده اما به علت محلولیت آبی، امکان وقوع پدیده رسیدگی استوالد وجود داشت اما مخلوط کردن مقدار معینی از اسانس پونه کوهی با روغن ماهی به‌عنوان بازدارنده رسیدگی استوالد توانست این پدیده را به تعویق بیاندازد. در تایید این نتایج Saberi و همکاران (۲۰۱۳) گزارش نمودند که کمترین ویسکوزیته و کشش سطحی مربوط به اسانس‌های روغنی،MCT (تری گلیسریدهای دارای زنجیره متوسط) و سپس روغن ماهی می‌باشد و افزایش در اندازه ذرات در نانوامولسیون‌های حاوی روغن ماهی به تنهایی در مقایسه با نانوامولسیون مخلوط روغن ماهی/ اسانس لیمو مشاهده شد. افزایش در مقدار امگا سه به معنای افزایش در ترکیبات با وزن مولکولی بالاتر مانند تری گلیسیریدهای موجود در روغن ماهی در مقایسه با ترکیبات با وزن مولکولی کمتر اسانس بود، بنابراین سورفاکتانت‌ها از توانایی کافی جهت پوشش کامل سطح ترکیبات با وزن مولکولی بالاتر برخوردار نیستند. در غلظت‌های بالای روغن، امولسیفایر کافی برای پوشاندن ذرات روغن تازه شکل گرفته وجود ندارد. در نتیجه ذرات جدید شکل گرفته، به یکدیگر پیوسته و ذرات بزرگتری را ایجاد می کنند. این نتایج با پژوهش Topuz و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت داشت، Mahmoud Mostafa و همکاران (۲۰۱۵)

نیز افزایش اندازه ذرات با افزایش مقدار روغن موسیر را گزارش نمودند. Venkadesaperumal و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که با افزایش مقدار روغن در نانوامولسیون ویتامین ای-استات، میانگین قطر ذرات بیشتر گردید. Alzorqi و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که در طی ۹۰ روز نگهداری، افزایش ناچیز در اندازه ذرات نانوامولسیون‌های بتاگلوکان مشاهده گردید. Gadkari و Balaraman (۲۰۱۵) گزارش کردند که اندازه ذرات نانوامولسیون کاتچین پایدار شده با سورفاکتانت لستین و توئین ها در طی مدت زمان نگهداری افزایش معنی‌داری داشتند. همچنین Ribeiro و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که افزایش مقدار فاز روغن و مدت زمان فراصوت باعث افزایش میانگین اندازه ذرات گردید.



شکل٤- نمودار تک فاکتور تاثیر نوع سورفاکتانت بر میانگین قطر ذرات در مقادیر ثابت میانی سه پارامتر ثابت مستقل

شکل ۴ نمودار تک فاکتور تاثیر نوع سورفاکتانت بر میانگین قطر ذرات در مقادیر میانی ثابت سه پارامتر میزان امگا سه، مدت زمان نگهداری و درصد SOR را نشان می‌دهد. بیشترین میانگین قطر ذرات مربوط به فرمولاسیون‌های حاوی سورفاکتانت کازئینات سدیم بود و کمترین میانگین اندازه ذرات مربوط به فرمولاسیون‌های حاوی سورفاکتانت‌های توئین ۸۰ و توئین ۲۰:۸۰ بوده است. انعطاف‌پذیری مولکول‌های سورفاکتانت، عدد HLB، تحرک و سرعت مهاجرت مولکول‌های سورفاکتانت به سطح، وزن مولکولی سورفاکتانت‌ها و نحوه چیدمان[1] (پکینگ شدن، فشرده شدن) مولکول‌های سورفاکتانت جذب شده در لایه بین سطحی در کنار همدیگر نیز موثر می‌باشد. سرعت جذب سورفاکتانت بر سطح ذرات، مهاجرت مولکول‌ها به لایه بین سطحی و اتصال به سطح بینابینی به مشخصات مولکولی سورفاکتانت مانند شکل هندسی بستگی دارد. شکل هندسی مولکول سورفاکتانت با پارامتر پکینگ بیشتر (چیده شدن کاملا متراکم و کنار یکدیگر در سطح ذرات) نشان داده می‌شود که بیانگر مساحت عرضی گروه‌های دم هیدروفوب به گروه‌های سر هیدروفیل می‌باشد، عدد HLB یکی دیگر از پارامترهای تعیین‌کننده بر چگونگی فعالیت سورفاکتانت‌ها است، عدد HLB بالاتر نشان‌دهنده درجه هیدروفیلی بیشتر می‌باشد، در این مطالعه، با اینکه عدد HLB توئین ۲۰ (۱۶/۷) در مقایسه با توئین ۸۰ (۱۵) بیشتر بود، اما فرمولاسیون‌های حاوی سورفاکتانت توئین ۲۰ ذراتی با میانگین قطر بیشتری نسبت به سورفاکتانت توئین ۸۰ داشتند، بنابراین عدد HLB به تنهایی برای توجیه نتایج کفایت نمی‌کند که علت اصلی را می‌توان اینگونه توجیه نمود که، پارامتر پکینگ نسبت به عدد HLB شاخص کارآمدتری بوده و سورفاکتانت توئین ۸۰ در مقایسه با سورفاکتانت توئین ۲۰ پارامتر پکینگ بالاتری دارد زیرا، سورفاکتانت توئین ۸۰، مولکولی ۱۸ کربنه با باند غیراشباع می‌باشد و به‌صورت متراکم‌تر و کاملا فشرده کنار همدیگر قرار می‌گیرند و سطح بینابینی را به‌طور کامل پوشش

1 packing parameter

می‌دهند، بنابراین، نانوامولسیون‌ها در حضور سورفاکتانت توئین ۸۰ اندازه ذرات کمتری داشتند. دلیل دیگر اینکه، همانطور که اشاره شد، سورفاکتانت توئین ۸۰ (پلی‌اکسی اتیلن سوربیتان منواولئات) در ساختار زنجیره آبگریزش دارای یک باند دوگانه اولئات بوده، در نتیجه تحرک بالاتری نسبت به سایر سورفاکتانت‌های با زنجیره اشباع مانند سورفاکتانت توئین ۲۰ و مولکول بیوپلیمری کازئینات سدیم دارد و بنابراین نسبت به سایر سورفاکتانت‌ها فعالیت سطحی بالاتری داشت و با کاهش بیشتر کشش سطحی منجر به تولید ذرات ریزتر گردید. در مورد مخلوط سورفاکتانت توئین ۲۰:۸۰ به علت وجود مقداری توئین ۸۰ و غیراشباعیت زنجیره نسبت به فرمولاسیون‌های حاوی سورفاکتانت تکی مانند سورفاکتانت توئین ۲۰ اندازه ذرات کوچکتر بودند. Saberi و همکاران (۲۰۱۳) پس از رد فرضیه اثر HLB روی اندازه قطرات، پارامتر کیپ شدن مربوط به هندسه مولکولی سورفاکتانت (سطح مقطع زنجیره آبگریز (دم سورفاکتانت) نسبت به سطح مقطع سر آبدوست سورفاکتانت) را به‌عنوان عامل اصلی در تعیین عملکرد سیستم‌های کلوییدی بیان کردند. مساح و همکاران (۱۳۹۲) نیز سیستم مشابه ای را با استفاده از توین۴۰ با ۱۵/۶ HLB که تقریباً نزدیک HLB توئین ۸۰ است تهیه کردند که اندازه قطرات تولید شده در این سیستم بالاتر از یک میکرومتر بوده است. به نظر می‌رسد اندازه قطرات به مقدار عددی HLB مربوط نمی‌شود و عوامل دیگری نیز وجود دارد. در تحقیقی مشابه، نیک‌نیا و همکاران (۱۳۹۲) با مقایسه دو نوع توین۸۰ و توین۲۰ طی تولید نانومولسیون حاوی ویتامین ای- استات بیان کردند،که اگرچه هیدروفیل بودن سورفاکتانت، لازمه تولید نانوامولسیون روغن در آب است ولی با توجه به بالاتر بودن عدد HLB توئین ۲۰ نسبت به توئین ۸۰ ، اما قادر به تولید امولسیون در غلظت‌های پایین سورفاکتانت نیست، از طرف دیگر، پایین‌تر بودن وزن مولکولی سورفاکتانت‌های کوچک مولکولی (توئین‌ها، ۱۳۰۰گرم بر مول) نسبت به وزن مولکولی بالاتر سورفاکتانت‌های پروتئینی (کازئینات سدیم ۲۳۰۰۰ دالتون) باعث می‌شود که توئین ۸۰ بتواند با سرعت بیشتری خود را به سطح قطرات کوچک روغن رسانده و مانع از به‌هم پیوستن و امتزاج آنها بعد از تشکیل گردد و به همین دلیل توانایی سورفاکتانت‌های ریزمولکولی مانند توئین‌ها نسبت به سورفاکتانت‌های بیوپلیمری در کیپ شدن، چیده شدن کاملا متراکم کنار یکدیگر در سطح و پوشش‌دهی بهتر و کامل ذرات فاز روغنی (فاز پراکنده) موجب می‌شود که فعالیت سطحی بالاتر داشته باشد، در نتیجه افزایش قطر ذرات در نمونه‌های حاوی سورفاکتانت پروتئین کازئینات سدیم مشاهده گردید. این نتایج همچنین با پژوهش‌های Jafari و همکاران (۲۰۰۷)؛ Ghosh و همکاران (۲۰۱۴) و Silva و همکاران(۲۰۱۵) مطابقت داشت. Ghosh و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که سورفاکتانت توئین ۸۰ قدرت کاهش بیشتری در میانگین اندازه ذرات در مقایسه با سورفاکتانت توئین ۲۰ را دارا بود. اگرچه نتایجی متضادی با نتایج این پژوهش توسط Cheong و همکاران (۲۰۱۰) بیان شد که نانوامولسیون‌های حاوی سورفاکتانت توئین ۲۰ در مقایسه با سایر سورفاکتانت‌ها کمترین اندازه ذرات را داشته و نانوامولسیون سورفاکتانت توئین ۸۰ بزرگترین اندازه ذرات را نشان داد که علت آن بالا بودن عدد HLB توئین ۲۰ بوده که باعث جذب سریعتر بر روی ذرات نانوامولسیون تشکیل گردید.

توزیع اندازه ذرات نانوامولسیون‌های اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه

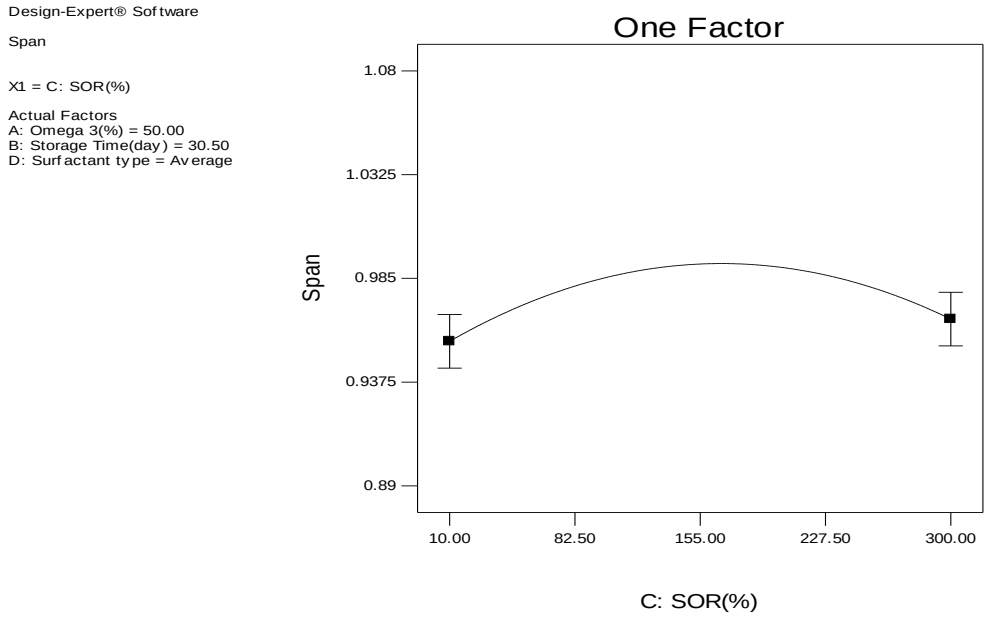
آنالیز داده های آزمایش نشان داد که توزیع اندازه ذرات نانوامولسیون اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه را می‌توان با معادله زیر توصیف کرد.

$$SPAN= 0.99+0.013 B+0.000383 C-0.029 D_1+0.000482D_2+0.029 D_3-0.032 C^2 \quad (۹)$$

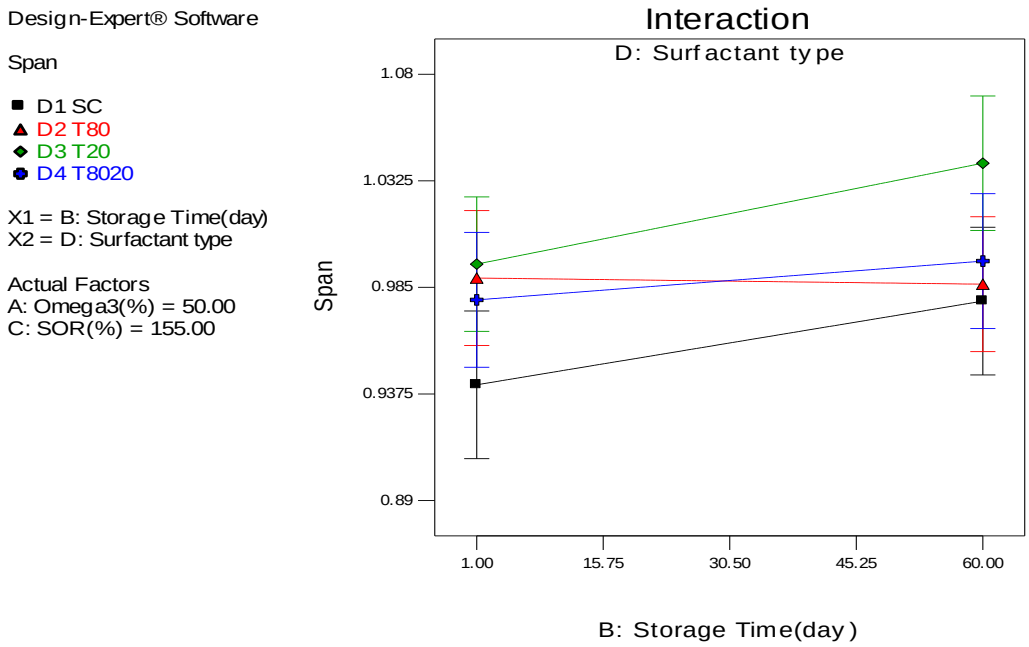
در معادله فوق ضرائب A،B،C، D به‌ترتیب نشانگر مقدار امگا سه (درصد)، مدت زمان نگهداری (روز)، درصد SOR و نوع سورفاکتانت می باشند. بر اساس جدول آنالیز واریانس توزیع اندازه ذرات، F-Value مدل نهایی۴۹۴۸۱/ ۷، شاخص عدم برازش غیرمعنی‌دار و ضریب تبیین ۰/۸۵ و ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۸۱۲ می‌باشد.

با افزایش مقدار SOR میزان توزیع اندازه ذرات (شاخص اسپن) تغییرات معنی‌داری نداشت (شکل ۵). ابتدا به میزان اندکی افزایش و سپس کاهش نشان داد. در حقیقت هر چه میزان اسپن کمتر باشد، پهنای منحنی توزیع ذرات کمتر و در نتیجه دامنه تغییرات قطر ذرات کمتر و اندازه ذرات به‌هم نزدیکتر گردیده و سیستم همگن‌تر خواهد بود. به عبارت دیگر با افزایش غلظت سورفاکتانت، سورفاکتانت‌های مازاد در محیط تشکیل میسل‌هایی می‌دهند که خود میسل‌ها در فاز پیوسته اندازه‌های متفاوت و غیریکسانی دارند که می‌توانند سبب افزایش شاخص اسپن شوند. در تحقیقات سایر دانشمندان که به بررسی این مسئله پرداخته‌اند نیز نتایج مشابهی دیده شده است. Walker و همکاران (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند در غلظت‌های بالای سورفاکتانت (SOR بالای۱/۷۵) توزیع اندازه ذرات تک مد و توزیع اندازه ذرات باریک بودند. همچنین در پژوهشی Meyer و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که با افزایش در غلظت سورفاکتانت، توزیع اندازه ذرات گسترده تر و بیومدال بود. Hu و همکاران (۲۰۰۳) نتیجه گرفتند که در طول مدت نگهداری، توزیع اندازه ذرات از توزیع تک مدی به دو توزیع دو مدی یا دوقله‌ای تغییر کرد. Esfanjani و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند که در طول مدت زمان نگهداری علیرغم افزایش اندازه ذرات عصاره زعفران در امولسیون آب در روغن، میزان توزیع اندازه ذرات باریک و تک مد بود و هیچگونه تغییری در

آن مشاهده نگردید. Zhang و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که با افزایش نسبت روغن ماهی به پروتئین ایزوله سویا ۰/۶۷ تا ۱ میزان شاخص توزیع اندازه ذرات افزایش را نشان داد.



شکل ۵- نمودار تک فاکتوره تاثیر مقدار SOR بر توزیع اندازه ذرات



شکل۶-نمودار برهمکنش تاثیر مدت زمان نگهداری و نوع سورفاکتانت بر توزیع اندازه ذرات

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد، در طول مدت زمان نگهداری شاخص اسپن در نمونه‌های حاوی سورفاکتانت‌های توئین ۲۰ و کازئینات سدیم افزایش یافت و در نمونه‌های حاوی توئین ۸۰ و مخلوط توئین‌ها تغییرات معنی‌داری نداشتند، تغییرات اسپن در نمونه‌های حاوی سورفاکتانت پروتئینی کمتر بوده است که نشانگر

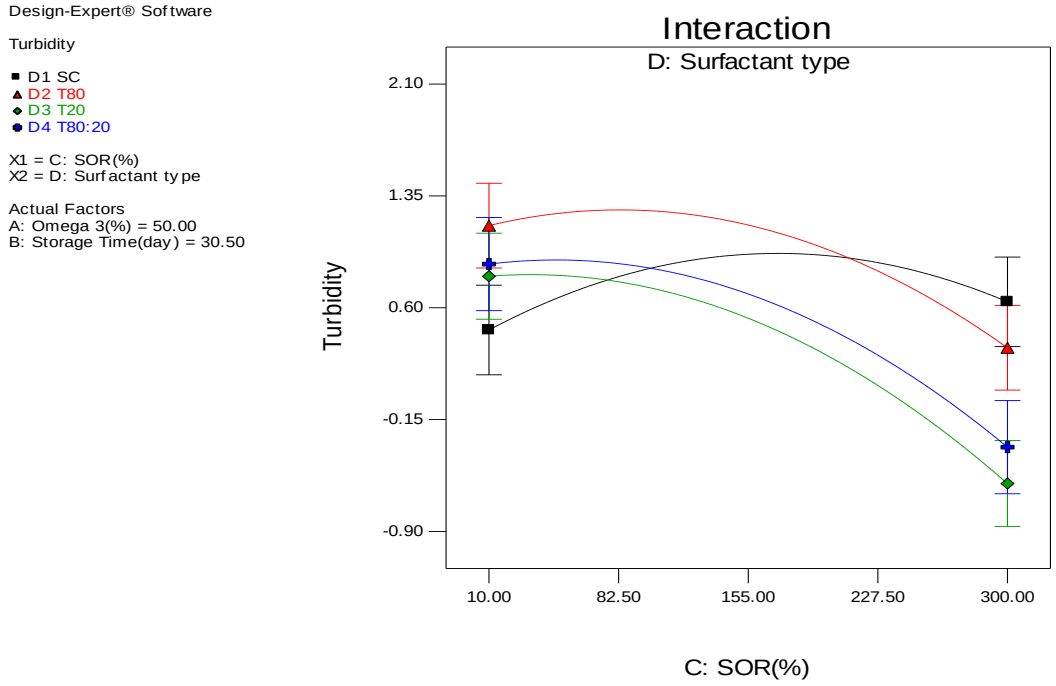
پایداری سورفاکتانت پروتئینی در طول مدت زمان نگهداری در مقایسه با سورفاکتانت‌های کوچک مولکولی می‌باشد.

تغییرات کدورت نانوامولسیون اسانس پونه کوهی ایرانی حاوی اسیدهای چرب امگا سه

آنالیز داده‌های آزمایش نشان داد که تغییرات کدورت نانوامولسیون اسانس پونه کوهی ایرانی حاوی اسیدهای چرب امگا سه را می‌توان با معادله زیر توصیف کرد.

$$\text{Turbidity} = 0.83394-0.02328\ A\ -0.05882\ B-0.40599\ C+0.12491\ D_1+0.33206\ D_2-0.30410\ D_3-0.46257\ AB+0.50053\ CD_1-0.28908\ CD_2-0.40159\ A^2+0.68493\ B^2-0.41358\ C^2 \quad (۱۰)$$

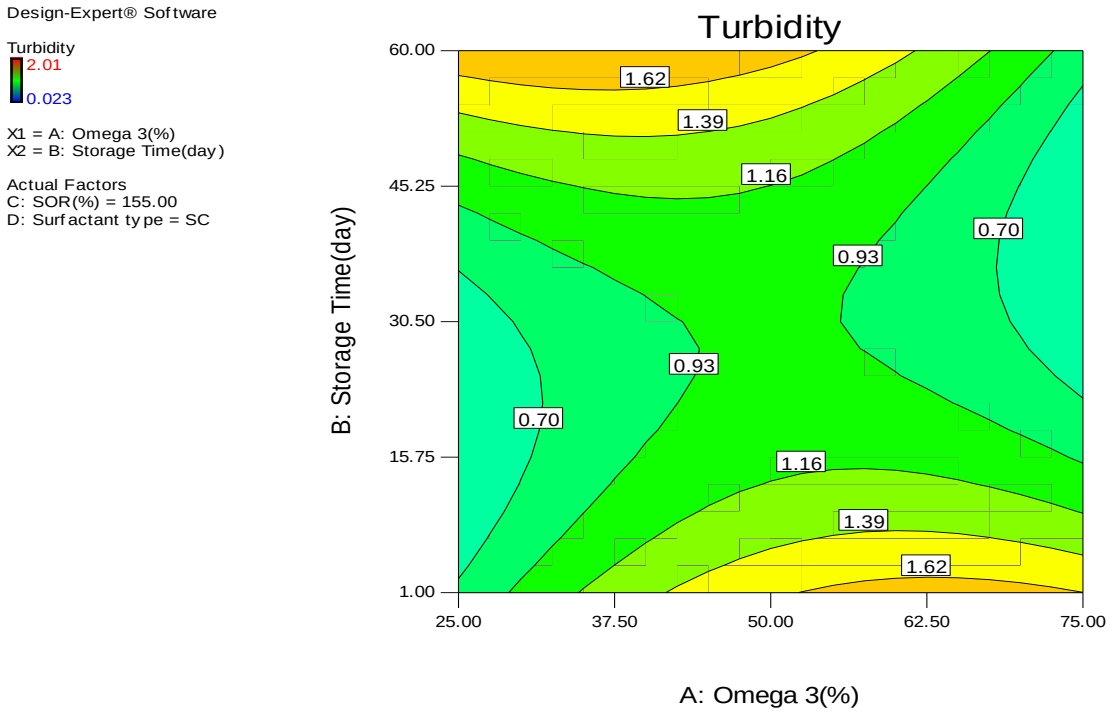
در معادله فوق ضرائب A، B، C، D به‌ترتیب نشانگر مقدار امگا سه (درصد)، مدت زمان نگهداری (روز)، درصد SOR و نوع سورفاکتانت می‌باشند. با توجه به نتایج آنالیز واریانس تغییرات کدورت ذرات نانوامولسیون، مدل نهایی دارای سطح معنی‌دار P< ۰/۰۰۰۱، ضریب عدم برازش غیرمعنی‌دار، ضرائب تبیین و تبیین اصلاح شده به‌ترتیب ۰/۸۸۹ و ۰/۸۰۹ می‌باشند. نتایج حاصل از این تست‌ها نشان می‌دهد که مدل نهایی ارائه شده کارآمد بوده و قادر است به‌طور رضایت بخش میزان کدورت را در نمونه‌ها توجیه نماید. بر اساس آنالیز واریانس اثرات خطی پارامترهای درصد SOR و نوع سورفاکتانت، اثرات درجه دوم میزان امگا سه، درصد SOR و مدت زمان نگهداری برتغییرات کدورت معنی‌دار بودند و اثرات متقابل میزان امگا سه در مدت زمان نگهداری و درصد SOR در نوع سورفاکتانت تاثیر معنی‌داری داشته است و بالاترین تاثیر مربوط به اثر خطی درصد SOR می‌باشد.



شکل ۷-نمودار برهمکنش درصد SOR و نوع سورفاکتانت در بر میزان کدورت در نانوامولسیون‌های پونه کوهی ایرانی

همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد، در فرمولاسیون‌های حاوی سورفاکتانت‌های توئین ۸۰، توئین ۲۰:۸۰ و توئین ۲۰ با افزایش درصد SOR (بیش از۱۰۰ درصد) میزان کدورت ثابت و سپس با افزایش بیشتر مقدار سورفاکتانت میزان کدورت کاهش داشت. کاهش در میانگین قطر ذرات با افزایش غلظت سورفاکتانت سبب کاهش پراکندگی نور و کاهش در کدورت گردید. تغییرات کدورت در حضور سورفاکتانت کازئینات سدیم معنی‌دار نبود. با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری میانگین قطر ذرات در نانوامولسیون پونه کوهی ایرانی، میانگین قطر ذرات در فرمولاسیون‌های حاوی سورفاکتانت کازئینات سدیم تغییر معنی‌داری نداشت، که این نتایج با نتایج حاصل از کدورت همخوانی دارد. همزمان با افزایش مقدار امگا سه و افزایش مدت زمان نگهداری تا ۳۰ روز ابتدا میزان کدورت کاهش و سپس با افزایش مدت زمان نگهداری تا ۶۰ روز میزان کدورت افزایش یافت (شکل ۸). تغییرات مقدار امگا سه تاثیر چندانی بر میزان کدورت نشان نداد. به

عبارتی با گذشت زمان نگهداری، افزایش در مقدار امگا سه میزان کدورت تغییری نیافت. در هر سطح از امگا سه، افزایش در مدت زمان نگهداری ابتدا سبب کاهش میزان کدورت و سپس افزایش کدورت را سبب گردید. مدت زمان نگهداری تاثیر بالاتری نسبت به مقدار امگا سه داشته است. با توجه به اینکه در طول مدت نگهداری، میانگین قطر ذرات افزایش داشت، بنابراین با افزایش اندازه ذرات پراکنش نوری نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان کدورت نمونه‌ها نیز افزایش می‌یابد، افزایش مقدار امگا سه، به‌دلیل افزایش اندازه ذرات و اینکه ذرات امگا سه آزاد در محیط پراکنده هستند میزان کدورت را بیشتر خواهد کرد، اما در مقادیر بالای امگا سه در طول مدت زمان نگهداری کاهش در میزان کدورت مشاهده گردید که علت آن را افزایش شاخص خامه ای شدن می توان دانست، که با صعود ذرات به سطح نمونه‌ها، محلول باقی مانده شفاف‌تر خواهد بود.



شکل ۸- کانتورپلات دو بعدی تاثیر مقدار امگا سه و مدت زمان نگهداری بر تغییرات کدورت

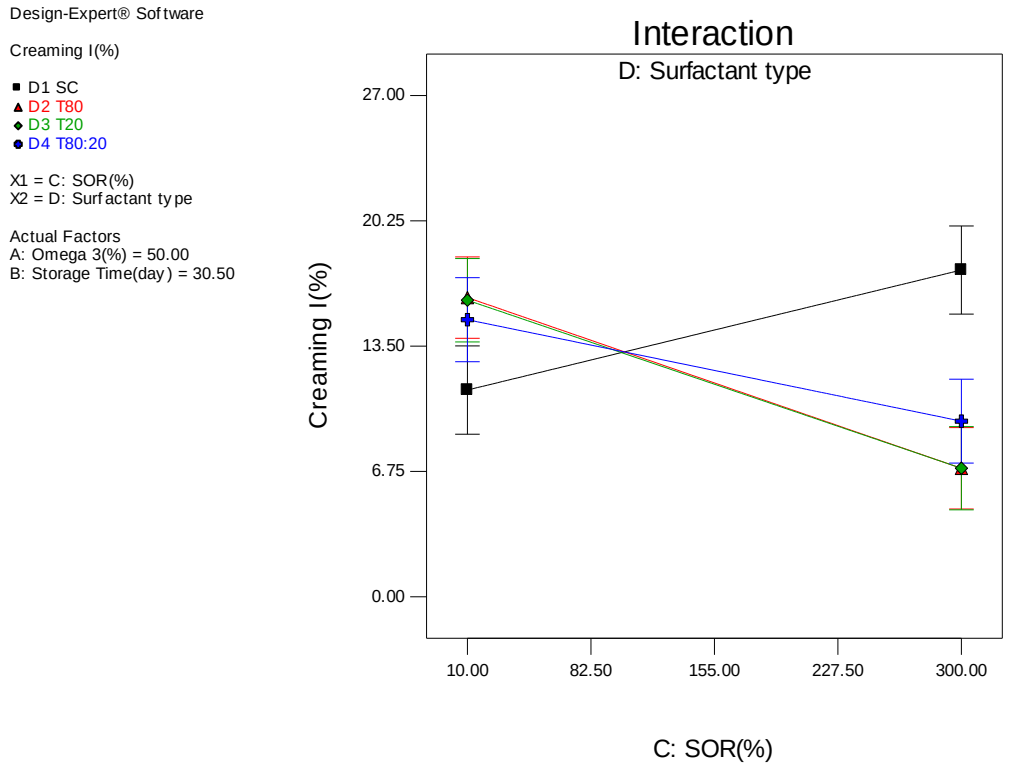
اندازه‌گیری تغییرات اندیس خامه‌ای شدن نانوامولسیون‌های اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه

یکی از آزمون‌های مهم تعیین پایداری سیستم‌های کلوئیدی اندازه‌گیری اندیس خامه‌ای شدن می‌باشد، هرچه اندیس خامه‌ای شدن کمتر باشد، نشانگر پایداری سیستم است. چگالی قطرات فاز پراکنده با چگالی فاز پیوسته متفاوت می‌باشد، اگر چگالی قطرات فاز پراکنده کمتر باشد مطابق قانون استوک آنها تمایل دارند که در سطح نمونه‌ها تجمع پیدا کنند که این پدیده را رو نشینی یا خامه‌ای شدن یا نوعی پدیده تفکیک گرانشی می‌نامند. آنالیز داده‌های آزمایش نشان داد که تغییرات اندیس خامه‌ای شدن در نمونه‌های نانوامولسیون اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه را می‌توان با معادله زیر توصیف کرد.

$$\text{Creaming I}(\%)= 12.38065+ 1.74435A+3.5819 B-2.15590 C+1.98619 D_1-0.86356 D_2-0.93280 D_3-3.0271AD_1+ 0.27812 AD_2+2.40435BC+5.38830CD_1 - 2.44207CD_2- 2.36945 CD_3 \quad (۱۱)$$

در معادله فوق ضرائب A، B، C، D به‌ترتیب نشانگر مقدار امگا سه (درصد)، مدت زمان نگهداری (روز)، درصد SOR و نوع سورفاکتانت می‌باشند. با توجه به نتایج آنالیز واریانس اندیس خامه‌ای شدن، مدل نهایی عدد F دارای سطح معنی‌دار بالا، P<۰/۰۰۰۱، شاخص عدم برازش غیرمعنی‌دار، ضرائب تبیین و تبیین اصلاح شده به‌ترتیب ۰/۸۴۸ و ۰/۷۳۹ می‌باشند. نتایج حاصل از این تست‌ها نشان می‌دهد که مدل نهایی ارائه شده کارآمد بوده و قادر است به‌طور رضایت‌بخش اندیس خامه‌ای شدن را در نمونه‌ها توجیه نماید. بر اساس آنالیز واریانس، اثرات خطی پارامترهای مقدار امگا سه، مدت

زمان نگهداری و درصد SOR و اثرات متقابل مدت زمان نگهداری در درصد SOR و درصد SOR در نوع سورفاکتانت تاثیر معنی‌داری داشته است و بالاترین تاثیر مربوط به اثر خطی مدت زمان نگهداری می‌باشد.

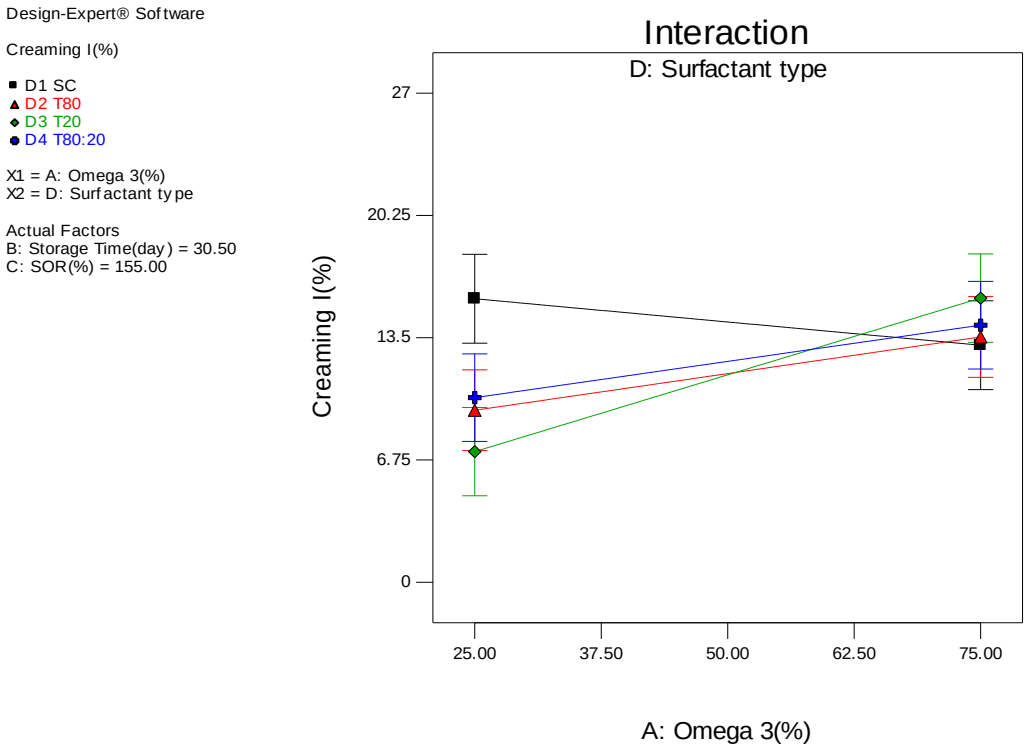


شکل ۹- نمودار برهمکنش تاثیر درصد SOR و نوع سورفاکتانت بر میزان اندیس خامه‌ای شدن

افزایش در مقدار SOR (سورفاکتانت) در فرمولاسیون‌های حاوی توئین‌ها باعث کاهش در میزان اندیس خامه‌ای شدن گردید (شکل ۹) که این نتایج با نتایج آنالیز اندازه ذرات مطابقت داشت با کاهش اندازه ذرات مطابق قانون استوک سرعت خامه‌ای شدن کاهش می‌یابد. پایداری بالاتر نانوامولسیون در برابر پدیده انبوهش به‌دلیل قطر کوچک آنها بوده است زیرا کاهش قدرت نیروی جاذبه نسبت به نیروی دافعه میان سطح ذرات نانوامولسیون متناسب با کاهش در میانگین قطر ذرات بود، همچنین افزایش در غلظت ذرات و کاهش در میانگین قطر ذرات، منجر به افزایش نسبت ضخامت فیلم سورفاکتانت به شعاع ذرات می‌گردد که این ضخامت نسبی سورفاکتانت می‌توان ثبات استریک بهتری در برابر مکانیسم‌های ناپایداری ایجاد می‌کند و ثانیا موجب افزایش ویسکوزیته می‌گردد و در نتیجه از دو مکانیسم ناپایدارکنندگی مهم یعنی تفکیک گرانشی و انبوهش جلوگیری می‌شود. در بین سورفاکتانت‌های ریزمولکولی تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. در مورد نانوامولسیون‌های حاوی سورفاکتانت کازئینات سدیم، با افزایش غلظت سورفاکتانت اندیس خامه‌ای شدن روند افزایشی نشان داد، در غلظت بالای سورفاکتانت کازئینات سدیم به مکانیسم تهی شدن فلوکولاسیونی (انبوهش) میسل‌های سورفاکتانت جذب نشده و افزایش فشار اسمزی در سیستم در نتیجه انتقال فاز پیوسته از میان ذرات و وقوع انبوهش ناشی از تهی شدن فاز پیوسته بین دو ذره مرتبط می‌باشد که بیانگر این نکته هست که غلظت کمتر سورفاکتانت کازئینات سدیم تاثیر بهتری داشته است و با افزایش مقدار آن، اتصالات بین خود پروتئین‌ها و یا انبوهش اتفاق افتاده است. این نتیجه با نتایج (وثوق و همکاران ۱۳۸۸ Dichinson *et al.*, 1997;)، مطابقت دارد.

همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌گردد، افزایش در مقدار امگا سه در تمامی فرمولاسیون‌ها به‌جز کازئینات سدیم افزایش در میزان اندیس خامه‌ای شدن را سبب گردید، تغییرات در حضور سورفاکتانت پروتئینی معنی‌دار نبود. افزایش مقدار فاز روغنی از طریق چند مکانیسم منجر به ناپایدار شدن سیستم نانوامولسیون و وقوع پدیده خامه‌ای شدن گردید: اول اینکه افزایش مقدار امگا سه، مطابق نتایج آزمون اندازه‌گیری میانگین قطر ذرات، باعث افزایش میانگین اندازه ذرات می‌گردد و مطابق قانون استوک افزایش در قطر ذرات، صعود ذرات بر سطح نمونه‌ها را تسریع نموده و به همین دلیل با

افزایش مقدار امگا سه اندیس خامه‌ای شدن افزایش قابل توجهی نشان داد. دلیل دوم: با افزایش مقدار امگا سه، نسبت SOR کاهش یافته (مقدارکمتر سورفاکتانت) و در نتیجه عدم پوشش کافی قطرات توسط سورفاکتانت و ایجاد اتصال بین ذرات روغن باعث رشد ذرات گردید و صعود آنها به سطح نمونه‌ها بیشتر خواهد شد. دلیل سوم هرچه غلظت فاز پراکنده بیشتر شود، کسر حجمی افزایش یافته و اختلاف دانسیته میان فازهای پراکنده و پیوسته بیشتر شده و مطابق قانون استوک، سرعت دو فاز شدن افزایش می‌یابد. در بین تمامی سورفاکتانت‌ها با افزایش غلظت امگا سه، سورفاکتانت کازئینات سدیم عملکرد بهتری در جلوگیری از حرکت ذرات روغن و صعود به سطح ذرات داشته است. Chen و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که نانوامولسیون روغن نعناع فلفلی به علت رسیدگی استوالد در طی دوران نگهداری رشد داشته است.



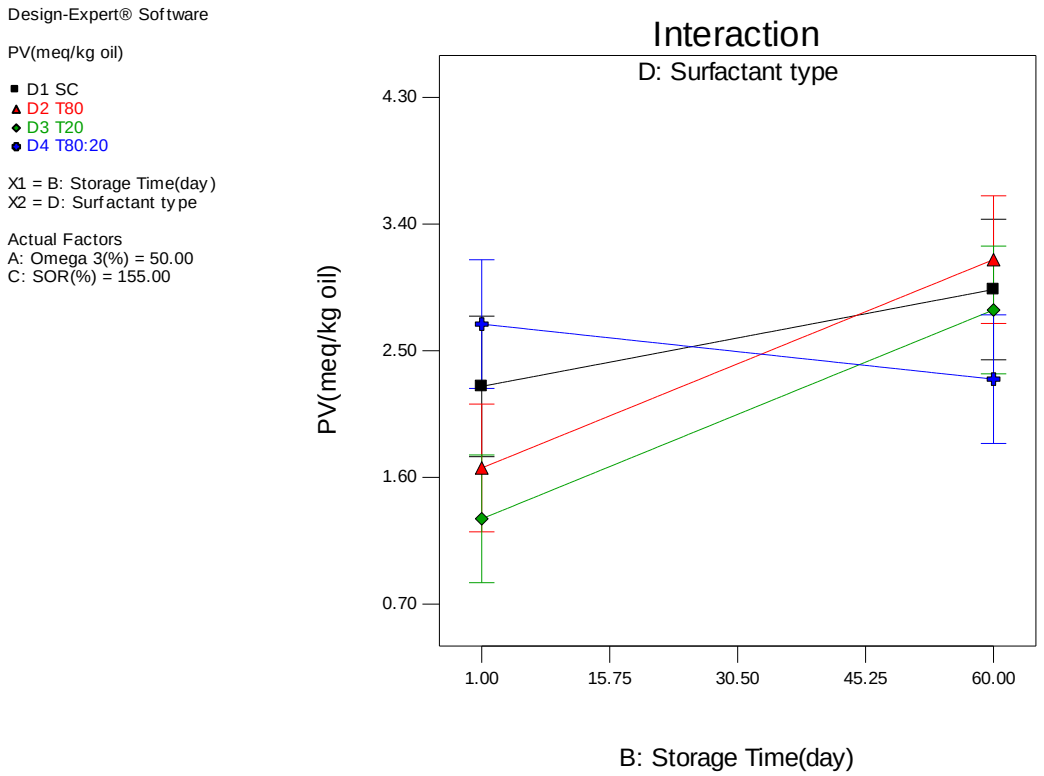
شکل ۱۰- نمودار برهمکنش تاثیر مقدار امگا سه و نوع سورفاکتانت بر تغییرات اندیس خامه‌ای شدن

میزان اندیس پراکسید نانوامولسیون‌های اسانس پونه کوهی ایرانی حاوی اسیدهای چرب امگا سه

آنالیز داده‌های آزمایش نشان داد که تغییرات اندیس پراکسید در نمونه‌های نانوامولسیون اسانس پونه کوهی ایرانی حاوی اسیدهای چرب امگا سه را می‌توان با معادله زیر توصیف کرد.

$$PV(meq/kg)= 2.38467 + 0.37091\ A+0.40767\ B-0.10219\ C+0.20590\ D_1+0.02228\ D_2- 0.337085\ D_3-0.76881\ AD_1+0.18405\ AD_2 +0.19396\ AD_3+0.59191\ BC+0.06354\ BD_1+ 0.33248\ BD_2+0.32435\ BD_3+1.8300\ A^2+1.33485\ C^2 \quad (۱۲)$$

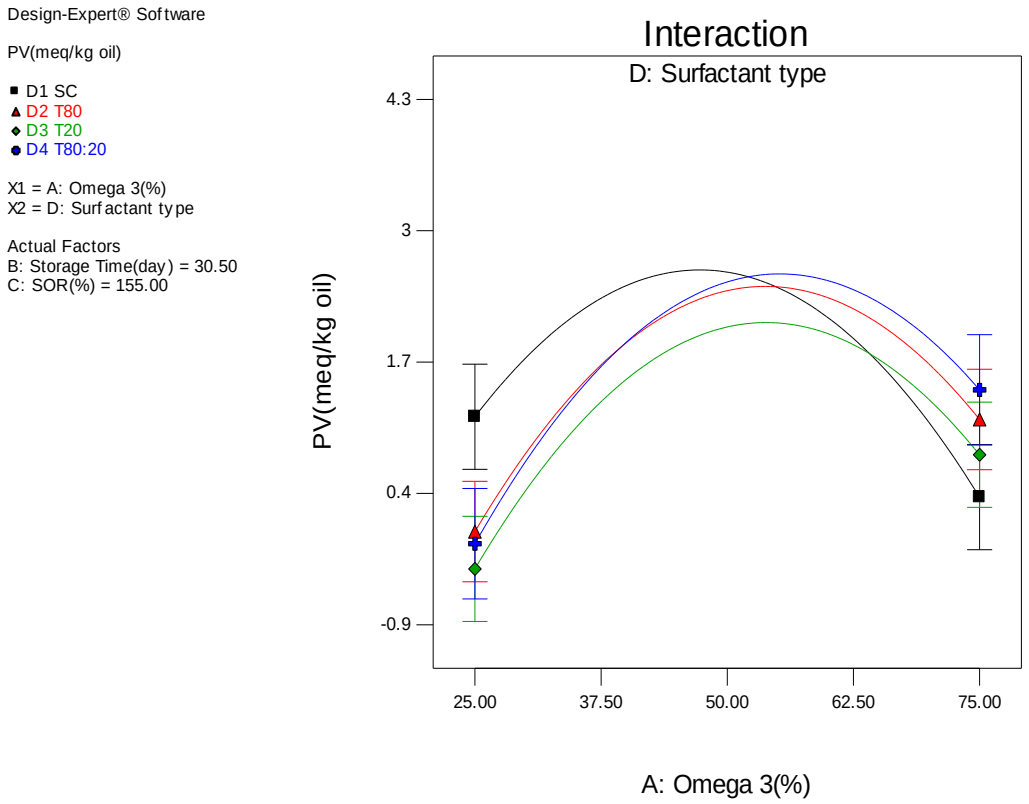
در معادله فوق ضرائب A، B، C، D به‌ترتیب نشانگر مقدار امگا سه (درصد)، مدت زمان نگهداری (روز)، درصد SOR و نوع سورفاکتانت می‌باشند. با توجه به نتایج آنالیز واریانس میزان اندیس پراکسید ذرات نانوامولسیون، مدل نهایی دارای سطح معنی‌دار P<۰/۰۰۰۱، شاخص عدم برازش غیرمعنی‌دار، ضرائب تبیین و تبیین اصلاح شده به‌ترتیب ۰/۹۰۲ و ۰/۸۱۱ می‌باشند. نتایج حاصل از این تست‌ها نشان می‌دهد که مدل نهایی ارائه شده کارآمد بوده و قادر است به‌طور رضایت‌بخش مقدار اندیس پراکسید را در نمونه‌ها توجیه نماید. بر اساس آنالیز واریانس اثرات خطی مقدار امگا سه و مدت زمان نگهداری و اثرات متقابل مقدار امگا سه و نوع سورفاکتانت، مدت زمان نگهداری در درصد SOR و مدت زمان نگهداری در نوع سورفاکتانت و اثرات درجه دوم مقدار امگا سه و درصد SOR تاثیر معنی‌داری داشته است و بالاترین تاثیر مربوط به اثر خطی مدت زمان نگهداری می‌باشد.



شکل ۱۱-نمودار برهمکنش تاثیر متقابل مدت زمان نگهداری و نوع سورفاکتانت بر تغییرات اندیس پراکسید

همانطور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، در طول مدت زمان نگهداری در تمامی فرمولاسیون‌ها به‌جز توئین ۸۰:۲۰ میزان اندیس پراکسید افزایش یافته است. مطابق نتایج آنالیز میانگین اندازه ذرات، در طول مدت زمان نگهداری به علت حرکت براونی ذرات و تماس ذرات با یکدیگر میانگین قطر ذرات نیز افزایش یافت، در نتیجه احتمالا به دلیل ادغام ذرات، دسترسی رادیکال‌های آزاد و فلزات واسطه به ذرات چربی نیز تسهیل می‌شود و اندیس پراکسید افزایش می‌یابد و همچنین در مدت زمان نگهداری به دلیل مصرف بیشتر ترکیبات موثر در اسانس‌ها در مقابله با عوامل پراکسیدانی و به دلیل تخریب ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و فنولیک در طول نگهداری اثرشان از بین رفته و حتی این ترکیبات می‌توانند به‌عنوان پراکسیدان عمل کنند و میزان اندیس پراکسید در طول مدت زمان نگهداری افزایش می‌یابد. یکی دیگر از دلایل افزایش اندیس پراکسید این است که، علیرغم اثرات مثبت سورفاکتانت‌ها، خود سورفاکتانت‌ها می‌توانند سبب افزایش سرعت اکسیداسیون گردد، به عبارتی دیگر گروه پلی‌اترها در ساختار سر سورفاکتانت توئین‌ها به آسانی اکسیده می‌شوند و هیدروپراکسیدها را تشکیل می‌دهند و همچنین وجود ناخالصی‌های همراه سورفاکتانت‌ها مانند فلزات واسطه و اسیدهای چرب آزاد می‌تواند سبب تسریع اکسیداسیون گردد. نمونه‌های حاوی مخلوط سورفاکتانت اندیس پراکسید کمتری داشت و غیراشباع بودن توئین ۸۰ و عدم انعطاف‌پذیری توئین ۲۰ و ایجاد منفذ در سطح ذرات در طی مدت زمان نگهداری باعث افزایش در اندیس پراکسید گردید. در تحقیقات متعددی گزارش گردید که با افزایش زمان نگهداری نمونه‌های روغن در شرایط اکسایش، میزان اندیس پراکسید و اندیس اسید تیوباربیتوریک افزایش و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهش یافت (Donnelly *et al.*, 1998; Villiere *et al.*,2005; Cheng *et al.*, 2010). Tan و همکاران (۲۰۱۶) افزایش نرخ اکسیداسیون با گذشت مدت زمان در میکروانکپسولاسیون‌ها مشاهده شد. در تحقیقات انجام شده توسط Lim و همکاران (۲۰۱۲) گزارش گردید که انکپسولاسیون روغن Red-Fleshed Pitaya گونه‌ای از میوه کاکتوس با سورفاکتانت کازئینات سدیم، اندیس پراکسید با افزایش مدت زمان نگهداری از ۱۰/۵۶ به ۵۹/۰۹ میلی‌اکی والان بر کیلوگرم افزایش یافت.

همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، افزایش مقدار امگا سه تا سطح ۵۰ درصد، ابتدا سبب افزایش در میزان اندیس پراکسید گردید و با افزایش بیشتر مقدار امگا سه، میزان اندیس پراکسید کاهش معنی‌داری یافته است.

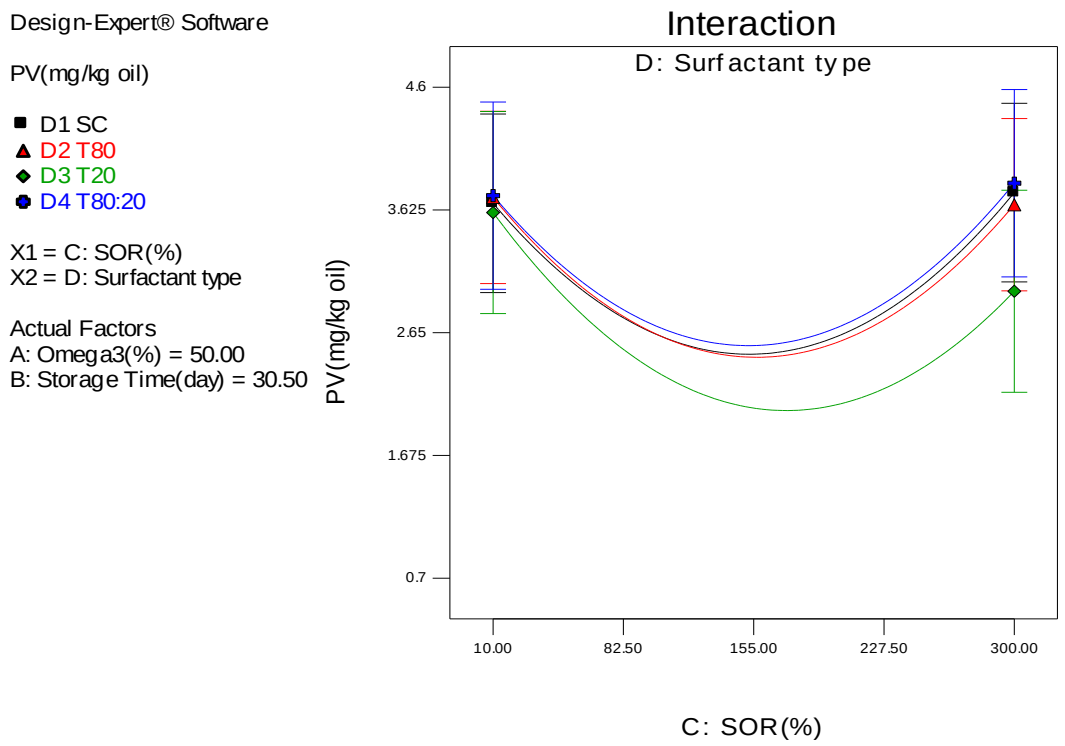


شکل۱۲-نمودار برهمکنش تاثیر متقابل مقدار امگا سه و نوع سورفاکتانت بر میزان اندیس پراکسید

اسانس پونه کوهی حاوی مقادیر بالایی از ترکیبات فنولیکی مانند کاراوکرول، تیمول، ائوژنول و ترکیباتی مانند منتول، پیپریتون، پیپریتون اکسید و پولگون بوده که به‌صورت موثری به‌عنوان دهنده هیدروژن عمل نموده و لذا به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان موثر عمل می‌کنند، افزایش در مقدار امگا سه سبب کاهش میزان اسانس می‌گردد و بنابراین میزان اسانس کمتری برای محافظت از اکسیداسیون امگا سه فعالیت می‌کند که منجر به کاهش خاصیت آنتی‌اکسیدانی و بازداری کمتر از اکسیداسیون می‌شود و اندیس پراکسید تا حدودی افزایش خواهد یافت. این نتایج با نتایج تحقیق Ahn و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت داشت که آنها گزارش کردند که کاهش در اندیس پراکسید و اندیس آنیزیدین در میکروانکپسولاسیون روغن آفتابگردان حاوی اولئیک بالا به همراه عصاره رزماری مشاهده گردید. مطابق آنالیزهای اندازه ذرات و اندیس خامه‌ای شدن با افزایش مقدار امگا سه میزان اندازه ذرات هم بزرگتر می‌باشد و به عبارتی سیستم ناپایدار شده و پدیده‌های انبوهش رخ داده، که در طی فرایند، عوامل پراکسیدان به علت تمایل بالا به لیپیدها در معرض ذرات چربی قرار می‌گیرند و در غلظت‌های بالاتر امگا سه، پدیده خامه‌ای شدن تقویت گردیده و سبب صعود ذرات چربی به سطح شود. اما با افزایش بیشتر میزان امگا سه، اندیس پراکسید کاهش نشان داد که کاهش در اندیس پراکسید با افزایش مقدار امگا سه، دلیلی بر ممانعت از اکسیداسیون نمی‌تواند باشدکه می‌تواند مرتبط به تجزیه ترکیبات هیدروپراکسید و تشکیل ترکیبات جانبی ثانویه حاصل از اکسیداسیون می‌باشد. Wang و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که در انکپسولاسیون روغن ماهی حاوی هگزادکانوئیک اسید با سورفاکتانت پروتئین آب پنیر، با افزایش مقدار روغن و کاهش میزان سورفاکتانت اندیس پراکسید افزایش یافت. در مطالعه‌ای Dłu_zewska و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که افزایش فاز روغنی سبب افزایش اندازه ذرات امولسیون نوشیدنی و افزایش اندیس پراکسید گردید.

همانطور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار سورفاکتانت، اندیس پراکسید ابتدا کاهش و سپس افزایش داشته است و میان سورفاکتانت‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. با افزایش غلظت سورفاکتانت و کاهش اندازه ذرات، اندیس پراکسید روند کاهشی نشان داد، که می‌توان مربوط به پوشش سطح ذرات چربی توسط سورفاکتانت‌ها، افزایش ضخامت لایه سورفاکتانت و محافظت از تماس مستقیم با عوامل پراکسیدانی باشد و سپس با افزایش بیشتر سورفاکتانت به‌دلیل وقوع پدیده ادغام ذرات و در نتیجه امکان نشت

ترکیبات ذرات چربی به محیط وجود داشته و بنابراین سبب افزایش اندیس پراکسید می‌گردد. از طرفی افزایش غلظت سورفاکتانت‌ها، اکسیژن محلول درون ساختار بیشتر شده که می‌تواند باعث افزایش اندیس پراکسید باشد. قابل ذکر است، اسانس روغنی بومی پونه کوهی نه تنها به‌عنوان عامل عطر و طعمی، بلکه دارای خاصیت آنتی‌اکسیداسیونی و خواص ضدمیکروبی می‌باشد، در اسانس پونه کوهی ترکیباتی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی مانند لیمونین، پولگون، کارون، تیمول و کاراوکرول وجود داشته که در کاهش اندیس پراکسید و به تعویق انداختن اکسیداسیون موثر بودند. با افزایش میزان سورفاکتانت، میزان اسانس کاهش یافته و در نتیجه خاصیت بازداری اکسیداسیون در برخی فرمولاسیون ها کمترگردید. Chen و Zhong (۲۰۱۵) با مطالعه بر نانوامولسیون بتاکارتن در اسانس آویشن در حضور سورفاکتانت‌های پروتئین آب پنیر و لستین نتیجه گرفتند به علت خاصیت آنتی‌اکسیدانی اسانس آویشن و لستین میزان اکسیداسیون کاهش می یابد



شکل۱۳- نمودار برهمکنش تاثیر متقابل درصد SOR و نوع سورفاکتانت بر اندیس پراکسید

اندیس تیوباربیتوریک اسید نانوامولسیون‌های اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه

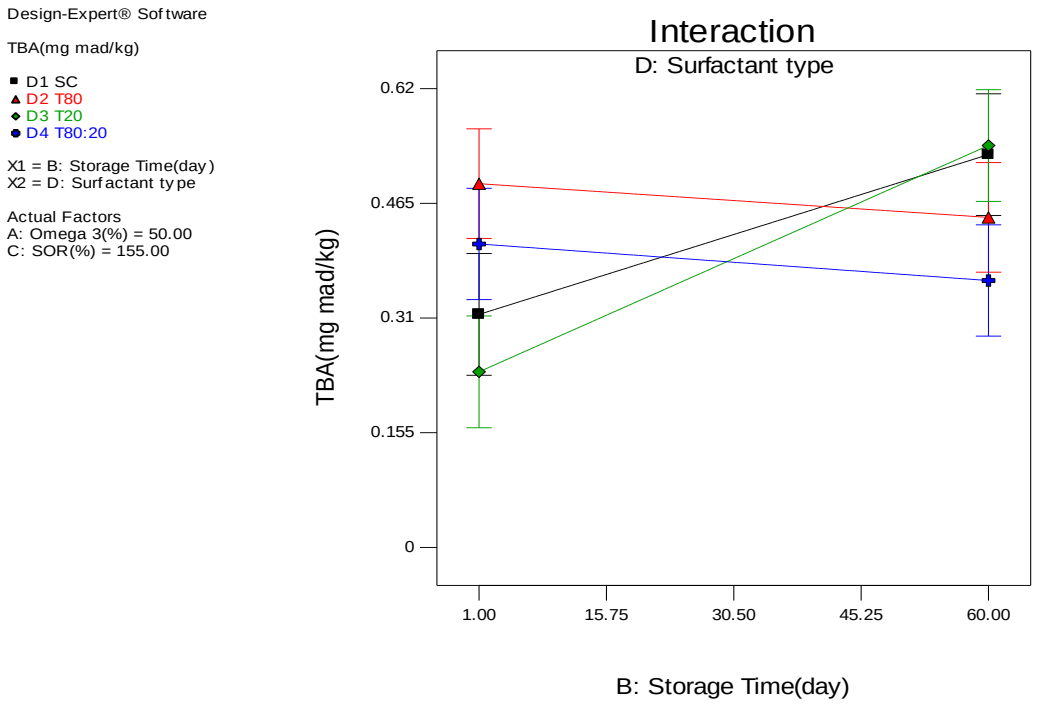
آنالیز داده‌های آزمایش نشان داد که تغییرات اندیس تیوباربیتوریک اسید در نمونه‌های نانوامولسیون اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه را می‌توان با معادله زیر توصیف کرد.

$$TBA(mg\ mad/kg) = 0.41680 + 0.02801\ A + 0.05336\ B + 0.00606\ D_1 + 0.05197\ D_2 - 0.02659\ D_3 + 0.054638\ BD_1 + 0.07613\ BD_2 + 0.09955\ BD_3 - 0.25791\ A^2 \quad (۱۳)$$

در معادله فوق ضرائب A، B، C،D به‌ترتیب نشانگر مقدار امگا سه (درصد)، مدت زمان نگهداری (روز)، درصد SOR و نوع سورفاکتانت می‌باشند. با توجه به نتایج آنالیز واریانس اندیس تیوباربیتوریک اسید ذرات نانوامولسیون، مدل نهایی دارای سطح معنی‌دار P<۰/۰۰۰۱، شاخص عدم برازش غیرمعنی‌دار می‌باشند. ضرائب تبیین و تبیین اصلاح شده به‌ترتیب ۰/۸۱۷ و ۰/۷۴۲ بودند. نتایج حاصل از این تست‌ها نشان می‌دهد که مدل نهایی ارائه شده کارآمد بوده و قادر است به‌طور رضایت بخش اندیس تیوباربیتوریک اسید را در نمونه‌ها توجیه نماید. بر اساس آنالیز واریانس اثرات خطی مدت زمان نگهداری و اثرات متقابل مدت زمان نگهداری و اثر درجه دوم مقدار امگا سه تاثیر معنی‌داری داشته است.

همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌گردد، فرمولاسیون‌های حاوی سورفاکتانت‌های توئین ۸۰ و توئین ۸۰:۲۰ با گذشت مدت زمان نگهداری تغییرات اندیس تیوباربیتوریک معنی‌دار نبودند، اما در

فرمولاسیون‌های حاوی سورفاکتانت‌های توئین ۲۰ و کازئینات سدیم افزایش معنی‌داری در اندیس تیوباربیتوریک اسید را نشان می‌دهد. این نتایج با روند اندیس پراکسید در طول مدت زمان نگهداری همخوانی داشت. در طول مدت نگهداری، بر اساس نتایج حاصل از شاخص اسپن و اندازه‌گیری میانگین قطر ذرات، ذرات اندازه‌های غیریکسان داشته و بر اثر مکانیسم‌های ناپایدارکنندگی مانند انبوهش و ادغام و به‌ویژه رسیدگی استوالد رشد ذرات مطابق اندیس خامه‌ای شدن مشاهده گردید، به همین دلیل سرعت اکسیداسیون و متعاقبا افزایش اندیس تیوباربیتوریک تسریع گردید و همچنین اکسیداسیون خود سورفاکتانت مانند توئین ۲۰ می‌توانند سبب افزایش اندیس تیوباربیتوریک اسید گردد. در طی مدت نگهداری خاصیت آنتی‌اکسیدانی موجود در سیستم کاهش یافته و متعاقبا اندیس تیوباربیتوریک افزایش یافت، اگرچه در حضور فاز روغنی اسانس پونه کوهی ایرانی نمونه‌های حاوی توئین ۸۰ و مخلوط توئین‌ها پایداری بیشتری در طول مدت نگهداری داشتند و تغییراتی در اندیس تیوباربیتوریک اسید مشاهده نگردید و به گونه‌ای از پیشرفت اکسیداسیون جلوگیری کرده‌اند اما توئین ۲۰ و پروتئین کازئینات سدیم فاقد این توانایی بودند. Lee و همکاران (۲۰۱۱) مقدار بالای اندیس تیوباربیتوریک اسید در طی دوران نگهداری نانوامولسیون روغن نارنگی در ذرات را نتیجه گرفتند. Mancuso و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که توئین ۲۰ حاوی ۱۳/۷ میکرومول پراکسید بر هر گرم بوده و به علت تماس کامل چربی با پراکسیدهای سورفاکتانت می‌تواند سبب تسریع اکسیداسیون گردد. Donnelly و همکاران (۱۹۹۸) بیان کردند، افزودن سورفاکتانت توئین ۲۰ در فاز آبی باعث افزایش اندیس پراکسید و تیوباربیتوریک اسید شده است. در مطالعه ای توئین ۲۰ سبب افزایش هیدروپراکسیدها و افزایش نرخ اکسیداسیونی در امولسیون روغن سالمون شده است (Berton و همکاران ۲۰۱۱).



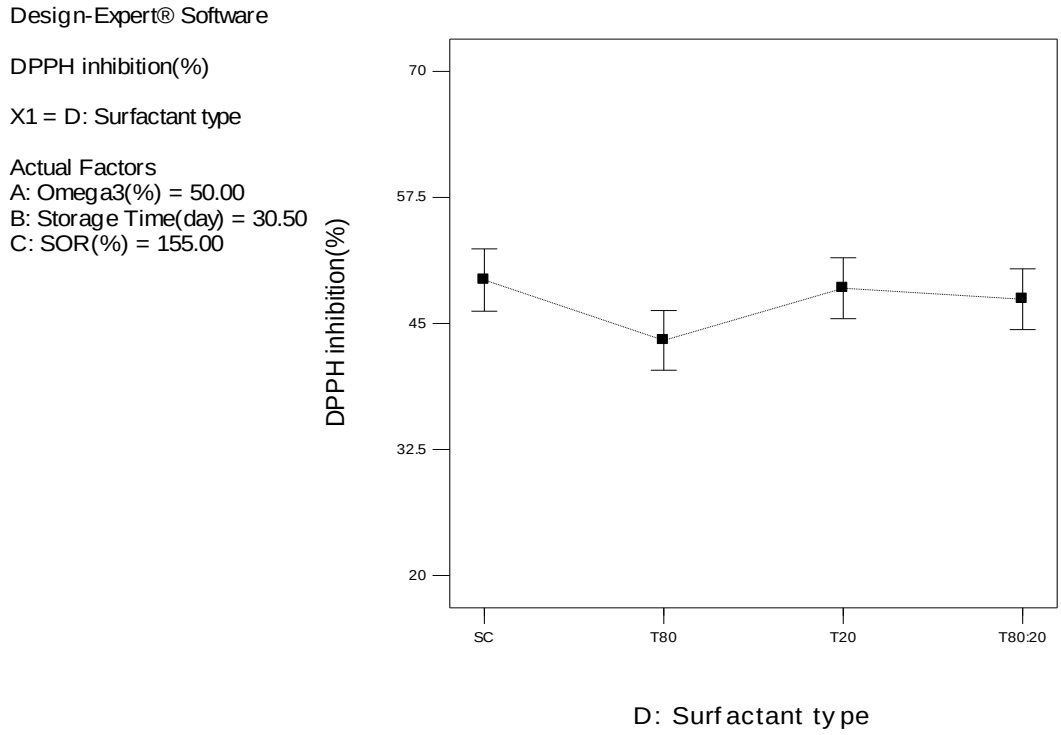
شکل ۱۴-نمودار برهمکنش تاثیر متقابل مدت زمان نگهداری و نوع سورفاکتانت برتغییرات اندیس تیوباربیتوریک اسید

خاصیت آنتی‌اکسیدانی نانوامولسیون اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه

استفاده از رادیکال DPPH جهت بررسی خاصیت آنتی‌اکسیدانی اسانس‌های گیاهی یکی از پرکاربردترین روش‌های سنجش قدرت آنتی‌اکسیدانی تبدیل شده است. اساس این روش این است که رادیکال DPPH به‌عنوان پذیرنده الکترون از یک مولکول آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند در نتیجه آن DPPH به 2DPPH تبدیل می‌شود. در این حالت رنگ بنفش محیط به رنگ زرد تبدیل می‌شود از روی اندازه‌گیری کاهش شدت جذب به‌وسیله طیف‌سنجی می‌توان به خصوصیات آنتی‌اکسیدانی آن پی برد (Chen *et al.*, 2013). آنالیز داده‌های آزمایش نشان داد که خاصیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه‌های نانوامولسیون اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه را می‌توان با معادله زیر توصیف کرد.

$$\text{Antioxidant activity} = 60.08502 - 4.77041A - 1.41746B + 7.02592C + 4.28374D_1 + 4.45420D_2 + 2.43589D_3 \quad (۱۴)$$

در معادله فوق ضرائب A، B، C، D به‌ترتیب نشانگر مقدار امگا سه (درصد)، مدت زمان نگهداری (روز)، درصد SOR و نوع سورفاکتانت می‌باشند. با توجه به نتایج آنالیز واریانس میزان خاصیت آنتی‌اکسیدانی ذرات نانوامولسیون، مدل نهایی دارای سطح معنی‌دار P<۰/۰۰۰۱، عدم برازش غیرمعنی‌دار می‌باشند. ضرائب تبیین و تبیین اصلاح شده به‌ترتیب ۰/۸۷۳ و ۰/۸۴۳ بودند، نتایج حاصل از این تست‌ها نشان می‌دهد که مدل نهایی ارائه شده کارآمد بوده و قادر است به‌طور رضایت‌بخش خاصیت آنتی‌اکسیدانی را در نمونه‌ها توجیه نماید.

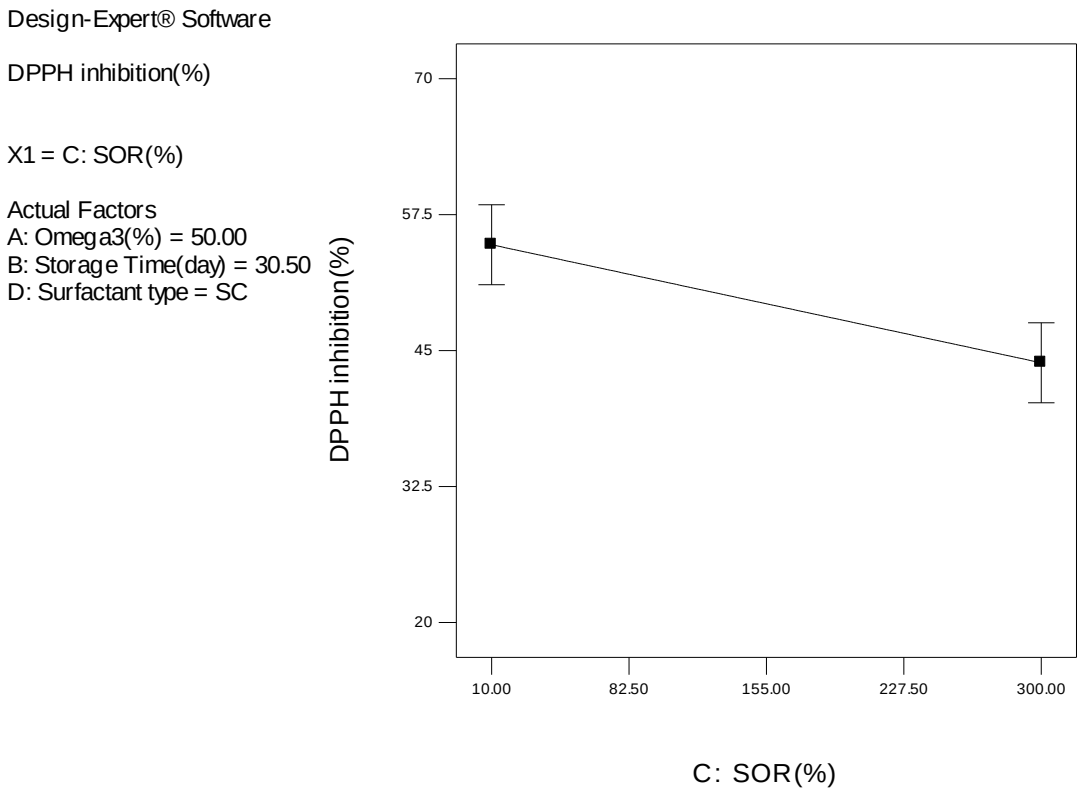


شکل ۱۵-نمودار تک فاکتور تاثیر نوع سورفاکتانت بر تغییرات خاصیت آنتی اکسیدانی

همانطور که در شکل ۱۵ نشان مشاهده می‌شود، تفاوت معنی‌داری بین سورفاکتانت‌ها نبود، اما بیشترین میزان خاصیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب مربوط به سورفاکتانت کازئینات سدیم، توئین ۲۰ و کمترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به توئین ۸۰، مخلوط توئین‌ها بود، با توجه به اینکه هرچه خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر باشد مطلوب‌تر می‌باشد به دلیل اینکه سورفاکتانت‌ها با پوشاندن کامل سطح ذرات در حفظ خواص آنتی‌اکسیدانی موثر هستند، بنابراین در فرمولاسیون‌هایی که پوشش کامل‌تر سطحی توسط سورفاکتانت‌ها داشتند خاصیت آنتی‌اکسیدانی کمتری نشان دادند. از طرف دیگر آنتی‌اکسیدان‌ها می‌تواند با امولسیفایرها در سطح بینابینی باند شوند به دلیل تشکیل باندهای هیدروژنی با هیدروژن‌های درون ساختار آنتی‌اکسیدانی از خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها کاسته می‌شود. در ارتباط با پروتئین کازئینات سدیم، خود دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی به علت به دام‌اندازی عوامل پراکسیدانی می‌باشد، اما در اینجا افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی به این علت نبوده، زیرا اساس واکنش با DPPH می‌باشد، به‌دلیل ساختار هتروژن این پروتئین احتمال خروج ترکیبات به درون محلول و واکنش با ترکیب DPPH وجود داشته که سبب افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی گردیده است.

در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود که افزایش در مقدار SOR و مقدار امگا سه، خاصیت آنتی‌اکسیدانی کاهش یافته است. خاصیت آنتی‌اکسیدانی فرمولاسیون‌ها در درجه اول به‌طور عمده مربوط به ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس پونه کوهی مربوط به ترکیبات منوترپنی اکسیژن‌دار مانند پولگون، کاروون، لینالول، پیپریتنون، بورنئول و دی هیدرو کاروئول و منوترپنی هیدروکربن مانند لیمونین، بتا پینین، کامفن و بتا مایریسین و ترکیبات فنولیک شامل تیمول و کاراوکرول و به مقدار خیلی کمتر مربوط به توکوفرول‌های موجود در

روغن ماهی (۱۰۰۰ ppm) و حضور سورفاکتانت‌ها می‌باشد. علت کاهش خاصیت آنتی‌اکسیدانی را می‌توان با این دلیل توجیه نمود که با افزایش مقدار سورفاکتانت در نانوامولسیون‌ها، میزان فاز روغنی کاهش می‌یابد و در نتیجه میزان اسانس موجود در ساختار نیز کمتر می‌گردد، بنابراین هرچه میزان اسانس پونه کوهی بیشتر باشد خواص آنتی‌اکسیدانی بالاتری را نشان می‌دهد. دلیل دیگر اینکه با افزایش میزان سورفاکتانت و تشکیل شد و غشای محافظتی بر روی سطح ذرات، تماس موثر میان رادیکال DPPH با اسانس پونه کوهی کمتر می‌گردد به بیان دیگر چون در این روش از فرآیندهای تخریبی جهت برداشتن غشای سطح ذرات استفاده نمی‌گردد واکنش کامل ترکیبات با محلول DPPH کمتر بوده و در نتیجه خاصیت آنتی‌اکسیدانی کمتری نشان دادند. از طرفی اسانس‌های ضروری توانایی به دام‌اندازی فلزات را دارند.



شکل ۱۶- نمودار تک فاکتور تاثیر درصد SOR و مقدار امگا سه بر میزان خاصیت آنتی‌اکسیدانی

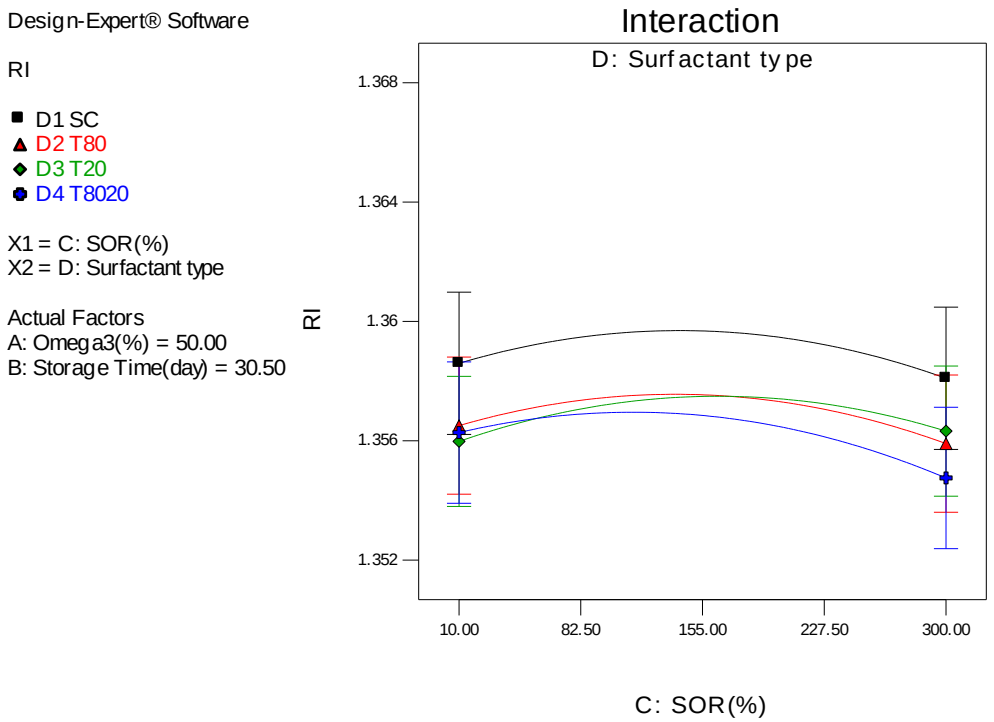
تغییرات ضریب شکست نانوامولسیون اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه

آنالیز داده‌های آزمایش نشان داد که تغییرات ضریب شکست در نمونه های نانوامولسیون اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه را می‌توان با معادله زیر توصیف کرد.

$$RI= 1.3562 +0.00099 A+2.34 \times10^{-5} B+0.000166C+ 0.002897D_1+0.000783D_2+0.000684D_3-0.00234AD_1-0.00179AD_2-0.00074AD_3-0.0008BC-0.00327BD_1-0.00076BD_2-0.00035BD_3-0.00191CD_1-0.00201CD_2-0.00158CD_3+0.00288B^2 \quad (۱۵)$$

در معادله فوق ضرائب A، B، C، D به‌ترتیب نشانگر مقدار امگا سه (درصد)، مدت زمان نگهداری (روز)، درصد SOR و نوع سورفاکتانت می‌باشند. از مقادیر ضریب تبیین (۰/۹۷۵) و ضریب تبیین اصلاح شده (۰/۹۴۵) مربوط به مدل‌ها می‌توان دریافت که مدل چندجمله‌ای درجه دوم مدلی کارآمد برای ضریب شکست محسوب می‌شود. همانطور که در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود با افزایش درصد SOR در تمامی فرمولاسیون‌ها، تغییرات چندان معنی‌دار نبودند. اگر چه کاهش اندکی در میزان ضریب شکست مشاهده شد، این نتایج با نتایج حاصل از اندازه‌گیری کدورت مطابقت داشته است، که با افزایش میزان سورفاکتانت میزان کدورت کاهش داشت و در نتیجه ضریب شکست کمتر می‌باشد. میان ضریب شکست و کدورت رابطه مستقیم

وجود دارد. از طرف دیگر هرچه فاز روغنی و کسر حجمی بالاتر باشد میزان ضریب شکست بیشتر می‌گردد، در نتیجه مورد انتظار بود که با افزایش مقدار سورفاکتانت، فاز روغنی کاهش داشته، اندازه ذرات کوچکتر گردیده و میزان ضریب شکست کمتر گردید. Gadkari و Balarama (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند که افزایش در اندازه ذرات باعث افزاش ضریب شکست گردید. Gensen و همکاران (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند میزان ضریب شکست نانوامولسیون عصاره داروی گیاهی Serrata Boswellia ۱/۲۸ تا ۱/۹۹ بود و افزایش اندکی در ضریب شکست نمونه‌های حاوی میزان روغن بالاتر مشاهده شد.



شکل۱۷- نمودار برهمکنش تاثیر درصد SOR و نوع سورفاکتانت بر ضریب شکست

pH نانوامولسیون اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه

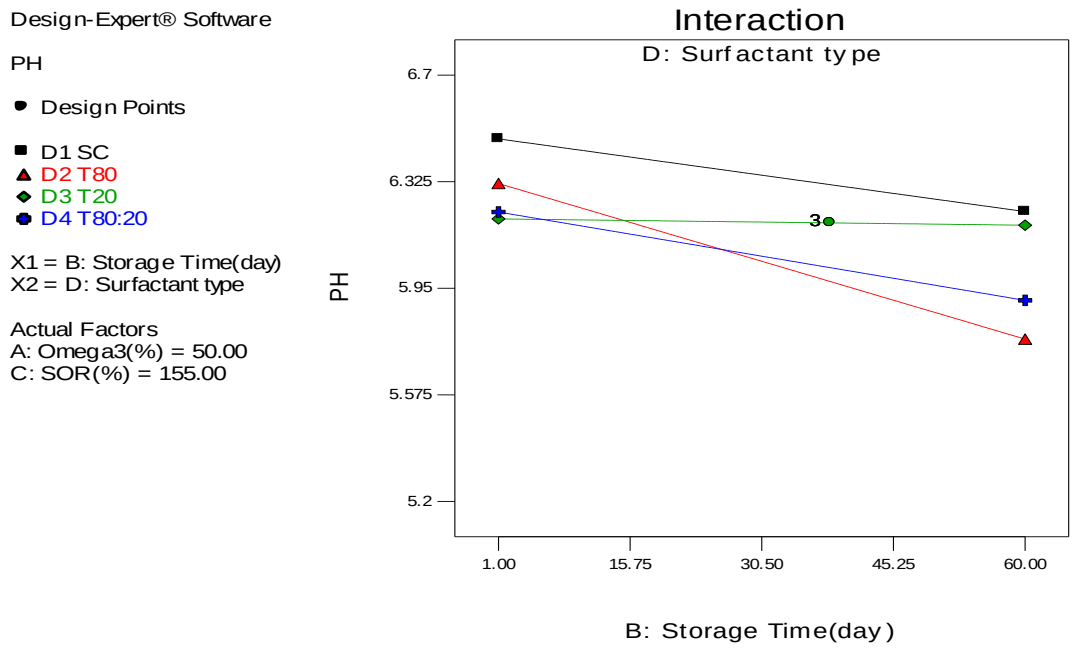
آنالیز داده‌های آزمایش نشان داد که تغییرات pH در نمونه‌های نانوامولسیون اسانس پونه کوهی ایرانی حاوی اسیدهای چرب امگا سه را می‌توان با معادله زیر توصیف کرد.

$$pH= 6.16 -0.071A -0.14 B+0.28 C+0.186586 D_1-0.115 D_2+0.023 D_3+0.0574 AB+0.00027 AC+0.08062 BC+0.014 BD_1-0.013 BD_2+0.1297 BD_3-0.26 C^2 \quad (۱۶)$$

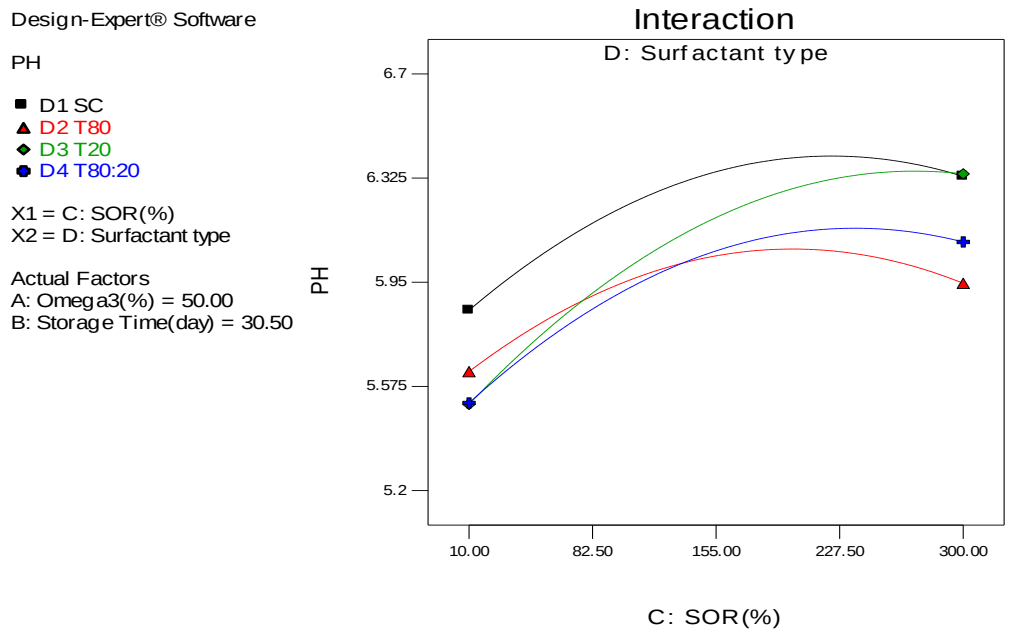
در معادله فوق ضرائب A، B، C، D به‌ترتیب نشانگر مقدار امگا سه (درصد)، مدت زمان نگهداری (روز)، درصد SOR و نوع سورفاکتانت می‌باشند. با توجه به جداول آنالیز واریانس تغییرات pH ذرات نانوامولسیون، مدل نهایی دارای سطح معنی‌دار P<۰/۰۰۰۱، عدم برازش غیرمعنی‌دار، ضرائب تبیین و تبیین اصلاح شده به‌ترتیب ۰/۹۵۰ و۰/۹۱۴ می‌باشند. نتایج حاصل از این تست‌ها نشان می‌دهد که مدل نهایی ارائه شده کارآمد بوده و قادر است به‌طور رضایت بخش تغییرات pH را در نمونه‌ها توجیه نماید..

با گذشت مدت زمان نگهداری میزان pH در تمام فرمولاسیون‌ها به‌جز توئین ۲۰ روند کاهشی داشت (شکل ۱۸)، که این تغییرات با اندیس پراکسید همخوانی داشت، به عبارتی مطابق توضیحات در بخش قبلی، پدیده هیدرولیز ترکیبات اسیدهای چرب و سورفاکتانت‌ها باعث کاهش در pH گردید.

با افزایش مقدار سورفاکتانت، میزان pH نمونه‌ها افزایش نشان داد به عبارتی در مقادیر بالای سورفاکتانت میزان امگا سه که تاثیر زیادی بر میزان pH دارد، کمتر گردید، از طرف دیگر به علت افزایش سورفاکتانت به‌ویژه کازئینات سدیم دارای بار منفی بیشتر میزان pH بیشتر گردید، همانطور که قبلا هم اشاره شده با اینکه توئین‌ها ترکیبات غیریونی هستند اما میزان اندکی بار منفی نیز دارند که بر روی pH اثرگذار بود، اگرچه مقادیر pH در محدوده طبیعی بود.



شکل ۱۸-نمودار برهمکنش تاثیر مدت زمان نگهداری و نوع سورفاکتانت بر تغییرات pH

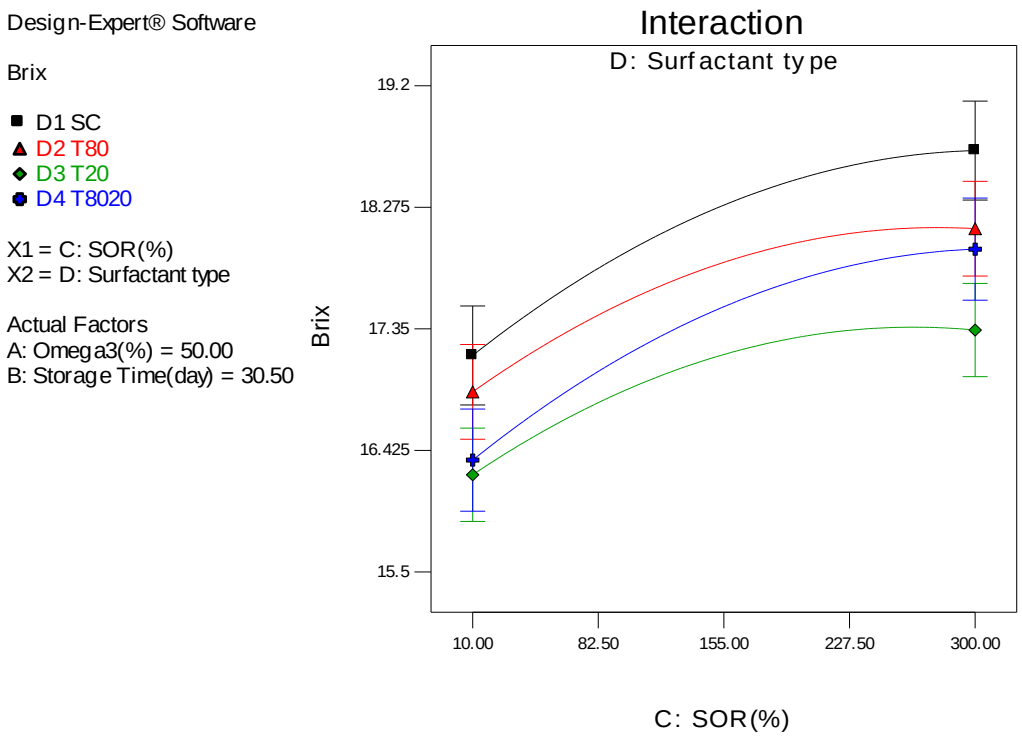


شکل ۱۹- نمودار برهمکنش تاثیر درصد SOR و نوع سورفاکتانت بر تغییرات pH

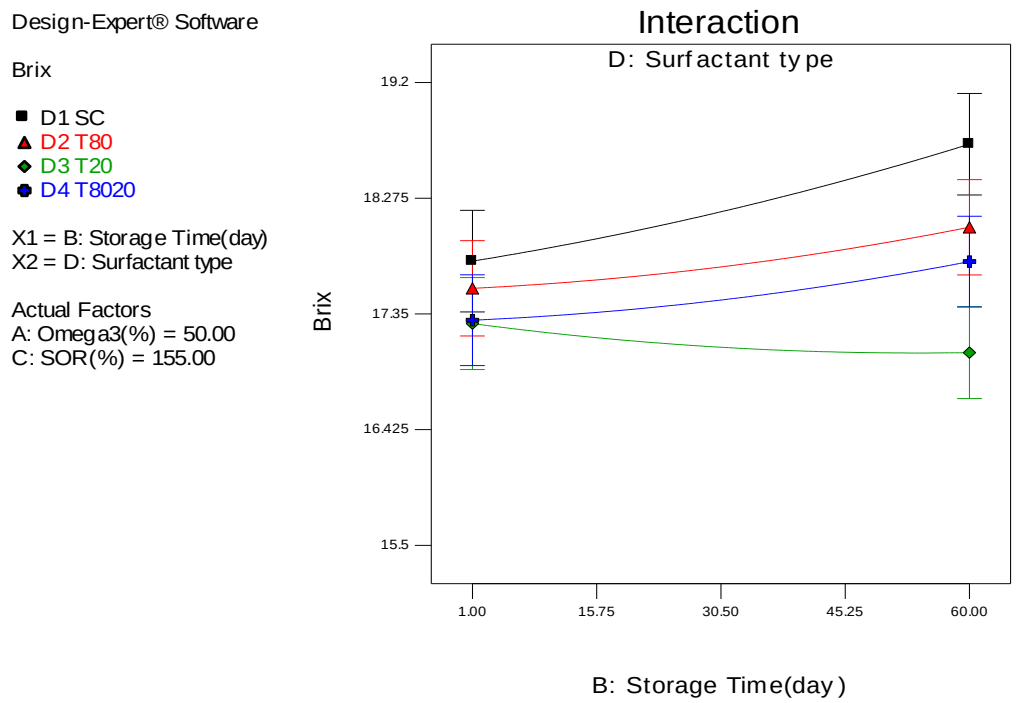
میزان بریکس نانوامولسیون‌های اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه

آنالیز داده‌های آزمایش نشان داد که تغییرات بریکس در نمونه‌های نانوامولسیون اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه را می‌توان با معادله زیر توصیف کرد.

$$Brix=17.70 + 0.09362\ A+0.18525\ B+0.68843\ C+0.58633\ D_1+0.15088\ D_2-0.55044\ D_3-0.28214\ AD_1+0.12498\ AD_2+0.12115\ AD_3+0.02777\ BC+0.27089BD_1+0.11906BD_2\ -0.32213\ BD_3-0.09111\ CD_1-0.06747\ CD_2-0.13784\ CD_3-0.3679\ A^2+0.097086\ B^2 \quad (۱۷)$$



شکل ۲۰- نمودار برهمکنش تاثیر تاثیر درصد SOR و نوع سورفاکتانت بر تغییرات بریکس



شکل ۲۱-نمودار برهمکنش تاثیر مدت زمان نگهداری و نوع سورفاکتانت بر میزان تغییرات بریکس

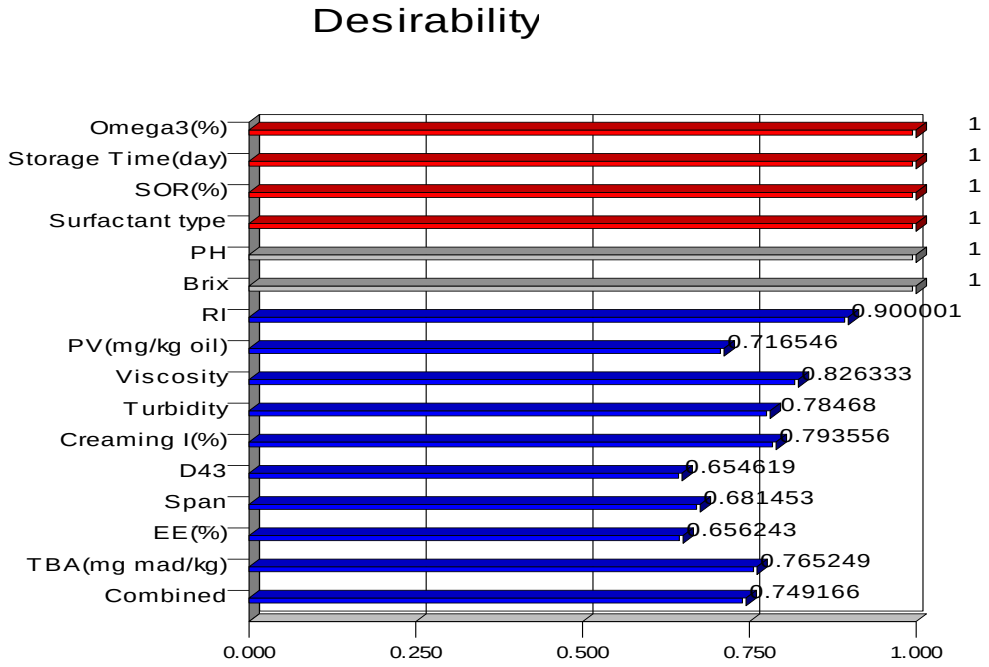
در معادله فوق ضرائب A، B، C، D به‌ترتیب نشانگر مقدار امگا سه (درصد)، مدت زمان نگهداری (روز)، درصد SOR و نوع سورفاکتانت می‌باشند. با توجه به جداول آنالیز واریانس میزان بریکس ذرات نانوامولسیون، مدل نهایی دارای سطح معنی‌دار P< ۰/۰۰۰۱، شاخص عدم برازش غیرمعنی‌دار، ضرائب تبیین و تبیین اصلاح شده به‌ترتیب ۰/۹۵۸ و۰/۸۹۲ می‌باشند.

در تمامی انواع سورفاکتانت‌ها با افزایش درصد SOR میزان بریکس روند افزایشی داشت (شکل ۲۰). افزایش مقدار سورفاکتانت منجر به بالاتر رفتن ماده جامد نمونه‌ها گردید و در نتیجه میزان بریکس افزایش یافت، در مقادیر بالای سورفاکتانت، در نمونه‌های حاوی پروتئین کازئینات سدیم به دلیل تشکیل غشای سطحی با ضخامت بیشتر اطراف ذرات میزان بریکس بیشتر از سایر فرمولاسیون‌ها بود و نمونه‌های حاوی توئین ۸۰ به‌دلیل ساختار انعطاف‌پذیری و شاخص پکینگ بالاتر، تعداد بیشتر در ناحیه بین سطحی قرار گرفته و میزان بریکس را افزایش داد.

در فرمولاسیون‌های حاوی سورفاکتانت‌های توئین تغییرات بریکس در طول مدت زمان نگهداری معنی‌دار نبودند اما نمونه‌های حاوی پروتئین کازئینات سدیم با گذشت مدت زمان نگهداری افزایش بریکس را نشان دادند (شکل ۲۱)، در واقع افزایش جذب آب توسط سورفاکتانت‌های جذب شده و جذب نشده می‌توان علت تغییرات بریکس باشد، این پروتئین گاها به‌عنوان استابیلایزر در صنایع غذایی استفاده می‌گردد و این بیوپلیمر طبیعی درشت مولکول به‌دلیل ساختار منحصر به فرد و اتصال از چندین نقطه بر سطح ذرات، در طول مدت نگهداری پایدارتر بوده و با گذشت مدت زمان نگهداری امکان برقراری تعداد بیشتری از سورفاکتانت بر سطح وجود دارد همچنین برقراری پیوندهایی میان خود پروتئین‌ها و وقوع پدیده انبوهش بر افزایش میزان بریکس تاثیرگذار می‌باشد.

بهینه‌سازی اجزای تشکیل‌دهنده نانوامولسیون

به‌منظور بهینه‌سازی پاسخ‌های موثر در تولید نانوامولسیون حاوی اسیدهای چرب امگا سه از روش تابع مطلوبیت استفاده شد. در روش تابع مطلوبیت، مطلوبیت آماری بین صفر و یک است و سطح پایین آن نشان‌دهنده عدم دستیابی به هدف مورد نظر می‌باشد و سطح بالای آن نشان‌دهنده برآورده شدن کامل هدف مورد نظر می‌باشد. وقتی هدف، بهینه‌سازی چندین پاسخ به‌طور همزمان باشد، مطلوبیت هر یک از پاسخ‌ها تعیین شده و میانگین هندسی آن‌ها به‌عنوان شاخص برآورده شدن همزمان هدف‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. شرایط بهینه برای تک تک پاسخ‌ها را نمی‌توان به‌عنوان الگوی مناسب در نظر گرفت.



شکل ۲۴- هیستوگرام نشان‌دهنده مطلوبیت برآورده شدن هر کدام از پاسخ‌ها و مطلوبیت کلی در شرایط بهینه تولید نانوامولسیون اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه

زیرا شرایط بهینه برای یک پاسخ، ممکن است برای پاسخ دیگر شرایط نامساعدی ایجاد کند. بنابراین باید شرایطی را به‌عنوان الگوی ساخت معرفی کرد که تا حد امکان تمامی پاسخ‌ها را به نحو رضایت‌بخشی بهینه نماید به‌منظور بهینه‌سازی توام، ابتدا اهداف بهینه‌سازی مشخص گردید. یعنی پارامترهای میانگین قطر ذرات، شاخص اسپن، شاخص کدورت، اندیس خامه‌ای شدن، ضریب شکست، اندیس پراکسید و اندیس تیوباربیتوریک اسید در مقادیر کمینه در نظر گرفته شدند و نتایج حاصل از بهینه‌سازی در نرم‌افزار Design Expert با استفاده از بهینه‌سازی عددی مقادیر بهینه متغیرهای مستقل نانوامولسیون‌های پونه کوهی ایرانی حامل اسیدهای چرب امگا سه به‌ترتیب، میزان امگا سه ۲۹/۳۱ درصد، مدت زمان نگهداری ۴۰ روز، درصد SOR ۱۰۰ درصد و نوع سورفاکتانت توئین ۸۰:۲۰ تعیین شدند و پاسخ‌های بهینه میانگین قطر ذرات (۱۱۵ نانومتر) ، اندیس پراکسید (۲/۰۴ میلی‌اکی والان بر کیلوگرم روغن)، اندیس خامه‌ای شدن (۱/۰۶۵ درصد)، pH (۶/۰۳)، بریکس (۱۶/۱۲)، ضریب شکست (۱/۳۴) ، شاخص اسپن (۰/۹۴)، اندیس تیوباربیتوریک اسید (۰/۱۲) و کدورت (۰/۴۰) و با مطلوبیت ۰/۸ تخمین زده شد. میزان مطلوبیت محاسبه شده برای تک تک فاکتورها، پاسخ‌ها و نیز مطلوبیت کلی در نانوامولسیون اسانس پونه کوهی حاوی اسیدهای چرب امگا سه شکل ۲۴ نشان داده شده است

نتیجه‌گیری

به‌کارگیری روش کم انرژی امولسیفیکاسیون خودبه‌خودی در این تحقیق در تولید نانوامولسیون‌های اسانس‌های گیاهی بومی پونه کوهی ایرانی حامل اسیدهای چرب امگا سه، از نظر بهبود کیفی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و افزایش ثبات آن در طول مدت زمان نگهداری روش مناسبی بود و براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نانوامولسیون امگا سه باعث پوشاندن بوی نامطلوب روغن ماهی می‌شود و غلظت امگا سه، نوع سورفاکتانت، نسبت سورفاکتانت به روغن و نوع اسانس بر روی اندازه ذرات موثر می‌باشند. اسانس‌های گیاهی بر روی بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و اکسیداتیوی نانوامولسیون‌های امگا سه تاثیرگذار بودند و نانوامولسیون‌های تهیه شده با اسانس‌های گیاهی دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشند و در کنترل میزان اکسیداسیون و محصولات حاصله موفق بودند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاری مدیریت محترم شرکت آذین شوشتر جناب آقای ساسان قنادان در انجام مطالعه حاضر سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۴۹۴، روغن ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی- اندازه گیری عدد ۲- تیوباربیتوریک اسید- به روش مستقیم.

استاندارد ملی ایران شماره ۴۱۷۹، اندازه گیری عدد پراکسید در روغن‌ها و چربی‌های خوراکی.

مساح، م، ۱۳۹۲. بررسی ویژگی‌های کلوئیدی نانوامولسیونهای حاوی آلفاتوکوفرول تولید شده با استفاده از روش کم انرژی بر پایه سورفاکتانت. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

نیک نیا، ن؛ قنبرزاده، ب؛ همیشه کار، ح؛ رضایی مکرم، ر، ۱۳۹۲. تهیه و ارزیابی نانوامولسیون های خوراکی ویتامین E با روش خودبه خودی. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. ۸، ۶۵-۵۱.

وثوق، ا؛ خمیری، م؛ کاشانی نژاد، م؛ جعفری، م، ۱۳۸۸. ماندگاری بیفیدوباکتریوم لاکتیس و لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس در دوغ حاوی عصاره کاکوتی. مجله علوم و صنایع غذایی ایران، دوره ۶، شماره ۲۳، ۷۷-۸۵.

Al-bayati, F. A. 2009. Isolation and identification of antimicrobial compound from Mentha longifolia L. leaves grown wild in Iraq. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 8, 20.

Alzorqi, I., Ketabchi, M. R., Sudheer, S. and Manickam, S. 2016. Optimization of ultrasound induced emulsification on the formulation of palm-olein based nanoemulsions for the incorporation of antioxidant β-d-glucan polysaccharides. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 71-84.

Anandan, C., Nurmatov, U. and Sheikh, A. 2009. Omega 3 and 6 oils for primary prevention of allergic disease: systematic review and meta-analysis. *Allergy*, 64, 840-848. Ahn, J.-H., Kim, Y. P., Seo, E. M., Choi, Y. K. and Kim, H.S. 2008. Antioxidant effect of natural plant extracts on the microencapsulated high oleic sunflower oil. *Journal of Food Engineering*, 84**,** 327-334.

Anandrao, W. P. 2014. Process Optimization for the preparation of Micro/Nanoemulsion of Curcumin Using High speed Homogenizer. *NDRI, Karnal*.

Berton, C., Ropers, M. H., Bertrand, D., Viau, M., and Genot, C. 2012. Oxidative stability of oil-in-water emulsions stabilised with protein or surfactant emulsifiers in various oxidation conditions. *Food Chemistry*, *131*(4), 1360-1369.

Chanda, H., Das, P., Chakraborty, R., and Ghosh, A. 2011. Development and evaluation of liposomes of fluconazole. *J Pharm Biomed Sci*, *5*(27), 1-9.

Chen, H., Guan, Y., and Zhong, Q. 2015. Microemulsions based on a sunflower lecithin–Tween 20 blend have high capacity for dissolving peppermint oil and stabilizing coenzyme Q10. *Journal of Agricultural and Food Chemistry 63*(3), 983-989.

Cheng, Y., Xiong, Y. L., and Chen, J. 201). Antioxidant and emulsifying properties of potato protein hydrolysate in soybean oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, *120*(1), 101-108.

Cheong, A. M., Tan, K. W., Tan, C. P., and Nyam, K. L. 2016. Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil-in-water Pickering nanoemulsions stabilised by mixture of sodium caseinate, Tween 20 and β-cyclodextrin. *Food Hydrocolloids*, *52*, 934-941.

Chiesa, M., Garg, J., Kang, Y. T., and Chen, G. 2008. Thermal conductivity and viscosity of water-in-oil nanoemulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *326*(1-2), 67-72.

Dickinson, E., Golding, M., and Povey, M. J. 1997. Creaming and flocculation of oil-in-water emulsions containing sodium caseinate. *Journal of colloid and interface science*, *185*(2), 515-529.

Dłużewska, E., Stabiecka, A., and Maszewska, M. 2006. Effect of oil phase concentration on rheological properties and stability of beverage emulsion. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, *5*(2), 147-156.

Donnelly, J. L., Decker, E. A., and McClements, D. J. 1998. Iron-Catalyzed Oxidation of Menhaden Oil as Affected by Emulsifiers. *Journal of Food Science*, *63*(6), 997-1000.

Esfanjani, A., Jafari, S.M., Assadpour, E. 2017. Preparation of a multiple emulsion based on pectin-whey protein complex for encapsulation of saffron extract nanodroplets. *Food Chemistry*,221,1962-1969.

Faraji, N., Pirsa, S., Alizadeh, M. and Almasi, H. 2018. ptimizing Production of Mentha longifolia Essential Oil Emulsion Loaded with Omega 3 Fatty Acids by Nano-Fiber/Gas Chromatography. *Journal of Bioanalysis & Biomedicine* , *10(1)*-30-39.

Freeman, M. P., Hibbeln, J. R., Wisner, K. L., Davis, J. M., Mischoulon, D., Peet, M., and Stoll, A. L. 2006. Omega-3 fatty acids: evidence basis for treatment and future research in psychiatry. *Journal of Clinical psychiatry*, *67*(12), 1954.

Gadkari, P. V., and Balaraman, M. 2015. Extraction of catechins from decaffeinated green tea for development of nanoemulsion using palm oil and sunflower oil based lipid carrier systems. *Journal of Food Engineering*, *147*, 14-23.

Ganesan, B., Brothersen, C., and McMahon, D. J. (2014). Fortification of foods with omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Critical reviews in food science and nutrition*, *54*(1), 98-114.

Ghosh, V., Mukherjee, A., and Chandrasekaran, N. 2014. Eugenol-loaded antimicrobial nanoemulsion preserves fruit juice against, microbial spoilage. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *114*, 392-397.

Gulotta, A., Saberi, A. H., Nicoli, M. C., and McClements, D. J. 2014. Nanoemulsion-based delivery systems for polyunsaturated (ω-3) oils: formation using a spontaneous emulsification method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*(7), 1720-1725.

Hu, Q., Gerhard, H., Upadhyaya, I., Venkitanarayanan, K., and Luo, Y. 2016. Antimicrobial eugenol nanoemulsion prepared by gum arabic and lecithin and evaluation of drying technologies. *International Journal of Biological Macromolecules*, *87*, 130-140.

Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y., and Bhandari, B. 2008. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology*, *26*(7), 816-835.

Jafari, S. M., He, Y., and Bhandari, B. 2007. Encapsulation of nanoparticles of d-limonene by spray drying: role of emulsifiers and emulsifying techniques. *Drying Technology*, *25*(6), 1069-1079.

Lavie, C. J., Milani, R. V., Mehra, M. R., and Ventura, H. O. 2009. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and cardiovascular diseases. *Journal of the American College of Cardiology*, *54*(7), 585-594.

Lee, S. J., Choi, S. J., Li, Y., Decker, E. A., and McClements, D. J. 2010. Protein-stabilized nanoemulsions and emulsions: comparison of physicochemical stability, lipid oxidation, and lipase digestibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*(1), 415-427.

Li, J., Solval, K. M., Alfaro, L., Zhang, J., Chotiko, A., Delgado, J. L. B., and Sathivel, S. 2015. Effect of blueberry extract from blueberry pomace on the microencapsulated fish oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, *39*(2), 199-206.

Lim, H. K., Tan, C. P., Bakar, J., and Ng, S. P. 2012. Effects of different wall materials on the physicochemical properties and oxidative stability of spray-dried microencapsulated red-fleshed pitaya (Hylocereus polyrhizus) seed oil. *Food and Bioprocess Technology*, *5*(4), 1220-1227.

Maki, K. C., Yurko-Mauro, K., Dicklin, M. R., Schild, A. L., and Geohas, J. G. 2014. A new, microalgal DHA-and EPA-containing oil lowers triacylglycerols in adults with mild-to-moderate hypertriglyceridemia. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, *91*(4), 141-148.

Mancuso, J. R., McClements, D. J., and Decker, E. A. 1999. The effects of surfactant type, pH, and chelators on the oxidation of salmon oil-in-water emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *47*(10), 4112-4116.

Mancuso, J. R., McClements, D. J., and Decker, E. A. 2000. Iron-accelerated cumene hydroperoxide decomposition in hexadecane and trilaurin emulsions. *Journal of agricultural and food chemistry*, *48*(2), 213-219.

Martín-Diana, A. B., Rico, D., Barat, J. M., and Barry-Ryan, C. 2009. Orange juices enriched with chitosan: Optimisation for extending the shelf-life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *10*(4), 590-600.

McClements, D. J. 2014. Nanoparticle-and microparticle-based delivery systems: Encapsulation, protection and release of active compounds. *CRC Press.*

McClements, D. J. 2015. Food emulsions: principles, practices, and techniques. *CRC press*.

McClements, D. J., Decker, E. A., and Weiss, J. 2007. Emulsion-based delivery systems for lipophilic bioactive components. *Journal of Food Science*, *72*(8).

McClements, D. J., Decker, E. A., and Weiss, J. 2007. Emulsion-based delivery systems for lipophilic bioactive components. *Journal of Food Science*, *72*(8).

Méx, B. S. Q. 2008. Emulsifying properties of proteins.

Meyer, B. J., Mann, N. J., Lewis, J. L., Milligan, G. C., Sinclair, A. J., and Howe, P. R. 2003. Dietary intakes and food sources of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Lipids*, *38*(4), 391-398.

Mohammadi, A., Jafari, S. M., Esfanjani, A. F., and Akhavan, S. 2016. Application of nano-encapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil. *Food chemistry*, *190*, 513-519.

Molyneux, P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. Sci. Technol*, *26*(2), 211-219.

Nakaya, K., Ushio, H., Matsukawa, S., Shimizu, M., and Ohshima, T. 2005. Effects of droplet size on the oxidative stability of oil-in-water emulsions. *Lipids*, *40*(5), 501-507.

Nuchi, C. D., Hernandez, P., McClements, D. J., and Decker, E. A. 2002. Ability of lipid hydroperoxides to partition into surfactant micelles and alter lipid oxidation rates in emulsions. *Journal of agricultural and food chemistry*, *50*(19), 5445-5449.

Nuchi, C. D., McClements, D. J., and Decker, E. A. 2001. Impact of Tween 20 hydroperoxides and iron on the oxidation of methyl linoleate and salmon oil dispersions. *Journal of agricultural and food chemistry*, *49*(10), 4912-4916.

Rao, J., and McClements, D. J. 2012. Food-grade microemulsions and nanoemulsions: Role of oil phase composition on formation and stability. *Food hydrocolloids*, *29*(2), 326-334.

Ribeiro, R. C. D. A., Barreto, S. M. A. G., Ostrosky, E. A., Rocha-Filho, P. A. D., Veríssimo, L. M., and Ferrari, M. (2015). Production and characterization of cosmetic nanoemulsions containing Opuntia ficus-indica (L.) mill extract as moisturizing agent. *Molecules*, *20*(2), 2492-2509.

Saarela, M., Lähteenmäki, L., Crittenden, R., Salminen, S., and Mattila-Sandholm, T. 2002. Gut bacteria and health foods—the European perspective. *International journal of food microbiology*, *78*(1-2), 99-117.

Saberi, A. H., Fang, Y., and McClements, D. J. 2013. Effect of glycerol on formation, stability, and properties of vitamin-E enriched nanoemulsions produced using spontaneous emulsification. *Journal of colloid and interface science*, *411*, 105-113.

Saberi, A. H., Fang, Y., and McClements, D. J. 2013. Fabrication of vitamin E-enriched nanoemulsions: factors affecting particle size using spontaneous emulsification. *Journal of colloid and interface science*, *391*, 95-102.

Saberi, A. H., Fang, Y., and McClements, D. J. 2014. Stabilization of vitamin E-enriched mini-emulsions: Influence of organic and aqueous phase compositions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *449*, 65-73.

Silva, H. D., Cerqueira, M. A., and Vicente, A. A. 2015. Influence of surfactant and processing conditions in the stability of oil-in-water nanoemulsions. *Journal of Food Engineering*, *167*, 89-98.

Tan, T. B., Yussof, N. S., Abas, F., Mirhosseini, H., Nehdi, I. A., and Tan, C. P. 2016. Forming a lutein nanodispersion via solvent displacement method: the effects of processing parameters and emulsifiers with different stabilizing mechanisms. *Food chemistry*, *194*, 416-423.

Topuz, O. K., Özvural, E. B., Zhao, Q., Huang, Q., Chikindas, M., and Gölükçü, M. 2016. Physical and antimicrobial properties of anise oil loaded nanoemulsions on the survival of foodborne pathogens. *Food chemistry*, *203*, 117-123.

Valero, M., and Frances, E. 2006. Synergistic bactericidal effect of carvacrol, cinnamaldehyde or thymol and refrigeration to inhibit Bacillus cereus in carrot broth. *Food Microbiology*, *23*(1), 68-73.

Venkadesaperumal, G., Rucha, S., Sundar, K., and Shetty, P. H. 2016. Anti-quorum sensing activity of spice oil nanoemulsions against food borne pathogens. *LWT-Food Science and Technology*, *66*, 225-231.

Walker, R., Decker, E. A., and McClements, D. J. 2015. Development of food-grade nanoemulsions and emulsions for delivery of omega-3 fatty acids: opportunities and obstacles in the food industry. *Food and Function*, *6*(1), 41-54.

Xia, S., and Xu, S. 2005. Ferrous sulfate liposomes: preparation, stability and application in fluid milk. *Food research international*, *38*(3), 289-296.

Zhang, Y., Tan, C., Abbas, S., Eric, K., Zhang, X., Xia, S., and Jia, C. 2014. The effect of soy protein structural modification on emulsion properties and oxidative stability of fish oil microcapsules. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *120*, 63-70.

Zhong, J., Yang, R., Cao, X., Liu, X., and Qin, X. 2018. Improved Physicochemical Properties of Yogurt Fortified with Fish Oil/γ-Oryzanol by Nanoemulsion Technology. *Molecules*, *23*(1), 56.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 143- 172

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۷۲-۱۴۳

Optimization of *Iranian mentha longifolia* of nanoemulsion containing omega-3 fatty acids by Spontaneous emulsification

N. Faraji[1], M. Alizadeh[2*], H. Almasi[3], S. Pirsa[3], S. Faraji[4]

Received: 2019.12.19
Accepted: 2020.04.18

Introduction: Fish oil is an omega3 source, because it consists of a long chain polyunsaturated fatty acids (PUFAs), namely Eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5 n-3) and Docosahexaenoic acid (DHA, 22:6 n-3) that are essential to all humans and provide multiple health benefits associated with brain development, cardiovascular disease, circulatory disorders, immune dysfunction and inflammatory disorders. The human body cannot make omega3 fatty acids on its own, so they must obtained from daily diet or supplements. Low uptake of this nutrient can cause serious problems. Lipid oxidation of fish oil and other PUFA-rich foods is a serious problem that leads to loss of shelf-life, consumer acceptability, nutritional value and functionality. On the other hands, omega3 cannot be incorporated into many functional foods, due to their poor water-solubility, chemical instability and low bioavailability, so some ways should be used to protect PUFAs such as microencapsulation and Nanoemulsion. The performance of low-energy methods has become very popular due to the lack of expensive equipments and ease of production. In this research, nanoemulsion of omega-3 fatty acids was prepared by spontaneous emulsification method using Iranian mentha longifolia essential oils.

Material and methods: Fish oil was purchased from zahravi company comprised of 101 mg of EPA/g of oil, 148 mg of DHA/g oil, and 312 mg of total omega-3 PUFA/g of oil. Nonionic surfactants Tween 80 and Tween20 (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA) and Sodium caseinate (MP Biomedical LLC. (Solon, OH) were purchased from chemical suppliers. Distilled and deionized water obtained from a water purification system (Milli-Q, Millipore, Darmstadt, Germany) was used to prepare all emulsions. All other chemicals used in this study were either Sigma-Aldrich (St. Louis, MO) or Fisher Scientific (Pittsburgh, PA). Iranian Shallot oil (penny royal oil) was purchased from magnolia company (Iran). The supplier reported the chemical composition as determined by gas chromatography-mass spectroscopy instrument (GCMS-QP2010 SE, GAS, Shimadzu, Japan). Factor A contains the omega 3 percent (25 to 75 percent), factor B contains surfactant-to-oil ratio (SOR %), (10-300 percent), Factor c contains surfactant type (Tween20, Tween80, T80:T20 and caseinate sodium) and factor d contains storage time (1-60 days) to achieve optimal production formula were selected. Physicochemical characteristics of Nanoemulsion including pH, peroxide value, turbidity, creaming index, D_{43}, span, antioxidant, brix, refractive index and TBA were studied and Optimization of formula was performed by Response Surface Method (D-optimal design) The results were analyzed using design expert software (ver11).

Results and discussion: Preparation of Nanoemulsion based on Iranian mentha longifolia oil loaded with omega 3 fatty acids by a low energy emulsification technique to protect it was evaluated in this study. The initial size of the droplets depended on surfactant type, surfactant concentration, storage time and omega3 concentration. Emulsions made of the highest surfactant concentration produced the smallest droplet sizes and were physically stable. It was found that the most important parameter effecting final emulsion responses was surfactant concentration. Our results showed that oxidative stability could be improved by the increasing surfactant concentration, also Iranian mentha longifolia antioxidant compounds were effective in reducing peroxide index and delaying oxidation. In all surfactants, by increase omega3 content, antioxidant activity was decreased. Results showed that all four examined variables affected the provided emulsion characteristics and the following conditions were obtained as optimum; storage time of 40 days, SOR %: 100, T80:T20 and omega 3 (29.31%). These nanoemulsions and essential oils can be applied to prevent undesirable off flavor fish oil and can be applied to fortify food or beverage systems with omega3 fatty acids.

Key words: Nanoemulsion –Unsaturated fatty acids- Omega 3 –Spontaneous emulsification – *Iranian Mentha longifolia* Essential Oil

1. PhD. graduated in Food science and technology, R&D manager at Azin Company.
2, 3. Professor and Associate professor, Food science and technology department, Urmia University.
4. MSc in Food science and technology, QC manager at Azin Company.
(*Corresponding Author Email: m.alizadeh@urmia.ac.ir)

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 173- 186

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۸۶-۱۷۳

مقاله علمی- پژوهشی

تعیین مقدار کافئین در انواع قهوه و بررسی تاثیر روش کچرز بر میزان استخراج آن در مقایسه با روش متداول

مرضیه معین‌فرد[۱*]- پانیذ خالوکرمانی[۲]- شیما جلدانی[۳]- علی شریف[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷

چکیده

قهوه از یکی از مهم‌ترین و پرطرف‌دارترین نوشیدنی‌ها در دنیا به‌شمار می‌رود به‌طوری که از لحاظ تنوع روش‌های تهیه بر سایر نوشیدنی‌های مشابه مانند چای برتری دارد. در میان ترکیبات مختلف موجود در دانه قهوه، کافئین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کافئین یک آلکالوئید طبیعی است که می‌تواند بسته به میزان مصرف، خواص مثبت (بهبود حافظه، افزایش هوشیاری و تمرکز) یا منفی (سردرد، اضطراب و بی قراری) بر سلامت مصرف‌کننده داشته باشد. از طرف دیگر، مقدار زیاد کافئین موجود در دانه قهوه به‌عنوان یک عامل مزاحم در آنالیز آلاینده‌ها عمل می‌کند و باید تا حد ممکن از عصاره حذف شود. از این‌رو پژوهش حاضر دو هدف کلی را دنبال کرد. در مرحله اول ۱۸ نوع قهوه، اعم از انواع کلاسیک (جوشیده، فرانسوی، موکا و فیلتر شده) و تجاری (انواع اسپرسو، قهوه فوری و قهوه سرد) از لحاظ میزان کافئین مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله دوم، تاثیر دو روش (روش کچرز و متداول) بر میزان استخراج کافئین از پودر قهوه ربوستا، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این پژوهش مؤید تاثیر قابل ملاحظه واریته بر میزان کافئین بود به نحویکه قهوه‌های تهیه شده از دانه ربوستا کافئین بیشتری را نسبت به دانه‌های عربیکا دارا بودند. در میان انواع قهوه کلاسیک، بیشترین میزان کافئین (۲۶±۱۰۴۴ میلی‌گرم بر لیتر) از قهوه موکا استخراج شد. در میان انواع تجاری، میزان قهوه به آب متفاوت بود لذا میزان کافئین بر حسب مقدار دریافت از هر فنجان مورد ارزیابی قرار گرفت. در این میان، انواع اسپرسو، خصوصا نوع پاد محتوی بیشترین میزان کافئین (۱۶±۱۳۷۱ میلی‌گرم بر لیتر معادل ۰/۶±۵۴ در هر فنجان ۴۰ میلی‌لیتری) بودند. در مقابل کمترین میران کافئین از قهوه سرد به‌دست آمد. بررسی روش استخراج قهوه نیز نشان داد که روش کچرز قادر است کافئین را به شکل قابل ملاحظه‌ای (حدود ۲۰٪ کاهش در مقایسه با روش متداول) از عصاره قهوه حذف کند که احتمالا بر کاهش اثر مداخله کننده این ترکیب در آنالیز آلاینده‌ها که معمولا در مقادیر بسیار کم در نمونه‌ها وجود دارند، تاثیر مثبت خواهد داشت. به‌طورکلی، استفاده از حلال استونیتریل و استفاده‌همزمان از جاذب‌های PSA و C18، کاهش معنادار استخراج کافئین را به دنبال داشت.

واژه‌های کلیدی: کافئین، قهوه، عربیکا، ربوستا، کچرز

مقدمه

کافئین (۱،۳،۷-تری‌متیل‌گزانتین) با فرمول شیمیایی $C_8H_{10}N_4O_2$، یک آلکالوئید طبیعی و یک محرک سیستم عصبی مرکزی با وزن مولکولی ۱۹۴گرم بر مول است که در دانه‌های قهوه و کاکائو و برگ‌های چای به مقدار زیاد یافت می‌شود. مصرف روزانه مواد غذایی و نوشیدنی‌های حاوی کافئین (مانند انواع شکلات، قهوه، چای، و نوشیدنی‌های بدون الکل) و همچنین استفاده گسترده از آن در تهیه انواع داروها (مانند داروهای سرماخوردگی و مسکن‌ها)، باعث شده است تا این ترکیب به عنوان متداول‌ترین داروی مصرفی در سراسر جهان شناخته شود (Li *et al*., 2020; Nawrot *et al*., 2003). متوسط مصرف کافئین، ۷۰ میلی‌گرم به ازای هر نفر در هر روز است که بیانگر مصرف بالای آن در جوامع مختلف است (Buerge *et al*., 2003). کافئین به سرعت از طریق دستگاه گوارش جذب شده و وارد جریان خون می‌شود به‌نحوی که بعد از گذشت ۱ الی ۱/۵ ساعت، غلظت آن در خون به حداکثر رسیده و به سرعت در کل بدن توزیع می‌شود (Nawrot *et al*., 2003). تاثیرات مفید کافئین بر خلق و خوی، افزایش هوشیاری و کاهش خستگی به اثبات رسیده، بویژه در شرایط سطح هوشیاری پائین، این تاثیرات بسیار مفید هستند به نحوی که مصرف کافئین برای رفع اختلالات عملکردی ناشی از خستگی، کار شبانه و بیماری‌های خفیف مانند سرماخوردگی تجویز می‌شود (Brice and Smith 2001).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استادیار، دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشجوی دکترا، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
(*-نویسنده مسئول: Email: moeenfard@ferdowsi.um.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.86410

کافئین شناخته شده‌ترین ترکیب دانه قهوه است و مقدار آن شاخصی از کیفیت نوشیدنی قهوه محسوب می‌شود. مقدار آن در انواع قهوه بسته به نوع واریته و محل کشت متفاوت است. در قهوه عربیکا[1]، مقدار کافئین بین ۰/۸ الی ۱/۴٪ وزنی/ وزنی متغیر است. در مقابل، میزان آن در قهوه ربوستا[2] به مراتب بیشتر بوده و در محدوده۴/۰ – ۱/۷٪ وزنی/ وزنی قرار دارد (Mussatto *et al*., 2011). یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد قهوه در مقایسه با سایر نوشیدنی‌ها مانند چای، روش‌های متنوع تهیه آن است که به شدت تحت تاثیر سلیقه مصرف‌کنندگان یا فرهنگ کشورها قرار دارد (Gloess *et al*., 2013). علاوه بر واریته، طرز تهیه نوشیدنی نیز بر میزان کافئین تاثیر قابل توجهی دارد. درتحقیق Bell و همکاران (۱۹۹۶) میزان کافئین انواع نوشیدنی از ۵۰ تا mg/cup ۱۴۳ متغیر بود (Bell, Wetzel and Grand 1996). Sereshti و همکاران (۲۰۱۴) انواع نوشیدنی مانند چای، قهوه، کولا، ردبول و غیره را از نظر میزان کافئین مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد بعد از هایپ، کافئین قهوه (۲۶۷ µg/mL) در رتبه دوم قرار داشت (Sereshti and Samadi, 2014). اگرچه سایر محقیقن نیز مقدار کافئین را در انواع نوشیدنی قهوه مورد مطالعه قرار داده‌اند (Candeias *et al*., 2009; Jeon *et al*., 2017; Jeon *et al*., 2019)، ولی تحقیقی که مقدار کافئین را به‌صورت اختصاصی و جامع در طیف وسیعی از نوشیدنی‌ها اعم از انواع کلاسیک (جوشیده[3]، فرانسوی[4]، موکا[5] و فیلتر شده[6] تهیه شده از قهوه عربیکا و ربوستا) و تجاری (انواع اسپرسو، کپسول[7]، قهوه سرد[8]، قهوه فوری[9]) مورد مطالعه قرار دهد، انجام نشده است. به‌عنوان مثال Candeias و همکاران (۲۰۰۹)، فقط انواع قهوه اسپرسو را مطالعه کردند (Candeias *et al*., 2009). به‌طور مشابه، Gloess و همکاران (۲۰۱۳) کافئین انواع اسپرسو و فلیتر شده را اندازه‌گیری نمودند. لازم به ذکر است که در حال حاضر بسیاری از مردم قهوه را در خانه و با روش‌های مختلف تهیه می‌کنند. بنابراین، تلاش ما بر این بود تا این نوشیدنی‌ها را با انواع قهوه‌ای که در بازار تهیه می‌شود مقایسه کنیم.

کافئین را می‌توان از منظر دیگری نیز مورد بررسی قرار داد. به‌عنوان مثال، با توجه به مقدار بالای مصرف کافئین (از طریق غذا یا دارو)، این ترکیب را می‌توان به‌عنوان یک آلاینده نوظهور نیز در نظر گرفت که به‌عنوان شاخصی از آلودگی انسانی تلقی می‌شود. این ترکیب در فاضلاب، پساب کارخانجات، ضایعات بیمارستانی و سیستم‌های مختلف آبی مانند آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی و به‌طور ویژه آب‌های قاره‌ای شناسایی شده است (Dafouz *et al*., 2018; Hillebrand *et al*., 2012). علاوه بر دفع مواد غذایی حاوی کافئین مانند باقی‌مانده نوشیدنی‌ها یا ضایعاتی مانند ضایعات صنعت قهوه (Li *et al*., 2020)، سایر منابع مانند ضایعات دارویی از قبیل دفع داروی تاریخ مصرف گذشته یا دفع کافئین از بدن بیماران نقش بسیار مهمی در این میان ایفا می‌کنند (Buerge *et al*., 2003). حضور کافئین در اندازه‌گیری آلاینده‌های سرطان‌زا مانند هیدروکربن‌های پلی‌سیکلیک آروماتیک[10] (PAH) بویژه در گیاهانی مانند چای و قهوه (که حاوی مقادیر بالای کافئین هستند)، مداخله کرده و اندازه‌گیری این ترکیبات را با مشکل مواجه می‌کند (Reichert *et al*., 2018; Sadowska-Rociek *et al*., 2014). لذا تاکنون روش‌های مختلفی جهت حذف کافئین از نمونه‌های مختلف به کار برده شده است (Danish 2020; Stamatis and Konstantinou 2013) تا بتوان مقدار سموم و آفت‌کش‌های سرطان‌زا را با دقت و صحت مطلوب‌تری مورد آزمون قرار داد. یکی از این روش‌های استخراج، روش کِچِرز[11] است.

روش کچرز (نام اختصاری برای روش سریع، آسان، ارزان، موثر، ناهمگون و ایمن)، تکنیکی ساده و سریع جهت آماده سازی نمونه است که برای اولین بار در سال ۲۰۰۳ توسط یک محقق آلمانی به نام Anastassiades، برای استخراج سموم دفع آفات از میوه‌ها و سبزیجات معرفی گردید (Anastassiades *et al*., 2003). علاوه بر آنالیز آفت‌کش‌ها، این روش برای شناسایی و آنالیز آلاینده‌های مختلف از جمله داروها، هورمون‌ها، سموم قارچی، هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای و چندین نوع آلاینده آلی پایدار در ماتریس‌های غذایی و محیطی مورد استفاده قرار گرفته است (Kim *et al*., 2019). اساس کار بر استخراج ترکیبات هدف با کمک حلال‌های آلی در حضور نمک‌هایی مانند کلریدسدیم و سولفات‌منیزیم استوار است. در مرحله بعد، پاکسازی عصاره توسط انواع جاذب‌ها انجام می‌شود. این روش برای حذف ترکیبات فنولی، اسیدهای آلی و ترکیبات رنگی، جهت آنالیز بهتر هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای از چای، با موفقیت به کار برده شده است (Sadowska-Rociek, Surma and Cieślik 2014).

لذا در بخش اول این پژوهش،میزان کافئین در انواع نوشیدنی قهوه اعم از انواع کلاسیک یا تجاری مورد بررسی قرار خواهد گرفت تا دریافت کافئین در هر فنجان قهوه مصرفی مشخص شود. در مرحله دوم این پژوهش ادعا می‌شود که روش کچرز به دلیل ماهیت خاص ترکیبات مورد استفاده در آن، قابلیت حذف کافئین از عصاره قهوه را

1 Arabica Coffee
2 Robusta Coffee
3 Boiled coffee
4 French press coffee
5 Mocha coffee
6 Filtered coffee
7 Espresso type capsule
8 Iced coffee
9 Instant coffee
10 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)
11 Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe (QuEChERS)

دارد.استخراج کافئین به روش متداول و روش کچرز مورد مقایسه قرار گرفت تا تاثیر روش کچرز جهت حذف کافئین در تحقیقات مشابه مورد استفاده قرار گیرد. به این منظور از عصاره قهوه ربوستا، به‌عنوان سیستم مدل استفاده شد و فرآیند استخراج از جهت نوع جاذب و نوع حلال مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پودر قهوه ربوستا خالص از فروشگاه معتبر خریداری شد. کافئین، کلرید سدیم، سولفات منیزیم، استات‌روی، پتاسیم‌هگزاسیانوفرات و جاذب‌های PSA[1] و اکتادسیل‌سیلان (C18)[2] از شرکت سیگما خریداری شدند. حلال‌های استونیتریل، اتیل استات، اسید استیک گلاسیال و متانول با درجه کروماتوگرافی نیز از شرکت VWR فراهم شدند.

انواع قهوه کلاسیک

قهوه عربیکا (۱۰۰ درصد *caffea arabic*a با محتوای آب ۲/۳۴ درصد وزنی/ وزنی) و قهوه ربوستا (۱۰۰ درصد *caffea robusta* با محتوای آب ۳/۱۱ درصد وزنی/ وزنی) جهت تهیه انواع نوشیدنی جوشیده، فرانسوی، موکا و فیلتر شده مورد استفاده قرار گرفتند. توزیع اندازه ذرات برای قهوه عربیکا (≤ ۵۰۰ میکرومتر ۶۵٪؛ ۵۰۰–۳۰۰ میکرومتر ۲۶٪؛ ۳۰۰–۲۰۰ میکرومتر ۴٪) و ربوستا (≤ ۵۰۰ میکرومتر ۶۳٪؛ ۵۰۰–۳۰۰ میکرومتر ۱۸٪؛ ۳۰۰–۲۰۰ میکرومتر ۱۰٪) تقریبا مشابه بود. در تهیه این نوشیدنی‌ها نسبت ۷/۵ گرم قهوه به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب رعایت شد.

قهوه جوشیده

۱۱/۲۵ گرم قهوه با ۱۵۰ میلی‌لیتر آب جوش مخلوط شده و به مدت ۱۰ دقیقه در حالت جوشش قرار گرفت. و بعد از ۲ دقیقه نگهداری در حالت سکون، فاز رویی جدا گردید.

قهوه فرانسوی

۱۱/۲۵ گرم پودر قهوه در قهوه‌ساز فرانسوی ریخته شده و ۱۵۰ میلی‌لیتر آب جوش به آن اضافه شد. بعد از ۲/۵ دقیقه نگهداری در حالت سکون، دو فاز با فشار دادن فیلتر فلزی قهوه‌ساز از هم جدا شدند.

قهوه موکا

۱۱/۲۵ گرم قهوه داخل فیلتر فلزی مخصوص ریخته شد. کتری موکا با ۶۰ میلی‌لیتر آب پر شده و ظرف روی حرارت قرار گرفت تا زمانی که تمام آب جوش آمده از فیلتر حاوی قهوه عبور کرد و در ظرف رویی جمع شد.

قهوه فیلتر شده

۲۲/۵ گرم قهوه روی فیلتر کاغذی مخصوص (شماره ۲) قرار گرفت و نوشیدنی قهوه با عبور ۳۰۰ میلی‌لیتر آب جوش طی مدت ۲ الی ۳ دقیقه تهیه شد.

انواع قهوه تجاری

با توجه به تهیه این نمونه‌ها از بازار، نوع و گونه قهوه مورد استفاده برای تهیه انواع نوشیدنی متفاوت بود.

قهوه اسپرسو نرمال

در فنجان‌های ۴۰ میلی‌لیتری از کافی شاپ تهیه شد.

قهوه اسپرسو (کپسول)

انواع کپسول قهوه با برندهای مختلف از بازار تهیه شدند و استخراج با دستگاه قهوه‌ساز (KRUPS، XN2100، آلمان) تحت دمای ۹۵–۹۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۹ بار جهت تهیه ۴۰ میلی‌لیتر نوشیدنی، انجام شد. همه کپسول‌ها دارای پوشش فلزی در سطح بودند. مقدار قهوه در کپسول‌های نوع ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به‌ترتیب در حدود ۶/۰۰، ۵/۰۱، ۵/۰۱، ۶/۱۳، ۵/۱۹، ۵/۷۱ گرم تعیین شد. از لحاظ واریته، نوع ۱، ۲، ۳ و ۵ مخلوط عربیکا و ربوستا بودند در حالیکه قهوه موجود در کپسول‌های ۴ و ۶ فقط از نوع عربیکا بود.

اسپرسو (نوع پاد[3])

قهوه پاد با محتوای ۷/۰۸ گرم قهوه (مخلوط عربیکا و ربوستا) داخل فیلتر مخصوص از بازار خریداری شد و استخراج با قهوه‌ساز مخصوص انجام گرفت.

قهوه فوری

این قهوه (مخلوط انواع عربیکا) از بازار خریداری شده و مقدار ۲ گرم آن در ۱۵۰ میلی‌لیتر آب جوش حل شد.

قهوه سرد

بر اساس دستورالعمل شرکت تولیدکننده، ۸ گرم از پودر قهوه (حاوی قهوه فوری، شکر، اسید سیتریک و مواد دیگر)، در ۲۴۰ میلی‌لیتر آب سرد حل شده و به خوبی مخلوط شد.

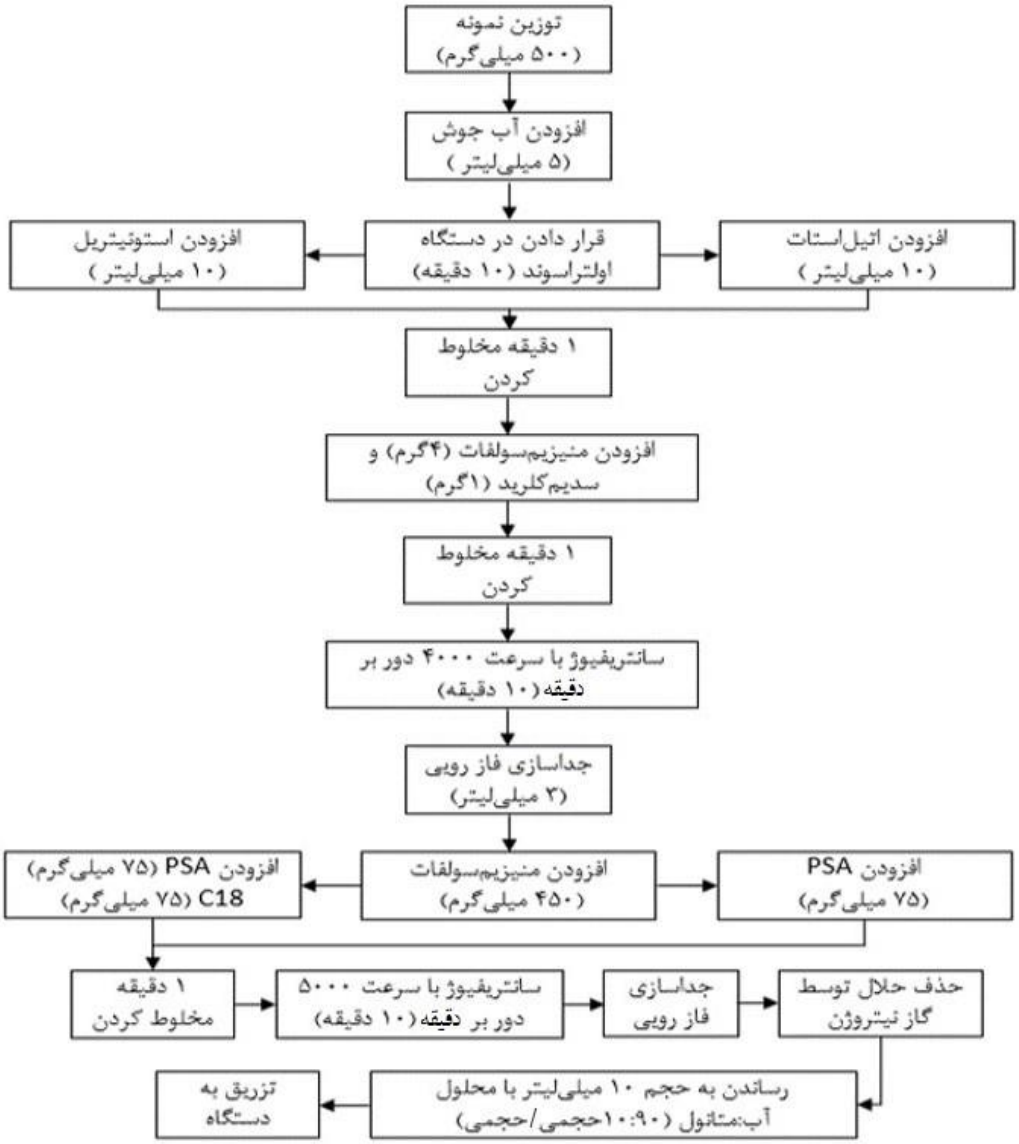
1 Primary and Secondary Amines (PSA)
2 Octadecyl silane (C18)
3 Espresso type coffee pod

استخراج کافئین به روش متداول

مقدار کافئین توسط روشی بر پایه استفاده از محلول‌های کاریز[1] I و II اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۰/۱ میلی‌لیتر محلول کاریز I (۱۰/۶ گرم پتاسیم هگزاسیانوفرات سه آبه با آب مقطر به حجم۱۰۰ میلی‌لیتر رسید) و ۰/۱ میلی‌لیتر محلول کاریز II(۲۱/۹ گرم استات روی با ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال ترکیب شد و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید) به ۲/۵ میلی‌لیتر نوشیدنی قهوه اضافه و با محلول آب: متانول (۹۰:۱۰، حجمی/ حجمی)، به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از ۱۰ دقیقه سکون، فاز رویی به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه، سانتریفوژ شده و مورد آنالیز قرار گرفت (Jeon *et al.*, 2019). به‌منظور بررسی دو روش استخراج یعنی کچرز و روش متداول (بر پایه محلول کاریز) عصاره‌ای از قهوه ربوستا به‌عنوان سیستم مدل تهیه شد. بدین منظور، ۵۰۰ میلی‌گرم پودر قهوه با ۵ میلی‌لیتر آب جوش مخلوط شد و به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه اولتراسوند قرار گرفت. میزان کافئین در ۲/۵ میلی‌لیتر از این عصاره همانند آنچه در بالا گفته شد، استخراج گردید.

استخراج به روش کچرز

شکل ۱، مراحل کامل استخراج کافئین به روش کچرز و با ذکر جزئیات نشان داده شده است.



شکل ۱- استخراج کافئین از عصاره قهوه ربوستا به روش کچرز

1 Carrez solutions I & II

جدول ۱- انواع و مقادیر حلال‌ها و جاذب‌های مورد استفاده جهت حذف کافئین به روش کچرز

متغییرها	نام ترکیب	مقدار	ترکیب جاذب و حلال مورد استفاده			
			A	B	C	D
حلال	استونیتریل	۱۰ mL	+	+	−	−
	اتیل‌استات	۱۰ mL	−	−	+	+
جاذب	PSA	۷۵ mg	+	+	+	+
	C18	۷۵ mg	−	+	−	+

به‌طور خلاصه، همانند آنچه در شکل ۱ نشان داده شد است، عصاره قهوه ربوستا از مخلوط ۵۰۰ میلی‌گرم پودر قهوه و ۵ میلی‌لیتر آب جوش تهیه شد. ۱۰ میلی‌لیتر از حلال مورد نظر (استونیتریل یا اتیل استات) به نمونه اضافه شد. در این مرحله، کلریدسدیم به همراه سولفات‌منیزیم، به عصاره اضافه شده و پس از مخلوط شدن سانتریفوژ گردید. سپس فاز رویی عصاره با ۷۵ میلی‌گرم جاذب (PSA یا ترکیب PSA و C18) و سولفات‌منیزیم، مخلوط و مجددا سانترفیوژ شد. پس از جدا کردن فاز رویی و حذف حلال، بخش باقی مانده با محلول آب: متانول (۹۰:۱۰، حجمی/ حجمی) به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شده و آنالیز شد (Surma *et al*., 2017). در جدول ۱، متغیرها و مقادیر مورد استفاده جهت تهیه نمونه‌ها به ترتیب با جزئیات ذکر شده است.

شناسایی و اندازه‌گیری کافئین با کمک کروماتوگرافی مایع باکارایی بالا (HPLC)[1]

شرایط آنالیز کروماتوگرافی کافئین، به طریق فاز معکوس و با کمی تغییرات از روش Candeias و همکاران (۲۰۰۹) اقتباس شد. آنالیز با HPLC (Hitachi Elite LaChromatograph، Merck، ژاپن) با کمک ستون‌های LiChroCART® RP-18 به طول ۲۵ سانتی‌متر صورت گرفت. مقدار ۲۰ میکرولیتر از محلول استاندارد و یا عصاره بعد از فیلتر کردن با فیلترهای سرنگی از نوع PTFE [2] (۰/۴۵ میکرومتر)، به ستون کروماتوگرافی تزریق شد. شرایط آنالیز از قرار زیر بود: فاز متحرک شامل متانول/ محلول آبی اسید استیک با pH معادل ۲/۸ (۳۵/۶۵ حجمی/ حجمی)، سرعت جریان ۱ mL/min و شناسایی بوسیله آشکارساز با آرایه دیود (DAD)[3] در طول موج ۲۷۳ نانومتر. جهت تعیین غلظت کافئین، محلول مادر با غلظت ۳۰۰ µg/mL با آب:متانول (۹۰:۱۰، حجمی/ حجمی) تهیه شده و سپس محلول‌های استاندارد کافئین با غلظت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ µg/mL با رقیق‌سازی محلول مادر آماده شدند. منحنی کالیبراسیون با رسم غلظت‌های استاندارد در مقابل سطح زیر نمودار به‌دست آمد.

روش آنالیتیکی مورد نظر با در نظر گرفتن پارامترهای ضریب تعیین (R^2) ، صحت (درصد بازیابی)[4]، حداقل مقدار تشخیص (LOD)[5] و حداقل مقدار قابل اندازه‌گیری (LOQ)[6] اعتبارسنجی شد. تعیین درصد بازیابی به‌منظور اطمینان از صحت روش متداول (روش استفاده از محلول‌های کاریز) در استخراج کافئین، مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، محلول استاندارد با غلظت ۰/۵ mg/mL تهیه شده و استخراج کافئین از این نمونه با کمک محلول‌های کاریز انجام گرفت. درصد بازیابی از تقسیم مقدار کافئین به‌دست آمده بعد از استخراج بر مقدار اولیه کافئین در نمونه استاندارد به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آنالیز داده‌های قهوه‌های کلاسیک و تجاری با دو روش آماری متفاوت انجام گرفت. جهت مقایسه میانگین غلظت کافئین درقهوه‌های کلاسیک از تحلیل واریانس دو عامله (با در نظر گرفتن روش تهیه و نوع پودر قهوه استفاده شده و بدون در نظر گرفتن سایر عوامل تاثیرگذار) در سطح معنی‌داری ۹۵٪ استفاده شد. در حالیکه برای مقایسه میانگین غلظت کافئین در قهوه‌های تجاری از روش تحلیل وارانس یک عامله (با توجه به روش‌های تهیه متفاوت و بدون نظر گرفتن نسبت قهوه به آب و نوع قهوه مصرفی) در سطح معنی‌داری ۹۵٪ استفاده شد. برای مقایسه میانگین مقدار کافئین در دو روش استخراج متداول و کچرز، با توجه به اینکه تنها دو عامل موضوع مقایسه هستند، از آزمون فرض آماری با فرضیه‌های $H_0: \mu_1>\mu_2$ و $H_1: \mu_2\leq\mu_1$ بهره گرفته شد. داده‌ها به‌صورت متوسط± انحراف معیار بیان شدند. تجزیه و تحلیل آماری توسط نرم‌افزار Minitab 16 انجام گرفت و نمودارها با استفاده از Excel رسم شدند.

1 High Performance Liquid Chromatography (HPLC)
2 Polytetrafluoroethylene (PTFE)
3 Diod Array Detector (DAD)
4 Percentage of Recovery
5 Limit of Detection (LOD)
6 Limit of Quantification (LOQ)

نتایج و بحث

اعتبارسنجی روش آنالیز

روش کروماتوگرافی مورد نظر جهت آنالیز کافئین در ابتدا مورد ارزیابی قرار گرفت تا صحت و دقت آن مورد تایید قرار گیرد. روش مورد استفاده امکان آنالیز کافئین را در زمانی کمتر از ۵ دقیقه فراهم آورد. پاسخ آشکارساز به کافئین در محدوده غلظتی ۲۵–۲۰۰ µg/mL خطی بوده و ضریب تعیین ۰/۹۹۹گزارش شد. میزان LOD و LOQ به‌ترتیب با استفاده از نسبت سیگنال به نویز ۳ و ۱۰ محاسبه شدند و به‌ترتیب مقادیر ۴/۹ µg/mL و ۱۲/۹ µg/mL به‌دست آمدند. روش استخراج متداول منجر به حصول مقادیر قابل قبولی برای درصد بازیابی شد (۱۰۱/۵ درصد) که بیانگر کارایی این روش جهت استخراج و آنالیز کافئین می‌باشد.

اعتبارسنجی روش، فرایندی است برای تایید اینکه آیا روش آنالیز استفاده شده برای یک آزمایش خاص، تحت شرایط آزمایش مناسب است یا خیر. نتایج حاصل از اعتبارسنجی روش می‌تواند برای قضاوت در مورد کیفیت، پایایی و ثبات نتایج آنالیز مورد استفاده قرار گیرد و بخشی جدایی ناپذیر از روش‌های آنالیز دستگاهی به‌شمار می‌رود. اعتبارسنجی روش مورد استفاده در این پژوهش کاربرد قابل قبول آن را در اندازه‌گیری کافئین نشان داد. Candeias و همکاران (۲۰۰۹) مقدار LOD معادل ۲۰ ng/mL را برای آنالیز کافئین با HPLC گزارش کردند. Jeon و همکاران (۲۰۱۹) مقدار درصد بازیابی کافئین را که طبق روش رایج استخراج شده بودند، ۱۰۷–۹۸٪ گزارش کردند که نتایج حاصل از این پژوهش را تایید می‌کند (Jeon *et al*., 2019). به‌طور مشابه، درصد بازیابی ۹۷٪ (Fujioka and Shibamoto 2008)، و ۹۹٪ (Casal *et al*., 2000) نیز در مطالعات دیگر گزارش شده است. در مطالعه انجام شده توسط Rivelli و همکاران (۲۰۰۷)، مقادیر ۰/۰۳۷ µg/mL و ۰/۱۲۲ به‌ترتیب برای LOD و LOQ گزارش شدند. همچنین درصد بازیابی ۹۹/۹٪ حاصل شد (Rivelli *et al*., 2007). به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش از نظر درصد بازیابی و نیز حداقل مقدار قابل تشخیص یا اندازه‌گیری، با نتایج سایر محققان همخوانی داشته و مقادیر حاصل در محدوده قابل قبول و استفاده شده در سایر مطالعات قرار دارد بنابراین داده‌های حاصل پایایی و ثبات لازم برای قضاوت در مورد نتایج حاصل را خواهد داشت.

میزان کافئین در انواع قهوه

قهوه‌های کلاسیک

همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، مقدار کافئین در نوشیدنی‌های تولید شده از قهوه ربوستا، به مراتب بیشتر از عربیکا است. به‌عنوان مثال میانگین میزان کافئین قهوه موکا تهیه شده از دانه‌های ربوستا از ۲۶ ±۱۰۴۴ به حدود ۲۱ ±۴۹۸ میلی‌گرم بر لیتر در قهوه موکا از نوع عربیکا کاهش یافته است ($p<۰/۰۵$). به تفاوت در میانگین میزان کافئین میان قهوه عربیکا و ربوستا در سایر منابع اشاره شده است (Casal *et al*., 2000; Tfouni *et al*., 2014; Tfouni *et al*., 2012)، لذا نتایج این بخش با تحقیقات انجام شده همخوانی دارد.

جدول ۲- غلظت کافئین (mg/L) در انواع قهوه تهیه شده از دانه‌های عربیکا و ربوستا

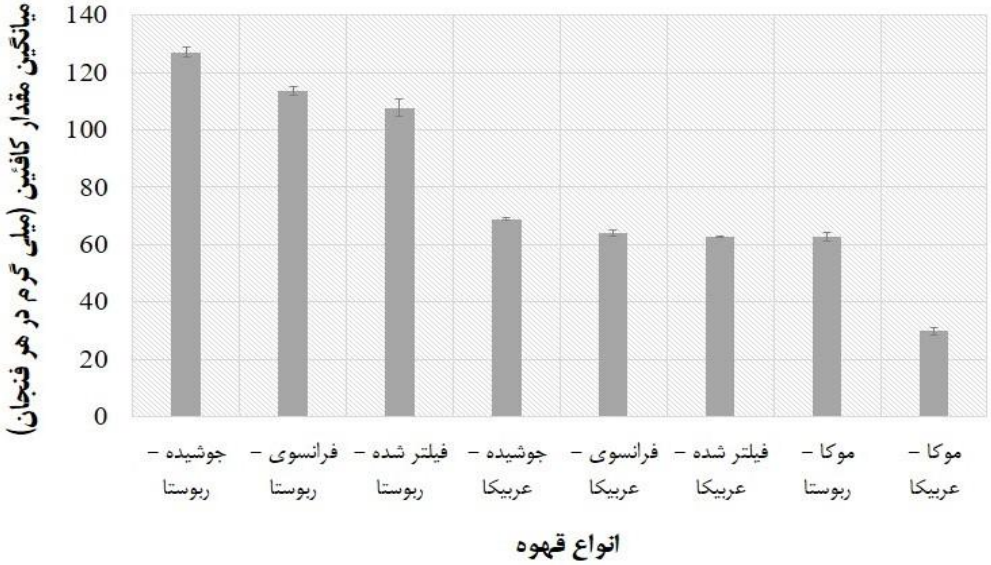
میانگین غلظت کافئین (mg/L)	نسبت قهوه به آب	قهوه‌های کلاسیک*
۸۴۷/۰± ۱۰/۸۵ aB	۷/۵ g /۱۰۰ mL	**قهوه جوشیده- ربوستا**
۷۵۵/۸۴± ۱۰/۰۷ aC	۷/۵ g /۱۰۰ mL	**قهوه فرانسوی- ربوستا**
۱۰۴۴/۵۵± ۲۶/۹۵ aA	۷/۵ g /۱۰۰ mL	**قهوه موکا- ربوستا**
۷۱۷/۷۶± ۲۰/۵۵ aD	۷/۵ g /۱۰۰ mL	**قهوه فیلتر شده- ربوستا**
۴۵۹/۲۷± ۳/۰۳ bB	۷/۵ g /۱۰۰ mL	**قهوه جوشیده- عربیکا**
۴۲۵/۷۷± ۷/۰۸ bC	۷/۵ g /۱۰۰ mL	**قهوه فرانسوی- عربیکا**
۴۹۸/۳۳± ۲۱/۸۰ bA	۷/۵ g /۱۰۰ mL	**قهوه موکا- عربیکا**
۴۱۸/۵۹± ۱/۷۸ bC	۷/۵ g /۱۰۰ mL	**قهوه فیلتر شده- عربیکا**

* در قهوه‌های کلاسیک، حروف (a,b, …) در ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار بین هر نوشیدنی تهیه شده از قهوه ربوستا با نوع متناظر آن در نوشیدنی‌های تهیه شده با قهوه عربیکا است. حروف بزرگ (A, B, …) بیانگر اختلاف معنی‌دار بین انواع قهوه در هر گروه عربیکا یا ربوستا است.

کافئین حلالیت متوسطی در آب ۲۵ درجه دارد (حدود ۱۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) ولی با افزایش دما به ۱۰۰ درجه، حلالیت نیز به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و به حدود ۶۷۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نیز می‌رسد (Angeloni *et al*., 2019). در نتیجه غلظت بالای کافئین در نوشیدنی‌های قهوه دور از انتظار نیست. زمانی که مقیاس اندازه‌گیری کافئین، غلظت بر حسب میلی‌گرم بر لیتر بود، بیشترین میزان کافئین در قهوه موکا به‌دست آمد. بعد از آن قهوه‌های جوشیده، فرانسوی و فیلتر شده به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. این ترتیب در هر دو واریته عربیکا و ربوستا مشاهده شد. یکی از دلایل افزایش استخراج کافئین از قهوه موکا را می‌توان به فشار اعمال شده طی استخراج نسبت

داد که درصد استخراج ترکیبات را نیز افزایش می‌دهد. در حقیقت، قهوه موکا جزء نوشیدنی‌های تهیه شده تحت فشار طبقه‌بندی می‌شود (Petracco, 2001). بیشتر بودن میزان کافئین در قهوه موکا نسبت به جوشیده را می‌توان به دمای آب نیز نسبت داد. از آنجاییکه مخزن آب در قهوه ساز موکا تا حدی بسته است، دمای آب می‌تواند اندکی افزایش یابد و این افزایش هرچند اندک، تاثیر قابل توجهی بر میزان استخراج کافئین خواهد داشت (Albanese *et al*., 2009). به کافئین بیشتر قهوه موکا (۷ میلی‌گرم در ۱۰ میلی‌لیتر) نسبت به قهوه فرانسوی (۵/۵ میلی‌گرم در ۱۰ میلی‌لیتر) و قهوه فیلتر شده (۴/۵ میلی‌گرم در ۱۰ میلی‌لیتر) در سایر تحقیقات (Gloess et al., 2013) نیز اشاره شده است. همچنین، همانطور که سایر محققین گزارش کردند، در قهوه جوشیده، زمان تماس پودر قهوه و آب نسبتا زیاد است بنابراین استخراج کافئین بیشتر از نوشیدنی‌هایی مانند قهوه فیلتر شده خواهد بود (Tfouni et al., 2014). Angeloni و همکاران (۲۰۱۹) میزان کافئین در قهوه موکا (۱/۲۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) را تقریبا ۳ برابر میزان کافئین در قهوه فرانسوی (۰/۵۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) گزارش کردند (Angeloni *et al*., 2019) که نتایج پژوهش ما را تایید می‌کند. اگرچه در تحقیق ما، میزان کافئین موکا سه برابر فرانسوی نبود ولی تفاوت مقدار در این دو نوشیدنی معنادار گزارش شد ($p<۰/۰۵$). در پژوهش حاضر، میزان کافئین در قهوه فیلتر در محدوده ۴۱۸ الی ۷۱۷ میلی‌گرم بر لیتر بدست آمده که با نتایج تحقیق Jeon و همکاران (۲۰۱۷) که میزان کافئین انواع قهوه فیلتر شده را اندازه‌گیری کردند (۵۷۶–۴۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) مطابقت داشت (Jeon *et al*., 2017).

نتایج این بخش بر حسب میانگین مقدار کافئین در فنجان، در شکل ۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است اگرچه مقدار کافئین در برخی نوشیدنی‌ها در مقیاس میلی‌گرم بر لیتر زیاد است ولی زمانی که مقدار در هر فنجان مورد بررسی قرار می‌گیرد نتایج متفاوتی حاصل خواهد شد. به عنوان مثال، اگرچه قهوه موکا (عربیکا و ربوستا) بالاترین میانگین غلظت کافئین را دارند ولی چون در فنجان‌های کوچک ۶۰ میلی لیتری سرو می‌شود، مصرف کننده مقادیر کمتری از کافئین را نسبت به سایر انواع مانند فیلتر شده، دریافت خواهد کرد.



شکل ۲- میانگین مقدار کافئین در انواع قهوه کلاسیک (میلی‌گرم در هر فنجان مصرفی). اندازه هر فنجان عبارت است از: قهوه جوشیده، فرانسوی، فیلتر شده (۱۵۰ میلی‌لیتر)، موکا (۶۰ میلی‌لیتر)

قهوه‌های تجاری

به منظور بررسی بهتر تاثیر روش‌های تهیه قهوه بر میزان کافئین، انواع پودرهای تجاری قهوه از بازار تهیه شده و قهوه‌ها به روش نوشته شده روی برچسب محصول تهیه شدند. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، نسبت قهوه به آب، در تهیه این سری از قهوه‌ها یکسان نبود. لازم به ذکر است که پودرهای تجاری قهوه معمولا مخلوطی از عربیکا و ربوستا هستند تا علاوه بر عطر و طعم خاص حاصل از قهوه عربیکا، خصوصیاتی مانند قوام، اسیدیته و نیز کافئین بیشتر را از قهوه ربوستا تامین کنند. در این میان، انواع اسپرسو بویژه قهوه پاد بیشترین میانگین مقدار کافئین (میلی‌گرم بر لیتر) را به خود اختصاص دادند درحالیکه، قهوه فوری و سرد کمترین میزان کافئین را دارا بودند.

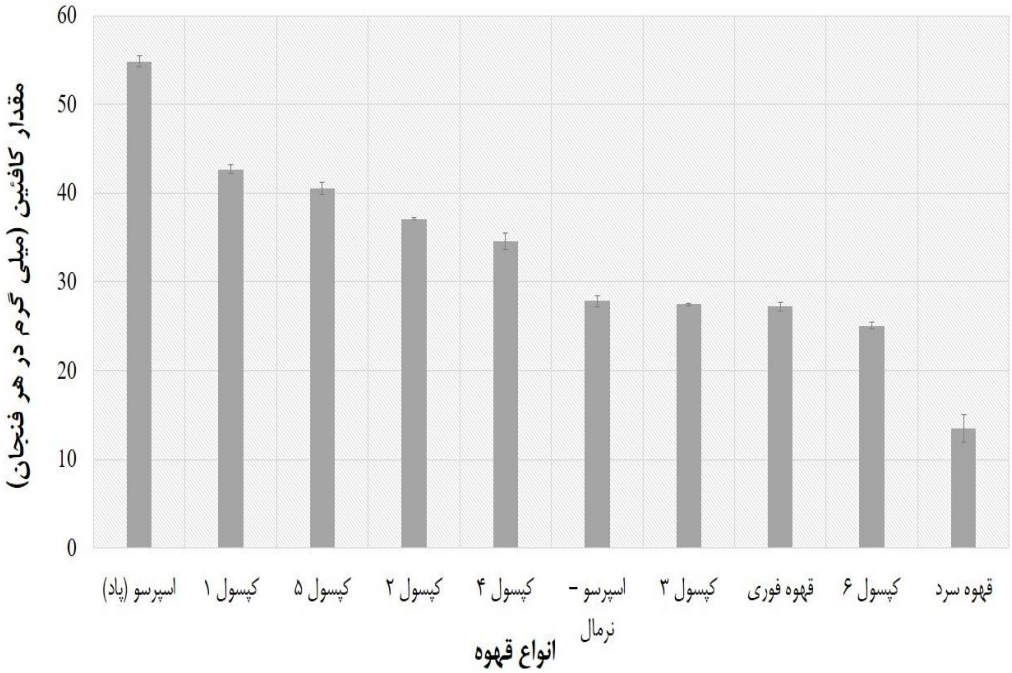
در این میان، قهوه اسپرسو (پاد، نرمال یا نوع کپسولی) از انواع رایج تهیه قهوه در دنیا به‌شمار می‌رود که روزبه‌روز بر طرفداران آن نیز اضافه می‌شود (Albanese *et al*., 2009). لذا در این پژوهش میزان کافئین انواع مختلفی از قهوه اسپرسو مورد مطالعه قرار گرفت. همان‌طور که

مشخص است، قهوه اسپرسو از نوع پاد، بیشترین میزان کافئین را به‌خود اختصاص داد که بیشتر از قهوه اسپرسو نرمال بود. این نتایج با در نظر گرفتن ماهیت واریته قهوه به‌کار رفته برای تولید اسپرسو (پاد) که مخلوطی از عربیکا و ربوستا بود و همچنین مقدار زیاد قهوه در هر پاد (حدود ۷ گرم)، قابل توجیه است.

جدول ۳- میانگین غلظت کافئین (mg/L) در انواع قهوه تهیه شده از پودرهای تجاری موجود در فروشگاه‌ها

قهوه‌های تجاری*	نسبت قهوه به آب	میانگین غلظت کافئین (mg/L)
قهوه اسپرسو (پاد)	۷/۰۸ g /۴۰ mL	۱۳۷۱/۳۸± ۱۶/۷۳ a
اسپرسو نرمال	۷/۵ g /۴۰ mL	۶۹۶/۶۶±۱۵/۱۷ e
کپسول ۱	۶/۰۱ g /۴۰ mL	۱۰۶۷/۶۱± ۱۲/۶۹ c
کپسول ۲	۵/۰۱ g /۴۰ mL	۹۲۷/۶۷± ۲/۹۷ d
کپسول ۳	۵/۰۱ g /۴۰ mL	۶۸۶/۶۸± ۲/۷۹ e
کپسول ٤	۶/۱۳ g /۴۰ mL	۱۱۵۳/۳۸± ۱/۵۲ b
کپسول ٥	۵/۱۹ g /۴۰ mL	۱۰۱۲/۹۳± ۱۷/۷۳ c
کپسول ٦	۵/۷۱ g /۴۰ mL	۶۲۶/۴۲± ۹/۹۴ ef
قهوه فوری	۲/۰ g /۵۰ mL	۵۴۴/۷۳± ۹/۷۵ g
قهوه سرد	۸/۰ g /۲۴۰ mL	۵۶/۰۴± ۶/۴۷ h

* در قهوهای تجاری، حروف (a,b, ...) در ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار بین انواع قهوه این گروه است.



شکل ۳- مقدار کافئین در انواع قهوه تجاری (میلی‌گرم در هر فنجان مصرفی). اندازه هر فنجان عبارت است از: اسپرسو اعم از پاد، نرمال، کپسول (٤٠ میلی‌لیتر)، قهوه فوری (٥٠ میلی‌لیتر)، قهوه سرد (٢٤٠ میلی‌لیتر).

چراکه اسپرسو نرمال از انواع عربیکا تهیه شده بود که حاوی مقدار کافئین کمتری نسبت به ربوستا هستند. در تحقیقات مشابه، مقدار کافئین در انواع قهوه اسپرسو تهیه شده از پودر قهوه و یا کپسول بین ۴۰ الی ۶۳ میلی‌گرم در هر فنجان گزارش شده است (Gloess *et al.*, 2013). Albanese و همکاران (۲۰۰۹) هر پاد حاوی قهوه را با ۲۵ میلی‌لیتر آب استخراج کردند و میزان کافئین هر فنجان به‌طور متوسط ۲/۹ و ۴/۰۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به‌ترتیب برای پودر عربیکا و ربوستا به‌دست آمد (Albanese *et al.*, 2009). نتایج این تحقیق به مراتب

بیشتر از مقادیر حاصل از پژوهش ما است (۱/۳۷-۰/۶۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) که می‌تواند با نسبت متفاوت پودر به قهوه و نیز ترکیب پودری (عربیکا و ربوستا) در پژوهش ما توجیه شود. نتایج مشابه در تحقیق Angeloni و همکاران (۲۰۱۹) نیز با پژوهش ما مطابقت نداشت به‌نحوی که میزان کافئین انواع اسپرسو به‌طور میانگین ۴/۱۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به‌دست آمد که از مقادیر حاصل از پژوهش ما بیشتر بود. یکی از دلایل این عدم تطابق، مصرف مقدار بیشتر پودر قهوه برای تهیه یک فنجان نوشیدنی در این تحقیق است (Angeloni *et al.*, 2019). در تحقیق مذکور یک نمونه قهوه سرد نیز مورد آزمون قرار گرفت که نتایج آن (۰/۷۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) نیز بیشتر از پژوهش ما (۰/۲۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) گزارش شد. در تحقیق دیگری، انواع قهوه فوری مورد آنالیز قرار گرفتند و مقادیر ۲۳ الی ۷۱ میلی‌گرم کافئین در هر فنجان ۱۰۰ میلی‌لیتر حاصل شد (Jeon *et al.*, 2019) که تاییدکننده نتایج حاصل از پژوهش ما می‌باشد. همانند قهوه‌های کلاسیک، نتایج این بخش در شکل ۳ بر حسب میانگین مقدار کافئین در هر فنجان نیز گزارش شده است که تصویر بهتری از میزان دریافت کافئین توسط مصرف‌کنندگان را در اختیار بگذارد. از آنجاکه انواع اسپرسو در فنجان‌های کوچک ۴۰ یا ۵۰ میلی‌لیتری مصرف می‌شوند، نتایج این بخش به‌لحاظ ترتیب میانگین مقدار کافئین، با جدول ۳ شباهت زیادی دارد. مورد قابل توجه قهوه سرد است. به لحاظ غلظت میلی‌گرم بر لیتر، قهوه سرد تفاوت بسیار قابل توجهی با انواع اسپرسو دارد (۵۶ میلی‌گرم بر لیتر در قهوه سرد در مقایسه با ۱۳۷۱ میلی‌گرم بر لیتر در قهوه پاد)، ولی با در نظر گرفتن مقدار مصرف در هر فنجان، اگرچه تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار است، ولی میزان اختلاف بسیار کاهش می‌یابد (۱۳ میلی‌گرم بر فنجان در قهوه سرد در مقایسه با ۵۶ میلی‌گرم بر فنجان در قهوه پاد).

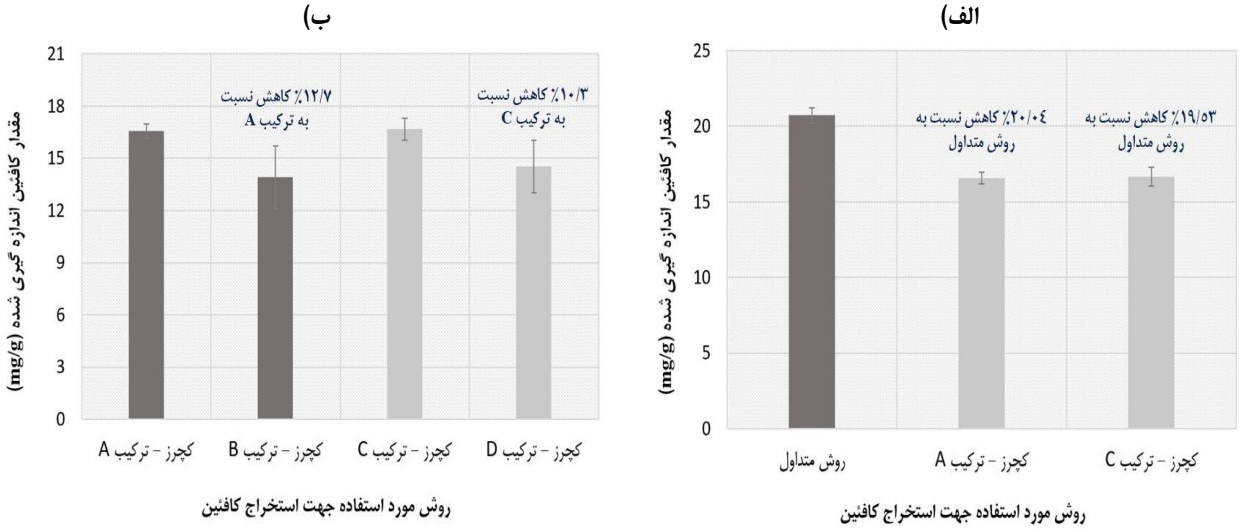
تاثیر روش کچرز بر استخراج کافئین

نقش حلال

شکل ۴ (الف)، نقش استفاده از حلال استونیتریل یا اتیل استات (ترکیب A و C از جدول ۱) را در حذف کافئین در مقایسه با مقدار واقعی این ترکیب که توسط روش متداول محاسبه شده است، نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل، جایگزینی استونیتریل با اتیل استات تاثیر قابل توجهی بر حذف کافئین نشان نداد ($p\geq$ ۰/۰۵) و هر دو حلال از عملکرد تقریبا یکسانی در این زمینه برخوردار بودند. با این حال، نتایج بیانگر اختلاف معنادار ($p\leq$۰/۰۵) میان روش کچرز و روش متداول بود، به‌طوری که مقدار قابل توجهی از کافئین توسط روش کچرز حذف شد. نتایج نشان داد که فارغ از نوع حلال مورد استفاده، مقادیر حاصل از استخراج به روش کچرز به کمک ترکیب A و C، حدود ۲۰٪ کمتر از مقادیر حاصل از روش متداول بود که بیانگر کارایی این روش در حذف قابل توجه کافئین از نمونه مورد مطالعه است. نتیجه‌گیری دیگری که می‌توان از این یافته داشت این است که اگر هدف اندازه‌گیری دقیق کافئین باشد، روش کچرز، روش مناسبی نخواهد بود چراکه بخش قابل توجهی از آن جذب جاذب‌ها شده و حذف می‌شود.

استونیتریل در روش کچرز کاربرد گسترده داشته و بویژه برای استخراج ترکیبات قطبی، کاربرد گسترده دارد. از طرفی برای استفاده در روش‌های کروماتوگرافی حلال مطلوبی به‌شمار می‌آید. در مقابل، اتیل استات حلالی است که معمولا جهت استخراج PAHها (گروهی از ترکیبات سرطان‌زا) کاربرد دارد و همانطور که قبلا نیز اشاره شد، حضور کافئین در آنالیز PAHها اختلال ایجاد می‌کند (Sadowska-Rociek, Surma and Cieślik 2014). در دمای ۲۵ درجه، حلالیت کافئین در اتیل استات (۲/۵٪ وزنی/ وزنی یا ۲۲/۵ mg/mL) بیشتر از آب (۲/۲٪ وزنی/ وزنی) است (Vuon and Roach 2014). به‌لحاظ مقادیر وزنی/ حجمی نیز حلالیت کافئین در آب ۲۰ mg/mL گزارش شده است (Al-Maaieh and Flanagan 2002). در نتیجه، تمایل کافئین برای حضور در فاز آلی بیشتر از آبی است.

نتایج مشابهی توسط Sadowska-Rociek و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده شد. به‌طوریکه استخراج PAHها از چای با اتیل استات منجر به استخراج بخش قابل توجهی از کافئین شد (Sadowska-Rociek, Surma and Cieślik 2014). به‌طور مشابه در تحقیق Shalmashi و همکاران (۲۰۱۰)، استخراج کافئین با اتیل استات بازده بالاتری نسبت به آب داشت (Shalmashi and Golmohammad 2010). حلالیت کافئین در استونیتریل نیز بیشتر از آب است. Yu و همکاران (۲۰۱۰)، حلالیت کافئین در استونیتریل را در دمای ۲۵ درجه، معادل ۰/۱۵۳۵ g/kg گزارش کردند (Yu, Chow and Tan 2010) که با در نظر گرفتن وزن مولی کافئین (۱۹۴/۲ g/mol) و دانسیته استونیتریل (۰/۷۸۶ g/mL)، معادل ۲۳/۴ mg/mL خواهد بود. داده‌های Sadowska-Rociek و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که به هنگام استفاده از اتیل استات، کافئین استخراجی به مراتب بیشتر از زمانی است که از استونیتریل به عنوان حلال استفاده شود. نتایج ما نیز تا حدی نتایج تحقیق مذکور را تایید می‌کند و مقدار کافئین حاصل از اتیل استات اندکی بیشتر از استونیتریل بود ولی این تفاوت در پژوهش ما معنادار نبود ($p\geq$ ۰/۰۵). این نتایج متفاوت می‌تواند به تفاوت رفتار کافئین در محیط‌هایی با دو حلال آب/ استونیتریل در مقایسه با آب/ اتیل استات توجیه شود. در نتیجه، درصورتیکه که هدف آنالیز سایر آلاینده‌ها با روش کچرز باشد، کاربرد استونیتریل پیشنهاد می‌شود.



شکل ٤- الف) نقش حلال در استخراج کافئین در مقایسه با روش متداول بر پایه محلول‌های کاریز و ب) نقش جاذب‌های PSA و C18 در استخراج کافئین

نقش جاذب

برای این منظور، استفاده تکی از جاذب PSA (ترکیب A و C از جدول ۱) در کنار کاربرد همزمان PSA و C18 (ترکیب B و D از جدول ۱) در اندازه‌گیری کافئین مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد، فارغ از نوع حلال مورد استفاده، افزودن جاذب C18 حذف کافئین از نمونه را به‌طور میانگین به میزان حدود ۱۱٪ افزایش داد (شکل ۴ ب). این کاهش در هر دو حلال مورد مطالعه معنادارگزارش شد ($p \leq$ ۰/۰۵) به نحوی که میزان کافئین اندازه‌گیری شده با کمک استونیتریل و اتیل استات به هنگام استفاده همزمان از جاذب های PSA و C18، به‌ترتیب در حدود ۳۲ و ۲۹٪ کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده به روش رایج بود. لازم به ذکر است که در روش کچرز، نسبت نمک به جاذب و حلال باید همواره رعایت شود تا نتایج مطلوب حاصل شود. به عنوان مثال در این پژوهش، در مرحله استخراج، سولفات منیزیم ۴ برابر کلریدسدیم بود و در قسمت پاکسازی، سولفات منیزیم ۶ برابر جاذب‌ها در نظر گرفته شد. لذا افزایش در مقدار جاذب‌ها یا مقدار حلال‌ها، تغییر در کل فرایند استخراج را به همراه خواهد داشت.

بر خلاف سیستم استخراج فاز جامد (SPE)[1]، در روش کچرز برای پاکسازی عصاره از استخراج فاز جامد پراکنده (dSPE)[2] استفاده می‌شود که در آن پاکسازی در داخل محلول توده[3] صورت می‌گیرد و نیازی به انواع سیستم‌های خلاء، ستون‌های SPE و انواع پیش تیمارها نیست و در نتیجه فرایند ساده‌تر می‌شود (Varela-Martínez *et al*., 2020).

جاذب PSA نوعی تبادل کننده آنیونی ضعیف[4] است و به این ترتیب عصاره را از قندها، اسیدهای چرب و سایر اسیدها پاک می‌کند. اگرچه در حضور آن، رنگ‌ها مانند آنتوسیانین‌ها نیز تا حدی حذف می‌شوند (Kim *et al*., 2019). در مقابل C18، جاذبی هیدروفوبیک است که برای حذف ترکیبات غیرقطبی مثل چربی‌ها گزینه مناسبی است (Sadowska-Rociek *et al*., 2014). خصوصا برای عصاره‌هایی مانند عصاره قهوه که مقادیر بالایی چربی دارد، می‌تواند گزینه مناسبی باشد. در نتیجه حضور این دو جاذب می‌تواند عصاره را تا حد زیادی از ترکیبات مزاحم پاک کند. در این میان، اگرچه کافئین ترکیبی قطبی محسوب می‌شود، با این وجود، احتمال می‌رود که برهمکنش هیدروفوب بین گروه‌های متیل کافئین و گروه‌های غیرقطبی جاذب‌ها (بویژه در C18) منجر به حذف بیشتر کافئین از عصاره شود استفاده همزمان از PSA و C18 در حضور استونیتریل برای آنالیز برخی آفت‌کش‌ها در انواع دانه‌ها مانند ذرت، قهوه، کاکائو، موز و غیره به صورت موفقیت آمیزی استفاده شده است (Galani *et al*., 2018). در تحقیق دیگری نیز کاربرد مثبت C18 به‌عنوان یک جاذب جهت حذف ترکیبات مزاحم برای آنالیز سموم قارچی در قهوه به اثبات رسید (Reichert *et al*., 2018).

1 Solid Phase Extraction (SPE)
2 Dispersive Solid Phase Extraction (dSPE)
3 Bulk solution
4 Weak anion exchanger

نتیجه‌گیری

قهوه از رایج‌ترین نوشیدنی‌ها در دنیا به‌شمار می‌رود که حاوی ترکیبات مختلف با خواص سلامتی‌زایی متعدد است. در این میان، می‌توان از کافئین به‌عنوان مهم‌ترین ترکیب شیمیایی موجود نام برد که به مقدار زیاد در قهوه یافت می‌شود. در تحقیق حاضر محتوای کافئین ۱۸ نوع قهوه اعم از انواع کلاسیک (جوشیده، فرانسوی، موکا و فیلترشده تهیه شده از قهوه عربیکا یا ربوستا) یا تجاری (انواع اسپرسو، فوری و قهوه سرد) مورد آزمون قرار گرفت و نتایج به‌صورت غلظت در لیتر یا در هر فنجان، گزارش شد. تفاوت در نحوه تهیه قهوه، منجر به استخراج مقادیر متفاوت کافئین به داخل نوشیدنی نهایی شد. به‌طور کلی میزان کافئین در قهوه اسپرسو (پاد) بیشترین و در قهوه سرد کمترین بود. با این حال زمانی که مقدار در هر فنجان مورد مطالعه قرار گرفت، انواع کلاسیک خصوصا قهوه جوشیده- ربوستا بیشترین مقدار (۱۲۰ میلی‌گرم در ۱۵۰ میلی‌لیتر) را به‌خود اختصاص دادند و در مقابل انواع اسپرسو مقادیر متوسطی از کافئین در محدوده ۲۵ الی ۵۴ میلی‌گرم در ۴۰ میلی‌لیتر را دارا بودند.

از طرف دیگر، حضور کافئین به مقدار زیاد در انواع قهوه یا چای، در آنالیز آلاینده‌ها و سموم که در مقدار کم وجود دارند اختلال ایجاد می‌کند. لذا در این پژوهش اثر اختصاصی روش کچرز از جهت نوع حلال و جاذب‌ها بر حذف کافئین از عصاره قهوه ربوستا نیز به‌عنوان یک سیستم مدل، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بیانگر تاثیر قابل توجه این روش در حذف کافئین بود به‌نحوی که در بهترین شرایط (حلال استونیتریل و مصرف همزمان جاذب PSA و C18)، میزان کافئین تا ۳۰٪ نیز کاهش یافت. بررسی اثر حلال نشان داد که نوع حلال در حذف کافئین تاثیر دارد ولی این تاثیر بین حلال استونیتریل و اتیل استات معنادار نبود. با این وجود، نوع جاذب میزان کاهش را به شکل معناداری افزایش داد به نحوی که اضافه کردن جاذب C18، فرایند حذف را تشدید نمود. اگرچه باید در نظر داشت که شرایط نهایی باید به نحوی انتخاب شوند که در عین حال که ترکیبات مزاحم را حذف می‌کنند، منجر به کاهش درصد بازیابی آنالیت هدف نشوند.

تشکر و قدردانی

تحقیق نویسنده مسئول از حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد (۵۰۱۷۱/۲) برخوردار بوده است.

منابع

Al-Maaieh, Ahmad, and Douglas R Flanagan. 2002. "Salt effects on caffeine solubility, distribution, and self-association." *Journal of pharmaceutical sciences* 91(4):1000-1008.

Albanese, D., M. Di Matteo, M. Poiana, and S. Spagnamusso. 2009. "Espresso coffee (EC) by POD: Study of thermal profile during extraction process and influence of water temperature on chemical–physical and sensorial properties." *Food Research International* 42(5-6):727-732.

Anastassiades, Michelangelo, Steven J Lehotay, Darinka Štajnbaher, and Frank J Schenck. 2003. "Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and "dispersive solid-phase extraction" for the determination of pesticide residues in produce." *Journal of AOAC international* 86(2):412-431.

Angeloni, Giulia, Lorenzo Guerrini, Piernicola Masella, Maria Bellumori, Selvaggia Daluiso, Alessandro Parenti, and Marzia Innocenti. 2019. "What kind of coffee do you drink, An investigation on effects of eight different extraction methods." *Food Research International*. 116:1327-1335.

Bell, Leonard N., Clinton R. Wetzel, and Alexandra N. Grand. 1996. "Caffeine content in coffee as influenced by grinding and brewing techniques." *Food Research International* 29(8):785-789.

Brice, Carolyn, and Andrew Smith. 2001. "The effects of caffeine on simulated driving, subjective alertness and sustained attention." Human Psychopharmacology: *Clinical and Experimental* 16(7):523-531.

Buerge, Ignaz J., Thomas Poiger, Markus D. Müller, and Hans-Rudolf Buser. 2003. "Caffeine, an Anthropogenic Marker for Wastewater Contamination of Surface Waters." *Environmental Science & Technology* 37(4):691-700.

Candeias, Sara X., Eugenia Gallardo, and Ana C. Matos. 2009. "Caffeine Content of Retail Market Coffee in Portugal." *Food Analytical Methods* 2(4):251-256.

Casal, S., M. B. Oliveira, M. R. Alves, and M. A. Ferreira. 2000. "Discriminate analysis of roasted coffee varieties for trigonelline, nicotinic acid, and caffeine content." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48(8):3420-354.

Dafouz, Raquel, Neus Cáceres, José Luis Rodríguez-Gil, Nicola Mastroianni, Miren López de Alda, Damià Barceló, Ángel Gil de Miguel, and Yolanda Valcárcel. 2018. "Does the presence of caffeine in the marine environment represent an environmental risk? A regional and global study." *Science of the total environment* 615:632-642.

Danish, Mohammed. 2020. "Application of date stone activated carbon for the removal of caffeine molecules from water." Materials Today: Proceedings.

Fujioka, K., and T. Shibamoto. 2008. "Chlorogenic acid and caffeine contents in various commercial brewed coffees." *Food Chemistry* 106(1):217-221.

Galani, Joseph H. Y., Michael Houbraken, Abukari Wumbei, Joseph F. Djeugap, Daniel Fotio, and Pieter Spanoghe. 2018. "Evaluation of 99 Pesticide Residues in Major Agricultural Products from the Western Highlands Zone of Cameroon Using QuEChERS Method Extraction and LC-MS/MS and GC-ECD Analyses." *Foods* 7(11):184.

Gloess, Alexia N., Barbara Schönbächler, Babette Klopprogge, Lucio D`Ambrosio, Karin Chatelain, Annette Bongartz, André Strittmatter, Markus Rast, and Chahan Yeretzian. 2013. "Comparison of nine common coffee extraction methods: instrumental and sensory analysis." *European Food Research and Technology* 236(4):607-627.

Hillebrand, Olav, Karsten Nödler, Tobias Licha, Martin Sauter, and Tobias Geyer. 2012. "Caffeine as an indicator for the quantification of untreated wastewater in karst systems." *Water research* 46(2):395-402.

Jeon, Jong-Sup, Han-Taek Kim, Il-Hyung Jeong, Se-Ra Hong, Moon-Seog Oh, Kwang-Hee Park, Jae-Han Shim, and A. M. Abd El-Aty. 2017. "Determination of chlorogenic acids and caffeine in homemade brewed coffee prepared under various conditions." *Journal of Chromatography* B 1064:115-123.

Jeon, Jong-Sup, Han-Taek Kim, Il-Hyung Jeong, Se-Ra Hong, Moon-Seog Oh, Mi-Hye Yoon, Jae-Han Shim, Ji Hoon Jeong, and A. M. Abd El-Aty. 2019. "Contents of chlorogenic acids and caffeine in various coffee-related products." *Journal of Advanced Research* 17:85-94.

Kim, Leesun, Danbi Lee, Hye-Kyung Cho, and Sung-Deuk Choi. 2019. "Review of the QuEChERS method for the analysis of organic pollutants: Persistent organic pollutants, polycyclic aromatic hydrocarbons, and pharmaceuticals." *Trends in Environmental Analytical Chemistry* 22:e00063.

Li, Shulan, Bingshu He, Jun Wang, Juan Liu, and Xianmin Hu. 2020. "Risks of caffeine residues in the environment: Necessity for a targeted ecopharmacovigilance program." *Chemosphere* 243:125343.

Mussatto, Solange I., Ercília M. S. Machado, Silvia Martins, and José A. Teixeira. 2011. "Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues." *Food and Bioprocess Technology* 4(5):661-672.

Nawrot, P., S. Jordan, J. Eastwood, J. Rotstein, A. Hugenholtz, and M. Feeley. 2003. "Effects of caffeine on human health." *Food Additives & Contaminants* 20(1):1-30.

Petracco, M. 2001. "Technology IV: Beverage Preparation: Brewing Trends for the New Millennium." Pp. 140-64 in Coffee: Recent developments, edited by R. J. Clarke and O. G. Vitzthum. UK: Blackwell Sience.

Reichert, B., A. de Kok, I. R. Pizzutti, J. Scholten, C. D. Cardoso, and M. Spanjer. 2018. "Simultaneous determination of 117 pesticides and 30 mycotoxins in raw coffee, without clean-up, by LC-ESI-MS/MS analysis." *Anal Chim Acta* 1004:40-50.

Rivelli, Diogo Pineda, Vanessa Vitoriano da Silva, Cristina Dislich Ropke, Denise Varella Miranda, Rebeca Leite Almeida, Tania Cristina Higashi Sawada, and Silvia Berlanga de Moraes Barros. 2007. "Simultaneous determination of chlorogenic acid, caffeic acid and caffeine in hydroalcoholic and aqueous extracts of Ilex paraguariensis by HPLC and correlation with antioxidant capacity of the extracts by DPPH· reduction." Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas 43:215-522.

Sadowska-Rociek, Anna, Magdalena Surma, and Ewa Cieślik. 2014. "Comparison of different modifications on QuEChERS sample preparation method for PAHs determination in black, green, red and white tea." Environ Sci Pollut Res Int 21(2):1326-1338.

Sereshti, Hassan, and Soheila Samadi. 2014. "A rapid and simple determination of caffeine in teas, coffees and eight beverages." *Food Chemistry* 158:8-13.

Shalmashi, A, and F Golmohammad. 2010. "Solubility of caffeine in water, ethyl acetate, ethanol, carbon tetrachloride, methanol, chloroform, dichloromethane, and acetone between 298 and 323 K." Latin American applied research 40(3):283.

Stamatis, Nikolaos K., and Ioannis K. Konstantinou. 2013. "Occurrence and removal of emerging pharmaceutical, personal care compounds and caffeine tracer in municipal sewage treatment plant in Western Greece." Journal of Environmental Science and Health, Part B 48(9):800-813.

Surma, Magdalena, Anna Sadowska-Rociek, Ewa Cieślik, and Katarzyna Sznajder-Katarzyńska. 2017. "Optimization of QuEChERS sample preparation method for acrylamide level determination in coffee and coffee substitutes." *Microchemical Journal* 131:98-102.

Tfouni, Silvia A. V., Larissa B. Carreiro, Camila R. A. Teles, Regina P. Z. Furlani, Katia M. V. A. B. Cipolli, and Mônica C. R. Camargo. 2014. "Caffeine and chlorogenic acids intake from coffee brew: influence of roasting degree and brewing procedure." *International Journal of Food Science & Technology* 49(3):747-752.

Tfouni, Silvia A. V., Camila S. Serrate, Larissa B. Carreiro, Monica C. R. Camargo, Camila R. A. Teles, Kátia M. V. A. B. Cipolli, and Regina P. Z. Furlani. 2012. "Effect of roasting on chlorogenic acids, caffeine and polycyclic aromatic hydrocarbons levels in two Coffea cultivars: Coffea arabica cv. Catuaí Amarelo IAC-62 and Coffea canephora cv. Apoatã IAC-2258." *International Journal of Food Science & Technology* 47(2):406-415.

Varela-Martínez, Diana A., Javier González-Sálamo, Miguel Ángel González-Curbelo, and Javier Hernández-Borges. 2020. "Chapter 14 - Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe (QuEChERS) Extraction." Pp. 399-437 in Liquid-Phase Extraction, edited by Colin F. Poole: Elsevier.

Vuon, Quan V., and Paul D. Roach. 2014. "Caffeine in Green Tea: Its Removal and Isolation." Separation & Purification *Reviews* 43:155–174.

Yu, Zai Qun, Pui Shan Chow, and Reginald BH Tan. 2010. "Operating regions in cooling cocrystallization of caffeine and glutaric acid in acetonitrile." *Crystal growth & design* 10(5):2382-2387.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 173- 186

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۱۸۶-۱۷۳

Caffeine Determination in Various Types of Coffee Brews and Studying the Effect of QuEChERS Method on Its Extraction Compare to Conventional Approach

M. Moeenfard*, P. Khaloo Kermani, Sh. Jaldani, A, Sharif

Received: 2020.04.15
Accepted: 2020.05.16

Introduction: Coffee is the most important and popular beverage in the world. The main differences between coffee and other beverages like tea is the variety of applied brewing techniques. Coffee is a complex chemical mixture of compounds including, caffeine, as a natural alkaloid. Besides its beneficial effect including enhancement in mental activity and alertness as well as improving the cognitive functioning, caffeine indicated adverse effects such as headache and anxiety when it is consumed in higher quantity. In terms of chemical extraction, it can be also considered as an interference when analyzing other pollutants, therefore, its removal from extract is of great interest. Therefore, the present study was designated to investigate the caffeine content of 18 various coffee-related products. Furthermore, the effect of two extraction techniques (QuEChERS and conventional) on caffeine removal from coffee extract was investigated.

Materials and Methods: Coffee brews including classical (boiled, French, moka and filtered coffees) and commercial brews (various types of espresso as well as instant and iced coffees) were prepared using Robusta, Arabica coffee or commercial powders. In conventional extraction approach, a 2.5 mL of coffee sample was treated with 0.1 mL each of Carrez solutions I and II to clarify the sample. The total volume was brought to 50 mL by the addition of 10% methanol (v/v). After centrifugation, the supernatant was filtered and analyzed using high-performance liquid chromatography coupled with a diode array detector (HPLC-DAD) at 273 nm. In QuECHERS approach, the effect of extraction solvent (acetonitrile and ethyl acetate) and sorbents (primary and secondary amines and, octadecyl silane) on caffeine removal was investigated and was compared to conventional approach as reference method. The extraction and clean-up were accomplished by two types of solvents and sorbents in the presence of sodium chloride and magnesium sulfate. Finally, caffeine was determined using HPLC-DAD at 273 nm.

Results and Discussion: According to the results, the two coffee varieties (Arabica and Robusta) were clearly separated by their caffeine contents as Robusta presented higher values in all classical brews. Among the classical brewing techniques, the coffee with the highest content of caffeine was moka brewed from roasted Robusta coffee, with a mean value of 1044 ± 26 mg/L. The caffeine content was also determined per serving (cup size) to determine the actual content received by consumers. Accordingly, among traditional brews the most caffeine-rich coffee was espresso type pod coffee, with a mean value of 1371 ± 16 mg/L, equivalent to 56 ± 0.6 mg/40 mL of serving size. The lowest mean caffeine content (13.4 mg / 240 mL) was found in iced coffee. With regards to caffeine extraction, with recovery of 101%, the conventional method was the most efficient approach for caffeine determination. Caffeine significantly reduced (around 20% compare to conventional approach) when QuEChERS was used as extraction technique which could be valuable for analysis of pesticides, which are usually present in small quantities in food samples like coffee. In general, the use of acetonitrile as well as the simultaneous application of PSA and C18 resulted in a significant decrease in caffeine content of Robusta coffee extract.

Here, different coffee brews were assessed and compared for their caffeine content (mg/mL and mg/serving). Technical differences like coffee varieties, coffee/water ratio or method of brewing (pressurized, fusion, filtering, etc) led to coffee brews with different caffeine profiles. Interestingly, despite the high concentration of caffeine in espresso types brews, they provided moderate coffee in terms of caffeine content per cup. On the other hand, classical methods in particular boiled, French and filtered Robusta coffee were rich in terms of caffeine per cup. When studying caffeine extraction, the efficiency of conventional method was significantly superior to QuEChERS approach as caffeine significantly reduced when QuEChERS was used as extraction method.

Keywords: Caffeine, Coffee, Arabica, Robusta, QuEChERS

(* Corresponding author: moeenfard@ferdowsi.um.ac.ir)

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 187- 204

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۲۰۴-۱۸۷

مقاله علمی- پژوهشی

تولید و ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی شورتنینگ کم‌اشباع با استفاده از تکنیک اورگانوژل‌سازی، مبتنی بر مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر

راحله محجوب[۱]- وحید حکیم‌زاده[۲]*- اسماعیل عطای صالحی[۳]- جمشید فرمانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۷

چکیده

در این تحقیق، از تکنیک اورگانوژل‌سازی مبتنی بر مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر به‌منظور تولید شورتنینگ با میزان اشباعیت پایین استفاده شده است. بدین‌منظور، یک گروه مخلوط دوتایی متشکل از ۲۰٪ روغن پالم استئارین و۸۰٪ روغن کلزا ساخته شد، به‌طوری‌که درصد اسیدهای چرب اشباع در ترکیب نهایی ۲۰٪ گردید. اورگانوژلاتورهای مورد استفاده ترکیبی از مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر می‌باشند که در ۶ نسبت دوتایی (۰- ۱۰۰)، (۲۰- ۸۰)، (۴۰- ۶۰)، (۶۰- ۴۰)، (۸۰- ۲۰) و (۱۰۰- ۰) مخلوط و در سه غلظت ۳ ، ۶ و ۹ درصد (وزنی/ وزنی) به ترکیب روغن اولیه افزوده شدند و خواص فیزیکوشیمیایی آن‌ها مانند ترکیب اسیدهای چرب، نقطه ذوب لغزشی، درصد چربی جامد، عدد پراکسید، درصد اسید چرب آزاد و همچنین خواص رئولوژیکی شامل مدول‌های ویسکوز، الاستیک، کمپلکس و زاویه فاز بررسی گردیدند. نتایج نشان داد که اسیدهای چرب اشباع شده، نقطه ذوب لغزشی، محتوای چربی جامد و مقاومت اکسایشی نمونه‌ها با افزایش نسبت اولئوژل‌ها از ۳ به ۹٪ افزایش یافته است. مقادیر عدد پراکسید و اسیدهای چرب آزاد اولئوژل‌های مختلف تولید شده که به روغن افزوده شدند، تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در تمامی اولئوژل‌ها، مقادیر مدول الاستیک از مدول ویسکوز بیشتر می‌باشد که نشان می‌دهد اولئوژل‌های تولیدی دارای خواص شبه جامد بیشتری بودند. اولئوژل‌های تهیه شده با نسبت ۱۰۰ به صفر پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول دارای بیشترین مدول کمپلکس بودند. نتایج بررسی زاویه فاز اولئوژل‌ها در تطابق با یافته‌های مدول الاستیک بود و نسبت‌های ۱۰۰ به صفر و ۲۰ به ۸۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول دارای مقاومت بالاتری بوده و نسبت به سایر نمونه‌ها خواص مایع گونه را دیرتر ظاهر ساختند. بررسی پتانسیل کاربردی اولئوژل‌های تولیدی مشخص نمود که آن‌ها در تولید مارگارین‌های نانوایی و شورتنینگ‌های چندمنظوره مناسب می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: شورتنینگ کم‌اشباع، اولئوژل، مونوآسیل گلیسرول، پلی‌گلیسرول استر، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، خصوصیات رئولوژیک

مقدمه

شورتنینگ[۴] اصطلاحی است که سابقاً برای توصیف چربی‌های جامد به‌واسطه‌ی خاصیت تردکنندگی در فراورده‌های آردی- تنوری به‌کار می‌رفت. امروزه، انواع شورتنینگ‌ها با کاربردهای متنوع تولید و مصرف می‌شوند و خصوصیات کریستالی و طیف ذوبی آن‌ها می‌تواند بر ساختار، پایداری، ماندگاری و همچنین خصوصیات حسی فراورده‌های غذایی تأثیرگذار باشد (Jirasubkunakorn *et al.*, 2006). بدون شورتنینگ در نان وشیرینی‌ها، گلوتن و نشاسته به‌صورت ذرات چسبنده به یکدیگر متصل می‌شوند و هنگام جویدن احساس سفتی را ایجاد می‌نمایند. اما با حضور شورتنینگ، چربی اتصال بخش‌های پروتئینی و ساختار نشاسته را کم می‌کند که این عمل منجر به نرم‌شدن ذرات گلوتن و در نتیجه تولید محصول نرم و با قابلیت هوادهی مناسب می‌شود. همچنین شورتنینگ نقطهی ذوب بالاتری نسبت به کره و روغن‌های حیوانی دارد و همین امر سبب می‌شود نقطه ذوب بستنی و خامه‌ی قنادی بالاتر رود و این محصول در فصل تابستان دیرتر ذوب شود (Metzroth *et al.*, 2004). مهم‌ترین روش تولید شورتنینگ‌ها در صنعت، فرآیند هیدروژناسیون بود. طبق بررسی سازمان غذا و داروی

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.
۴- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*-نویسنده مسئول: Email: v.hakimzadeh@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.86529
4 Shortening

آمریکا مصرف محصولات حاوی روغن‌های نباتی هیدروژنه منبع عمده دریافت اسیدهای چرب ترانس (۷۹/۴٪) در رژیم غذایی هستند. از سوی دیگر، با توجه به این‌که مصرف اسیدهای چرب اشباع نیز یکی از ریسک فاکتورهای ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی می‌باشد، تلاش‌های گسترده‌ای در سراسر دنیا جهت کم‌کردن اسیدهای چرب اشباع در چربی‌های خوراکی در حال انجام است Tarrago-Trani *et al.*, (2006). به‌دلیل تشکیل اسیدهای چرب ترانس در اثر این فرایند که باعث افزایش ریسک ابتلا به بیماری‌های قلبی- عروقی می‌شوند، از ماه ژوئن سال ۲۰۱۸، روغن‌های هیدروژنه نسبی از فهرست GRAS خارج شد. امروزه استفاده از فرایند هیدروژناسیون تنها محدود به تولید روغن‌های گیاهی کاملاً هیدروژنه (که فاقد اسیدهای چرب ترانس می‌باشند) به‌منظور استفاده از آن‌ها به‌عنوان جزء جامد در تولید مارگارین‌ها و شورتنینگ‌ها می‌باشد. با این‌حال، اعمال این محدودیت‌ها (حذف اسیدهای چرب ترانس) و کم‌کردن اسیدهای چرب اشباع بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی و کاربردی چربی‌ها تأثیر فراوانی دارد. از این‌رو یکی از چالش‌های فعلی صنعت روغن تولید چربی‌هایی فاقد اسیدهای چرب ترانس و حاوی کم‌ترین سطح اسیدهای چرب اشباع، اما در عین حال ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی و کاربردی مناسب می‌باشد. لذا امروزه از روش‌های مختلفی برای کاهش مقادیر اسیدهای چرب اشباع و ترانس در محصولات مبتنی بر چربی استفاده می‌شود. این تکنیک‌ها شامل ترکیب برخی از چربی‌ها، استری‌شدن و اخیراً سیستم اولئوژل است (Gaudino *et al.*, 2019).

اورگانوژل‌ها سیستم‌های شبه جامدی هستند که بر اساس ژله‌ای شدن محلول‌های آلی توسط ترکیباتی با وزن مولکولی پایین یا درشت مولکول‌های محلول در فاز روغنی ایجاد می‌شوند. در صورتی‌که محلول آلی روغن خوراکی باشد به سیستم ایجاد شده اولئوژل گویند. یک اولئوژل‌ساز از به دام افتادن روغن در یک شبکه ژلی سه بعدی حاصل می‌شود. مکانیسم تشکیل شبکه ژل اولئوژل در محلول‌های آلی شباهت زیادی به هیدروژل‌ها در محلول‌های آبی دارد. در اولئوژل‌های لیپیدی برای رسیدن به ساختار ژل، پس از پراکنده شدن اولئوژل‌ساز در فاز روغنی، سول تشکیل می‌شود که با سردکردن عمل هسته‌زایی در رشد کریستال‌ها اتفاق می‌افتد که باعث ایجاد شبکه‌های خود مونتاژکننده می‌شود. از انواع ژل‌سازهای آلی می‌توان به دی‌آسیل گلیسرول، اسیدهای چرب آزاد، هیدروکسی استئاریک اسید و مونوآسیل گلیسرول اشاره نمود (Lupi *et al.*, 2013).

در میان ژل‌سازهای آلی، مونوآسیل گلیسرول بیشتر مورد توجه قرار دارد زیرا علاوه بر ویژگی اورگانوژل‌سازی دارای خواص مفید تغذیه‌ای مانند کاهش سطح اسیدهای چرب آزاد و تری‌آسیل گلیسرول و هچنین انسولین در خون نیز می‌باشد. مونوآسیل گلیسرول تقطیر شده شامل ۹۰ تا ۹۵ درصد ۱-مونوآسیل گلیسرول، ۳ تا ۵ درصد ۲-مونوآسیل گلیسرول، ۲ تا ۴ درصد دی‌آسیل گلیسرول و کم‌تر از ۱ درصد گلیسرول و اسید چرب آزاد می‌باشد و در اثر استریفیکاسیون روغن‌های گیاهی یا حیوانی با مولکول گلیسرول به‌دست می‌آید. پلی گلیسرول استرها از استریفیکاسیون پلی‌گلیسرول با اسیدهای چرب تولید می‌شوند. این اولئوژلاتورها غیریونی بوده و دارای خاصیت آمفولیوفیلیک می‌باشند (Gaudino *et al.*, 2019). از کاربردهای اولئوژلاسیون می‌توان به تولید محصولاتی نظیر بستنی، پنیر و محصولات قنادی که در فرآیند تولیدشان از چربی‌های اشباع به‌منظور دست‌یابی به بافت سخت مورد نظر استفاده می‌شود، اشاره کرد که این ترکیبات قادر به فراهم کردن بافت مناسب این محصولات بدون بالا بردن محتوای اسیدهای چرب اشباع و ترانس در آن‌ها می‌باشند (Krog, 2001). Verstringe و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که با افزایش میزان مونوآسیل گلیسرول در روغن پالم، بلورینه شدن آن می‌تواند حتی در دماهای بالاتری نیز رخ دهد. علاوه بر اثری که مونوآسیل گلیسرول بر خصوصیات فیزیکی روغن‌های خوراکی می‌گذارد، تا حدودی نیز قادر به تغییر خصوصیات شیمیایی نظیر فساد اکسایشی می‌باشد که البته در این زمینه نتایج به‌دست آمده ضد و نقیض است. بر اساس نتایج Maruyama و همکاران (۲۰۱۴) در چربی‌های حاوی مونوآسیل گلیسرول رفتار بلورینه شدن چربی بستگی به نوع مونوآسیل گلیسرول به‌کار گرفته شده دارد. نوع مونوآسیل گلیسرول علاوه بر نوع بلور بر میزان بلور نیز اثرگذاراست. Yilmaz و همکاران (۲۰۱۴) اولئوژل‌های روغن زیتون بکر با مونوگلیسیرید و موم کارنوبا تهیه کردند. ظرفیت باند شدن با روغن در الئوژل تهیه شده با مونوگلیسیرید بیشتر از اولئوژل تهیه شده با موم کارنوبا بود. تصاویر میکروسکوپ نور پلاریزه نشان داد اولئوژل موم کارنوبا کریستال‌های میله‌ای و کریستال‌های اولئوژل مونوگلیسیرید بوته‌ای شکل بودند. Jang و همکاران (۲۰۱۵) اولئوژل روغن کانولا تولید شده با استفاده از موم کاندلیا را به‌عنوان جایگزین شورتنینگ در فرآورده‌های قنادی بررسی کردند. اولئوژل‌های تولید شده دارای سختی کمتری در دمای اتاق نسبت به شورتنینگ بودند. با افزایش غلظت موم به روغن، ویسکوزیته به شدت افزایش یافت. با جایگزینی اولئوژل با شورتنینگ در فرمولاسیون خمیر شیرینی، پارامترهای ویسکوالاستیک کاهش یافت. نادری و همکاران (۱۳۹۴) اثر افزودن مونوآسیل گلیسرول بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن آفتابگردان را بررسی کردند. نمونه‌های اولئوژل ساخته شده با استفاده از مونوآسیل گلیسرول، درصد اسیدهای چرب اشباع، نقطه ذوب، درصد چربی جامد، مدول ذخیره و مدول افت بالاتر و عدد یدی و زمان مقاومت به بلورینه شدن کم‌تر داشتند. اولئوژل‌های حاوی ۵ درصد مونوآسیل گلیسرول اگرچه بر مقاومت اکسایشی بی‌تأثیر بود، با این‌حال پس از ۱۴ روز نگهداری در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد عدد پراکسید و درصد اسید چرب آزاد بالاتری داشتند. Yi و همکاران (۲۰۱۷) خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پایداری اکسیداتیو اولئوژل روغن کانولای تهیه شده با موم کارنوبا و اولئوژل روغن هسته انگور با موم زنبور عسل را مورد ارزیابی قرار دادند.

با افزایش غلظت مومها از ۵ تا ۱۵ درصد آنتالپی کریستالیزاسیون و نقطه ذوب افزایش یافت. شاخص‌های رنگی نیز تغییرات معنی‌داری کرد. پایداری اکسیداتیو اولئوژل موم کارنوبا بیشتر از اولئوژل موم زنبور عسل نمونه شاهد بود.

با توجه به اثر مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استرها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و پایداری روغن‌ها، در پژوهش حاضر به بررسی امکان تولید شورتنینگ‌های بدون ترانس با استفاده از مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر به‌عنوان امولسیفایر ساختار دهنده در ترکیب روغن پالم استئارین و روغن کلزا که تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است، پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

روغن کلزا تصفیه شده و روغن پالم استئارین از شرکت پرتودانه خزر (بهشهر، مازندران، ایران) تهیه شد. مونوآسیل گلیسرول تقطیر شده و پلی‌گلیسرول استر با خلوص ۹۵٪ از شرکت Sunilia (تهران، ایران) و مواد شیمیایی از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

آماده‌سازی اولئوژل‌ها

در ابتدا، یک مخلوط دوتایی متشکل از ۲۰٪ روغن پالم استئارین و۸۰٪ روغن کلزا ساخته شد. انتخاب نسبت روغن‌ها براساس ترکیب اسیدهای چرب روغن‌های اولیه انجام شد، به‌طوری‌که، در ترکیب نهایی بعد از فرمولاسیون روغن‌ها درصد اسیدهای چرب اشباع از ۲۰٪ تجاوز نکند. اورگانوژلاتورهای مورد استفاده در این پژوهش شامل ترکیب مونوآسیل گلیسرول[1] (MAG) و پلی‌گلیسرول استر[2] (PGE) بودند که در ۶ نسبت دوتایی (۰– ۱۰۰)، (۲۰– ۸۰)، (۴۰– ۶۰)، (۶۰–۴۰)، (۸۰– ۲۰) و (۱۰۰– ۰) ترکیب شدند.

برای تهیه اولئوژل، ابتدا ترکیب روغن پالم استارین و روغن کلزا با نسبت ۸۰ به ۲۰، تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده و سپس، مخلوط دوتایی اولئوژلاتور (PGE:MAG) در غلظت‌های ۳ ، ۶ و ۹ درصد (وزنی/ وزنی) و در نسبت‌های فوق الذکر، به آن اضافه شدند. اولئوژل‌های آماده شده به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه هم‌زده شدند. سرانجام، چربی‌های مبتنی بر PGE: MAG تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد سرد شده و برای استفاده‌های بعدی در یخچال نگهداری شدند (نادری و همکاران، ۲۰۱۸).

آنالیز ترکیب اسیدهای چرب با کروماتوگرافی گازی

آماده‌سازی متیل استر اسیدهای چرب طبق روش شماره AOCS Ce 2-66 و آنالیز آن‌ها با دستگاه گاز کروماتوگرافی (PerkinElmer، ۱۰۲۰، آمریکا) مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله و ستون مویینه CP Si1 88 FS با طول، قطر و ضخامت داخلی به‌ترتیب ۱۰۰ متر، ۰/۲۵ میلی‌متر و ۰/۲ میکرومتر بر طبق روش شماره Ce 1e-AOCS 91 انجام گردید .هلیوم به‌عنوان گاز حامل با فشار ۲۰ پاسکال (خلوص ۹۹/۹ درصد) استفاده گردید. مقدار تزریق نمونه ۱ میکرولیتر و دمای آون ۱۹۰ °C و دمای تزریق کننده و آشکارساز ۲۵۰°C بود (نادری و همکاران، ۲۰۱۸).

اندازه‌گیری نقطه ذوب لغزشی (SMP)[3]

نقطه ذوب لغزشی به روش لوله موئین باز AOCS Cc 3- 25 انجام شد (AOCS, 1996). نمونه‌ها تا ۱۰°C بالاتر از نقطه ذوبشان مایع و سپس لوله مویین در داخل ظرف نمونه فرو برده شد تا روغن حدود ۱ سانتی‌متر از لوله مویین بالا برود. جداره بیرونی لوله مویین حاوی نمونه با پنبه پاک گردید و سریعاً در بن ماری آب یخ فرو برده شد تا روغن جامد شود. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۶ ساعت در دمای ۱°C ±۶ قرار گرفت. پس از گذشت این زمان، لوله مویین‌ها به دماسنج متصل و در یک بشر ۶۰۰ میلی‌لیتری که حاوی آب با دمای حداقل ۱۰ °C کم‌تر از نقطه ذوب احتمالی نمونه، قرار داده شد. زمانی که اولین لغزش چربی به سمت بالا در لوله مویین مشاهده گردید، به‌عنوان نقطه ذوب نمونه در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری محتوای چربی جامد (SFC)[4]

درصد محتوای چربی جامد نمونه ها با استفاده از دستگاه رزونانس مغناطیس هسته‌ای متناوب[5] (Minispec- mq20، آلمان) طبق روش مستقیم AOCS 16b- 93 اندازه‌گیری شد (AOCS, 1996). نمونه ها در دمای ۱۰۰°C ذوب شد و قبل از اولین اندازه‌گیری به مدت ۶۰ دقیقه در حمام یخ (صفر درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت و در دمای صفر درجه سانتی‌گراد میزان چربی جامد نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. بعد از آن هر یک از نمونه‌ها به‌طور مجزا به‌مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و سپس اندازه‌گیری میزان چربی جامد بر روی هر کدام از نمونه‌ها در دماهای مورد نظر انجام شد.

آزمون رنسیمت

زمان مقاومت اکسایشی (دوره القای اکسایش) با استفاده از دستگاه Rancimat Methrom مدل ۷۴۳ اندازه‌گیری شد. ۲/۵ گرم نمونه در

1 Monoacylglycerols (MAG)
2 Polyglycerol ester (PGE)
3 Slip Melting Point (SMP)
4 Solid Fat Content (SFC)
5 Pulsed Nuclear Magnetic Resonance (PNMR)

دمای 110°C، با سرعت جریان هوای ۲ میلی‌لیتر در دقیقه به روش AOCS cd 12b-92 مورد آزمایش قرار گرفت (AOCS, 1996).

ظرف شیشه‌ای مابین آزمایش‌ها به‌خوبی تمیز می‌شدند تا از هر گونه آلودگی که منجر به پیش اکسیداسیون روغن شود، جلوگیری شود. لوله‌ها با جوشانده شدن در محلول سدیم هیدروکسید ۲٪ به مدت یک ساعت و سپس سرد شدن و فرو بردن در محلول هیدروکلریدریک اسید و در پایان شستن با آب مقطر، تمیز شدند. لوله‌ها، الکترودها و اتصالات چندین بار با اتانول و آب مقطر شسته و قبل از انجام آزمایش گاز نیتروژن بر آن‌ها دمیده شد.

اندازه‌گیری عدد پراکسید

مقدار پراکسید با استفاده از روشAOCS CD 8-23 اندازه‌گیری شد (AOCS, 1996). ۵ گرم از نمونه روغن را در ارلـن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری وزن نموده و ۲۵ میلی‌لیتر حلال پراکسید (۳ حجم اسید استیک+ ۲ حجم کلروفرم) و ۱ میلی‌لیتر محلـول یدور پتاسیم اشباع به آن اضافه شد. مخلوط به‌مدت ۱ دقـیقه در جـای تاریک قرار داده و گاه‌گاهی به‌هم زده شد. سپس به آن ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر معرف چسب نشاسته اضافه گردید. سپس با محلول تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال تا از بین رفتن رنگ آبی تیتر شد. آزمایش شاهد (بدون نمونه) نیز انجام گردید.

تعیین درصد اسیدهای چرب آزاد (FFA)[1]

اسیدهای چرب آزاد مطابق با روش AOCS Ca 5a-40، اندازه‌گیری شد (AOCS, 1996). مقدار ۲۸/۲ گرم از نمونه توزین شده و ۵۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد و ۲ میلی‌لیتر معرف فنل‌فتالئین (محلول یک درصد وزنی- حجمی در اتانول ۹۵ درصد) اضافه شد. لازم به ذکر است که اتانول مصرفی قبلاً در حضور فنل فتالئین باسود ۰/۱ نرمال تا ایجاد رنگ صورتی کم‌رنگ خنثی گردید و اسیدهای چرب آزاد (بر حسب اولئیک) آن با محلول سود ۰/۱ نرمال در حـضور فنل فتالئین تیتر شد و محاسبه گردید.

تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی

این آزمون‌ها با استفاده از دستگاه رئومتر (آنتون پار-اتریش) در تنش و کرنش یکسان و تغییر دما از دمای 5 تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌منظور مشاهده خصوصیات ویسکوالاستیک (مدول افت (G″) ، مدول ذخیره (G′) و زاویه فاز (G*) انجام شد (نادری و همکاران، ۲۰۱۶).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام و نتایج آن‌ها به‌صورت میانگین همراه با انحراف معیار گزارش شد. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون آنالیز واریانس یک طرفه در سطح اطمینان $p < 0.05$ و با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 (شیکاگو، آمریکا) انجام شد.

نتایج و بحث

خواص فیزیکوشیمیایی

پروفایل اسیدهای چرب

ترکیب اسیدهای چرب موجود روغن ترکیبی پالم استئارین وکلزا (با نسبت ۲۰ به ۸۰) و اولئوژل‌های تولیدی در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاده می‌شود، اسید چرب غالب در روغن ترکیبی پالم استئارین وکلزا (با نسبت ۲۰ به ۸۰)، اولئیک اسید و در اولئوژلاتورها، پالمیتیک اسید می‌باشد.

در جدول۲ ترکیب اسیدهای چرب اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول ذکر شده است. نتایج ارزیابی آماری حاکی از آن است که ترکیب اسیدهای چرب روغن‌های حاوی سطوح مختلف اولئوژلاتور (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) تفاوت معنی‌داری با هم دارند ($P<0.05$). با این‌حال، نسبت MAG به PGE تأثیری بر ترکیب اسیدهای چرب نداشته است ($P>0.05$).

جدول ۱- ترکیب درصد اسیدهای چرب روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا و اولئوژلاتورهای مورد استفاده

نوع روغن یا الئوژلاتور	SFA%	C18:3%	C18:2%	C18:1%	C18:0%	C16:0%
PS20: R80	۱۸/۹۸	۶/۵۳	۱۹/۸۵	۵۱/۹۴	۳/۱۳	۱۵/۸۵
PGE	۹۶/۹	-	–	۰/۲۳	۳۶/۸	۶۰/۱
MAG	۹۶/۸	-	–	۰/۷	۳۹/۶	۵۷/۲

PS20: R80: مخلوط ۲۰ به ۸۰ روغن پالم استئارین و کلزا؛ PGE: پلی‌گلیسرول استر؛ MAG: مونوآسیل گلیسرول

C16:0:پالمیتیک اسید؛ C18:0: استئاریک اسید؛ C18:1: اولئیک اسید؛ C18:2: لینولئیک اسید؛ C18:3: لینولنیک اسید. SFA: اسیدهای چرب اشباع

1 Free Faty Acids (FFA)

به عبارت دیگر، با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول و هم‌چنین کاهش نسبت پلی‌گلیسرول استر در اولئوژلاتورها، ترکیب اسیدهای چرب تفاوت معنی‌داری نشان نداد (P>0.05). دیگر نتایج حاکی از آن است که با افزایش سطح اولئوژلاتور در روغن از ۳ به ۶٪ و از ۶ به ۹٪ (وزنی/ وزنی) ترکیب اسیدهای چرب تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهد (P<0.05). در این خصوص، مقادیر اولئیک اسید از ۵۰٪ در سطح ۳٪ به ۴۷٪ در سطح ۹٪ کاهش یافت. همچنین، با افزایش سطح اولئوژلاتور در روغن از ۳ به ۹٪ (وزنی/ وزنی)، درصد استئاریک اسید و پالمیتیک اسید افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، با افزایش سطح اولئوژلاتور از ۳ به ۹٪ در روغن، SFA افزایش نشان داد (P<0.05).

جدول ۲- ترکیب درصد اسیدهای چرب اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول

تیمار	سطح اولئوژل (وزنی/ وزنی)	PGE	MAG	C16:0٪	C18:0٪	C18:1٪	C18:2٪	C18:3٪	SFA٪
۱		۱۰۰	۰	۱۷/۲±۰/۱^{c}	۴/۱±۰/۱^{c}	۵۰/۳±۰/۱^{a}	۱۹/۲۵±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۲۲±۰/۱^{c}
۲		۸۰	۲۰	۱۷/۲±۰/۱^{c}	۴/۱±۰/۱^{c}	۵۰/۳±۰/۱^{a}	۱۹/۲۵±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۲۲±۰/۱^{c}
۳		۶۰	۴۰	۱۷/۲±۰/۱^{c}	۴/۱±۰/۱^{c}	۵۰/۳±۰/۱^{a}	۱۹/۲۵±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۲۲±۰/۱^{c}
٤	۳درصد	۴۰	۶۰	۱۷/۲±۰/۱^{c}	۴/۱±۰/۱^{c}	۵۰/۳±۰/۱^{a}	۱۹/۲۵±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۲۲±۰/۱^{c}
۵		۲۰	۸۰	۱۷/۲±۰/۱^{c}	۴/۲±۰/۱^{c}	۵۰/۳±۰/۱^{a}	۱۹/۲۵±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۲۲±۰/۱^{c}
٦		۰	۱۰۰	۱۷/۲±۰/۱^{c}	۴/۲±۰/۱^{c}	۵۰/۳±۰/۱^{a}	۱۹/۲۵±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۲۲±۰/۱^{c}
۷		۱۰۰	۰	۱۸/۵±۰/۱^{b}	۵/۲±۰/۱^{b}	۴۸/۸±۰/۱^{b}	۱۸/۶±۰/۱^{ab}	۶/۱۳±۰/۱^{ab}	۲۴/۴±۰/۱^{b}
۸		۸۰	۲۰	۱۸/۵±۰/۱^{b}	۵/۲±۰/۱^{b}	۴۸/۸±۰/۱^{b}	۱۸/۶±۰/۱^{ab}	۶/۱۳±۰/۱^{ab}	۲۴/۴±۰/۱^{b}
۹		۶۰	۴۰	۱۸/۴±۰/۱^{b}	۵/۲±۰/۱^{b}	۴۸/۸±۰/۱^{b}	۱۸/۶±۰/۱^{ab}	۶/۱۳±۰/۱^{ab}	۲۴/۴±۰/۱^{b}
۱۰	۶درصد	۴۰	۶۰	۱۸/۴±۰/۱^{b}	۵/۲±۰/۱^{b}	۴۸/۸±۰/۱^{b}	۱۸/۶±۰/۱^{ab}	۶/۱۳±۰/۱^{ab}	۲۴/۴±۰/۱^{b}
۱۱		۲۰	۸۰	۱۸/۳±۰/۱^{b}	۵/۲±۰/۱^{b}	۴۸/۸±۰/۱^{b}	۱۸/۶±۰/۱^{ab}	۶/۱۳±۰/۱^{ab}	۲۴/۴±۰/۱^{b}
۱۲		۰	۱۰۰	۱۸/۳±۰/۱^{b}	۵/۳±۰/۱^{b}	۴۸/۸±۰/۱^{b}	۱۸/۶±۰/۱^{ab}	۶/۱۳±۰/۱^{ab}	۲۴/۴±۰/۱^{b}
۱۳		۱۰۰	۰	۱۹/۸±۰/۱^{a}	۶/۲±۰/۱^{a}	۴۷/۲±۰/۱^{b}	۱۸/۰۶±۰/۱^{b}	۵/۹±۰/۱^{b}	۲۶/۸±۰/۱^{a}
۱٤		۸۰	۲۰	۱۹/۸±۰/۱^{a}	۶/۲±۰/۱^{a}	۴۷/۲±۰/۱^{b}	۱۸/۰۶±۰/۱^{b}	۵/۹±۰/۱^{b}	۲۶/۸±۰/۱^{a}
۱۵		۶۰	۴۰	۱۹/۷±۰/۱^{a}	۶/۲±۰/۱^{a}	۴۷/۲±۰/۱^{b}	۱۸/۰۶±۰/۱^{b}	۵/۹±۰/۱^{b}	۲۶/۸±۰/۱^{a}
۱٦	۹درصد	۴۰	۶۰	۱۹/۷±۰/۱^{a}	۶/۲±۰/۱^{a}	۴۷/۲±۰/۱^{b}	۱۸/۰۶±۰/۱^{b}	۵/۹±۰/۱^{b}	۲۶/۸±۰/۱^{a}
۱۷		۲۰	۸۰	۱۹/۶±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۴۷/۳±۰/۱^{b}	۱۸/۰۶±۰/۱^{b}	۵/۹±۰/۱^{b}	۲۶/۸±۰/۱^{a}
۱۸		۰	۱۰۰	۱۹/۵±۰/۱^{a}	۶/۴±۰/۱^{a}	۴۷/۳±۰/۱^{b}	۱۸/۰۶±۰/۱^{b}	۵/۹±۰/۱^{b}	۲۶/۸±۰/۱^{a}

در هر ستون اعداد با حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح P<0.05 می‌باشد. PGE: پلی‌گلیسرول استر؛ MAG: مونوآسیل گلیسرول؛ C16:0: پالمیتیک اسید؛ C18:0: استئاریک اسید؛ C18:1: اولئیک اسید؛ C18:2: لینولئیک اسید؛ C18:3: لینولنیک اسید، SFA: اسیدهای چرب اشباع.

ویژگی‌های فیزیکی

نقطه ذوب لغزشی (SMP)[1]

نقطه ذوب دمایی است که در آن تغییرحالت ماده از جامد به مایع اتفاق می‌افتد. این پارامتر از ویژگی‌های بسیار مهم فیزیکی چربی‌ها است. چربی‌های طبیعی نقطه ذوب دقیقی ندارند، درحالی‌که مواد خالص دارای نقطه ذوب مشخص و تیزی می‌باشند. این تکنیک روش معمول برای تعیین نقطه ذوب چربی‌ها است. نقطه پایانی در این تکنیک به‌صورت عینی قابل تعیین می‌باشد (O'Brien, 2004). نتایج نقطه ذوب لغزشی اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با

1 Slip Meltig Point

نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول
در جدول ۳ ذکر شده است.

جدول ۳- نقطه‌ی ذوب اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول

تیمار	سطح اولئوژل (وزنی/ وزنی)	PGE	MAG	نقطه ذوب (°C)
PS20: R80 (شاهد)	–	–	–	۳۹/۵±۰/۶^{f}
۱		۱۰۰	۰	۴۰±۰/۶^{ef}
۲		۸۰	۲۰	۴۰±۰/۶^{ef}
۳		۶۰	۴۰	۴۰±۰/۶^{ef}
٤	۳ درصد	۴۰	۶۰	۴۰±۰/۶^{ef}
۵		۲۰	۸۰	۴۰±۰/۶^{ef}
٦		۰	۱۰۰	۴۰±۰/۶^{ef}
۷		۱۰۰	۰	۴۰±۰/۶^{ef}
۸		۸۰	۲۰	۴۰/۵±۰/۶^{de}
۹	۶ درصد	۶۰	۴۰	۴۰/۵±۰/۶^{de}
۱۰		۴۰	۶۰	۴۰/۵±۰/۶^{de}
۱۱		۲۰	۸۰	۴۱±۰/۶^{cd}
۱۲		۰	۱۰۰	۴۲±۰/۶^{b}
۱۳		۱۰۰	۰	۴۰±۰/۶^{ef}
۱٤		۸۰	۲۰	۴۱±۰/۶^{cd}
۱۵	۹ درصد	۶۰	۴۰	۴۱±۰/۶^{c}
۱٦		۴۰	۶۰	۴۱±۰/۶^{c}
۱۷		۲۰	۸۰	۴۲±۰/۶^{b}
۱۸		۰	۱۰۰	۴۳±۰/۶^{a}

در هر ستون اعداد با حروف یکسان نشان‌دهندهٔ عدم معنی‌داری در سطح $P<0.05$ می‌باشد. PS20: R80 مخلوط ۲۰ به ۸۰ روغن پالم استئارین و کلزا. PGE ؛ پلی‌گلیسرول استر؛ MAG : مونوآسیل گلیسرول.

نتایج ارزیابی آماری حاکی از آن است که میان سطوح مختلف افزوده شده اولئوژلاتور (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) به روغن از نظر نقطه ذوب تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود ($P<0.05$). همچنین، تفاوت معنی‌داری در نقطه ذوب در سطوح یکسان افزوده‌شده اولئوژلاتور به روغن (به غیر از سطح ۳درصد) مشاهده شد ($P<0.05$). در این خصوص، اگرچه با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول در مخلوط دوتایی اولئوژلاتور از صفر به ۱۰۰ در سطح ۳ درصد، تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید و نقطه ذوب تمامی اولئوژل‌های تولیدی ۴۰°C بود، اما در سطوح ۶ و ۹ درصد (وزنی/ وزنی) افزوده‌شده به روغن، چنین اثری مشاهده نشد. شایان ذکر است که در سطح ۶ درصد (وزنی/ وزنی)، با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول از صفر به ۱۰۰ نقطه ذوب اولئوژل‌ها از ۴۰ به ۴۳°C افزایش یافت. این روند برای اولئوژل‌های تولید شده در سطح ۹ درصد وزنی/ وزنی نیز مشاهده شد و با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول در مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور نقطه ذوب لغزشی نمونه‌ها از ۴۰ به ۴۳°C رسید. یافته‌های مشاهده شده در این بخش می‌تواند به ساختار شیمیایی متفاوت اولئوژلاتورهای مورد استفاده نسبت داده شود. در این خصوص، شایان ذکر است که مونوآسیل گلیسرول از یک مولکول گلیسرول که دارای پیوند استری با یک مولکول اسید چرب است تشکیل شده و همچنین دارای ۲ گروه هیدروکسیلی آزاد (OH) می‌باشد. سوربیتان مونواستئارات و سوربیتان تری‌استئارات به‌جای الکل گلیسرول (در مونوآسیل گلیسرول) دارای ترکیب الکلی دیگری به نام سوربیتول (قند- الکل) هستند؛ با این تفاوت که در اولی همانند

مونوآسیل‌گلیسرول ۲ و در دومی هیچ گروه هیدروکسیلی آزادی وجود ندارد. همین امر نقطه عطفی است تا باعث تغییر در خواص عملکردی این ترکیبات گردد. در این زمینه، صابری و همکاران (۲۰۱۲) بیان نمودند که گروه‌های هیدروکسیلی آزاد منجر به افزایش نقطه ذوب مولکول خواهد شد. به‌همین خاطر است که ترکیبات مونو و دی‌گلیسریدی نسبت به تری‌گلیسریدی دارای نقطه ذوب بالاتری هستند. یافته‌های به‌دست آمده در پژوهش حاضر نیز می‌تواند به همین امر نسبت داده شود. به عبارت دیگر، حضور بیشتر عوامل هیدروکسیلی آزاد در مونوآسیل گلیسرول و همچنین قطبیت بیشتر مولکول گلیسرول نسبت به سوربیتول باعث خواهد شد تا نقطه ذوب اولئوژل‌های بر پایه مونوآسیل گلیسرول از اولئوژل‌های بر پایه سوربیتان مونواستئارات و سوربیتان تری‌استئارات بیشتر باشد. از سوی دیگر، اولئوژل‌های بر پایه سوربیتان مونواستئارات دارای نقطه ذوب بالاتری نسبت به سوربیتان تری استئارات هستند، که این مطلب همان‌طور که قبل‌تر ذکر گردید، به حضور گروه هیدروکسیلی آزاد در ساختار سوربیتان مونواستئارات مربوط است. نتایج به‌دست آمده در تطابق با یافته‌های نادری و همکاران (۲۰۱۶) که به بررسی اثر مونوآسیل گلیسرول بر چربی مرغ پرداختند بود. Pernetti و همکاران (۲۰۰۷) که به بررسی اثرژل‌سازی هم‌زمان سوربیتان مونواستئارات ولسیتین پرداختند، نیز نتایجی مشابه گزارش نمودند. آنان بیان نمودندکه این ترکیبات با نقطه ذوب $۴۰^{\circ C}$ قادربه تشکیل شبکه ژلی در روغن‌ها بوده وافزودن لسیتین و سوربیتان مونواستئارات بانسبت وزنی ۴۰ به ۶۰ و ۶۰ به ۴۰ باعث افزایش نقطه ذوب نمونه‌ها می‌گردد.

محتوای چربی جامد[1] (SFC)

درصد SFC بیان‌گر مقدارکریستال‌های چربی درون مخلوط روغن‌ها و چربی‌ها در دماهای مختلف است. این شاخصه مسئول بسیاری از ویژگی‌های محصول ازجمله ظاهر عمومی، سهولت بسته‌بندی، خواص حسی و خصوصیات عملکردی روغن‌ها می‌باشد. در جدول ۴ نتایج درصد SFC در دمای ۱۰ تا $۳۵^{\circ C}$ اولئوژل‌های روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول ذکر شده است. نتایج ارزیابی آماری نشان می‌دهد که درصد SFC نمونه‌های حاوی سطوح مختلف اولئوژلاتور (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) با هم تفاوت معنی‌داری داشتند ($P<0.05$). همچنین، تفاوت معنی‌داری در سطوح یکسان افزوده‌شده اولئوژلاتور به روغن برای درصد SFC مشاهده شد ($P<0.05$). شایان ذکر است که اثر دما نیز بر مقادیر درصد SFC معنی‌دار بود ($P<0.05$). در این خصوص، با افزایش دما از ۱۰ به $۳۵^{\circ C}$، مقادیر درصد SFC کاهش یافت. دیگر نتایج حاکی از آن است که با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول از صفر به ۱۰۰ در مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور در هر سطح و هر دما، درصد SFC افزایش یافت. نکته قابل توجه آن است که با افزایش سطح اولئوژلاتور افزوده‌شده به روغن از ۳ به ۹ درصد (وزنی/ وزنی)، درصد SFC اولئوژل‌ها در هر دمای ثابت افزایش بیشتری نشان داد. بدیهی است که با تغییرات دما از ۱۰ تا $۳۵^{\circ C}$، در اثر افزایش دما، درصد SFC اولئوژل‌ها کاهش یابد.

همان‌طور که در ارائه نتایج عنوان گردید، با افزایش سطح اولئوژلاتور در روغن از ۳ به ۹ درصد وزنی/ وزنی، مقادیر درصد SFC افزایش می‌یابد. افزایش درصد SFC به منزله مقادیر بیشتر کریستال‌های چربی (تراکم بیشتر کریستال‌های چربی) در هر دمای خاص است. همان‌طور که قبل‌تر در بررسی نتایج نقطه ذوب لغزشی نمونه‌ها عنوان گردید، اولئوژل‌های برپایه مونوآسیل گلیسرول دارای نقطه ذوب بالا هستند. همین روند در مقادیر درصد SFC اولئوژل‌های مذکور نیز دیده می‌شود. به عبارتی، با افزایش نقطه ذوب نمونه‌های اولئوژل، کریستال‌های چربی مقاومت بیشتری نسبت به افزایش دما نشان داده و به دنبال آن، مقادیر درصد SFC افزایش خواهد یافت. به عبارت دیگر، گروه‌های هیدروکسیلی بیشتر در مونوآسیل گلیسرول منجر به افزایش مقاومت حرارتی بیشتر خواهند شد. صابری و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند روغن‌های برپایه مونو و دی‌آسیل گلیسرول دارای درصد SFC کمترازروغن‌های تری‌آسیل گلیسرول دردامنه دمایی ۵ تا $۱۰^{\circ C}$ و درصد SFC بالاتر در دامنه دمایی بالاتر از $۲۰^{\circ C}$ نشان می‌دهند. همچنین منحنی درصدSFC روغن‌های بر پایه مونو و دی‌آسیل گلیسرول دارای شیب کم‌تر و مسطح‌تراست که نشان‌دهنده یکنواختی ساختار آن در دامنه دمایی متفاوت بوده که به‌همین دلیل برای تولید مارگارین و شورتنینگ مناسب می‌باشد. شایان ذکر است، تغییرات در فرایند کریستالیزاسیون اولئوژل‌ها کاملاً وابسته به درصد SFC می‌باشد. یکی از پارامترهای مهم در مرحله تشکیل هسته‌های بلور در فرایند کریستالیزاسیون، زمان مقاومت به کریستالیزاسیون می‌باشد. زمان مقاومت، مدت زمانی است که طی آن هسته‌های اولیه بلور در یک سیستم چربی تشکیل گردد. زمان مقاومت به بلورینه‌شدن دارای رابطه عکس با سرعت هسته‌زایی می‌باشد. Martini و همکاران (۲۰۰۲) به اندازه‌گیری درصد SFC روغن پالمی که ابتدا به خامه اضافه و سپس از آن جدا شده بود پرداختند و نتایج نشان داد مونواستئارین و مونوپالمیتین منجر به افزایش نهایی درصد SFC در غلظت ۱ درصد (وزنی/ وزنی) در این روغن می‌گردند که در تطابق با یافته‌های پژوهش حاضر بود. به‌طورکلی نتایج نشان داد که اثری که مونوآسیل گلیسرول می‌تواند بر روغن‌ها بگذارند به غلظتشان وابسته است. Basso و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای به بررسی اثر (مونواستئارین و مونوپالمیتین) که ازروغن پالم کاملاً هیدروژنه به‌دست آمده بود،

1 Solid Fat Content

پرداختند. در این بررسی از مونوآسیل گلیسرول به‌منظور اصلاح فرایند کریستالیزاسیون روغن پالم استفاده شد که مشخص گردید این اولئوژلاتور قادر به کاهش زمان مقاومت به بلورینه شدن روغن پالم به‌طور معنی‌داری می‌گردد. همچنین آن‌ها قادر به تغییر رفتار پلی‌مورفیسم و ایجاد بلورهای بتا به‌جای بتا پریم هستند که به نوبه خود باعث کاهش هزینه فرآیند در محصولاتی نظیر شکلات می‌گردد.

Verstringe و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تأثیر مونوپالمیتین بر روی رفتار بلورینه شدن روغن پالم پرداختند گزارش نمودند که با افزایش غلظت مونوآسیل گلیسرول، دمای کریستالیزاسیون افزایش یافته و به عبارتی در دمای بالاتری کریستالیزاسیون رخ می‌دهد. یافته‌های محققان فوق در تطابق با نتایج پژوهش حاضر بود.

جدول ٤- محتوای چربی جامد (SFC%) اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول در دماهای مختلف

تیمار	سطح (وزنی/وزنی)	اولئوژل	PGE	MAG	۱۰ ^{0C}	۲۰ ^{0C}	۳۰ ^{0}C	۳۵ ^{0}C
شاهد (PSC)	–		–	–	۱۲/۴±۰/۲^{Fa}	۱۰/۸±۰/۲^{Fb}	۷/۳±۰/۲^{Gc}	۴/۷±۰/۲^{Fd}
۱			۱۰۰	۰	۱۲/۴±۰/۲^{Fa}	۱۰/۸±۰/۲^{Fb}	۷/۳±۰/۲^{Gc}	۴/۸±۰/۲^{Fd}
۲			۸۰	۲۰	۱۳/۳±۰/۲^{Ea}	۱۱/۶±۰/۲^{Eb}	۸/۳±۰/۲^{Fc}	۵/۶±۰/۲^{Ed}
۳			۶۰	۴۰	۱۴/۳±۰/۲^{Da}	۱۲/۳±۰/۲^{Db}	۹/۴±۰/۲^{Ec}	۶/۴±۰/۲^{Dd}
٤	۳ درصد		۴۰	۶۰	۱۵/۲±۰/۲^{Ca}	۱۲/۸±۰/۲^{Db}	۱۰/۱±۰/۲^{Dc}	۷/۵±۰/۲^{Cd}
۵			۲۰	۸۰	۱۵/۹±۰/۲^{Ca}	۱۳/۲±۰/۲^{Cb}	۱۰/۵±۰/۲^{Dc}	۸/۲±۰/۲^{Cd}
٦			۰	۱۰۰	۱۶/۳±۰/۲^{Ca}	۱۳/۷±۰/۲^{Cb}	۱۱/۱±۰/۲^{Bc}	۸/۷±۰/۲^{Cd}
۷			۱۰۰	۰	۱۴/۶±۰/۲^{Da}	۱۲/۲±۰/۲^{Db}	۹/۰±۰/۲^{Ec}	۵/۳±۰/۲^{Ed}
۸			۸۰	۲۰	۱۵/۶±۰/۲^{Ca}	۱۳/۱±۰/۲^{Db}	۹/۶±۰/۲^{Dc}	۶/۲±۰/۲^{Ed}
۹	۶ درصد		۶۰	۴۰	۱۶/۴±۰/۲^{Ca}	۱۳/۹±۰/۲^{Cb}	۱۰/۴±۰/۲^{Dc}	۷/۶±۰/۲^{Dd}
۱۰			۴۰	۶۰	۱۷/۳±۰/۲^{Ba}	۱۴/۳±۰/۲^{Cb}	۱۱/۱±۰/۲^{Bc}	۸/۴±۰/۲^{Cd}
۱۱			۲۰	۸۰	۱۷/۹±۰/۲^{Ba}	۱۵/۳±۰/۲^{Bb}	۱۱/۸±۰/۲^{Bc}	۹/۴±۰/۲^{Bd}
۱۲			۰	۱۰۰	۱۸/۳±۰/۲^{Ba}	۱۵/۷±۰/۲^{Bb}	۱۲/۶±۰/۲^{Cc}	۱۰/۳±۰/۲^{Ad}
۱۳			۱۰۰	۰	۱۷±۰/۲^{Ba}	۱۴/۳±۰/۲^{Cb}	۱۱/۱±۰/۲^{Bc}	۶/۹±۰/۲^{Dd}
۱٤			۸۰	۲۰	۱۷/۷±۰/۲^{Ba}	۱۵/۱±۰/۲^{Bb}	۱۱/۴±۰/۲^{Bc}	۷/۵±۰/۲^{Cd}
۱۵	۹ درصد		۶۰	۴۰	۱۸/۲±۰/۲^{Aa}	۱۶/۲±۰/۲^{Bb}	۱۱/۵±۰/۲^{Bc}	۸/۲±۰/۲^{Cd}
۱٦			۴۰	۶۰	۱۸/۶±۰/۲^{Aa}	۱۷/۳±۰/۲^{Ab}	۱۲/۳±۰/۲^{Ac}	۹/۳±۰/۲^{Bd}
۱۷			۲۰	۸۰	۱۹/۱±۰/۲^{Aa}	۱۷/۵±۰/۲^{Ab}	۱۲/۴±۰/۲^{Ac}	۱۰/۱±۰/۲^{Ad}
۱۸			۰	۱۰۰	۱۹/۴±۰/۲^{Aa}	۱۸/۱±۰/۲^{Ab}	۱۳±۰/۲^{Ac}	۱۱/۳±۰/۲^{Ad}

در هر سطر اعداد با حروف یکسان کوچک و در هر ستون اعداد با حروف یکسان بزرگ نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح $P<0.05$ می‌باشدPGE:.پلی‌گلیسرول استر؛ MAG: مونوآسیل گلیسرول، PSC: مخلوط ۲۰ به ۸۰ روغن پالم استئارین و کلزا.

پایداری اکسیداتیو

آزمون رنسیمت

آزمون رنسیمت مقاومت اکسایشی چربی و روغن‌ها را در شرایط شتاب یافته بررسی می‌کند و روغن‌های با مقادیر غیراشباع شدگی بالا به‌دلیل سرعت بالاتر واکنش با اکسیژن مقاومت کمتری به این آزمون نشان می‌دهند. در اثر شکست محصولات دوم اکسیداسیون (آلدهید و کتون‌ها) محصولات سوم اکسیداسیون (اسید فرمیک) تشکیل خواهد شد که باعث افزایش هدایت الکتریکی آب مقطر مورد استفاده در دستگاه رنسیمت شده و به‌عنوان شاخص اتمام زمان مقاومت روغن ارزیابی می‌گردد. در جدول ۵ مقادیر مقاومت (بر حسب ساعت) اولئوژل‌های تهیه‌شده با استفاده از مخلوط‌های دوتایی از اولئوژلاتور مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر ذکر گردیده است. نتایج

ارزیابی آماری حاکی از آن است که میان مقاومت اکسایشی نمونه های حاوی سطوح مختلف اولئوژلاتور (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود (P<0.05). از سوی دیگر، در سطوح الئوژلاتور یکسان، با تغییر نسبت مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر در مخلوط دوتایی اولئوژلاتور، تفاوت معنی‌داری در مقادیر مقاومت نمونه‌ها مشاهده شد (P<0.05). در این خصوص، با افزایش سطح اولئوژلاتور حاوی مونوآسیل گلیسرول از ۳ درصد به ۹ درصد (وزنی/ وزنی) مقادیر مقاومت نمونه‌ها افزایش نشان داد. نکته قابل توجه آن که روند افزایشی مقاومت اولئوژل‌ها منظم نبود. در این خصوص، اولئوژلاتورهای تهیه‌شده با نسبت ۸۰ به ۲۰ پلی‌گلسیرول استر و مونوآسیل گلیسرول دارای بیشترین مقاومت در سطوح افزوده‌شده یکسان بودند. به عبارت دیگر، در سطوح ۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی، مخلوط‌های دوتایی از اولئوژلاتورهای با نسبت ۸۰ به ۲۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول به‌ترتیب با ۵۰/۸، ۶۰/۳ و ۶۶ ساعت دارای بیشترین زمان مقاومت بودند. از سوی دیگر، در تمامی نمونه‌ها، اولئوژل‌هایی که نسبت مونوآسیل گلسیرول در تهیه اولئوژلاتورشان ۱۰۰ (و نسبت پلی‌گلیسرول استر صفر) بود، دارای کمترین زمان مقاومت بودند. به‌طورکلی، روند تغییر مقاومت اولئوژل‌ها با تغییر نسبت مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر، ابتدا افزایشی و سپس کاهشی و در انتها با به صفر رسیدن نسبت پلی‌گلیسرول استر، شدیداً کاهشی می‌باشد.

جدول ۵- عدد پراکسید، اسیدهای چرب آزاد و مقاومت در ۱۱۰°C اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول

تیمار	سطح اولئوژل (وزنی/ وزنی)	PGE	MAG	عدد پراکسید (میلی اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم)	اسید چرب آزاد (٪)	مقاومت در ۱۱۰°C (ساعت)
شاهد PS20: R80	–	–	–	۲/۱±۰/۵[a]	۲/۱±۰/۵[a]	۲۷/۵±۰/۷[l]
۱		۱۰۰	۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۳۵/۲±۰/۸[i]
۲		۸۰	۲۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۵۰/۸±۰/۷[e]
۳		۶۰	۴۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۴۹/۵±۰/۷[ef]
٤	۳ درصد	۴۰	۶۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۴۹/۰±۰/۵[ef]
۵		۲۰	۸۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۴۴/۳±۰/۷[g]
٦		۰	۱۰۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۳۰/۵±۰/۹[k]
۷		۱۰۰	۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۴۰/۰±۰/۸[h]
۸		۸۰	۲۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۶۰/۳±۰/۷[b]
۹	۶ درصد	۶۰	۴۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۵۸/۹±۰/۷[c]
۱۰		۴۰	۶۰	۲/۲±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۵۸/۰±۰/۵[c]
۱۱		۲۰	۸۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۵۲/۳±۰/۷[d]
۱۲		۰	۱۰۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۳۳/۳±۰/۹[j]
۱۳		۱۰۰	۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۴۸/۶±۰/۸[f]
۱٤		۸۰	۲۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۶۶/۰±۰/۷[a]
۱۵	۹ درصد	۶۰	۴۰	۲/۲±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۶۵/۵±۰/۷[a]
۱٦		۴۰	۶۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۶۵/۲±۰/۵[a]
۱۷		۲۰	۸۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۶۰/۴±۰/۷[b]
۱۸		۰	۱۰۰	۲/۱±۰/۳[a]	۰/۳۵±۰/۰۱[a]	۳۵/۳±۰/۹[i]

در هر ستون اعداد با حروف یکسان نشان‌دهندهٔ عدم معنی‌داری در سطح P<0.05 می‌باشد.PGE: پلی‌گلیسرول استر؛ MAG: مونوآسیل گلیسرول.

به‌طورکلی، نتایج به‌دست آمده دارای روند منظمی نسبت به تغییر سطح ترکیبات در مخلوط اولئوژلاتور نمی‌باشد. از سوی دیگر، در تمام اولئوژل‌های تهیه‌شده زمانی‌که در مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور، نسبت مونوآسیل گلیسرول به ۱۰۰ (و نسبت پلی‌گلیسرول استر به صفر) رسید، کم‌ترین زمان مقاومت اکسایشی به ثبت رسید. همان‌طور که قبل‌تر اشاره گردید، در ساختار ترکیبات اولئوژلاتورهای مورد استفاده، گروه‌های هیدروکسیلی آزادی حضور دارند، که قادر به ایفای نقش آنتی‌اکسیدانی هستند. در حقیقت، در هنگام شروع فرایند اکسیداسیون، این ترکیبات با اهدای هیدروژن، اثر پراکسیدهای پدیدار شده را خنثی، و مقاومت روغن را افزایش می‌دهند. حال آن‌که چرا در برخی از مخلوط‌های اولئوژلاتور، مقاومت اکسایشی به‌صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد، به احتمال بسیار بالایی می‌تواند به اثر سینرژیستی که در اثر حضور هم‌زمان پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول ایجاد می‌شود، نسبت داد. مشابه چنین اثر سینرژیستی میان آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی نظیر بوتیل هیدروکسی تولوئن و بوتیل هیدروکسی آنیزول نیز مشاهده می‌شود. هنگامی که این دو آنتی اکسیدان هم‌زمان استفاده می‌شوند، قدرت آنتی‌اکسیدانی بیشتری از خود بروز داده و دارای فاکتور حفاظت بالاتری هستند. در حقیقت، در هنگام فرایند اکسیداسیون، یکی از آن‌ها با اهدای هیدروژن به هیدروپراکسیدهای تولیدشده، اثر آن را خنثی و دیگری با بخشیدن هیدروژن به ترکیب آنتی‌اکسیدان و احیای آن، این ترکیب را دوباره به مبارزه با ترکیبات اکسیدانی می‌فرستد. در بررسی حاضر نیز، زمانی که نسبت مونوآسیل گلیسرول در مخلوط دوتایی اولئوژلاتور صفر نیست، اثر سینرژیستی مشاهده می‌شود. با توجه به این مطلب که اولئوژل‌های بر پایه مونوآسیل گلیسرول دارای زمان مقاومت اکسایشی بالایی بودند، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که این ترکیب از قدرت سینرژیستی بالاتری برخوردار است. یافته‌های نادری و همکاران (۲۰۱۸) و همچنین Gomes و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که مونوآسیل گلیسرول‌ها قادر به افزایش زمان مقاومت اکسایشی (مقاومت در $۱۱۰^{\circ C}$) روغن‌ها هستند. لازم به‌ذکر است که در پژوهش‌های مذکور تنها از یک ترکیب به‌عنوان اولئوژلاتور استفاده شده است درحالی‌که در پژوهش فعلی از دو اولئوژلاتور در ترکیب با یکدیگر استفاده شده است. نادری و همکاران (۲۰۱۸) افزایش مشاهده شده در زمان مقاومت اکسایشی نمونه‌ها را ناشی از افزایش محتوای اسیدهای چرب اشباع در اثر افزودن مونوآسیل گلیسرول اشباع‌شده (دارای SFA برابر با ۹۹/۵ درصد) دانستند. به‌طورکلی و با بررسی تمامی پژوهش‌های پیشین، نتایج در زمینه مقاومت اکسایشی ضد و نقیض می‌باشد و مستلزم بررسی‌های بیشتری است.

عدد پراکسید

عدد پراکسید نمایان‌گر میزان ترکیبات اولیه ایجاد شده (هیدروپراکسیدها) در اثر اکسایش روغن‌ها می‌باشد. هیدروپراکسیدها اگرچه فاقد بو هستند ولی در اثر شکست این ترکیبات محصولات ثانویه اکسیداسیون نظیر آلدهیدها و کتون که دارای بوی نامطلوبی هستند، تولید می‌شود. ایجاد پراکسید در مراحل اولیه به‌کندی صورت می‌گیرد و این مرحله برحسب نوع روغن،شرایط نگهداری آن، درجه حرارت و عوامل دیگر ممکن است از چند هفته تا چند ماه متغیر باشد که پس از آن تشکیل هیدرو پراکسید تسریع شده و خود به‌عنوان کاتالیزور در تسریع اکسایش روغن شرکت می‌کند. عدد پراکسید اگرچه شاخص مناسبی برای بیان کیفیت کلی روغن نمی‌باشد. اما پیوستگی خطی خوبی با خواص ارگانولپتیکی روغن‌ها و چربی‌ها دارد O'Brien, (2004). در جدول ۵ مقادیر عدد پراکسید اولئوژل‌های تولیدشده با استفاده از اولئوژلاتور حاوی مونوآسیل گلیسرول ذکر گردیده است. نتایج ارزیابی آماری نشان می‌دهد که میان سطوح افزوده‌شده مختلف (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) اولئوژلاتور و همچنین در سطوح افزوده‌شده یکسان اولئوژلاتور به روغن تفاوت معنی‌داری موجود نیست ($P>0.05$). به عبارت دیگر، با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول (و همچنین کاهش نسبت پلی‌گلیسرول استر) در مخلوط دوتایی اولئوژلاتورهای افزوده‌شده به روغن، عدد پراکسید اولئوژل‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P>0.05$). در این زمینه Caponio و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند، مونوآسیل گلیسرول‌ها در غلظت‌های اندک دارای اثر پرواکسیدانی و در غلظت‌های بالا (بیش از ۳ درصد وزنی/ وزنی)، دارای اثر آنتی‌اکسیدانی هستند، که در تطابق با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد. آنان این نتایج را چنین تفسیر نمودند که در غلظت‌های اندک، ترکیبات دارای خاصیت امولسیفایری نظیر مونوآسیل گلیسرول باعث کاهش کشش سطحی خواهند شد، که همین امر زمینه را برای حضور هرچه بیشتر اکسیژن در روغن فراهم کرده و آن‌را زودتر اکسید می‌نماید (نقش پرواکسیدانی). از سوی دیگر، در غلظت‌های بالا، این ترکیبات به‌صورت لایه‌ای مسطح بر سطح روغن قرار گرفته و از طریق گروه‌های هیدروکسیلی‌شان اکسیژن را جذب و از حضور آن در روغن جلوگیری می‌نمایند (نقش آنتی‌اکسیدانی). از آن‌جا که در پژوهش حاضر از سطوح بالا (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) استفاده شده است، عدم تغییر در عدد پراکسید را می‌توان به اثر آنتی اکسیدانی اولئوژلاتورهای مورد استفاده در سطوح بالای افزوده‌شده (بیش از ۳ درصد) نسبت داد. در این زمینه، Paradiso و همکاران (۲۰۱۴)، Colakoglu (۲۰۰۷) و Mistry و Min (۱۹۹۸) نتایجی مشابه گزارش نمودند. برخلاف تمامی پژوهش‌های مذکور، Gomes و همکاران (۲۰۱۰) عنوان داشتند که افزودن مونوآسیل گلیسرول در سطوح پایین منجر به بهبود پایداری اکسیداتیو خواهد شد. این نتیجه ضد و نقیض را می‌توان به نوع مونوآسیل گلیسرول مورد استفاده نسبت داد. در این جا ذکر این نکته ضروری است که فرایند تهیه ترکیبات اولئوژلاتور (که می‌تواند فرایند تقطیر و صابونی‌شدن باشد) و همچنین منبعی که از آن تهیه می‌شود، اثر بسزایی بر خواص عملکردی آن‌ها خواهد گذاشت. بر اساس گزارش

Gomes و همکاران (۲۰۱۰)، مونوآسیل گلیسرول مورد استفاده در پژوهش آنان، از فرایند صابونی‌شدن روغن زیتون به‌دست آمده است. با توجه به حضور ترکیبات آنتی‌اکسیدانی فراوان در روغن زیتون، می‌توان عنوان کرد در هنگام استخراج مونوآسیل گلیسرول‌ها از این روغن، مقداری آنتی‌اکسیدان نیز همراه با آن وارد می‌شود که افزایش مقاومت اکسایشی به‌وجود آمده در اثر افزودن غلظت کم مونوآسیل گلیسرول‌ها را می‌توان به این ترکیبات نسبت داد.

اسیدهای چرب آزاد

درصد اسید چرب آزاد نشان‌گر فساد هیدرولتیک روغن‌ها می‌باشد. این ترکیبات همچنین از محصولات ثانویه‌ی اکسایش روغن و چربی‌ها می‌باشند (O'Brien, 2004). چربی‌های خوراکی اعم از حیوانی و نباتی دارای مقدار معین و جزئی اسید چرب آزاد هستند ولی ممکن است در اثر عوامل فساد و رخ دادن واکنش هیدرولیز این مقدار از حد معین تجاوز نماید. با افزایش مقدار اسید چرب آزاد در روغن نقطه دود کاهش می‌یابد. مقادیر اسیدهای چرب آزاد اولئوژل‌های تولیدشده با استفاده از اولئوژلاتورهای حاوی مونوآسیل گلیسرول به‌ترتیب در جدول ۵ ذکر گردیده است. همانند یافته‌های مشاهده‌شده برای عدد پراکسید، ارزیابی آماری حاکی از آن است که میان سطوح مختلف (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) اولئوژلاتور افزوده‌شده به روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا و همچنین در سطوح یکسان اولئوژلاتور تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($P>0.05$). قابل ذکر است که با کاهش نسبت پلی‌گلیسرول استر و همچنین افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول در مخلوط دوتایی اولئوژلاتورهای افزوده‌شده به روغن، اسیدهای چرب آزاد اولئوژل‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P>0.05$). در این زمینه، نادری و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که حضور ۳ و یا ۵ درصد وزنی/ وزنی مونوآسیل گلیسرول منجر به افزایش اسیدهای چرب در طی آزمون شال خواهد شد. در این زمینه، Zhang و همکاران (۲۰۱۵) و Krishnamurthy (۱۹۸۲) عنوان نمودند که ترکیبات دارای گروه‌های هیدروکسیلی آزاد دارای نقش کاتالتیکی در هیدرولیز چربی‌ها هستند. همچنین، Vichi (۲۰۰۳) بیان داشت اثر ترکیبات مذکور در دماهای نسبتاً ملایم و زمان‌های طولانی بیشتر است.

ویژگی‌های رئولوژیکی (آزمون روبش دما)

مدول‌های ویسکوز و الاستیک

مدول الاستیک (ذخیره)، مقدار انرژی ذخیره شده یا بازیافت شده طی هر سیکل تغییر شکل را نشان می‌دهد. بنابراین، برای یک ماده کاملاً جامد، تمام انرژی در آن ذخیره گشته و تنش و کرنش اعمال شده، هم‌فاز هستند. مدول ویسکوز (افت) نشان‌دهنده مقدار انرژی تلف شده (به‌صورت گرما در اثر اصطکاک بین مولکول‌ها) است، بنابراین برای یک ماده کاملاً مایع، تمام انرژی به‌صورت گرما تلف شده و مقدار مدول الاستیک (ذخیره) صفر بوده و در نتیجه، بین تنش و کرنش اعمال شده ۹۰° اختلاف فاز وجود خواهد داشت. در شکل ۱ مدول ویسکوز (G'') و الاستیک (G') اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با سطح ۶ درصد (وزنی/ وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی نمونه‌های اولئوژل مقادیر مدول الاستیک از مدول ویسکوز بیشتر می‌باشد که این مطلب حاکی از آن است که اولئوژل‌های تولیدشده از مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر دارای خواص شبه جامد بیشتری هستند. با توجه به شکل ۱، اولئوژل‌های تهیه‌شده از مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور به‌ترتیب با نسبت ۱۰۰ به صفر پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول دارای بیشترین مدول الاستیک بودند. پس از اولئوژل مذکور، نمونه‌های اولئوژل تهیه شده از مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور با نسبت ۰ به ۱۰۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول، ۲۰ به ۸۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول و در نهایت ۶۰ به ۴۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول به‌ترتیب دارای بیشترین مدول الاستیک بودند. یافته‌های رئولوژیکی به‌دست آمده در تطابق با نتایج نقطه ذوب لغزشی و درصد SFC اولئوژل‌ها بود. به عبارت دیگر، نقطه ذوب لغزشی اولئوژل‌ها در حدود $۴۰^{\circ C}$ بود که منحنی‌های رئولوژیکی به‌دست آمده تاییدکننده این مطلب می‌باشد. همچنین، در دمای $۳۵^{\circ C}$، اولئوژل‌ها دارای SFC در حدود ۴ تا ۵ درصد بودند. این مطلب در تطابق با منحنی‌های مدول الاستیک به‌دست آمده برای اولئوژل‌ها در در دمای ۳۵ تا $۴۰^{\circ C}$ می‌باشد. با توجه به نقطه ذوب نمونه‌ها (حدود $۴۰^{\circ C}$)، به دلیل ذوب کامل (غالب شدن رفتار مایع‌گونه)، منحنی مدول الاستیک نمونه‌های اولئوژل پس از این دما، ناپدید خواهد شد.

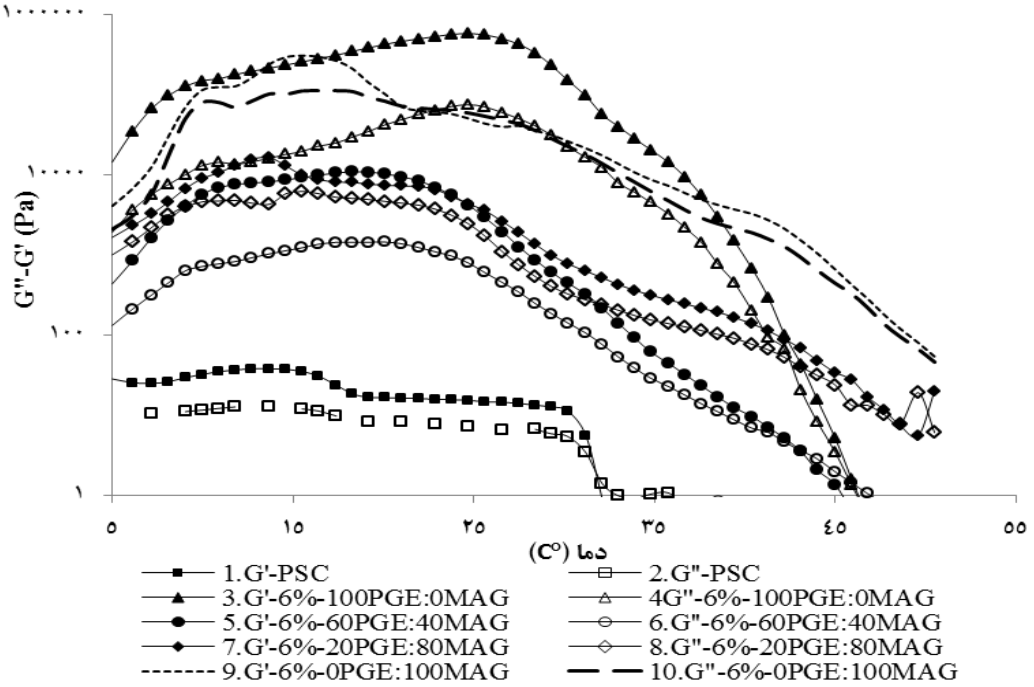
مدول کمپلکس

مدول کمپلکس که در معادله ۱ نشان داده شده است، عبارت است از نسبت تنش نوسانی به کرنش نوسانی و نشان‌دهنده مقاومت کلی یک ماده به کرنش اعمال شده است.

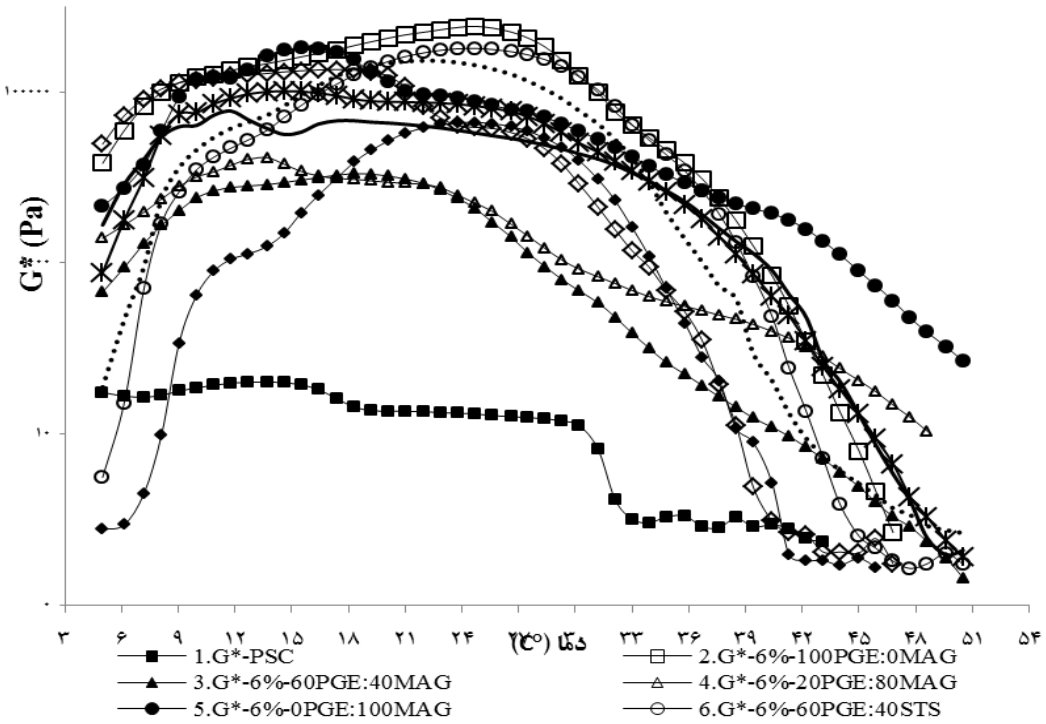
$$G^* = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} \quad (۱)$$

در شکل ۲ منحنی مدول کمپلکس (G*) اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با سطح ۶ درصد (وزنی/ وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول نشان داده شده است.

همان‌طور که قبل‌تر ذکر شد، مدول کمپلکس نشان‌گر سختی نمونه‌ها می‌باشد. از آن‌جا که در سنجش مدول کمپلکس، مؤلفه‌های ویسکوز و الاستیک نیز در نظر گرفته شده است، نتایج مدول کمپلکس قابل تعمیم به مدول‌های مذکور نیز می‌باشد.



شکل ۱- مدول ویسکوز ("G) و الاستیک ('G) اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با سطح ٦ درصد (وزنی/ وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول (PGE:MAG).



شکل ۲- مدول کمپلکس (G*) اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط شده با سطح ٦ درصد (وزنی/ وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی-گلیسرول استر با مونوآسیل گلیسرول و سوربیتان مونواستئارات (PGE:MAG و PGE:STS)

بنابراین، در شکل ۲ مدول کمپلکس تمامی اولئوژل‌های تولیدشده با مونوآسیل گلیسرول با یکدیگر مقایسه شده‌اند، تا ضمن بررسی سختی آن‌ها، مدول ویسکوز و الاستیک سایر اولئوژل‌های تهیه‌شده با یکدیگر مقایسه شود. با توجه به شکل۲، اولئوژل تهیه‌شده با مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور ۱۰۰ به صفر پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل لیسرول دارای بیشترین مدول کمپلکس بودند. پس اولئوژل مذکور، نمونه‌های تهیه‌شده با مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور با نسبت صفر به ۱۰۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول، ۲۰ به ۸۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول، ۶۰ به ۴۰ پلی‌گلیسرول استر و مونو آسیل گلیسرول و در نهایت مخلوط روغن کلزا و پالم استئارین دارای بیشترین سختی (مدول کمپلکس) بودند. با توجه به مؤلفه‌هایی که مدول کمپلکس در بر می‌گیرد، توالی ذکر شده در بالا قابل تعمیم برای مدول الاستیک تمامی اولئوژل‌ها نیز می‌باشد. به‌طورکلی، منحنی مدول کمپلکس دارای روند منظمی که وابسته به نسبت مونوآسیل گلیسرول به‌کار گرفته‌شده در اولئوژلاتورها باشد، نیستند. با این وجود، مشاهده می‌شود که زمانی که نسبت مورد استفاده از مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر در تهیه اولئوژلاتورها نسبتاً برابر باشد، اولئوژل‌های تولیدی از سختی بالایی بر خوردار نیستند. به‌همین دلیل، اولئوژلاتورهای تهیه‌شده از نسبت‌های ۶۰ به ۴۰ و یا ۴۰ به ۶۰، منجر به تولید اولئوژل‌هایی شدند که دارای کم‌ترین سختی نسبت به سایرین بودند. از سوی دیگر، مخلوط دوتایی اولئوژلاتورهایی که دارای نسبت ۰ به ۱۰۰ ، ۱۰۰ به ۰، ۲۰ به ۸۰ و ۸۰ به ۲۰ بودند، بیشترین سختی را به نمایش گذاشتند. دلیل این پدیده می‌تواند به برهم‌کنش‌های مولکولی که در حین اختلاط این ترکیبات ایجاد می‌شود، نسبت داده شود.

زاویه فاز

تابع مهمی که برای توصیف رفتار ویسکوالاستیک مواد به‌کار می‌رود، تانژانت تغییر فاز یا زاویه فاز (تانژانت دلتا) نام دارد. زاویه فاز که در معادله ۲ نشان داده شده است، عبارت است از آرک تانژانت نسبت مدول ویسکوز به مدول الاستیک که از صفر تا ۹۰°C متغیر می‌باشد. هر چه زاویه فاز به صفر درجه سانتی‌گراد نزدیک‌تر باشد، مولفه الاستیک غالب‌تر و هرچه به ۹۰°C نزدیک‌تر باشد، مولفه ویسکوز غالب‌تر است. بنابراین، عبور زاویه فاز از مقدار ۴۵°C نشان‌دهنده غالب شدن مولفه ویسکوز نسبت به مولفه الاستیک است.

$$\tan\delta = \mathrm{Arc}\tan\frac{G''}{G'} \qquad (۲)$$

در شکل ۳ زاویه فاز اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با سطح ۶ درصد (وزنی/ وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول نمایش داده شده است. مشابه با یافته‌های پیشین در مورد مدول الاستیک و مدول کمپلکس، نسبت‌های ۱۰۰ به صفر و ۲۰ به ۸۰ پلی‌گلیسرول استر و مونو آسیل گلیسرول دارای مقاومت بالاتری بوده و دیرتر نسبت به سایر نمونه‌ها خواص مایع‌گونه پدیدار ساختند. شایان ذکر است، زمانی که مقادیر مدول ویسکوز و الاستیک برابر گردد (G''=G'=1)، تحت عنوان نقطه ژلی‌شدن و کراس‌اُور[1] از آن یاد می‌گردد. به عبارت دیگر، دمایی که در آن مقدار تانژانت دلتا از ۱ عبور کند ($G' = G''$) به‌عنوان نقطه ذوب شدن در نظر گرفته می‌شود که به آن دمای عبور نیز گویند. به بیانی دیگر، در هنگام ذوب شدن اولئوژل‌ها، دمایی که در آن مدول‌های دینامیکی تقاطع پیدا کرده و از روی یکدیگر عبور می‌کنند (دمای کراس‌اُور)، نشانه‌ای از نرم‌شدن اولئوژل و شروع ذوب و جریان یافتن آن می‌باشد. در حقیقت، هر چه منحنی زاویه فاز اولئوژل دیرتر این خط را قطع کند (مقدار تانژانت دلتا از ۱ عبور کند)، دارای انسجام بیشتری بوده و خصوصیات جامدگونه خود را برای مدت طولانی‌تری در مقابل افزایش دما حفظ می‌کند. همان‌طورکه در شکل ۳ مشاهده می‌شود، زاویه فاز مربوط به روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا در دمای بسیار کم‌تری نسبت به سایر اولئوژل‌ها خط ۱ را قطع می‌نماید. از این امر چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا (فاقد اولئوژلاتور) نسبت به سایر اولئوژل‌ها دارای خواص مایع گونه غالب‌تری نسبت به خواص جامدگونه می‌باشد.

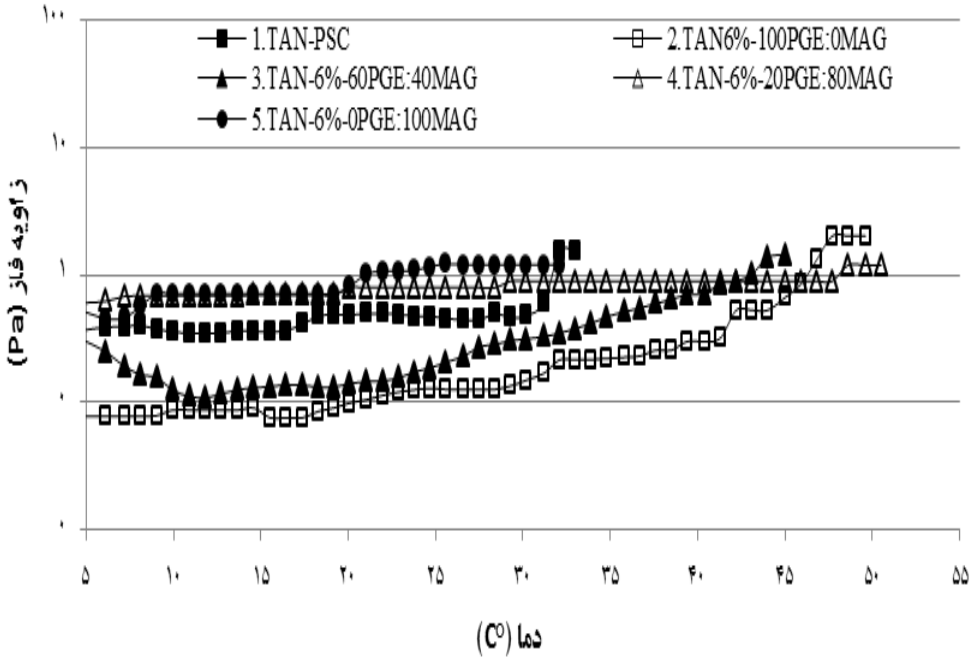
با توجه به این مطلب که کم‌ترین میزان مدول‌های الاستیک و کمپلکس مربوط به مخلوط روغن پالم استئارین و کلزا می‌باشد (فاقد ترکیبات اولئوژلاتور)، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که استفاده از اولئوژلاتور مونوآسیل گلیسرول نقش بسزایی در ایجاد استحکام بافت و افزایش مدول الاستیک و کمپلکس ایفا کرده است. به‌طورکلی، اولئوژل‌های تولیدی دارای خواص جامدگونه غالب‌تری نسبت به روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا بودند. منحنی‌های رئولوژیکی ویسکوز، الاستیک، کمپلکس و همچنین زاویه فاز به‌دست آمده برای تمامی اولئوژل بر پایه مونوآسیل گلیسرول در دامنه دمایی ۵ تا ۳۵°C کاملاً پدیدار بوده و از بین نرفته‌اند. این مطلب حاکی از آن است که اولئوژل‌های تولیدی دارای مقاومت گرمایی بالایی بوده و در محدوده دمایی نسبتاً بالایی خواص خود را حفظ می‌نمایند. در حقیقت، ماهیت الاستیک این مخلوط‌ها در این محدوده دمایی غالب است. چربی‌های پلاستیک (مانند مارگارین‌ها و شورتنینگ‌ها) G' بالاتری نسبت به G'' دارند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت اولئوژل‌های تولیدی چربی‌هایی پلاستیک هستند. از آن‌جا که خواص فیزیکی نظیر نقطه ذوب لغزشی و درصد SFC به‌صورت مستقیم در ارتباط با بافت ماده می‌باشند،

1 Crossover

بنابراین همبستگی بالایی با خواص رئولوژیکی داشته و نتایج آن قابل تعمیم است.

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، اولئوژل‌های تهیه شده با مونوآسیل گلیسرول درصد SFC و نقطه ذوب لغزشی بالایی داشتندکه همین مطلب در مقادیر مدول‌های الاستیک و کمپلکس و همچنین زاویه فاز آن‌ها نمود پیدا کرده است. Patel و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند برای این که چربی‌های ساختار یافته دارای خواص مطلوب و کاربردی مناسب باشند، می‌بایست حداقل مدول الاستیکی در دامنه $۱۰^۴$ تا $۱۰^۵$ پاسکال داشته باشند. نکته حائز اهمیت آن است که اولئوژلاتورهای مونوآسیل گلیسرول قادر بودند تا مدول الاستیک روغن پایه (فاقد اولئوژلاتور) را از کم‌تر از ۱۰۰ پاسکال به $۱۰^۴$ تا $۱۰^۵$ پاسکال افزایش دهند. با توجه به شکل ۴-۱ تمامی اولئوژل‌های تولیدی دارای مدول الاستیکی بین محدوده $۱۰^۴$ تا $۱۰^۵$ پاسکال هستند؛ که همین امر خواص تکنیکی آن را برای استفاده در محصولات چرب میسر می‌سازد.

Peyronel و Marangoni (۲۰۱۴) به بررسی مخلوط‌های چربی پایدار به حرارت که در محصولات قنادی کاربرد دارند، پرداختند. آن‌ها گزارش نمودند که مخلوط ۲۵ به ۷۵ درصد سوربیتان مونواستئارات و روغن هسته پالم هیدروژنه در دمای ۴۰°C دارای مدول الاستیک $۳×۱۰^۵$ پاسکال می‌باشد. به‌طورکلی نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر در تطابق با یافته‌های نادری و همکاران (۲۰۱۶) که به بررسی اثر مونوآسیل گلیسرول بر چربی مرغ، نادری و همکاران (۱۳۹۴)، که اثر افزودن مونوآسیل گلیسرول بر روغن آفتابگردان، Lupi و همکاران (۲۰۱۲) که به بررسی اثر مونوآسیل گلیسرول به‌عنوان ترکیب ژل‌ساز بر روی ترکیب روغن‌های کره کاکائو و روغن زیتون و Lupi و همکاران (۲۰۱۳) که به بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی اولئوژل تهیه شده از روغن زیتون پرداختند، بود.



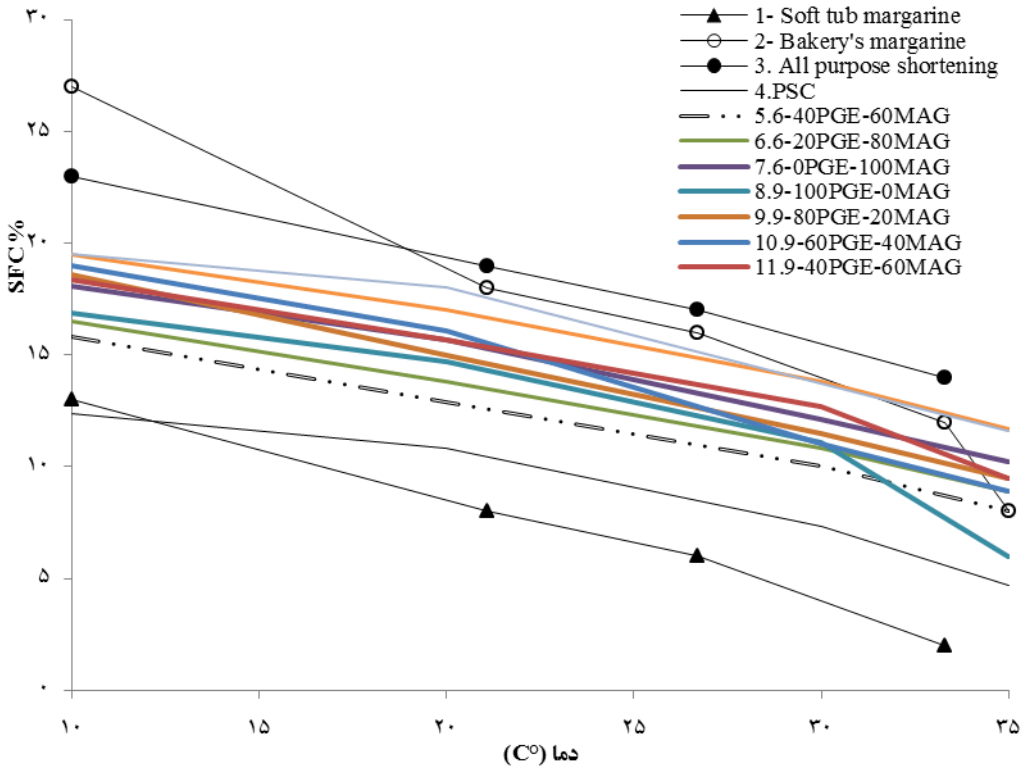
شکل ۳- زاویه فاز اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با سطح ٦ درصد (وزنی/ وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول (PGE:MAG)

پتانسیل کاربرد اولئوژل‌های تولیدی

پس از بررسی خواص فیزیکیوشیمیایی و رئولوژیکی اولئوژل‌های بر پایه مونوآسیل گلیسرول، حال به بررسی کاربردهای آنان در تولید محصولات چرب خواهیم پرداخت. از آن‌جا که قوام و پلاستیسیته چربی‌ها متأثر از درصد SFC آن‌ها می باشد، بنابراین محصولات چرب با درصد SFC مشابه ویژگی‌های یکسانی از خود نشان می‌دهند. بنابراین، منحنی SFC اولئوژل‌های تولیدی در کنار منحنی SFC برخی چربی‌های تجاری رسم شد. در صورتی‌که تطابق و هم‌پوشانی بین منحنی‌های موارد مذکور مشاهده شود، می‌توان از آن‌ها برای تولید چربی‌های تجاری استفاده نمود. در شکل ۴ منحنی‌های SFC برخی چربی‌های تجاری و همچنین اولئوژل‌های تولیدشده بر پایه مونوآسیل گلیسرول نمایش داده شده است. به‌منظور بررسی پتانسیل کاربردی

اولئوژل‌های تولیدی، منحنی درصد SFCآن‌ها در کنار برخی چربی‌های تجاری شامل، مارگارین ظرفی نرم، مارگارین نانوایی و شورتنینگ‌های چندمنظوره رسم گردید (Ghotra, 2002). پس از آن، منحنی‌های درصد SFC اولئوژل‌ها و چربی‌های تجاری که از یکدیگر افتراق زیادی داشت حذف گردید و در نهایت تنها منحنی‌های اولئوژل‌هایی باقی ماند که دارای تشابه بیشتری با چربی‌های تجاری هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مخلوط روغن کلزا و پالم استئارین در تولید مارگارین ظرفی نرم، اولئوژل‌های تولیدشده با سطح افزوده‌شده ۶ و ۹ درصد اولئوژلاتور با نسبت‌های (۰ به ۱۰۰)، (۲۰ به ۸۰)، (۴۰ به ۶۰)، (۶۰ به ۴۰)، (۸۰ به ۲۰) و (۱۰۰ به ۰) پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول در تولید مارگارین نانوایی و شورتنینگ چندمنظوره کاربرد خواهند داشت.

مارگارین ظرفی نرم[1] باید در خارج از یخچال و فریزر به راحتی پخش شود، از این‌رو نسبت چربی جامد به مایع کمتری در مقایسه با مارگارین سخت[2] دارد. شورتنینگ همه‌منظوره به دو شکل دارای امولسیفایر و فاقد آن تولید می‌شود. شورتنینگ‌های همه‌منظوره غیر امولسیونی به‌طور مشخص در آشپزی، تولید کراکرها و سرخ کردن استفاده می‌شوند، در حالی‌که انواع امولسیونی مشخصاً برای تولید کیک و شیرینی‌پزی مناسب هستند (در شرایطی که به دام انداختن هوا در سیستم شورتنینگ مورد نظر است). مارگارین‌های نانوایی باید بافت، تردی، احساس دهانی، قابلیت به دام انداختن هوا و انتقال حرارت مطلوب را در محصولات نانوایی فرآهم آورند (Ghotra, 2002).



شکل ٤-٤- منحنی درصد SFC اولئوژل‌های بر پایه مونوآسیل گلیسرول و برخی چربی‌های تجاری

نتیجه‌گیری

الزام برای حذف روغن‌های هیدروژنه و جایگزینی چربی‌های سالم‌تر با حداقل میزان اسیدهای چرب اشباع و ترانس، محققان و شرکت‌های تولید کننده را در چالشی برای شناسایی و جایگزینی روش‌های مناسب تولید روغن‌ها و چربی‌های سالم‌تر با پایداری بالاتر قرار داده است.با توجه به کاربرد بسیار فراوان شورتنینگ‌ها در صنایع قنادی و آردی و اشباعیت بالای آن و به‌دنبال آن ایجاد بیماری‌های مختلف مانند بیماری‌های قلبی- عروقی، استفاده از تکنیک اورگانوژل در تولید شورتنینگ با میزان اشباعیت پایین را می‌تواند پژوهشی نو در ارتقاء سلامت مصرف کنندگان تلقی نمود. لذا در این تحقیق، از تکنیک اورگانوژل¬سازی مبتنی بر مونو¬آسیل گلیسرول و پلی¬گلیسرول استر به‌منظور تولید شورتنینگ با میزان اشباعیت پایین استفاده شد.

1 Soft tub margarine

2 Stick margarine

بدین‌منظور، یک گروه مخلوط دوتایی متشکل از ۲۰٪ روغن پالم استئارین و۸۰٪ روغن کلزا ساخته شد، به‌طوری‌که درصد اسیدهای چرب اشباع در ترکیب نهایی ۲۰٪ گردید. اورگانوژلاتورهایی که ترکیبی از مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر بودند، در ۶ نسبت دوتایی (۰-۱۰۰)، (۲۰-۸۰)، (۴۰-۶۰)، (۶۰-۴۰)، (۸۰-۲۰) و (۱۰۰-۰) مخلوط و در سه غلظت ۳، ۶ و ۹ درصد (وزنی/ وزنی) به ترکیب روغن اولیه افزوده شدند و خواص فیزیکوشیمیایی آن‌ها مانند ترکیب اسیدهای چرب، نقطه‌ی ذوب لغزشی، درصد چربی جامد، عدد پراکسید، درصد اسید چرب آزاد و همچنین خواص رئولوژیکی شامل مدول‌های ویسکوز، الاستیک، کمپلکس و زاویه فاز بررسی گردیدند. نتایج نشان داد که اولئوژل‌های تولیدی پتانسیل بالقوه‌ای در تولید مارگارین‌های نانوایی و شورتنینگ‌های چندمنظوره دارند.

منابع

نادری، م.، فرمانی، م.، رشیدی، ل. (۱۳۹۴). بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی اولئوژل روغن آفتابگردان. علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. ۱۰ (۴)، ۱۲۵-۱۳۵.

AOCS 1996. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, Champaign, AOCS Press.

Basso, R. C., Ribeiro, A. P. B., masuchi, M. H., gioielli, L. A., Goncalves, L. A. G., Santos, A. O. D., Cardoso, L.P. Grimaldi, R. (2010). Tripalmitin and monoacylglycerols as modifiers in the crystallisation of palm oil. *Food Chemistry* 122**,** 1185-1192.

Caponio, F., Paradiso, V., Bruno, G., Summo, C., Pasqualone, A., Gomes, T. (2011). Do monoacylglycerols act as pro-oxidants in purified soybean oil? Evidence of a dose-dependent effect. *Italian Journal of Food Science*, 23, 239-245.

Chen, B., Mcclements, D. J., Decker, E. A. (2014). Impact of diacylglycerol and monoacylglycerol on the physical and chemical properties of stripped soybean oil. *Food Chemistry* 142, 365-372.

Colakoglu, A. S.(2007). Oxidation kinetics of soybean oil in the presence of monoolein, stearic acid and iron. *Food Chemistry* 101, 724–728.

Gaudino, N., Ghazani, S. M., Clark, S., Marangoni, A. G., Acevedo, N. C. (2019). Development of lecithin and stearic acid based oleogels and oleogel emulsions for edible semisolid applications. *Food research International*116, 79-89.

Ghotra, B. S., Dyal, S. D., NarineS. S. (2002). Lipid shortenings: a review. *Food Research International* 35 (10), 1015-1048.

Gomes, T., Caponio, F., Bruno, G., Summo, C., Paradiso, V. M. (2010). Effects of monoacylglycerols on the oxidative stability of olive oil.*Journal of the Science of Food and Agriculture*90, 2228–2232.

Husaini, Z. (1999). Conventional methods for food analysis. 3rd Edition. Shiraz University Press.

Jang, A., Bae, W., Hong, H., Hyeon, G., Lee, S. (2015). Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods. *Food Chemistry* 187, 525–529.

Jirasubkunakorn, W., Bell, A. E., Gordon, M. H., Smith, K.W.(2006) .Effect of variation in palm stearin: palm olein ratio onthe crystallisation of a low- trans shortening. *Food Chemistry* 103, 477-485.

Krishnamurthy, R. G. (1982). Cooking oils, salad oils and salad dressings. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 4th Edition. New York.

Krog, N. (2001).Crystallization Properties and Lyotropic Phase Behavior of Food Emulsifiers. in Garti N, Sato K. editors . Crystallization Processes in Fats and Lipids Systems, NewYork: Marcel Dekker Inc. 505-526.

Lupi, f. R., gabriele, d., facciolo, d., baldino, n., seta, l.,De Cindio, b. (2012). effect of organogelator and fat source on rheological properties of olive oil-based organogels.*Food research international* 46**,** 177-184.

Lupi, F. R., Gabriele, D., Greco, V., Baldino, N., Seta, L., De Cindio,B. (2013) A rheological characterisation of an olive oil/fattyalcohols organogel. *Food Research International*51(2), 510-517.

Martini, S., Herrera, M. L., Hartel, R. W. (2002). Effect of processing conditions on microstructure of milk fat fraction/sunflower oil blends.*Journal of the American Oil Chemists' Society*79(11), 1063-1068.

Maruyama, J. M., Soares, F. A., D'Agostinho, N. R., Goncalves, M. I.,Gioielli, L. A., Da Silva, R. C. (2014). Effects of emulsifier addition on the crystallization and melting behavior of palm olein and coconut oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62(10), 53-63.

Metzroth, D. J. (2004). Bailey's industrial oil and fatproducts.6thEdition. Vol 4. New Jersey: John Wiley & Sons و83-125.

Mistry, B. S., Min, D. B. (1988). Prooxidant Effects of Monoglycerides and Diglycerides in Soybean Oil.*Journal of Food Science*53, 1896–1897.

Naderi, M., Farmani, J., Rashidi, L. (2016). Structuring of Chicken Fat by Monoacylglycerols. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 93, 1221–1231.

Naderi, M., Farmani, J. Rashidi, L. (2018). The impact of saturated monoacylglycerols on the oxidative stability of Canola oil under various time/temperature conditions. *Grasas Aceites* 69, 267.

O'Brien,R. D.(2004) Fats and oils: Formulating and processing for applications, 2edEdition: crc press.

Ogütcüa, M. Yılmaz, E. (2014). Oleogels of virgin olive oil with carnauba wax and monoglyceride as spreadable products. *Grasas y Aceites* 65(3).

Paradiso, V. M., Caponio, F., Bruno, G., Pasqualone, A., Summo, C., Gomes, T. (2014). Complex role of monoacylglycerols in the oxidation of vegetable oils, different behaviors of soybean monoacylglycerols in different oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*62, 10776–10782.

Pernett,i M., Van Malssen, K., Kalnin, D., Flöter, E. (2007). Structuring edible oil with lecithin and sorbitan tri-stearate. *Food Hydrocolloid*21, 855-861.

Patel, A. R., Dewettinck, K. (2015). Comparative evaluation of structured oil systems: Shellac oleogel, HPMC oleogel, and HIPE gel. *European journal of lipid science and technology* 117 (11), 1772-1781.

Peyronel, F., Marangoni, A. G. (2014). In search of confectionary fat blends stable to heat: hydrogenated palm kernel oil stearin with sorbitan monostearate. *Food Research International* 55, 93-102.

Saberi, A., Lai, O. M., Miskandar, M. (2012). Melting and Solidification Properties of Palm-Based Diacylglycerol, Palm Kernel Olein, and Sunflower Oil in the Preparation of Palm-Based Diacylglycerol-Enriched Soft Tub Margarine. *Food and Bioprocess Technology.* 5**,** 1674-1685.

Tarrago-Trani, M. T., Philips, K. M., Lemar, L. E., Holden, M.(2006) .New and existing oils and fats used in products withreduced trans-fatty acid content. *Journal of the American Dietetic Association*106(6): 867-880.

Verstringe, S., Danthine, S., blecker, C., Depypere, F., Dewettinck. K. (2013). Influence of monopalmitin on the isothermal crystallization mechanism of palm oil. *Food Research International*51**,** 344-353.

Vichi, S., Pizzale, L., Conte, L. S., Buxaderas, S., Lopez-Tamames, E. (2003). Solid-phase microextraction in the analysis of virgin olive oil volatile fraction, modificationsinduced by oxidation and suitable markers of oxidative status. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*51, 6564–71.

Yi, B., Mi-Ja, K. 1., Su, Y., Lee, H. (2017). Physicochemical properties and oxidative stability of oleogels made of carnauba wax with canola oil or beeswax with grapeseed oil. *Food Science and Biotechnology* 26(1), 79-87.

Yılmaz, E., Öğütcü, M. (2015). The texture, sensory properties and stability of cookies prepared with wax oleogels.*Food and function6*(4), 1194-1204.

Zhang, Z., Wang, Y., Ma, X., Wang, E., Liu, M., Yan, R. (2015). Characterisation and oxidation stability of monoacylglycerols from partially hydrogenated corn oil.*Food Chemostry* 173, 70-79.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 187- 204

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۲۰۴-۱۸۷

Production and evaluation of physicochemical and rheological properties of monoacylglycerol and polyglycerol ester-based Oleogels as a low saturated shortening

R. Mahjoub[1], V. Hakimzadeh[1*], E. Ataye Salehi[1], J. Farmani[2]

Received: 2020.04.22
Accepted: 2020.06.06

Introduction: The solidification of edible oils via some techniques like hydrogenation is always accompanied by an increase in the amounts of saturated fatty acids (SFA) and trans fatty acids (TFA). Such fatty acids play a crucial role in cardiovascular diseases which put health of consumers at risk. Today, various techniques are applied to reduce the amounts of SFA and TFA in fatty-based products. These techniques are including the blending of some fats, esterification and recently oleogel system. In this study, some oleogel systems prepared by mixing monoacyleglycerol (MAG) and polyglycerol ester (PGE) and adding to a mixture of 20% palm stearin oil and 80% rapeseed oil to decrease saturation in shortening were studied.

Materials & Methods: This research was conducted to investigate the structuring effect of mono-acilglycerol (MAG) and polyglycerol ester (PGE) to formulate some fatty-based product. For this purpose, various binary mixtures (VBM) of PGE:MAG were added to base oils (80% Canola Oil and 20% Palmestearin Oil) at concentrations of 3, 6 and 9 (wt %) with ratios of 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20, 100:0.

Result and Discussion: The results showed that saturated fatty acid (SFA), slip melting point (SMP) and solid fat content (SFC) increased with an increase in the VBM of MAG. MAG did not affect peroxide value and the free fatty acids. Rancimat test presents contradictory results. The rheological analysis revealed that G", G', G* and tan δ of the base oil were increased to 10^5 Pa. With proper plasticity and low SFA, MAG-based fats can be applicable in the production of some fatty-based products like bakery margarine and all-purpose shortening.

Due to the necessity of reduction in SFA content and TFA content in fatty-based products, researchers and producers have prompted to identify the applicable techniques for producing healthy fats. This study was set up in order to introduce the structured fats with low-SFA/TFA suitable in the formulation of shortenings and margarine.

Keywords: Low-saturated Shortening, Oleogel, Monoacylglycerol, Polyglycerol ester, Physicochemical properties, Rheological properties.

1 Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran
2 Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, PO Box: 578.
(*Corresponding Author Email: v.hakimzadeh@yahoo.com)

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 205- 216

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۲۱۶-۲۰۵

مقاله علمی- پژوهشی

مقایسه اثرات صمغ‌های قدومه شیرازی و فارسی به‌عنوان هیدروکلوئید جایگزین چربی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی خامه صبحانه کم‌چرب

ریحانه داخته[۱]- محمدرضا خانی[۲*]- شهریار دبیریان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۶

چکیده

این تحقیق با هدف جایگزینی بخشی از چربی خامه صبحانه با استفاده از دو نوع صمغ قدومه شیرازی و فارسی انجام شد. بدین منظور میزان چربی خامه از ۲۵ درصد (در نمونه شاهد) به ۱۸ و ۱۵ درصد کاهش یافت و هر یک از این صمغ‌ها به‌طور جداگانه در مقادیر ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد (وزنی/ وزنی) در فرمولاسیون استفاده شدند. سپس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی نمونه‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر نوع صمغ و مقدار صمغ روی میزان pH، اسیدیته، ماده خشک، رطوبت، آب‌اندازی و ویسکوزیته نمونه‌های تولید شده معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). در هر دو نوع خامه (با ۱۵ و ۱۸ درصد چربی)، pH تیمار حاوی ۰/۴٪ صمغ قدومه شیرازی (۶/۸۱) به‌طور معنی‌داری بالاتر از pH نمونه شاهد (۶/۶۹) و دیگر تیمارها بود (P<۰/۰۵). درصد رطوبت نمونه شاهد (۶۸/۷٪) پایین‌تر از تیمارهای مورد بررسی (۷۸/۷٪-۷۳) بود اما درصد ماده خشک نمونه شاهد (۳۱/۳٪) بالاتر از تیمارها (۲۶/۹٪-۲۱/۲) بود و بیشترین ماده خشک در هر دو نوع خامه ۱۸ و ۱۵ درصد به تیمار حاوی ۰/۴٪ صمغ فارسی اختصاص یافت. ویسکوزیته تیمارهای خامه ۱۸٪ چربی حاوی ۰/۴٪ صمغ قدومه شیرازی (۲۱۹۱۵ سانتی پوآز) و صمغ فارسی (۲۱۹۱۹ سانتی پوآز) به‌طور معنی‌داری بالاتر از نمونه شاهد (۲۱۵۰۷ سانتی‌پوآز) و سایر تیمارها بود. همچنین آب‌اندازی در تیمارهای خامه ۱۸٪ چربی حاوی ۰/۴٪ صمغ قدومه و صمغ فارسی (صفر میلی‌لیتر) و نیز تیمار خامه ۱۵٪حاوی ۰/۴٪ صمغ قدومه شیرازی (صفر میلی‌لیتر) همانند نمونه شاهد مشاهده نگردید (P>۰/۰۵). در ویژگی‌های حسی نیز نوع صمغ صرفاً روی رنگ اثر معنی‌دار داشت و اثر نوع خامه و مقدار صمغ عمدتاً روی بافت و پذیرش کلی نمونه‌ها معنی‌دار بود. در مجموع خامه کم‌چرب ۱۸٪ چربی حاوی ۰/۴٪ صمغ قدومه و صمغ فارسی بهترین نتایج فیزیکوشیمیایی و حسی را در مقایسه با سایر تیمارها به‌خود اختصاص دادند.

واژه‌های کلیدی: جایگزین چربی، خامه صبحانه کم‌چرب، صمغ فارسی، صمغ قدومه شیرازی، هیدروکلوئید

مقدمه

خامه امولسیونی غنی از چربی شیر است که از خامه‌گیری شیر به‌دست می‌آید. انواع خامه در منابع متفاوت به شکل‌های مختلف بر اساس درصد چربی طبقه‌بندی می‌شوند. مطابق با تعریف سازمان ملی استاندارد ایران، میزان چربی در خامه نیم چرب یا سبک[۴] باید بیشتر از ۱۸ درصد وزنی/ وزنی و کمتر یا مساوی ۳۵ درصد وزنی/ وزنی بوده و میزان چربی خامه کم چرب[۵] باید بیشتر یا مساوی ۱۰ درصد وزنی/ وزنی و کمتر یا مساوی ۱۸ درصد وزنی/ وزنی باشد (ISIRI, 2019). در حقیقت خامه صبحانه[۶] با درصد چربی بین ۲۵ تا ۳۰ درصد جزء خامه نیم چرب به حساب آمده که با کاهش میزان چربی این نوع خامه به ۱۸ درصد یا کمتر می‌توان خامه کم‌چرب را تولید نمود (Bostan *et al.*, 2010).

به‌طور کلی مصرف مقادیر بیش از حد چربی می‌تواند منجر به بروز بیماری‌های قلبی و عروقی، چاقی و غیره شود. بنابراین جهت جلوگیری از وقوع این بیماری‌ها، تغییردر الگوهای تغذیه‌ای و انتخاب محصولات لبنی کم چرب با بهره‌گیری از جایگزین‌های چربی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به این منظور در برخی از تحقیقات از ترکیبات متفاوتی نظیر ژلاتین، نشاسته اصلاح شده و غیره جهت جایگزینی چربی و تولید انواع خامه کم‌چرب استفاده گردیده است (Farahnaki *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2014; Azizi *et al.*, 2016). اما از آن‌جا که محصولات لبنی پرچرب بافت مناسب‌تر و عطر و طعم بهتری دارند، بایستی که جهت تولید محصولات رژیمی

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳- مدیر تضمین کیفیت صنایع شیر ایران (پگاه)
(*-نویسنده مسئول: Email: m.khani@qodsiau.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.85367

4 Light cream
5 Low-fat cream
6 Table cream

کم چرب از جایگزین‌های چربی مناسب و با ویژگی‌های مطلوب استفاده نمود (Borrud *et al.*, 1994).

هیدروکلوئیدها به دلیل دارا بودن ویژگی‌های عملکردی مناسب می‌توانند در غلظت‌های کم سبب ایجاد قوام و بافت مناسب و افزایش پایداری شوند، همچنین برخی از آنها می‌توانند به‌عنوان امولسیفایر عمل کنند، تشکیل ژل دهند و کیفیت حسی محصولات غذایی را بهبود بخشند (Farahnaki *et al.*, 2010; Mashayekhi *et al.*, 2016). منابع بالقوه‌ای از هیدروکلوئیدها در کشورمان وجود دارد که از آن جمله می‌توان به دانه‌های شاهی، مرو، قدومه شهری و شیرازی اشاره نمود. این ترکیبات که حاوی مقادیر بالای صمغ هستند، در کنار صمغ‌های بومی دیگر نظیر صمغ فارسی از پتانسیل بالایی جهت تولید هیدروکلوئیدهای غذایی برای تولید محصولات لبنی کم‌چرب برخوردارند (Koocheki *et al.*, 2011).

دانه قدومه شیرازی با نام علمی *آلیسیوم هومولوکارپوم*[1] از گیاهان گلدار در خانواده *کروسیفرا*[2] به‌دست می‌آید (Hassan-Alizadeh & Khodaeiyan, 2016). عمدتاً دلیل استفاده از دانه قدومه، محتوای موسیلاژی آن است که به هنگام خیساندن دانه در آب تولید می‌شود. موسیلاژ حاصل شده بی‌رنگ، بی‌بو، بدون مزه و لزج و چسبناک می‌باشد (Koocheki *et al.*, 2009). نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی موسیلاژ دانه قدومه وجود ۸۸/۲۳ درصد قند، ۴/۶ درصد پروتئین و ۰/۱۸ درصد خاکستر را نشان داده است (Koocheki *et al.*, 2010). از صمغ قدومه شیرازی به‌عنوان جایگزین صمغ گوار در پاستیل و جهت بهبود خواص فیزیکی و پایداری خامه قنادی با ۳۳ درصد چربی استفاده شده و به‌عنوان یک افزودنی با ویژگی‌های مناسب معرفی گردیده است (Sadeghi *et al.*, 2015; Faraji *et al.*, 2015). صمغ مذکور در حالت هیدراته، رفتار غیرنیوتنی شل‌شونده با برش (سودوپلاستیک) از خود نشان می‌دهد (Hoffmann, 2011).

صمغ فارسی با نام علمی *آمیگدالوس اسکوپاریا*[3] صمغی است شفاف که از درختان بادام کوهی از خانواده گلسرخیان (*رزاسه*[4]) تراوش می‌شود و در زبان انگلیسی زدو[5] نامیده می‌شود. صمغ فارسی در اندازه‌ها و شکل‌های مختلف و در رنگ‌های سفید، زرد روشن، زرد نباتی، زرد نارنجی، قرمز و قهوه‌ای یافت می‌شود که علت آن تنها به ترکیبات شیمیایی صمغ نسبت داده شده است (Rahimi & Abbasi, 2013). کلسیم از جمله ترکیباتی است که برخی پژوهشگران آن را در تشکیل ژل موثر دانسته‌اند که مقدار آن در صمغ سفید بیشتر از انواع دیگر مشاهده شده است (Fadavi *et al.*, 2013). نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که صمغ فارسی بر ویژگی‌های ماست نظیر ویسکوزیته و آب‌اندازی اثرات بهتری نسبت به صمغ پکتین دارد و می‌تواند روی زنده‌مانی پروبیوتیک‌ها نیز موثر واقع شود (Ghasempour *et al.*, 2012; Fenderesi *et al.*, 2015). همچنین از صمغ فارسی به‌منظور بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی خامه زده شده قنادی و بهبود خواص کیفی دوغ به‌طور موفقیت آمیزی استفاده گردیده است (Nabizadeh *et al.*, 2014; Mashayekhi *et al.*, 2016; Najafi *et al.*, 2016).

با توجه به مطالب ذکر شده و اهمیت میزان کاهش چربی در محصولات لبنی و کاهش کالری‌زایی ناشی از آنها از یک طرف، و از سوی دیگر، ویژگی‌های مطلوب گزارش شده از هیدروکلوئیدهای بومی ایران، این مطالعه با هدف بررسی امکان جایگزینی چربی در فرمولاسیون خامه صبحانه با استفاده از دو نوع صمغ قدومه شیرازی و فارسی و مقایسه اثرات مقادیر مختلف آن‌ها روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی دو نوع خامه کم چرب انجام گردید.

مواد و روش‌ها

استخراج صمغ

دانه قدومه شیرازی از عطاری خریداری شد و به‌منظور استخراج صمغ دانه قدومه شیرازی، ابتدا دانه‌ها به‌طور دستی جهت حذف تمام ذرات خارجی تمیز شدند. به‌منظور استخراج موسیلاژ، دانه‌ها را با اتانول مطلق شستشو داده تا گرد و خاک روی دانه‌ها تمیز شوند. سپس دانه‌ها را زیر هود قرار داده تا الکل تبخیر شود. در مرحله بعد دانه و آب مقطر را با نسبت ۱ به ۶۰ و در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد (Koocheki *et al.*, 2010) مخلوط کرده و عمل همزدن به مدت ۱ ساعت به‌طور ملایم انجام شده و سپس به‌وسیله سانتریفوژ (Hettich مدل Rotofix 46H، آلمان) در ۱۲۰۰ دور در دقیقه، دانه و موسیلاژ از هم جدا شدند. موسیلاژ با استفاده از آون در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت یک شبانه روز خشک و سپس آسیاب گردید و در داخل ظرف شیشه‌ای تیره رنگ در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Koocheki *et al.*, 2009). همچنین لازم به ذکر است صمغ فارسی از شرکت کاراگام پارسیان به صورت آماده تهیه گردید. صمغ فارسی مورد استفاده در تحقیق حاضر، از نوع سفید بود که دارای میزان خاکستر ۱/۷ درصد، پروتئین ۰/۲۵ درصد، رطوبت ۱۲/۰۷ درصد و کربوهیدرات کل ۸۵/۹۸ درصد بود.

خامه صبحانه کم‌چرب

به‌منظور تولید خامه، پس از دریافت و تایید شیر ورودی در شرکت پگاه تهران و کاهش دمای آن به ۴ درجه سانتی‌گراد، شیر به جداکننده گریز از مرکز یا همان سپراتور ارسال شد. در دمای ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از نیروی گریز از مرکز و اختلاف

---

[1] *Alyssum homolocarpum*
[2] *Cruciferae*
[3] *Amygdalus scoparia*
[4] *Rosa ceae*
[5] Zedu

دانسیته‌ای که بین شیر و خامه وجود دارد چربی شیر جدا شده و از قسمت بالایی سپراتور خارج و به تانک‌های خامه منتقل شده و شیر بدون چربی از قسمت پایینی به تانک‌های شیر اسکیم انتقال داده شد. سپس خامه استحصالی توسط شیر اسکیم استاندارد و چربی در نمونه شاهد به میزان ۲۵ درصد و جهت تیمارها به میزان ۱۸ و ۱۵ درصد تنظیم شد و تنظیم درصد چربی به روش مربع پیرسون انجام پذیرفت. پس از استانداردسازی در این مرحله صمغ دانه قدومه شیرازی و صمغ فارسی هر یک به‌طور جداگانه در مقادیر ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد (وزنی/ وزنی) و سایر ترکیبات مطابق با تیماربندی و فرمولاسیون مندرج در جدول شماره ۱ به هر یک از دو نوع نمونه خامه کم‌چرب اضافه شدند. هموژنیزاسیون در فشار ۱۷۰ تا ۱۸۰ بار و دمای ۵۰ تا۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. سپس پاستوریزاسیون خامه در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. در مرحله بعدی خامه به تانک ذخیره پاستوریزه منتقل و به دستگاه بسته‌بندی ارسال شده و بسته‌بندی خامه در کوتاه‌ترین زمان ممکن و با دمای کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد و سریعاً به سردخانه با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شد (Hoffmann, 2011). متعاقباً آزمون‌های فیزیکوشیمیایی و حسی مورد نظر روی تمامی نمونه‌های تولیدی در سه تکرار انجام پذیرفت.

جدول ۱- فرمولاسیون نمونه‌های خامه

نمونه (تیمار)	خامه (٪)	شیر اسکیم (٪)	صمغ قدومه شیرازی (٪)	صمغ فارسی (٪)	شیر خشک و استابیلایزر (٪)
شاهد	۲۵	۷۴	–	–	۱
۱	۱۸	۸۰/۸	۰/۲	–	۱
۲	۱۸	۸۰/۷	۰/۳	–	۱
۳	۱۸	۸۰/۶	۰/۴	–	۱
٤	۱۸	۸۰/۸	–	۰/۲	۱
٥	۱۸	۸۰/۷	–	۰/۳	۱
٦	۱۸	۸۰/۶	–	۰/۴	۱
۷	۱۵	۸۳/۸	۰/۲	–	۱
۸	۱۵	۸۳/۷	۰/۳	–	۱
۹	۱۵	۸۳/۶	۰/۴	–	۱
۱۰	۱۵	۸۳/۸	–	۰/۲	۱
۱۱	۱۵	۸۳/۷	–	۰/۳	۱
۱۲	۱۵	۸۳/۶	–	۰/۴	۱

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های تولیدی

اسیدیته نمونه‌ها به روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال بر حسب درصد اسید لاکتیک و pH با استفاده از pHمتر (Mettler Toledo مجهز به الکترود MA235، سوئیس) اندازه‌گیری شد (ISIRI, 2007). درصد چربی نمونه‌ها با روش ژربر با استفاده از بوتیرومتر (Gerber، آلمان) و سانتریفوژ (Hettich، آلمان) اندازه‌گیری شد (ISIRI, 2011). درصد ماده خشک و درصد رطوبت نمونه‌ها توسط آون‌گذاری در دمای ۱۰۲ درجه سانتی‌گراد با استفاده از آون (Memmert، آلمان) اندازه‌گیری شد (ISIRI, 2019; ISIRI, 2015). ویسکوزیته نمونه‌های خامه تولیدی با استفاده از ویسکومتر (Brookfield مدل RV-DVII، آمریکا) در دمای ۹ درجه سانتی‌گراد و سرعت برش ۷۵ بر ثانیه تعیین گردید و بر حسب سانتی‌پوآز گزارش شد (Vanderghem *et al.*, 2007). میزان آب‌اندازی نمونه‌ها توسط سانتریفوژ (Hettich، آلمان) با دور ۱۰۵۸ rpm بر حسب میلی‌لیتر فاز آبی جدا شده از ۱۰ میلی‌لیتر نمونه اندازه‌گیری شد (Rafee *et al.*, 2006). کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق برای انجام آزمون‌ها ساخت شرکت مرک آلمان بودند.

ارزیابی حسی نمونه‌های تولیدی

ویژگی‌های حسی نمونه‌های تولیدی شامل رنگ، بافت، طعم، بو و پذیرش کلی، با روش هدونیک ۵ نقطه‌ای توسط ۷ نفر ارزیاب آموزش‌دیده در آزمایشگاه شرکت پگاه تهران مورد ارزیابی قرار گرفت و به هر ویژگی در هر نمونه امتیاز ۱ تا ۵ اختصاص یافت. بدین صورت که امتیاز ۵= خیلی خوب، امتیاز ۴= خوب، امتیاز ۳= متوسط، امتیاز ۲= ضعیف یا ناخوشایند و امتیاز ۱= خیلی ضعیف یا خیلی ناخوشایند در نظر گرفته شد (ISIRI, 1999).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نتایج آزمایشات در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار آنالیز شد. به‌منظور بررسی آماری داده‌های به‌دست آمده، از آنالیز واریانس یک طرفه و همچنین جهت مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن نتایج حاصله استفاده شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار SPSS version 16 انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

درصد چربی

با توجه به استاندارد کردن درصد چربی نمونه‌ها، بدیهی است که نوع خامه (شاهد با ۲۵ درصد چربی و تیمارها با ۱۸ و ۱۵ درصد چربی) روی نتایج درصد چربی تاثیر معنی‌دار داشت اما نوع و مقدار صمغ‌های مورد استفاده تاثیر معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵). به عبارت دیگر بجز نمونه شاهد که به‌طور طبیعی دارای درصد چربی بیشتری بوده و با تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بود، بین تیمارهای تهیه شده با ۱۸ درصد چربی و همچنین بین تیمارهای تهیه شده با ۱۵ درصد چربی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (P>۰/۰۵). همچنین در خامه‌های با ۱۸ درصد و ۱۵ درصد چربی، با افزایش درصد صمغ فارسی و صمغ قدومه شیرازی تفاوت آماری معنی‌داری در درصد چربی نمونه‌ها ملاحظه نگردید. در تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی صمغ فارسی مشخص شده است که درصد چربی در بخش محلول ۰/۲ درصد و در بخش نامحلول این صمغ ۰/۱۷ درصد بوده است و این‌طور به نظر می‌رسد که مقادیر ناچیز درصد چربی صمغ مذکور در درصد چربی نمونه‌های خامه تولیدی اختلاف معنی‌داری را ایجاد نکرده است (Rahimi & Abbasi, 2013). سیف‌الدین و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی تاثیر به‌کارگیری صمغ قدومه حاوی غلظت‌های مختلف (۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد) به‌عنوان جایگزین بخشی از چربی در فرمولاسیون سس مایونز بیان نمودند که درصد چربی نمونه‌ها با افزایش مقدار صمغ به‌کار برده شده کاهش یافت که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت ندارد و این عدم همخوانی را می‌توان به مقادیر بیشتر مورد استفاده از صمغ قدومه نسبت داد.

درصد ماده خشک

نتایج درصد ماده خشک نمونه‌ها (جدول ۲) حاکی از آن بود که اثر نوع و مقدار صمغ و همچنین نوع خامه بر میزان ماده خشک نمونه‌ها معنی‌دار می‌باشد (P<۰/۰۵). همان‌طور که ملاحظه می‌گردد ماده خشک نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر از دیگر تیمارها بوده و ماده خشک تیمارهای خامه ۱۸ درصد چربی به‌طور معنی‌داری بالاتر از تیمارهای خامه ۱۵ درصد چربی است. در هر دو نوع تیمار خامه با ۱۵ و ۱۸ درصد چربی، با افزایش درصد صمغ قدومه شیرازی و صمغ فارسی مقدار ماده خشک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوریکه بالاترین میزان ماده خشک در خامه ۱۸ و ۱۵ درصد چربی به تیمار حاوی ۰/۴ درصد صمغ فارسی اما پائین‌ترین میزان ماده خشک در خامه ۱۸ درصد چربی به تیمار حاوی ۰/۲ درصد صمغ قدومه شیرازی و در خامه ۱۵ درصد چربی به تیمار حاوی ۰/۲ درصد صمغ فارسی اختصاص یافت. نتایج پژوهش حاضر با نتایج حسنعلی‌زاده و خدائیان (۲۰۱۶) و امیری‌عقدایی و همکاران (۲۰۱۰) که به‌ترتیب با افزایش مقدار استفاده از صمغ قدومه شیرازی و هیدروکلوئید دانه اسفرزه در نمونه‌های ماست باعث افزایش درصد ماده خشک محصول شدند مطابقت دارد.

درصد رطوبت

در نتایج درصد رطوبت نمونه‌ها (جدول ۲) اثر نوع و مقدار صمغ و همچنین نوع خامه بر میزان رطوبت نمونه‌ها معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). به‌طوریکه نمونه شاهد با دارا بودن بیشترین چربی دارای کمترین میزان رطوبت در بین نمونه‌ها می‌باشد (P<۰/۰۵). در تیمارهای خامه با ۱۸ درصد چربی، با افزایش مقادیر صمغ قدومه شیرازی و صمغ فارسی، رطوبت تیمارها به طور معنی‌داری (به غیر از تیمارهای حاوی ۰/۳ و ۰/۴ درصد صمغ فارسی) کاهش یافت (P<۰/۰۵). در تیمارهای خامه با ۱۵ درصد چربی نیز با افزایش درصد صمغ قدومه شیرازی و صمغ فارسی، هرچند میزان رطوبت تیمارها کاهش یافت اما عمدتاً اختلاف بین تیمارها از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵). این نتایج به علت تفاوت در محتوای چربی نمونه‌های خامه و نوع و مقدار متفاوت صمغ مورد استفاده می‌باشد که در برخی موارد با جذب مقادیر بیشتر آب منجر به کاهش رطوبت نمونه شده‌اند (Nabizadeh *et al.*, 2014). به‌طور معمول محصولات لبنی با مقدار و محتوای چربی بیشتر دارای میزان رطوبت کمتری هستند که با کاهش میزان چربی جهت تولید محصولات کم‌چرب، به علت افزایش نسبت پروتئین به چربی متعاقباً محتوای رطوبت افزایش می‌یابد و جایگزین‌های چربی بسته به نوع و مقدارشان و متناسب با میزان چربی محصول می‌توانند تا حدودی با آب اتصال برقرار کنند و با خاصیت جذب و نگهداری آب سبب کاهش رطوبت شوند (Nateghi *et al.*, 2012; Jooyandeh *et al.*, 2016). به‌طور کلی خامه‌های با ۱۸ درصد چربی، به علت داشتن چربی بیشتر، درصد رطوبت کمتری نسبت به خامه‌های با ۱۵ درصد چربی داشتند. همچنین نتایج تحقیق حاکی از آن است که صمغ فارسی در مقایسه با صمغ قدومه شیرازی در مقادیر مشابه در خامه ۱۸ درصد چربی، به‌طور معنی داری از درصد رطوبت کمتری برخوردار بوده است که می‌تواند به میزان بیشتر جذب آب توسط صمغ فارسی در مقدار چربی بیشتر دلالت داشته باشد. این نتایج با نتایج کسب شده توسط نجفی و همکاران (۲۰۱۶) که با

افزایش مقدار صمغ زدو در دوغ میزان محتوای رطوبت کاهش یافت همخوانی دارد.

جدول ۲- نتایج آزمون‌های شیمیایی درصد ماده خشک و رطوبت نمونه‌های خامه صبحانه کم چرب و شاهد

نمونه ها	ماده خشک (٪)		رطوبت (٪)	
	خامه ۱۸ ٪	خامه ۱۵ ٪	خامه ۱۸ ٪	خامه ۱۵ ٪
خامه حاوی ۰/۲٪ صمغ قدومه	۲۵/۳۰ ±۰/۰۱ Ga	۲۱/۴۴ ±۰/۰۳ Fb	۷۴/۷۰ ±۰/۰۱ Ab	۷۸/۵۶ ±۰/۰۳ ABa
خامه حاوی ۰/۳٪ صمغ قدومه	۲۵/۹۱ ±۰/۰۱ Fa	۲۱/۶۱ ±۰/۰۳ Db	۷۴/۰۸ ±۰/۰۱ Bb	۷۸/۳۸±۰/۰۳ ABCa
خامه حاوی ۰/٤٪ صمغ قدومه	۲۶/۵۱ ±۰/۰۵ Da	۲۱/۸۳ ±۰/۰۲ Cb	۷۳/۴۸ ±۰/۰۱ Cb	۷۸/۱۶ ±۰/۰۲ BCa
خامه حاوی ۰/۲٪ صمغ فارسی	۲۶/۳۰ ±۰/۰۱ Ea	۲۱/۲۸ ±۰/۰۱ Gb	۷۳/۶۹ ±۰/۰۱ Cb	۷۸/۷۱ ±۰/۰۱ Aa
خامه حاوی ۰/۳٪ صمغ فارسی	۲۶/۶۵ ±۰/۰۴ Ca	۲۱/۵۴ ±۰/۰۱ Eb	۷۳/۳۴ ±۰/۰۴ Db	۷۸/۴۶±۰/۰۱ ABCa
خامه حاوی ۰/٤٪ صمغ فارسی	۲۶/۹۲ ±۰/۰۱ Ba	۲۱/۹۲ ±۰/۰۱ Bb	۷۳/۰۸ ±۰/۰۱ Db	۷۸/۰۸ ±۰/۰۱ Ca
خامه شاهد ۲۵ ٪ چربی	۳۱/۳۰ ±۰/۰۲ Aa	۳۱/۳۰ ±۰/۰۲ Aa	۶۸/۷۰ ±۰/۵۶ Ea	۶۸/۷۰ ±۰/۵۶ Da

* حروف بزرگ متفاوت (A-G) در هر ستون و حروف کوچک متفاوت (a-b) در هر ردیف برای هر فاکتور اندازه‌گیری شده (ماده خشک و رطوبت) نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار می باشد (P<۰/۰۵).

اسیدیته

نتایج درصد اسیدیته نمونه‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد اثر نوع صمغ (قدومه شیرازی و فارسی) و مقدار صمغ (۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد) بر اسیدیته تیمارها معنی‌دار می‌باشد اما نوع خامه اثر معنی‌داری نداشت. بدین صورت که در هر دو نوع تیمار خامه با ۱۸ و ۱۵ درصد چربی، اسیدیته تیمار ۰/۴ درصد صمغ فارسی به‌طور معنی‌داری بالاتر از دیگر تیمارها اما کمتر از نمونه شاهد بود (P<۰/۰۵). در خامه‌های با ۱۸درصد و ۱۵ درصد چربی با افزایش مقادیر صمغ قدومه شیرازی و صمغ فارسی به‌ترتیب اسیدیته تیمارها کاهش و افزایش یافت (P<۰/۰۵). نتایج به‌دست آمده در ارتباط با افزودن صمغ فارسی به خامه با نتایج حاصل از تحقیق قاسم‌پور و همکاران (۲۰۱۲) در بهینه‌سازی تولید ماست پروبیوتیک حاوی صمغ فارسی و همچنین تحقیق نبی‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه اثر استفاده از صمغ زدو بر ویژگی‌های کیفی دوغ، همخوانی داشت که بیان نمودند اسیدیته نمونه‌ها با افزودن و افزایش مقدار صمغ فارسی به طور معنی‌داری افزایش یافته است. علت مشاهده این نتایج به اسیدی بودن صمغ فارسی با میانگین pH برابر ۴/۴ مربوط است (Rahimi & Abbasi, 2013). در یک تحقیق با افزایش میزان صمغ قدومه شیرازی در نمونه‌های ماست همزده و قالبی میزان اسیدیته افزایش یافت که علت آن افزایش ماده خشک محصول و تحریک فعالیت متابولیکی استارتر اسیدزا توسط صمغ بیان گردید (Hassan-Alizadeh & Khodaeiyan, 2016). با این حال در برخی از تحقیقات افزودن هیدروکلوئیدها به محصولات لبنی تأثیر چندانی بر اسیدیته نمونه‌ها نداشته است که این عدم همخوانی را می‌توان به تفاوت در نوع و مقدار صمغ‌های به‌کار برده شده نسبت داد (Amiri-Aghdaei *et al.*, 2010; Fenderesi *et al.*, 2015).

pH

نتایج میزان pH نمونه‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد اثر نوع صمغ (قدومه شیرازی و فارسی) و مقدار صمغ (۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد) بر pH تیمارها معنی‌دار می‌باشد اما نوع خامه اثر معنی‌داری نداشت. به‌طوریکه pH تیمارهای خامه ۱۵ درصد و ۱۸ درصد چربی حاوی درصدهای بالاتر صمغ قدومه شیرازی (۰/۳ و ۰/۴ درصد) به‌طور معنی‌داری بالاتر از pH نمونه شاهد و دیگر تیمارها بود (P<۰/۰۵). که می‌توان آن را به بالاتر بودن pH صمغ قدومه شیرازی نسبت داد که مقادیر بیشتر مورد استفاده از آن در فرمولاسیون خامه، pH بالاتری ایجاد نموده است. در حالی‌که پایین‌ترین pH در خامه ۱۸ درصد چربی به تیمار حاوی ۰/۲ ٪ صمغ فارسی و در خامه ۱۵ درصد چربی به هر سه تیمار حاوی درصدهای مختلف صمغ فارسی و ۰/۲٪ صمغ قدومه شیرازی اختصاص یافت. اما در مجموع pH نمونه شاهد (۶/۶۹) به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از دیگر تیمارها بود (P<۰/۰۵). نتایج این پژوهش با نتایج تحقیقات دیگری نظیر بهینه‌سازی تولید ماست پروبیوتیک حاوی صمغ زدو و بررسی تاثیر استفاده از صمغ زدو بر ویژگی‌های کیفی دوغ که بیان نمودند با افزودن و افزایش میزان صمغ زدو، pH نمونه‌ها به‌طورمعنی‌داری تغییر نیافته است همخوانی دارد و این امر به ظرفیت بافری صمغ زدو، در نتیجه افزایش ماده جامد و خاصیت آمفوتری پروتئین‌ها نسبت داده می‌شود (Ghasempour *et al.*, 2012; Nabizadeh *et al.*, 2014). مطابق با استاندارد ملی شماره ۱۹۱ (۲۰۱۹)، pH نمونه‌های خامه می‌بایست در محدوده ۶/۸-۶/۵

باشد و نتایج حاصل از تحقیق حاضر بیانگر این مطلب بود که تمامی تیمارهای خامه ۱۸ و ۱۵ درصد چربی محتوی درصدهای مختلف صمغ قدومه شیرازی و صمغ فارسی دارای pH در محدوده مجاز استاندارد بودند.

جدول ۳- نتایج میزان اسیدیته و pH نمونه‌های خامه صبحانه کم چرب و شاهد

نمونه ها	اسیدیته (٪)		pH	
	خامه ۱۸ ٪	خامه ۱۵ ٪	خامه ۱۸ ٪	خامه ۱۵ ٪
خامه حاوی ۰/۲٪ صمغ قدومه	۰/۱۲۳ ±۰/۰۰ Ca	۰/۱۲۳ ±۰/۰۰ Ca	۶/۷۹ ±۰/۰۰ Ba	۶/۷۲ ±۰/۰۰ Ba
خامه حاوی ۰/۳٪ صمغ قدومه	۰/۱۲۳ ±۰/۰۰ Ca	۰/۱۲۱ ±۰/۰۰ Da	۶/۸۰ ±۰/۰۰ Aa	۶/۸۰ ±۰/۰۰ Aa
خامه حاوی ۰/٤٪ صمغ قدومه	۰/۱۲۱ ±۰/۰۰ Da	۰/۱۲۱ ±۰/۰۰ Da	۶/۸۱ ±۰/۰۰ Aa	۶/۸۱ ±۰/۰۰ Aa
خامه حاوی ۰/۲٪ صمغ فارسی	۰/۱۲۱ ±۰/۰۰ Da	۰/۱۲۰ ±۰/۰۰ Ea	۶/۷۰ ±۰/۰۰ Db	۶/۷۲ ±۰/۰۰ Ba
خامه حاوی ۰/۳٪ صمغ فارسی	۰/۱۲۱ ±۰/۰۰ Da	۰/۱۲۱ ±۰/۰۰ Da	۶/۷۲ ±۰/۰۰ Ca	۶/۷۱ ±۰/۰۰ Ca
خامه حاوی ۰/٤٪ صمغ فارسی	۰/۱۲۶ ±۰/۰۰ Ba	۰/۱۲۶ ±۰/۰۰ Ba	۶/۷۲ ±۰/۰۰ Ca	۶/۷۲ ±۰/۰۰ Ba
خامه شاهد ۲۵ ٪ چربی	۰/۱۲۷ ±۰/۰۰ Aa	۰/۱۲۷ ±۰/۰۰ Aa	۶/۶۹ ±۰/۰۰ Ea	۶/۶۹ ±۰/۰۰ Da

* حروف بزرگ متفاوت (A-G) در هر ستون و حروف کوچک متفاوت (a-b) در هر ردیف برای هر فاکتور اندازه‌گیری شده (اسیدیته و pH) نشاندهنده اختلاف آماری معنی‌دار می باشد (P<۰/۰۵).

آب‌اندازی

نتایج آب‌اندازی نمونه‌ها (جدول ۴) حاکی از آن بود که اثر نوع و مقدار صمغ مورد استفاده و همچنین نوع خامه تولیدی بر میزان آب‌اندازی نمونه‌ها معنی‌دار می‌باشد (P<۰/۰۵). همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، در تیمارهای خامه ۱۸ درصد چربی حاوی ۰/۳ و ۰/۴ درصد صمغ قدومه شیرازی و ۰/۴ درصد صمغ فارسی و در تیمار خامه ۱۵ درصد چربی حاوی ۰/۴ درصد صمغ قدومه شیرازی همانند نمونه شاهد، آب‌اندازی مشاهده نگردید. به عبارت دیگر، در خامه‌های با ۱۵ و ۱۸ درصد چربی، با افزایش مقادیر صمغ قدومه شیرازی و صمغ فارسی، آب‌اندازی نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که به علت افزایش بیشتر ماده جامد و افزایش بیشتر خاصیت جذب و نگهداری آب می‌باشد. زیرا با افزایش غلظت صمغ، به علت درگیر شدن مولکول‌های آب در شبکه ژلی تشکیل شده توسط صمغ و افزایش ویسکوزیته محصول، میزان آب‌اندازی به شدت کاهش می‌یابد (Azizi *et al.*, 2016). از طرف دیگر، تیمارهای حاوی صمغ قدومه شیرازی در مقایسه با صمغ فارسی در مقادیر مشابه به کار برده شده در خامه ۱۵ درصد چربی، به طور معنی‌داری از میزان آب‌اندازی کمتری برخوردار بودند اما در خامه ۱۸ درصد چربی (به غیر از تیمارهای حاوی ۰/۲ درصد صمغ) این اختلاف عمدتاً معنی‌دار نبود. صمغ‌ها به دلیل ساختار متفاوت خود می‌توانند رفتار متفاوتی را در اتصال با مولکول‌های آب از خود نشان‌دهند و باعث کاهش جریان آب در فضای ماتریکس شوند (Rafiq *et al.*, 2020). همچنین نتایج نشان داد که در تمامی نمونه‌های خامه ۱۵ درصد چربی محتوی درصدهای مختلف صمغ فارسی و صمغ قدومه شیرازی (به غیر از تیمار حاوی ۰/۴ درصد قدومه)، میزان آب‌اندازی به‌طور معنی‌داری بالاتر از خامه ۱۸ درصد چربی بود (P<۰/۰۵). نتایج حاصل از پژوهش حاضر با یافته‌های محققین دیگر که از صمغ در فرمولاسیون محصولات لبنی متفاوت نظیر ماست، دوغ و خامه قنادی استفاده کردند و گزارش نمودند که افزودن صمغ منجر به کاهش آب‌اندازی شده و مقادیر بالاتر صمغ و افزایش غلظت این هیدروکلوئیدها سبب کاهش قابل توجه سرم خارج شده می‌گردد، مطابقت دارد (Ghasempour *et al.*, 2012; Mashayekhi *et al.*, 2016; Najafi *et al.*, 2016).

ویسکوزیته

در نتایج ویسکوزیته نمونه‌ها (جدول ۴) همانند نتایج میزان آب اندازی، اثر نوع و مقدار صمغ و همچنین نوع خامه بر میزان ویسکوزیته معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). به‌طوریکه ویسکوزیته تیمارهای خامه ۱۸ درصد چربی حاوی ۰/۴ درصد صمغ قدومه شیرازی و ۰/۴ درصد صمغ فارسی به طور معنی‌داری بالاتر از نمونه شاهد و سایر تیمارها بود اما نمونه شاهد از میزان ویسکوزیته بالاتری در مقایسه با تیمارهای خامه ۱۵ درصد چربی برخوردار بود (P<۰/۰۵). از طرف دیگر، در خامه‌های با ۱۵ و ۱۸ درصد چربی، با افزایش مقادیر صمغ قدومه شیرازی و صمغ فارسی، ویسکوزیته نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین تیمارهای حاوی صمغ قدومه شیرازی عمدتاً در مقایسه با صمغ فارسی در مقادیر مشابه به‌کار برده شده، به‌طور معنی‌دار از میزان ویسکوزیته بالاتری برخوردار بودند. در بررسی رفتار رئولوژیکی مخلوط صمغ‌های قدومه شیرازی، فارسی، کتیرا و خرنوب

مشخص شده است که در تنش برشی برابر، ویسکوزیته ظاهری ایجاد شده توسط صمغ قدومه شیرازی بیشتر از ویسکوزیته ظاهری صمغ فارسی بوده است. همچنین ضریب قوام (K) صمغ قدومه شیرازی و صمغ فارسی به‌ترتیب ۰/۷۷ $Pa.s^n$ و ۰/۱۸ گزارش شده‌اند (Mostafavi *et al.*, 2017). لازم به ذکر است در تمامی تیمارهای خامه ۱۸ درصد چربی محتوی درصدهای مختلف صمغ فارسی و صمغ قدومه شیرازی، میزان ویسکوزیته نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری بالاتر از خامه ۱۵ درصد بود که این امر را می‌توان به نقش موثرتر چربی در ویسکوزیته خامه نسبت داد.

نتایج حاصل از تحقیق حاضر با نتایج قاسم‌پور و همکاران (۲۰۱۲) در بهبود ویسکوزیته ماست قالبی کم چرب با استفاده از صمغ فارسی به عنوان جایگزین چربی و نتایج فندرسی و همکاران (۲۰۱۵) در زمینه افزایش ویسکوزیته نمونه‌های ماست با اضافه کردن صمغ زدو و همچنین با یافته‌های مشایخی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی صمغ فارسی در فرمولاسیون خامه قنادی که گزارش نمودند ویسکوزیته ظاهری خامه قبل از هوادهی، در تمامی نمونه‌ها با افزایش سرعت برشی، به طور پیوسته افزایش یافت و در یک سرعت برشی ثابت، با افزایش مقدار هیدروکلوئید مصرفی افزایش یافت همخوانی دارد. همچنین نتایج مشاهده شده توسط سیف‌الدین و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی سس مایونز کم چرب تهیه شده با صمغ قدومه شهری و کنسانتره پروتئین آب پنیر که گزارش نمودند با افزودن صمغ قدومه شهری به عنوان جانشین بخشی از روغن، ویسکوزیته مجددا افزایش یافته و به نمونه با چربی کامل نزدیک شده است با نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر مطابقت دارد.

جدول ٤- نتایج آزمون‌های فیزیکی میزان آب‌اندازی و ویسکوزیته نمونه‌های خامه صبحانه کم‌چرب و شاهد

نمونه ها	آب اندازی (میلی‌لیتر)		ویسکوزیته (سانتی‌پوآز)	
	خامه ۱۸ ٪	خامه ۱۵ ٪	خامه ۱۸ ٪	خامه ۱۵ ٪
خامه حاوی ۰/۲٪ صمغ قدومه	۱/۶۰ ±۰/۰۱ Ab	۲/۲۶ ±۰/۰۵ Ba	۱۵۵۱۴/۰۰ ± ۱۱/۵۴ Ea	۱۳۹۹۳/۵۶ ± ۱/۷۳ Eb
خامه حاوی ۰/۳٪ صمغ قدومه	۰/۰۰ ±۰/۰۰ Cb	۰/۴۵ ±۰/۰۰ Da	۱۸۹۰۸/۰۰ ± ۱۲/۴۲ Ca	۱۵۳۰۴/۳۸ ± ۴/۶۱ Cb
خامه حاوی ۰/٤٪ صمغ قدومه	۰/۰۰ ±۰/۰۰ Ca	۰/۰۰ ±۰/۰۰ Fa	۲۱۹۱۵/۴۸ ± ۵/۱۹ Aa	۱۷۸۲۷/۱۶ ± ۲۳/۶۷ Bb
خامه حاوی ۰/۲٪ صمغ فارسی	۱/۱۳ ±۰/۰۱ Bb	۳/۷۰ ±۰/۰۰ Aa	۱۵۱۹۷/۶۹ ± ۷۲/۰۵ Fa	۱۱۹۱۹/۰۰ ± ۴/۱۶ Gb
خامه حاوی ۰/۳٪ صمغ فارسی	۰/۵۶ ±۰/۰۵ Cb	۲/۱۶ ±۰/۰۵ Ca	۱۸۴۳۳/۳۴ ± ۲۸/۸۸ Da	۱۳۷۹۱/۰۰ ± ۰/۵۷ Fb
خامه حاوی ۰/٤٪ صمغ فارسی	۰/۰۰ ±۰/۰۰ Cb	۰/۳۱ ±۰/۰۱ Ea	۲۱۹۱۹/۰۸ ± ۶/۳۵ Aa	۱۴۹۲۴/۰۰ ± ۸۴/۳۲ Db
خامه شاهد ۲۵ ٪ چربی	۰/۰۰ ±۰/۰۰ Ca	۰/۰۰ ±۰/۰۰ Fa	۲۱۵۰۷/۰۰ ± ۸/۰۸ Ba	۲۱۵۰۷/۰۰ ± ۸/۰۸ Aa

* حروف بزرگ متفاوت (A-G) در هر ستون و حروف کوچک متفاوت (a-b) در هر ردیف برای هر فاکتور اندزه‌گیری شده (آب‌اندازی و ویسکوزیته) نشاندهنده اختلاف آماری معنی‌دار می باشد (P<۰/۰۵).

ویژگی‌های حسی

نتایج ارزیابی حسی شامل رنگ، بو، طعم، بافت و پذیرش کلی در جدول ۵ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نمونه شاهد عمدتاً بالاترین امتیازات ویژگی‌های حسی را به‌ویژه در مقایسه با تیمارهای خامه ۱۵ درصد به‌خود اختصاص داد. زیرا به‌طور کلی میزان چربی در محصولات لبنی نقش مهم و موثری را در رنگ، بافت و طعم و مزه محصول ایفا می‌کند (Saddy-Lafta *et al.*, 2019). در ارزیابی رنگ نمونه‌ها مشخص گردید که صرفاً اثر نوع صمغ (قدومه شیرازی و فارسی) در آنالیز واریانس معنی‌دار بوده (P<۰/۰۵) اما مقدار صمغ و نوع خامه اثر معنی‌داری بر رنگ نداشتند. رنگ خامه بایستی به رنگ سفید یا سفید مایل به کرم باشد (ISIRI, 1999). همان‌طور که مشاهده می‌شود، تمامی تیمارهای تولیدی در این تحقیق از امتیاز رنگی خیلی خوب/ خوب (۴/۱۴ تا ۵) برخوردار بودند و عمدتاً با یکدیگر و نمونه شاهد اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند (P>۰/۰۵). با این حال، تیمارهای خامه حاوی صمغ فارسی در مقایسه با صمغ قدومه شیرازی، امتیازات بالاتری را به‌خود اختصاص دادند اما اختلاف آماری آنها (به‌غیر از تیمار ۰/۴ درصد صمغ قدومه در خامه ۱۸ درصد) عمدتاً معنی‌دار نبود. در تیمارهای خامه با ۱۸ درصد چربی با افزایش مقدار صمغ قدومه شیرازی و در تیمارهای خامه با ۱۵ درصد چربی با افزایش مقدار صمغ فارسی، امتیاز رنگ نمونه‌ها کاهش یافت که این کاهش رنگ از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. به‌طور کلی اختلاف آماری معنی‌داری بین رنگ تیمارهای خامه ۱۸ درصد چربی با خامه ۱۵ درصد چربی ملاحظه نشد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج حسنعلی‌زاده و خدائیان (۲۰۱۶) که با افزایش میزان صمغ قدومه شیرازی امتیاز مربوط به رنگ ماست میوه ای کاهش یافت و نتایج نجفی و همکاران (۲۰۱۶) که با افزایش صمغ زدو امتیاز رنگ مربوط به نمونه‌های دوغ به طور معنی‌داری کاهش یافت مطابقت نداشت که این امر می‌تواند به علت تفاوت در نوع محصول و ترکیبات تشکیل دهنده آن و نیز مقادیر مختلف صمغ‌های مورد مطالعه باشد. صمغ فارسی دارای ظاهری شفاف تا نیمه شفاف است (Abbasi & Mohammadi,

(2013 که در مقادیر استفاده شده در خامه کم‌چرب در تحقیق حاضر سبب کاهش معنی‌دار امتیاز رنگ نشده است.

در ارزیابی ویژگی‌های بو و طعم مشخص گردید که اثر هیچ یک از متغیرهای مورد بررسی شامل نوع و مقدار صمغ و نوع خامه تولیدی روی این ویژگی‌ها معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵) زیرا صمغ‌های فارسی و قدومه شیرازی بدون طعم و بوی خاص می‌باشند (Koocheki *et al.*, 2009; Abbasi & Mohammadi, 2013). در این تحقیق، نمونه شاهد بالاترین امتیاز بو و طعم (امتیاز ۵) را به‌خود اختصاص داد اما سایر تیمارها نیز از امتیازات خوبی (بالای ۴) برخوردار بودند و عمدتاً با نمونه شاهد اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند (P>۰/۰۵). از نظر بو، تیمارهای خامه حاوی صمغ فارسی در مقایسه با صمغ قدومه شیرازی از امتیازات بالاتری برخوردار بودند، هرچند اکثرا اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نگردید. صادقی و همکاران (۲۰۱۵) صمغ دانه قدومه شیرازی را در مقادیر ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد جایگزین صمغ گوار در پاستیل بادام نمودند و گزارش کردند که در درصدهای بالای صمغ قدومه شیرازی، طعم و بوی تندی ایجاد شده است که می‌توان این عدم همخوانی را به تفاوت در مقادیر بکار برده شده این صمغ نسبت داد. اما نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر با یافته‌های مشایخی و همکاران (۲۰۱۶) در عدم مشاهده اختلاف آماری معنی‌دار در طعم و بوی نمونه‌های خامه زده شده حاوی صمغ فارسی و نتایج فندرسی و همکاران (۲۰۱۵) در بی تاثیر بودن افزودن صمغ زدو بر طعم و بوی ماست همخوانی دارد.

جدول ۵- نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های خامه صبحانه کم چرب و شاهد

نمونه ها	رنگ		بو		طعم		بافت		پذیرش کلی	
	خامه ۱۸درصد	خامه ۱۵درصد	خامه ۱۸درصد	خامه ۱۵درصد	خامه ۱۸درصد	خامه ۱۵درصد	خامه ۱۸درصد	خامه ۱۵درصد	خامه ۱۸درصد	خامه ۱۵درصد
خامه حاوی ۰/۲٪ صمغ قدومه	۴/۷۱ ABa	۴/۳۳ Ba	۴/۷۱ ABa	۴/۵۰ ABa	۴/۷۱ Aa	۴/۸۳ ABa	۲/۰۰ Ea	۱/۰۰ Db	۳/۱۴ Ca	۲/۵۰ BCa
خامه حاوی ۰/۳٪ صمغ قدومه	۴/۴۲ ABa	۴/۲۸ Ba	۴/۲۸ Ba	۴/۲۸ Ba	۴/۵۷ Aa	۴/۷۱ABCa	۳/۰۰ CDa	۱/۴۲ CDb	۳/۸۵ Ba	۲/۵۷ BCb
خامه حاوی ۰/٤٪ صمغ قدومه	۴/۱۴ Ba	۴/۴۲ABa	۴/۵۷ ABa	۴/۵۷ ABa	۴/۷۱ Aa	۴/۴۲ABCa	۵/۰۰ Aa	۲/۵۷ Bb	۵/۰۰ Aa	۳/۰۰ Bb
خامه حاوی ۰/۲٪ صمغ فارسی	۵/۰۰ Aa	۴/۸۵ABa	۴/۷۱ ABa	۴/۷۱ ABa	۴/۷۱ Aa	۴/۱۴ Ca	۲/۴۲ DEa	۱/۰۰ Db	۳/۴۲BCa	۲/۱۴ Cb
خامه حاوی ۰/۳٪ صمغ فارسی	۵/۰۰ Aa	۴/۷۱ABa	۴/۸۵ Aa	۴/۷۱ ABa	۴/۷۱ Aa	۴/۱۴ Ca	۳/۱۴ Ca	۱/۸۵ Cb	۳/۷۱ Ba	۲/۴۲ Cb
خامه حاوی ۰/٤٪ صمغ فارسی	۵/۰۰ Aa	۴/۷۱ABa	۴/۸۵ Aa	۴/۷۱ ABa	۴/۷۱ Aa	۴/۲۸ BCa	۴/۴۱ ABa	۲/۷۱ Bb	۴/۵۷ Aa	۲/۸۵ BCb
خامه شاهد ۲۵ ٪ چربی	۵/۰۰ Aa	۵/۰۰ Aa	۵/۰۰ Aa	۵/۰۰ Aa	۵/۰۰ Aa	۵/۰۰ Aa	۴/۸۵ Aa	۴/۸۵ Aa	۵/۰۰ Aa	۵/۰۰ Aa

* حروف بزرگ متفاوت (A-G) در هر ستون و حروف کوچک متفاوت (a-b) در هر ردیف برای هر ویژگی حسی (رنگ، بو، طعم، بافت و پذیرش کلی) نشاندهنده اختلاف آماری معنی‌دار می باشد (P<۰/۰۵).

در ارزیابی بافت نمونه‌ها مشخص گردید که اثر نوع صمغ (قدومه شیرازی و فارسی) در آنالیز واریانس معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵) اما مقدار صمغ و نوع خامه اثر معنی‌داری بر بافت نشان داد. بدین صورت که در تیمارهای خامه با ۱۵ و ۱۸ درصد چربی، با افزایش صمغ قدومه شیرازی و صمغ فارسی، امتیاز بافت نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بالاترین امتیاز بافت (امتیاز ۵) به تیمار خامه ۱۸ درصد چربی حاوی ۰/۴ درصد صمغ قدومه شیرازی اختصاص یافت که با نمونه شاهد (امتیاز ۴/۸۵) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵) اما به طور معنی‌داری بالاتر از امتیازات ضعیف تا خوب (۴/۱۴ —۲) سایر تیمارها بود. همچنین هیچ یک از تیمارهای خامه ۱۵ درصد چربی (در هر دو نوع صمغ در مقادیر مختلف مورد استفاده) از امتیاز بافت قابل قبول و خوشایندی برخوردار نبودند و اختلاف آنها با شاهد بسیار معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های فندرسی و همکاران (۲۰۱۵) که نشان دادند نوع پایدارکننده (پکتین و صمغ) تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر ویژگی بافتی نمونه‌ها نداشته است و با نتایج نجفی و همکاران (۲۰۱۶) که گزارش نمودند با افزایش صمغ فارسی در دوغ امتیاز بافت نمونه‌ها افزایش یافت مطابقت دارد.

در ارزیابی پذیرش کلی نمونه‌ها همانند بافت مشخص گردید که اثر نوع صمغ معنی‌دار نبود اما مقدار صمغ و نوع خامه بر میزان پذیرش کلی اثر معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۵). در تیمارهای خامه با ۱۸ درصد چربی با افزایش مقادیر صمغ قدومه شیرازی و صمغ فارسی، امتیاز پذیرش کلی نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین در تیمارهای خامه با ۱۵ درصد چربی، هرچند با افزایش مقادیر هر یک از صمغ‌ها، امتیاز پذیرش کلی افزایش یافت ولی این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵). در این تحقیق، نمونه شاهد و تیمار خامه ۱۸ درصد چربی حاوی ۰/۴ درصد صمغ قدومه شیرازی و سپس تیمار خامه ۱۸ درصد چربی حاوی ۰/۴ درصد صمغ فارسی از بالاترین امتیازات پذیرش کلی برخوردار بودند و با یکدیگر

تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند اما اختلاف آنها با سایر تیمارها معنی‌دار بود. در تمامی غلظت‌های صمغ قدومه شیرازی و فارسی، امتیاز اختصاص یافته به پذیرش کلی خامه های ۱۸ درصد به‌طور معنی‌داری بالاتر از خامه های ۱۵ درصد بود (P<۰/۰۵) که می‌توان به درصد بالاتر چربی آن‌ها نسبت داده شود که منجر به ایجاد بافت بهتر و حفظ بیشتر ترکیبات مولد طعم و بو می‌گردد. حسنعلی‌زاده و خدائیان (۲۰۱۶) در بررسی خواص حسی ماست میوه‌ای حاوی صمغ قدومه شیرازی گزارش کردند که با گذشت زمان در طول نگهداری امتیاز پذیرش کلی کاهش یافت که دلیل آن افزایش اسیدیته در طول زمان نگهداری بیان گردید. نتایج تحقیق حاضر با نتایج نبی‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) که گزارش کردند با افزایش غلظت صمغ زدو در دوغ میزان مقبولیت کلی نمونه‌ها کاهش یافت مطابقت ندارد. اما نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های فرحناکی و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی امکان بکارگیری ژلاتین در مقادیر ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد به‌عنوان جایگزین چربی در تولید خامه کم‌چرب که گزارش کردند امتیازات پذیرش کلی خامه‌های کم چرب دارای ۰/۷۵ و ۱ درصد ژلاتین همانند خامه کنترل ۳۰ درصد چربی بود همخوانی دارد

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر نوع و مقدار صمغ‌های فارسی و قدومه شیرازی روی تمامی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مورد مطالعه شامل: pH، اسیدیته، ماده خشک، رطوبت، آب‌اندازی و ویسکوزیته نمونه‌های تولید شده، معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). همچنین در ارزیابی ویژگی‌های حسی مشخص گردید که هرچند نوع و مقدار صمغ و نوع خامه روی طعم و بو اثر معنی‌داری نداشت اما اثر نوع صمغ بر رنگ تیمارها و اثر مقدار صمغ و نوع خامه بر بافت و پذیرش کلی نمونه‌ها معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). با توجه به نتایج به‌دست آمده، به‌طور کلی تیمارهای خامه ۱۸ درصد چربی حاوی ۰/۴ درصد صمغ فارسی و ۰/۴ درصد صمغ قدومه شیرازی از نظر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مورد بررسی در مقایسه با سایر تیمارها و نمونه شاهد، جزء بهترین تیمارها بودند و از امتیازات حسی خوب و قابل قبولی نیز برخوردار بودند و بنابراین به عنوان تیمارهای منتخب معرفی می‌شوند. از طرف دیگر با توجه به قیمت بالای صمغ‌های تجاری موجود نسبت به صمغ‌های مورد مطالعه و نتایج بدست آمده در این تحقیق، می‌توان استفاده از این صمغ‌ها را به‌عنوان منابع ارزان هیدروکلوییدی جهت جایگزینی مطلوب چربی تا ۱۸ درصد چربی به منظور تولید خامه صبحانه کم‌چرب توصیه نمود.

منابع

Abbasi, S., Mohammadi, S. 2013. Stabilization of milk–orange juice mixture using Persian gum: efficiency and mechanism. *Food Bioscience*, 2: 53–60.

Amiri-Aghdaei, S., Aelami, M., Rezaei, R. 2010. Influence of fleawort seed hydrocolloid on physicochemical and sensory characteristics of low fat yoghurt. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 6(3): 201-209 [In Persian].

Asaadi Yasaghi, N., Arianfar, A. 2019. The effect of Alyssum homolocarpum seed gum on physicoChemical, rheological and sensory properties of low-fat yoghurt. *Journal of Food Science and Technology*, 15: 189-201 [In Persian].

Azizi, S., Mortazavi, A., Shafafi, M., Hooshmand, M. 2016. Effect of soy protein isolate (SPI) and salep gum on physicochemical and sensory properties of low fat whipped cream. *Journal of Innovationn in Food Science and Technology*, 7(4): 9-18 [In Persian].

ISIRI. 1999. Method for sensory evaluation of cream. Iranian National Standardization Organization, No. 4939 [In Persian].

ISIRI. 2007. Milk and milk products – Determination of titrable acidity and pH value – Test method. Iranian National Standardization Organization, No. 2852 [In Persian].

ISIRI. 2011. Milk – Determination of fat content. Iranian National Standardization Organization, No. 384 [In Persian].

ISIRI. 2015. Milk, cream and evaporated milk – Determination of total solids content (Reference method). Iranian National Standardization Organization, No. 11328 [In Persian].

ISIRI. 2019. Pasteurized and UHT cream - Specifications and test methods. Iranian National Standardization Organization, No. 191, 4rd Revision [In Persian].

Borrud, L.G., Tippett, K.S. and Mickle, S.J. 1994. Food sources of fat in USDA's continuing survey of food intakes by individuals *1989-91*. Peresented at American Pablic Health Association 122nd Annual Meeting.

Bostan, A., Razavi, S.M.A. and Farhoosh, R., 2010, Optimization of hydrocolloid extraction from wild sage seeds (Salvia macrosiphon) using response surface methodology, *International Journal of Food Properties*, 13(6): 1380-1392.

Fadavi, G., Mohammadifar, M., Zargaran, A., Azadnia, E. 2013. The study of composition, molecular weight and rheological caracteristics of Zedo gum exudates from Amygdalus scoparia. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 7(5): 35-41 [In Persian].

Farahnaki, A., Majzoobi, M., Mesbahi, G. 2010. Properties of Hydrocolloids in Food. Nashre Elm Publication, Tehran, Iran [In Persian].

Farahnaki, A., Safari, Z., Ahmadi, F. 2009. Production of low fat cream by gelatin as a fat replacer. 18th Natinal Congress of Foos Sciene and Technology, Mashhad, Iran [In Persian].

Faraji, B., Emamjomeh, Z., Mohebi, M., Judaki, H. 2015. Effect of Qodume shirazi seed gum on stability of confectionery cream. 3rd Natinal Congress of Foos Sciene and Technology, Ghoochan, Iran [In Persian].

Fenderesi, S., Golestan, L., Farahmandfar, R. 2015. Effect of adding round raisin consentrate, pectin, and Zedo gum on sensory, microbial, and physicochemical properties of stirred yogurt. 3rd Natinal Congress of Foos Sciene and Technology, Ghoochan, Iran [In Persian].

Ghasempour, Z., Alizadeh, M., Bari, M. 2012. Optimization of probiotic yoghurt production containing Zedo gum. *International Journal of Dairy Technology*, 65(1): 118-125.

Hassan-Alizadeh, M., and Khodaeiyan, F. 2016. Investigation of rheological and sensory properties of stirred fruit yogurt containing Qodume shirazi mucilage. MS Thesis of Food Science and Technology, Tehran University, Iran [In Persian].

Hoffmann, W. 2011. Cream, 2nd ed., Academic Press, London, 920-925.

Jooyandeh, H., Goudarzi, M., Rostamabadi, H., Hojjat, M. 2016. Effect of Persian and almond gums as fat replacers on the physicochemical, rheological, and microstructural attributes of low-fat Iranian white cheese. *Food Sciece and Nutrition*, 10: 1-10.

Koocheki, A., Mortazavi, S.A., Shahidi, F., Razavi, S.M.A. and Taherian, A.R. 2009. Rheological properties of mucilage extracted from Alyssum homolocarpum seed as a new source of thickening agent. *Journal of Food Engineering*. 91: 490-496.

Koocheki, A., Mortazavi, S.A., Shahidi, F. Razavi, S.M.A. Kadkhodaee, R. and Milani, J.M. 2010. Optimization of mucilage extraction from Qudume Shirazi seed (*Allyssum homolocarpum*) using response surface methodology. *Food Process Engineering*, 33: 861-882.

Koocheki, A., Taherian, A.R., Razavi, S.M.A. and Bostan, A. 2011. Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from Leidium perfoliatum seeds. *Food Hydrocolloids*, 23: 2369-2379.

Mashayekhi, S., Yasini, A., Daneshi, M. 2016. Effect of adding Persian gum and sodium caseinate on textural, stability, organoleptical, and rheological properties of whipped cream. MS Thesis of Food Science and Technology,

Yazd Branch, Islamic Azad University, Iran [In Persian].

Mostafavi, F., Kadkhodai, R., Emadzadeh, F., Koocheki, A. 2017. Evaluating rheological behaviour of tragacanth gum blend with QodoumeShirazi, Farsi and locust bean gums. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 63(14): 129-141 [In Persian].

Nabizadeh, F., Khosrowshahi, A., Zomorodi, S. 2014. Influence of ultrafiltered milk permeate and zedo gum on qualitative properties of doogh. *Journal of Food Research*, 23(4): 567-580 [In Persian].

Najafi, N., Khosrowshahi, A., Zomorodi, S. 2016. Effect of Zedo gum on quality, sensory, and rheological properties of doogh containing Marjoram essential oil. 1st Scientific Conference of Food Science and Technology, Tehran, Iran [In Persian].

Nateghi, L., Roohinejad, S., Totosaus, A., Rahmani, A., Tajabadi, N., Meimandipour, A., Rasti, B., Yazid-Abd, M. 2012. Physicochemical and textural properties of reduced fat Cheddar cheese formulated with xanthan gum and/or sodium caseinate as fat replacer. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(2): 59-63.

Rafee, N., Ehsani, M., Mazloumi, M., Ebrahimzadeh Mosavi, M. 2006. Influence of type and amount of stabilizers on stability of UHT cream. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 1(1): 45-49 [In Persian].

Rafiq, L., Zahoor, T., Sagheer, A., Khalid, N., Rahman, U., Liaqat, A. 2020. Augmenting yogurt quality attributes through hydrocolloidal gums. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 33: 323-331.

Rahimi, S., and Abbasi, S. 2013. Characterization of some physicochemical and gelling properties of Persian gum. *Innovative Food Technologies*, 1(4): 13-27 [In Persian].

Saddy-Lafta, S., Khairy, L., Hakim, I. 2019. Effect of fortified low fat-soft cheese with Arabic gum on physicochemical and rheological properties. *Plant Archives*, 19(2): 616-621.

Sadeghi, F., Shahidi, F. Koocheki, A., Mohebi, M. 2015. Effect of Qodume shirazi seed gum substitution by guar in almond jelly gum formulation. 1st Natinal Congress of Snack Foods, Mashhad, Iran [In Persian].

Seyfoddin, H., Koocheki, A., Razavi, S., Milani, E. 2016. Time-dependent behavior of low fat mayonnaise prepared with Lepidium perfoliatum seed gum and whey protein concentrate. *Journal of Food Science and Technology*, 13(59): 97-107 [In Persian].

Vanderghem, C., Danthine. S, Blecker, C., Deroanne, C. 2007. Effect of proteose-peptone addition on some physico-chemical characteristics of recombined dairy creams. International Dairy Journal, 17(8): 889-895.

Wang, C.H., He, X.W., Huang Q. 2014. Physicochemical properties and application of micronized cornstarch in low fat cream. *Journal of Food Engineering*, 116: 881–888.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 205- 216

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۲۱۶-۲۰۵

Comparison of the effects of Qodume shirazi (*Alyssum homolocarpum*) and Persian gums (*Amygdalus scoparia*) as fat replacer hydrocolloid on physicochemical properties of low-fat table cream

R. Dakhteh[1], M.R. Khani[2*], Sh. Dabiriyan[3]

Received: 2020.02.01
Accepted: 2020.05.05

Introduction: Because of the relationship between fat intake and obesity and the incidence of cardiovascular diseases, the demand for low-fat products has been increased. There are several methods to produce low fat products, which one of these methods is the use of fat replacer. The present study was aimed to partial substitution of fat in table cream by Qodume shirazi *(Alyssum homolocarpum*) and Persian *(Amygdalus scoparia)* gums.

Materials & Methods: The fat content of cream was decreased from 25% (in control sample) to 18% and 15%, and each of these gums were added to the low-fat cream formulation in 0.2%, 0.3%, and 0.4% (w/w), separately to make 12 treatments. All samples were examined for physicochemical (including pH, acidity, dry matter, moisture, synersis, and viscosity) and organoleptic (including color, aroma, taste, texture and overall acceptability) properties.

Results and Discussion: The results showed that the effect of type and amount of gums was significant for the pH, acidity, dry matter, moisture, syneresis, and viscosity of produced samples ($P<0.05$). In both types of cream (with 15 and 18 percent fat), pH of treatment containing 0.4% Qodume gum (6.81) was significantly higher than control (6.69) and other treatments ($P<0.05$). Moisture content of the control sample (68.7%) was lower than other treatments (73-78.7%) but dry matter of the control sample (31.3%) was higher than other treatments (21.2-26.9%) and in both creams containing 18% and 15% fat, the higher dry matter was devoted to sample containing 0.4% of Persian gum. The viscosity of cream with 18% fat containing 0.4% Qodume shirazi gum (21915 cP) and Persian gum (21919 cP) was significantly higher than the control sample (21507 cP) and other treatments. Moreover, syneresis of treatments with 18% fat containing 0.4% Qodume and Persian gums (0 ml), and also cream sample with 15% fat containing 0.4% Qodume gum (0 ml) was not observed as in the control sample ($P>0.05$). Evaluation of sensory properties revealed that the type of gums only had significant effect on color and the effects of cream type and amount of gums were mostly significant on texture and overall acceptance. In general, low-fat cream with 18% fat containing 0.4% Qodume and Persian gums had showed the best physicochemical and sensory results comparing to other treatments.

Key words: Fat replacer, Hydrocolloid, Low-fat table cream, Persian gum, Qodume shirazi gum

1. MSc Graduate, Department of Food Science & Technology, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Quality Assurance Manager, Iran Dairy Industries Co. (Pegah)
(* Corresponding author: m.khani@qodsiau.ac.ir)

Contents

Effect of formulation and extrusion technique on technological properties of snack containing jujube flour 11
E. Milani, F. Shahidi, E. Ansarifar, M. Khalilian-Movahed, F. Salehipoor

Study on physicochemical properties of Quinoa flour of three different varieties and the effect of pH on their functional characteristic 27
M. Taghizadeh, H. Akhoondzadeh, Z. Zamani

Optimization formulation of dietary Luz fortified with Stevia and *Corchorus olitorius* L. using response surface methodology 42
M. J. Golieh, M. Goli

Evaluation and Modelling of Physicochemical Changes of Tuna Fish Using Immersion Ohmic Thawing Method 53
S. Fattahi, N. Zamindar

The effect of konjac gum, sage seed gum, homogenization rate and fat content on pH, texture, and color of low fat stirred yogurt 67
M. Najaf Najafi, H. R. Shateri, M. Kashaninejad

Effect of different fractions of oleaster (*Elaeagnus angustifolia*) flour on gluten free sponge cake propertie 81
N. Zangeneh, H. Barzegar, M. A. Mehrnia, M. Noshad, M.Hojjati

Evaluation of the effect of aqueous and methanolic extraction methods on the antioxidant and antimicrobial characteristics of *Allium jesdianum* extract: in vitro study 91
M. Hojjati, B. Alizadeh Behbahani

Effect of adding zucchini (*Cucurbita pepo*) on the physico-chemical and sensory properties of stirred yogurt during storage 105
M. Salami, M. Mehraban Sangatash, A. Ehtiati

Evaluation and comparison of sensory, color, and rheological properties of low fat cream containing Konjac gum by Principal component analysis (PCA) and Partial least squares (PLS) regression 120
S. A. Mohammadi, M, Ghods Rohani, M. Najaf Najafi, M. Kashaninejad

The effects of temperature changes on the kinetic parameters of sesame, canola and olive oils in the presence of sesamol 132
M. R. Toorani, R. Farhoosh, M. T. Golmakani, A. Sharifi

Production of Beneficial Ice Cream Containing Immunoglobulin Y against *Helicobacter pylori* 141
S. Sabahi, S. A. Mortazavi, M. R. Nassiri, K. Ghazvini, F. Shahidi

Optimization of *Iranian mentha longifolia* of nanoemulsion containing omega-3 fatty acids by Spontaneous emulsification 172
N. Faraji, M. Alizadeh, H. Almasi, S. Pirsa, S. Faraji

Caffeine Determination in Various Types of Coffee Brews and Studying the Effect of QuEChERS Method on Its Extraction Compare to Conventional Approach 186
M. Moeenfard, P. Khaloo Kermani, Sh. Jaldani, A, Sharif

Production and evaluation of physicochemical and rheological properties of monoacylglycerol and polyglycerol ester-based Oleogels as a low saturated shortening 204
R. Mahjoub, V. Hakimzadeh, E. Ataye Salehi, J. Farmani

Comparison of the effects of Qodume shirazi (*Alyssum homolocarpum*) and Persian gums (*Amygdalus scoparia*) as fat replacer hydrocolloid on physicochemical properties of low-fat table cream 216
R. Dakhteh, M.R. Khani, Sh. Dabiriyan

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Vol. 17 No. 1 2021

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Executive Manager: Shahnoushi, N.

Editor-in-Chief: Tabatabaei yazdi, F

Editorial Board:

Mortazavi, Seyed A.	Prof. in Food Microbiology and [illegible]
Shahidi, F.	Prof. in Food Microbiology
Habibi najafi, M.	Prof. in Food Microbiology
Razavi, Seyed M. A.	Prof. in Food Engineering
Kashaninejad, M.	Prof. in Food Engineering
Khomeiri, M.	Assoc. Prof. in Food Microbiology
Farhoosh, R.	Prof. in Food Chemistry
Fazli Bazzaz, S.	Prof. in Food Microbiology
Koocheki, A.	Prof. in Food Technology
Mohebbi, M.	Prof. in Food Engineering
Ghanbarzadeh, B.	Prof. in Food Engineering
Alemzadeh, I.	Prof. in Food Biotechnology
Rajabzadeh, GH.	Assoc. Prof. in Nanotechnology
Heydarpour, M.	Assoc. Prof. in Food Microbiology
Ghoddusi, H. B.	Assoc. Prof. in Food Microbiology
Khosravidarani, K.	Prof. in Food Biotechnology
Abbaszadegan, M.	Prof. in Food Microbiology
Mohammadifar, M. A.	Assoc. Prof. in Food Engineering
Vosoughi, M.	Prof. in Food Biotechnology

Printed by: Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran.

Address: The Iranian Food Science & Technology Research Journal, Scientific Publication Office, Food Science and Technology Department, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

P.O.BOX: 91775- 1163

Phone: (98)511-8795618-20(321)

Fax: (98)511-8787430

E-Mail: ifstrj@um.ac.ir

Web Site: http://jm.um.ac.ir/index.php/food_tech/index

This journal is indexed in ISC, SID, and MAGIRAN.

Ferdowsi University of Mashhad

Vol.17 No.1

2021

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Iranian food science and technology Association

ISSN:1735-4161

Contents

Effect of formulation and extrusion technique on technological properties of snack containing jujube flour 11
E. Milani, F. Shahidi, E. Ansarifar, M. Khalilian-Movahed, F. Salehipoor

Study on physicochemical properties of Quinoa flour of three different varieties and the effect of pH on their functional characteristic 27
M. Taghizadeh, H. Akhoondzadeh, Z. Zamani

Optimization formulation of dietary Luz fortified with Stevia and *Corchorus olitorius* L. using response surface methodology 42
M. J. Golieh, M. Goli

Evaluation and Modelling of Physicochemical Changes of Tuna Fish Using Immersion Ohmic Thawing Method 53
S. Fattahi, N. Zamindar

The effect of konjac gum, sage seed gum, homogenization rate and fat content on pH, texture, and color of low fat stirred yogurt 67
M. Najaf Najafi, H. R. Shateri, M. Kashaninejad

Effect of different fractions of oleaster (*Elaeagnus angustifolia*) flour on gluten free sponge cake propertie 81
N. Zangeneh, H. Barzegar, M. A. Mehrnia, M. Noshad, M.Hojjati

Evaluation of the effect of aqueous and methanolic extraction methods on the antioxidant and antimicrobial characteristics of *Allium jesdianum* extract: in vitro study 91
M. Hojjati, B. Alizadeh Behbahani

Effect of adding zucchini (*Cucurbita pepo*) on the physico-chemical and sensory properties of stirred yogurt during storage 105
M. Salami, M. Mehraban Sangatash, A. Ehtiati

Evaluation and comparison of sensory, color, and rheological properties of low fat cream containing Konjac gum by Principal component analysis (PCA) and Partial least squares (PLS) regression 120
S. A. Mohammadi, M, Ghods Rohani, M. Najaf Najafi, M. Kashaninejad

The effects of temperature changes on the kinetic parameters of sesame, canola and olive oils in the presence of sesamol 132
M. R. Toorani, R. Farhoosh, M. T. Golmakani, A. Sharifi

Continue Content in cover

نشریه علمی پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران جلد ۱۷ شماره ۱ سال ۱۴۰۰ 2021 No.1 Vol.17 Iranian Food Science and Technology Research Journal