



نشریه علمی پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران



جلد ۱۸ شماره ۱
سال ۱۴۰۱

نشریه علمی پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران

جلد ۱۸

شماره ۱

سال ۱۴۰۰

۲۰۲۲

No.1

Vol.18

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Iranian Food Science and Technology Association

Iranian Food Science and Technology Association

Iranian Food Science and Technology Association

Iranian Food Science and Technology Association

Iranian Food Science and Technology Association

Iranian Food Science and Technology Association

شاپا: ۱۷۳۵-۴۱۶۱

شماره پیاپی ۷۳

عنوان مقالات

- ۳ بهینه‌سازی فرآیند تولید سس هوادهی شده کم‌چرب به روش سطح پاسخ و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی آن.....
سیده فریناز صارم‌نژاد نمینی- محبت محبی- آرش کوچکی
- ۲۳ تاثیر پوشش خوراکی ژل آلونهورا بر ترکیبات زیست‌فعال گوجه‌فرنگی گیلاسی حین نگهداری در دماهای مختلف.....
سمانه منجم- علی گنجلو- ماندانا بی‌مکر
- تولید مافین با روغن کاهش یافته با استفاده از اولنوژل کمپلکس محلول پروتئین سفیده تخم مرغ و
۴۱ صمغ زانتان به روش قالب‌گیری کف.....
رضا جابری- احمد پدرام‌نیا- سارا ناجی طبسی- امیرحسین الهامی‌راد- مسعود شفافی زنونزبان
- درجه‌بندی کیفی انگور پوشش‌دهی شده با امولسیون صمغ فارسی و روغن شاهدانه بر اساس صدمات
۵۳ سطحی با استفاده از تصاویر RGB و دودویی.....
محسن زندی- علی گنجلو- ماندانا بی‌مکر- ابوالفضل قره‌باغی
- ۶۷ سینتیک خشک کردن کف خامه شیر شتر به روش کف‌پوشی و بررسی تاثیر آن بر ساختار و رنگ محصول.....
مرتضی کاشانی‌نژاد- سید محمدعلی رضوی- محمدرضا صلاحی
- ۸۳ بررسی و مقایسه آلودگی اکراتوکسین A و عناصر فلزی سرب و آرسنیک در پودرهای تجاری قهوه فوری.....
صدیقه یزدان‌پناه- شادی جوکار- طاهره زندی لک- مریم حقیقی
- ۹۸ بررسی تاثیر افزودن هسته خرما بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی و حسی قهوه حاصل از دانه
عریکا (*Coffea Arabica*).....
فریده مجریان شرقی- مرضیه معین‌فرد- رضا فرهوش- هادی مهدویان مهر
- اصلاح کامپوزیت نشاسته-اسید اولئیک با استفاده از روش اصلاح نوری تشدید یافته به کمک نانو دی‌اکسید تیتانیوم:
۱۱۵ بررسی خصوصیات کاربردی در بسته‌بندی مواد غذایی.....
رحمت اله پورعطا- حمید جهانگیر اصفهانی- ایمان شهابی قهفرخی
- ۱۳۱ درجه‌بندی دانه‌های کاکائو آلوده به آفلاتوکسین با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک.....
علی سعیدان- مهدی خجسته‌پور- محمودرضا گلزاریان- مرضیه معین‌فرد

ادامه فهرست داخل جلد

نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران

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

فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۱ شماره ۱ جلد ۱۸
درجه علمی - پژوهشی این نشریه طی نامه ۳/۱۱/۴۷۶۷۳ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تا سال ۱۳۹۳ تمدید شده است.
۹۰/۴/۱۴

| | |
|---------------------|--|
| صاحب امتیاز: | دانشگاه فردوسی مشهد |
| مدیر مسئول: | دکتر ناصر شاهنوشی |
| سر دبیر: | دکتر فریده طباطبایی |
| اعضای هیئت تحریریه: | دکتر سید علی مرتضوی دکتر فخری شهیدی دکتر محمدباقر حبیبی نجفی دکتر مرتضی خمیری دکتر سید محمد علی رضوی دکتر رضا فرحوش دکتر بی بی صدیقه فضلی بزاز دکتر مهدی کاشانی نژاد دکتر آرش کوچکی دکتر محبت محبی دکتر بابک قنبرزاده دکتر ایران عالمزاده دکتر قدیر رجبزاده اوغاز دکتر مهیار حیدرپور دکتر حمید بهادر قدوسی دکتر کیانوش خسروی دکتر مرتضی عباسزادگان دکتر محمدامین محمدی فر دکتر منوچهر وثوقی دکتر هادی الماسی دکتر میلاد فتحی دکتر سلیمان عباسی دکتر نونو بورخس |
| | استاد، میکروبیولوژی و بیوتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد استاد، میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد استاد، میکروبیولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد دانشیار، میکروبیولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان استاد، مهندسی و خواص بیوفیزیک مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد استاد، شیمی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد استاد، میکروبیولوژی، دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مشهد استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه تبریز استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف دانشیار، نانو فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی دانشیار، زیست مولکولی، دانشکده پزشکی هاروارد دانشیار، میکروبیولوژی غذایی، دانشگاه متروپولیتن لندن استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی استاد، ویروس شناسی، دانشگاه آریزونا استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه دانمارک استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس. استاد، گروه علوم تغذیه و مواد غذایی، دانشگاه پورتو، پرتغال |
| ناشر: | دانشگاه فردوسی مشهد |
| چاپ: | چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد |

نشانی: مشهد - کد پستی ۹۱۷۷۵ صندوق پستی ۱۱۶۳، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی - گروه علوم و صنایع غذایی - دفتر نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران. تلفن: ۲۰-۸۷۹۵۶۱۸ داخلی ۲۲۱ نمابر: ۸۷۸۷۴۳۰

این نشریه در پایگاههای زیر نمایه شده است:

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

پست الکترونیکی: ifstrj@um.ac.ir

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

مندرجات

- ۳ بهینه‌سازی فرآیند تولید سس هوادهی شده کم‌چرب به روش سطح پاسخ و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و حسی آن
سیده فریناز صارم‌نژاد نمینی - محبت محبی - آرش کوچکی
- ۲۳ تاثیر پوشش خوراکی ژل آلوه‌ورا بر ترکیبات زیست‌فعال گوجه‌فرنگی گیلاسی حین نگهداری در دماهای مختلف
سمانه منجم - علی گنجلو - ماندانا بی مکر
- ۴۱ تولید مافین با روغن کاهش یافته با استفاده از اولئوژل کمپلکس محلول پروتئین سفیده تخم مرغ و صمغ زانتان به روش قالب‌گیری
کف
رضا جابری - احمد پدرام‌نیا - سارا ناجی طبسی - امیرحسین الهامی‌راد - مسعود شفافی زنونزبان
- ۵۳ درجه‌بندی کیفی انگور پوشش‌دهی شده با امولسیون صمغ فارسی و روغن شاهدانه بر اساس صدمات سطحی با استفاده از تصاویر
RGB و دودویی
محسن زندی - علی گنجلو - ماندانا بی مکر - ابوالفضل قره‌باغی
- ۶۷ سینتیک خشک کردن کف خامه شیر شتر به روش کف‌پوشی و بررسی تاثیر آن بر ساختار و رنگ محصول
مرتضی کاشانی‌نژاد - سید محمدعلی رضوی - محمدرضا صلاحی
- ۸۳ بررسی و مقایسه آلودگی اکراتوکسین A و عناصر فلزی سرب و آرسنیک در پودرهای تجاری قهوه فوری
صدیقه یزدان‌پناه - شادی جوکار - طاهره زندی لک - مریم حقیقی
- ۹۸ بررسی تاثیر افزودن هسته خرما برشته شده بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی و حسی قهوه حاصل از دانه عربیکا (*Coffea Arabica*)
فریده مجریان شرقی - مرضیه معین‌فرد - رضا فروش - هادی مهدویان مهر
- ۱۱۵ اصلاح کامپوزیت نشاسته-اسید اولئیک با استفاده از روش اصلاح نوری شدید یافته به کمک نانو دی‌اکسید تیتانیوم: بررسی خصوصیات
کاربردی در بسته‌بندی مواد غذایی
رحمت اله پورعطا - حمید جهانگیر اصفهانی - ایمان شهابی قهفرخی
- ۱۳۱ درجه‌بندی دانه‌های کاکائو آلوده به آفلاتوکسین با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک
علی سعیدان - مهدی خجسته‌پور - محمدرضا گلزاریان - مرضیه معین‌فرد
- ۱۴۲ مقایسه کارایی آسکوربیک‌اسید و آلفانو کوفرول در ترکیب با پروتئین آب پنیر جهت افزایش پایداری اکسایشی میگوی وانامی
(*Litopenaeus vannamei*)
سهیل ریحانی پول - سکنیه یگانه
- ۱۵۲ سنتز سبز نانو ذرات نقره با استفاده از عصاره آبی برگ گیاه شیشه‌شور (*Callistemon citrinus*) و ارزیابی فعالیت ضدباکتریایی آن
زهره سوسنی غریبوند - بهروز علیزاده بهبهانی - محمد نوشاد - حسین جوینده
- مقاله کوتاه پژوهشی
- ۱۶۷ تولید سوهان پولکی رژیمی برای بیماران سلیاکی و دیابتی با جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت و جایگزینی کامل آرد گندم با آرد
برنج - ذرت
نرگس بابایی - محمد گلی



Full Research Paper

Optimization of reduced-fat aerated sauce production process by response surface methodology and evaluation of its physicochemical and sensory properties

Farinaz Saremnejad Namini¹, Mohebbat Mohebbi^{*2}, Arash Koocheki²

Received: 2020.05.13

Accepted: 2020.08.01

How to cite this article:

Saremnejad Namini, F., Mohebbi, M., Koocheki, A. (2022). Optimization of reduced-fat aerated sauce production process by response surface methodology and evaluation of its physicochemical and sensory properties. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18 (1), 1-20.

Abstract

Introduction: Increasing diet-linked diseases and following that the consumers ongoing desire for healthier foods makes reduced-fat products of outstanding importance in the food industry. This study aims to reduce the fat content of sauces as a traditional condiment through the incorporation of air bubbles in the oil phase. Response surface methodology (RSM) was used for identifying the effect of aeration process variables on foam properties. However, the main challenge of reduced-fat foods is to ensure their acceptability. Recently fat taste has been introduced as a sixth basic taste. Fatty acids have been considered as the stimulus for this taste. So, linoleic acid as the stimulus for fat perception was added to the formulation to develop a product that tastes almost like full-fat versions but contains less fat. The advantages of aerated foods over conventional products are clear. Nonetheless, the determination of quality and sensory parameters during storage, marketing, and consuming is necessary. For this purpose, produced aerated sauces, along with commercial full- and reduced-fat sauces, were compared by measuring the acidity, pH, oxidative stability, and sensory properties.

Materials and Methods: Required amounts of mono- and diglyceride (MDG) and oil were mixed. Then nonaqueous foams were generated by whipping the MDG-oil mixtures. In the optimization study, the effect of MDG concentrations (2, 6, and 10 wt. %), whipping speed (1100, 3250, and 5400 rpm) and time (5, 15, and 25 min) on foam properties (overrun and drainage) was analyzed using RSM. The foam obtained from the optimum process condition was used to produce an aerated reduced-fat sauce. Sauce preparation was performed according to a usual recipe with the difference that the fat content was replaced by nonaqueous foam. Furthermore, 3.00 mM of linoleic acid as a fat taste stimulus was added to the formulation. First, an aqueous phase containing ingredients was prepared. Then nonaqueous foam was progressively incorporated in the aqueous phase. For the purposes of comparison, aerated sauces (0 and 3.00 mM stimulus), along with commercial sauces (zero, low, and full-fat), were analyzed by measuring the pH, acidity, oxidative stability, and sensory properties.

Results and Discussion: According to the results of the optimization study, the desired foam (overrun ≥ 60 %) achieved by oil containing 10 wt. % MDG at 3400 rpm for 10 min. Overrun increased progressively with MDG concentration but decreased slightly above 10 wt. % due to the difficulty of dispersing air bubbles in such a viscous gel. Considering the effect of whipping speed, and time, it was observed that mixtures reached their maximum volumes within 25 min. With a further increase in the whipping rate, the time required to achieve the maximum amount of foam was decreased. However, at high whipping speed (5400 rpm), foam volume decreased rapidly with time, and almost a lot of foam collapsed. The lowest and highest pH was related to zero and full-fat commercial sauces, respectively. There was no difference ($p > 0.05$) between the pH of the control and the linoleic acid containing aerated, as well as low-fat sauces. Over time, as the pH decreases, the acidity of the aerated sauces increased and making the products with

¹ and ². Ph.D. Student and Professor, Department of Food Science & Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(*Corresponding Author Email: m-mohebbi@um.ac.ir)

DOI: [10.22067/IFSTRJ.V18I1.88987](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.V18I1.88987)

appropriate microbial stability. Due to the significant reduction of fat amount, oxidation of the aerated sauces was much slower than the full-fat one ($p < 0.05$). Appearance, taste, and texture characteristics of aerated sauces provided a sensory profile similar to the full-fat sauce. The aerated sauce containing linoleic acid had higher sensory scores, indicating its general acceptance.

Conclusions: In this study, nonaqueous foam as a new approach for fat replacement in emulsion-based foods such as sauces was practically applied. The optimum aeration process conditions were determined by the help of experimental design. Two types of aerated sauces were prepared based on the linoleic acid concentration, and their physicochemical and sensory characteristics were compared with commercial sauces. The acidity and pH of the sauces were in the standard range, and also their oxidative stability was acceptable during storage time. Generally, the aerated sauce containing linoleic acid had relatively similar sensory profiles to the full-fat sauce. Therefore, it seems that nonaqueous foam could be used successfully to develop reduced-fat alternative foods, which could also be meet the consumers' and marketing requirements.

Keywords: Sauce, Emulsion, Nonaqueous foam, Optimization, Linoleic acid.

مقاله علمی-پژوهشی

بهینه‌سازی فرآیند تولید سس هوادهی شده کم‌چرب به روش سطح پاسخ و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی آن

سیده فریناز صارم‌نژاد نمینی^۱ - محبت محبی^{۲*} - آرش کوچکی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۱

چکیده

در این مطالعه روش جدید آماده‌سازی امولسیون‌های هوا در روغن (کف‌های روغنی) به‌منظور جایگزینی قطره‌های چربی با حباب‌های هوا ارائه شده، اثر غلظت سورفکتانت، سرعت و زمان هوادهی بر میزان تولید و پایداری کف‌ها بررسی شد. شرایط بهینه تولید (هوادهی مخلوط ۱۰ درصد وزنی سورفکتانت با سرعت ۳۴۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه) با روش سطح پاسخ تعیین و کف‌ها برای تولید سس هوادهی شده آماده شدند. لینولئیک اسید به‌عنوان محرک مزه چربی (صفر و ۳ میلی مولار) به سس‌ها اضافه و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی آن‌ها با سس‌های تجاری مقایسه شد. اسیدیته و pH نمونه‌ها در محدوده استاندارد قرار داشتند. بیشترین میزان pH مربوط به سس تجاری پرچرب بود ($p < 0.0001$). سس تجاری بدون چربی با کم‌ترین میزان pH، اختلاف معنی‌داری با بقیه نداشت ($p > 0.05$). بین pH سس‌های هوادهی شده (شاهد و حاوی لینولئیک اسید) اختلافی مشاهده نشد. اگرچه با گذشت زمان pH این سس‌ها کمی کاهش یافت، اما این تغییر معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). اعداد پراکسید و مقادیر مالون دی‌آلدهید نمونه‌های هوادهی شده و تجاری کم‌چرب در مدت هفت روز اختلافی با یکدیگر نداشتند ($p > 0.05$). به‌طور کلی، روند اکسیداسیون سس پرچرب بسیار سریع‌تر از سایر نمونه‌ها بود. ظاهر، طعم و ویژگی‌های بافتی و پذیرش کلی محصولات هوادهی شده و نمونه‌های تجاری ارزیابی شد. پذیرش کلی سس هوادهی شده شاهد با سس حاوی لینولئیک اسید اختلاف قابل توجهی داشت ($p < 0.0001$), اما پذیرش کلی نمونه حاوی لینولئیک اسید با سس‌های تجاری کم‌چرب و پرچرب معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). بر اساس این نتایج جایگزینی حباب‌های هوا و نیز افزودن محرک مزه چربی در چارچوب برنامه‌های کاهش چربی، می‌تواند تغییرات حسی موثر بر پذیرش مصرف‌کنندگان را به حداقل برساند.

واژه‌های کلیدی: سس، امولسیون، کف روغنی، بهینه‌سازی، لینولئیک اسید.

مقدمه

افزایش روزافزون بیماری‌های مرتبط با تغذیه، مانند بیماری‌های قلبی و عروقی، فشار خون بالا، چاقی و دیابت منجر به تمایل بیش از پیش مصرف‌کنندگان به تهیه و مصرف فرآورده‌های غذایی سالم‌تر شده است (Chung et al., 2013; Chen et al., 2017). از این رو توسعه محصولات کم‌چرب از اهمیت فوق‌العاده‌ای در صنایع غذایی برخوردار می‌باشد. با این حال، تلاش‌های تولیدکنندگان مواد غذایی برای تولید محصولات کم‌چرب دارای ویژگی‌هایی که با هم‌تابان پرچرب آن‌ها مطابقت داشته باشد، اغلب با چالش مواجه است، چرا که کاهش مقدار چربی می‌تواند بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی غذاها تاثیر بگذارد (McClements, 2015). تغییر ظاهر (ویژگی‌های نوری)، بافت (ویژگی‌های رئولوژیکی)، طعم و نیز ماندگاری (پایداری) محصول در اثر کاهش چربی، پذیرش مصرف‌کنندگان را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Arancibia et al., 2011). بنابراین، تقلید نقش چربی می‌تواند به بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی محصولات

غذایی کم‌چرب کمک کند (Tchuenbou-Magaia et al., 2009). روش‌های مختلفی برای تولید محصولات کم‌چرب با طعم، بافت و احساس دهانی مشابه با محصولات پرچرب ارائه شده است. این روش‌ها شامل استفاده از مواد جایگزین بر پایه چربی مانند الاسترا (OlestraTM) (Bimal and Guonong, 2006)، سالاتریم (SALATRIMTM) (Sorensen et al., 2008) و مونوگلیسریدها (Bazmi et al., 2007)؛ ترکیبات هیدروکلوئیدی مانند پروتئین‌ها و صمغ‌ها (Shamsaei et al., 2017; Emadzadeh et al., 2015) و نیز ذرات غیر چربی مانند نانو بلورها (Javidi et al., 2019) می‌باشند. تغییر ترکیب شیمیایی چربی (Rego Costa et al., 2011)، روش‌های نوین فرآوری (مانند هموژنیزاسیون تحت فشار بالا (Riener et al., 2018)، ترموسونیکاسیون (Ciron et al., 2011))، تغییر ساختار (2009)، میکروفلوئیداسیون (Garrec et al., 2012)؛ امولسیون (مانند جداسازی فاز کنترل شده (Garrec and Norton, 2012)؛ تجمع کنترل شده قطره‌های چربی (Dickinson, 2012) و تولید امولسیون‌های چندگانه (Oppermann et al., 2016)) نیز از دیگر رویکردهای به‌کار رفته در این زمینه هستند. به تازگی جایگزینی مقدار قابل توجهی از قطره‌های چربی با حباب‌های هوا برای تولید محصولات غذایی سالم‌تر مورد توجه قرار گرفته است (Saremnejad et al., 2020). این روش جدید منجر به

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

* نویسنده مسئول: Email: m-mohebbi@um.ac.ir
DOI: [10.22067/iftstrj.v18i1.86882](https://doi.org/10.22067/iftstrj.v18i1.86882)

لذا در این مطالعه ایده جدید استفاده از روغن هوادهی شده پایدار برای کاهش چربی در یک محصول غذایی پرمصرف مانند سس ارائه می‌گردد. ابتدا تاثیر غلظت سورفاکتانت و همچنین سرعت و زمان هوادهی بر ویژگی‌های کف از جمله تولید و پایداری آن بررسی می‌شود، سپس بهترین شرایط فرآیند هوادهی برای تولید کف‌هایی با کیفیت و پایداری بالا به کمک روش سطح پاسخ تعیین می‌گردد. بر این اساس پایدارترین کف انتخاب شده و با اضافه کردن سایر ترکیبات، سس هوادهی شده کم چرب تولید می‌شود. اسیدیته، pH، روند اکسیداسیون و ویژگی‌های حسی سس‌های هوادهی شده مورد بررسی قرار گرفته، با نمونه‌های تجاری حاوی درصد‌های مختلف چربی مقایسه می‌شود. سرانجام، آزمون ارزیابی حسی برای تجزیه و تحلیل اثر روش برهم کنش‌های متقابل بر ادراک ویژگی‌های حسی انجام شده، سس‌های هوادهی شده با انواع تجاری مقایسه می‌شوند. تمام این راهکارها برای جبران اثرات ناشی از کاهش چربی در سس‌های هوادهی شده و در نتیجه حفظ پذیرش مصرف کنندگان ارائه می‌شود.

مواد و روش‌ها

سورفاکتانت مونو و دی گلیسرید (MDG) با دامنه ذوب ۸۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد از شرکت Palsgaard دانمارک و لینولئیک اسید (۲:۱۸، C) جرم مولی ۲۸۰/۴۴۷۲ گرم بر مول) از شرکت سیگما-آلدیج خریداری شدند. روغن آفتابگردان (چگالی نسبی ۰/۹۱۹۱ و ویسکوزیته ۶۸ mPa.s در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) و سایر مواد مورد استفاده در تهیه سس و همچنین سس‌های تجاری پرچرب، کم چرب و بدون چربی از بازار محلی ایران خریداری شدند. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده در تجزیه و تحلیل شیمیایی نمونه‌ها نیز با درجه آنالیتیکال از شرکت سیگما آلدیج و مرک آلمان تهیه شدند.

آماده‌سازی کف روغنی

مقادیر مشخص روغن (با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد) و سورفاکتانت (با نسبت ۱۰-۲ درصد وزنی روغن) هم مخلوط شدند. سپس تمام مخلوط‌ها تا ۸ درجه سانتی‌گراد سرد شدند و بعد اجازه داده شد تا به تدریج تا دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) گرم شوند. کف‌ها توسط هوادهی مخلوط روغن و سورفاکتانت با استفاده از هم‌زنایزر اولتراتوراکس (T 25 basic ULTRA-Turrax- IKA) در دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) به‌دست آمدند.

ارزیابی ویژگی‌های کف روغنی

به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های کف‌های تولید شده، افزایش حجم نهایی آن‌ها پس از هوادهی و همچنین حجم مایع زهکشی شده از آن‌ها پس از ۲۴ ساعت، به ترتیب از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (Binks, 2017; Sheng et al., 2018 and Marinopoulos, 2017):

حجم مخلوط‌ها قبل و بعد از هوادهی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. تمام اندازه‌گیری‌ها با سه تکرار انجام و میانگین نتایج گزارش شد.

آماده‌سازی امولسیون‌های هوا در روغن و یا به عبارتی کف‌های روغنی یا غیر آبی می‌شود. در واقع با هوادهی فاز پیوسته روغنی به کمک یکی از روش‌های اصلی ایجاد کف مانند هم‌زدن مکانیکی می‌توان ساختار کف مانند ایجاد کرد (Binks et al., 2016). به کمک پوشاندن سطح مشترک هوا و روغن با نوع خاصی از سورفاکتانت‌های آمفیپلیک دارای نقطه ذوب بالا، این کف‌های روغنی پایدار می‌شوند (Mishima et al., 2016; Gunes et al., 2017); به‌عنوان مثال، Brun و همکاران (۲۰۱۵) از استرهای اسیدهای چرب مونو و دی گلیسرید، که ترکیب خوراکی با درجه غذایی و جرم مولکولی کم می‌باشند، برای تهیه و تثبیت کف‌های روغنی کلزا استفاده کردند. به طور مشابه، کاربرد مخلوط‌های سورفاکتانت-روغن مختلف مانند الکل چرب ۱-کتادکانول (Fameau et al., 2015) و میریستیک اسید (Binks et al., 2016) در روغن آفتابگردان، دی گلیسرول مونومیرستات (Shrestha et al., 2010) و دی گلیسرول منولورات در روغن زیتون گزارش شده است (Shrestha et al., 2008).

علی‌رغم پتانسیل قابل توجه کف‌های روغنی، تحقیقات صورت گرفته در رابطه با به‌کارگیری آن‌ها در توسعه محصولات غذایی کم چرب بسیار محدود است. مطالعات اخیر در این رابطه صرفاً محدود به بررسی پارامترهای اصلی کنترل‌کننده تشکیل و پایداری این نوع از کف‌ها بوده است (Friberg, Fameau and Saint-Jalmes, 2017); تاکنون بهینه‌سازی شرایط تولید کف‌های روغنی به‌ویژه از نظر غلظت سورفاکتانت و همچنین سرعت و زمان هوادهی مورد توجه قرار نگرفته است. در همین راستا استفاده از روش سطح پاسخ می‌تواند ابزار مفیدی برای بهینه‌سازی شرایط فرآیند تولید کف باشد.

با این وجود، حتی در صورت جایگزینی چربی با هوا ممکن است همچنان این محصولات کم‌چرب به اندازه نمونه‌های مشابه پرچرب برای مصرف‌کنندگان قابل قبول نباشند. چرا که کاهش یا حذف چربی بر ویژگی‌های حسی، به‌ویژه طعم و بافت نیز تاثیرگذار است (González-Tomás et al., 2008). چندین گیرنده و کانال یونی حساس به اسیدهای چرب حاصل از تجزیه تری گلیسریدها توسط لیپاز زبانی شناسایی شده‌اند (El-Yassimi et al., 2008). در شرایط آزمایشگاهی، با به حداقل رساندن نشانه‌های بویایی و لامسه، مشخص شده که ادراک مزه چربی را می‌توان به حس چشایی نسبت داد (Chale et al., 2007). Running و همکاران (۲۰۱۵) برای توصیف مزه چربی به‌عنوان یک ویژگی حسی واژه جدید اولئوگستوس^۱ را پیشنهاد کردند. مطالعات علوم اعصاب شناختی در رابطه با ماهیت چندگانه ادراک طعم، به ویژه روش برهم‌کنش‌های متقابل^۲ یکی از جدیدترین راهکارهای جبران افت ویژگی‌های حسی ناشی از کاهش چربی در محصولات غذایی را فراهم می‌آورد (Spence, 2015). در همین راستا، می‌توان ادراک ویژگی‌های حسی یک محصول حاوی چربی کم‌تر را با افزودن غلظت‌های مناسب محرک‌ها ارتقا داد.

$$(1) \quad \text{حجم مخلوط روغن و سورفکتانت قبل از هواده‌ی} - \text{حجم مخلوط روغن و سورفکتانت پس از هواده‌ی} = \text{افزایش حجم} \times 100$$

$$(2) \quad \text{حجم مخلوط روغن و سورفکتانت پس از ۲۴ ساعت} - \text{حجم مخلوط روغن و سورفکتانت پس از هواده‌ی} = \text{حجم زهکشی} \times 100$$

در **جدول ۱** نشان داده شده است. متغیرهای مستقل شامل غلظت سورفکتانت (X_1) از ۲ تا ۱۰ درصد، سرعت هواده‌ی (X_2) از ۱۱۰۰ تا ۵۴۰۰ دور در دقیقه و زمان هواده‌ی (X_3) از ۵ تا ۲۵ دقیقه متغیر بودند. داده‌های تجربی به یک مدل چند جمله‌ای مطابق معادله (۳) برازش داده می‌شوند:

طراحی آزمایش‌ها و بهینه‌سازی

طرح باکس بنکن در روش سطح پاسخ، برای بررسی اثر غلظت سورفکتانت (درصد)، سرعت (دور در دقیقه) و زمان (دقیقه) هواده‌ی بر درصد افزایش حجم و حجم مایع زهکشی شده (بر حسب میلی‌لیتر) استفاده شد. برای ارزیابی مناسب‌تری از خطای تکرار، سه تکرار در نقطه مرکزی انجام شد. نمادهای در نظر گرفته شده برای هر متغیر

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \varepsilon \quad (3)$$

جدول ۱- متغیرهای مورد مطالعه در روش سطح پاسخ و سطوح آن‌ها

Table 1-The levels of studied variables in the response level method

| Variables متغیرها | Signs نمادها | Levels سطوح | | | |
|----------------------|---|----------------|------|------|------|
| Independent مستقل | Surfactant concentration (%) غلظت سورفکتانت (درصد) | X_1 | 2 | 6 | 10 |
| | Whipping speed (rpm) سرعت (دور در دقیقه) | X_2 | 1100 | 3250 | 5400 |
| | Whipping time (min) زمان (دقیقه) | X_3 | 5 | 15 | 25 |
| Responses پاسخ | Overrun (%) افزایش حجم (درصد) | Y_1 | - | - | - |
| | Drainage (mL) مایع زهکشی شده (میلی‌لیتر) | Y_2 | - | - | - |

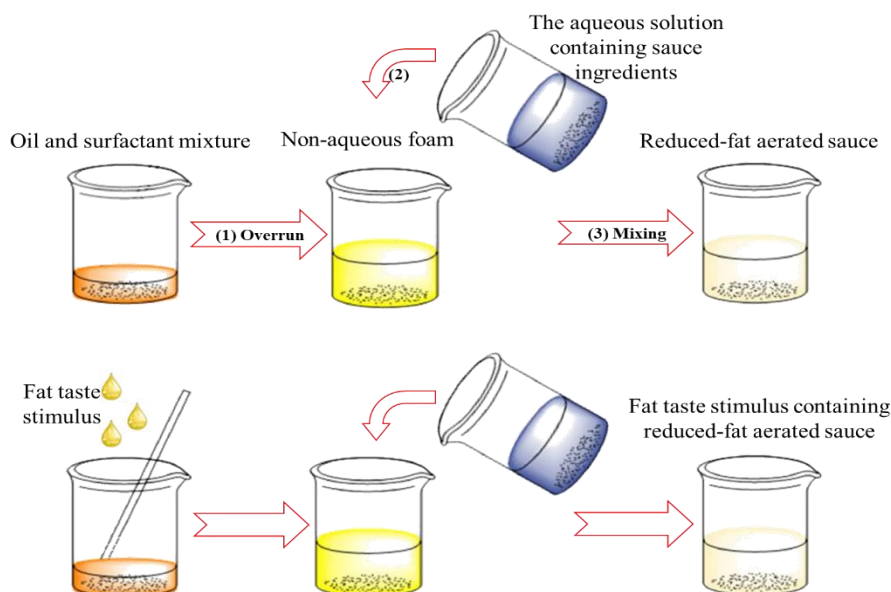
حداکثر ۸۰ درصد روغن مایع گیاهی (عمدتاً سویا، کانولا و زیتون) تعریف کرده است (FDA, 2018). سایر ترکیبات تشکیل‌دهنده سس شامل ادویه، سرکه، شکر و سایر طعم‌دهنده‌ها در فاز آبی می‌باشد. تهیه سس مطابق این دستورالعمل انجام شد، با این تفاوت که ۸۰ درصد وزنی روغن با کف روغنی تهیه شده جایگزین گردید. ابتدا، یک فاز آبی حاوی سایر مواد تشکیل‌دهنده سس با استفاده از همزن دستی (Apex، AHB-110B/W) به مدت ۱ دقیقه تهیه شد. سپس فاز آبی به تدریج تحت شرایط هم‌زدن دستی و آرام، در دمای محیط به کف روغنی اضافه شد. علاوه بر این لینولئیک اسید به‌عنوان محرک مزه چربی در غلظت معادل با آستانه تشخیص یعنی ۳/۰۰ میلی‌مولار، به کف روغنی اضافه شده و بدین ترتیب سس هواده‌ی شده کم‌چرب حاوی محرک مزه چربی نیز تهیه گردید (شکل ۱). سرانجام، نمونه‌های آماده شده به بطری‌های شیشه‌ای درب دار منتقل شده، در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان تجزیه و تحلیل نگهداری شدند. سس‌های تجاری نیز به‌طور هم‌زمان برای اهداف مقایسه مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۲).

که در آن Y پاسخ یا متغیر وابسته؛ β_0 عرض از مبدأ؛ β_1 ، β_2 و β_3 ضرایب رگرسیون خطی؛ β_{11} ، β_{22} و β_{33} ضرایب رگرسیون درجه دوم؛ β_{12} ، β_{13} و β_{23} ضرایب رگرسیون متقابل؛ X_1 ، X_2 و X_3 متغیرهای مستقل و ε خطای تصادفی هستند.

بهینه‌سازی با استفاده از روش پیشنهادی توسط **Odriozola-Serrano** و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد. توابع مطلوبیت به‌دست آمده برای هر پاسخ در یک عبارت کلی تحت عنوان میانگین هندسی توابع ترکیب می‌شوند. هرچه مقدار مطلوبیت آزمون‌ی به یک نزدیک‌تر باشد، مناسب‌تر است. در این مطالعه، توابع مطلوبیت برای دستیابی به کف روغنی با بالاترین میزان افزایش حجم و کم‌ترین مقدار مایع زهکشی شده، ایجاد شد. از نرم‌افزار Design (Stat Ease Inc., MN, US) Expert 11.0 برای به‌دست آوردن مدل‌های متناسب با داده‌های تجربی و رسم منحنی‌های سطح پاسخ استفاده شد.

آماده‌سازی سس هواده‌ی شده

سازمان غذا و دارو سس‌ها (21CFR169.140) را به‌عنوان محصولات غذایی نیمه جامد و یک امولسیون روغن در آب حاوی



شکل ۱- مراحل آماده سازی سس‌های هوادهی شده کم‌چرب
ردیف بالا و پایین به ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه حاوی محرک مزه چربی می‌باشند.

Fig.1. Steps of preparation of reduced-fat aerated sauces

The top and bottom rows are for the control sample and the sample containing the fat taste stimulus, respectively.

عدد تیوباریتوریک اسید به‌عنوان شاخصی از تشکیل ترکیبات ثانویه اکسیداسیون، طبق روش [Dos Passos](#) و همکاران (۲۰۱۹) تعیین شد. ۵۰ میلی‌گرم روغن استخراج شده (M) و ۱۰ میلی‌لیتر آن-بوتانول به یک لوله آزمایش منتقل شده، سپس همگن شدند. مقدار ۲ میلی‌لیتر از این محلول به لوله آزمایش دیگری منتقل و سپس ۵ میلی‌لیتر محلول اسید تیوباریتوریک اسید (۰/۲ درصد وزنی حجمیدر آن-بوتانول) به آن اضافه شد. نمونه‌ها در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت آنکوباتورگذاری شده، سپس میزان جذب آن‌ها (A_s) در ۵۳۲ نانومتر با اسپکتروفتومتر (شیمادزو، ژاپن) تعیین گردید. مقدار تیوباریتوریک اسید بر حسب یک بر میلی‌گرم از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$\text{عدد تیوباریتوریک اسید} = \frac{50 \times (A_s - A_b)}{M} \times 100 \quad (6)$$

که در آن A_b جذب نمونه شاهد است.

ارزیابی حسی

در ارزیابی حسی نمونه‌ها ۱۲ نفر (دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد، ۵۸ درصد خانم، محدوده سنی ۲۰-۳۰ سال، شاخص توده بدنی ۲۲/۵۸) ارزیاب نیمه آموزش دیده شرکت کردند. روش ارزیابی حسی به‌صورت هدونیک ۹ نقطه‌ای (عدد ۱ کم‌ترین و عدد ۹ بیش‌ترین مطلوبیت) و پارامترهای مورد نظر ظاهر، بافت، طعم و پذیرش کلی بود.

پایداری اکسیداتیو سس

استخراج روغن از نمونه‌ها به روش [Dos Passos](#) و همکاران (۲۰۱۹) انجام شد. به این صورت که نمونه‌های سس به لوله‌های فالکون منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در فریزر منجمد شدند. پس از ذوب شدن، فاز روغنی توسط سانتریفوژ (اروم تجهیز دیجیتال، T.24) با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه جدا شد. سپس روند اکسیداسیون آن طی هفت روز متوالی (۱، ۳، ۵ و ۷) مورد ارزیابی قرار گرفت.

عدد پراکسید به‌عنوان معیاری از تشکیل ترکیبات اولیه اکسیداسیون، بر اساس تیتراسیون و پیرو روش (AOCS Official Method Cd 8b-90, 2017) اندازه‌گیری شد. به این صورت که درون یک ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری، به وزن مشخصی از روغن استخراج شده (M)، حدود ۲۵ میلی‌لیتر محلول استیک اسید و کلروفرم (با نسبت ۲:۳)، ۰/۵ میلی‌لیتر محلول یدور پتاسیم اشباع، ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر محلول نشاسته ۱ درصد اضافه گردید. محلول تهیه شده با تیوسولفات سدیم ۰/۱ نرمال (N) تیترو شده و با توجه به حجم مصرفی آن (V)، مقدار پراکسید بر حسب میلی‌اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم روغن استخراجی از آن محاسبه گردید:

$$\text{عدد پراکسید} = \frac{N \times V}{M} \times 100 \quad (5)$$

جدول ۲- ترکیبات نمونه‌های مورد مطالعه
Table 2- Sauce samples used in the study

| Sauce سس | Ingredients ترکیبات | Fat (per 15g) گرم چربی در هر ۱۵ گرم | Oleic acid concentration غلظت لینولئیک اسید (میلی مولار) |
|--|--|---|--|
| Formulated reduced-fat هواده‌ی شده | Non-aqueous foam, egg yolk, vinegar, sugar, water, spices and seasonings کف روغنی، زرده تخم مرغ، سرکه، شکر، آب، ادویه و سایر طعم دهنده‌ها | 4.0 g | 0.00 (Control) 3.00 mM |
| Commercial free-fat تجاری بدون چربی | Modified starch, guar gum, xanthan, egg yolk powder, vinegar, sugar, water, lactic acid, citric acid, mustard powder, garlic powder, lemon juice, salt نشاسته اصلاح شده، گوار، زانتان، پودر زرده تخم مرغ، سرکه، شکر، آب، اسید لاکتیک، اسید سیتریک، پودر خردل، پودر سیر، آب لیمو و نمک | 0.0 g | - |
| Commercial low-fat تجاری کم چرب | Modified starch, oil, egg, vinegar, sugar, water, lactic acid, mustard powder, EDTA, salt نشاسته اصلاح شده، روغن، تخم مرغ، سرکه، شکر، آب، اسید لاکتیک، پودر خردل، EDTA و نمک | 4.7 | - |
| Commercial full-fat تجاری پر چرب | Oil, egg, vinegar, sugar, water, citric acid, mustard powder, sodium benzoate, potassium sorbate, EDTA, salt روغن، تخم مرغ، سرکه، شکر، آب، اسید سیتریک، پودر خردل، بنزوات سدیم، سوربات پتاسیم، EDTA و نمک | 9.9 g | - |

متغیرهای مستقل بر متغیرهای پاسخ است. اثر متغیرهای غلظت سورفکتانت، سرعت و زمان هواده‌ی بر افزایش حجم مستقیم و معنی دار بود ($p < 0.05$). اثر متقابل سرعت و زمان هواده‌ی و عبارت درجه دوم غلظت سورفکتانت بر افزایش حجم نیز معکوس و معنی دار بود. غلظت سورفکتانت، سرعت هواده‌ی و اثر متقابل غلظت سورفکتانت و زمان هواده‌ی بر حجم زهکشی اثر معکوس و معنی دار داشتند. زمان هواده‌ی، عبارت متقابل غلظت سورفکتانت و سرعت هواده‌ی و نیز عبارت درجه دوم غلظت سورفکتانت بر حجم زهکشی اثر مسقیم و معنی دار داشتند. لازم به ذکر است عبارت‌های غیرمعنادار از مدل چند جمله‌ای مرتبه دوم حذف شده‌اند. بررسی معنی داری برازش معادله‌های چندجمله‌ای مرتبه دوم به داده‌های تجربی ضروری است. لذا، تجزیه و تحلیل واریانس برای آزمودن اعتبار مدل‌ها صورت گرفت. ضرایب رگرسیونی پیش‌بینی شده مدل‌های چندجمله‌ای مرتبه دوم و سایر اطلاعات آماری حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس برای متغیرهای پاسخ افزایش حجم و حجم زهکشی به ترتیب در جدول ۴ و ۵ ارائه شده است. مدل رگرسیونی مربوط به این پاسخ‌ها در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار و آزمون عدم برازش برای متغیرها معنی‌دار نبود. به‌طور کلی این نتایج نشان‌دهنده برازش خوب مدل‌های پیش‌بینی شده به روش سطح پاسخ با داده‌های تجربی می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمون‌ها در سه تکرار انجام شدند. بررسی اختلافات آماری داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($p < 0.05$) و مقایسه دو به دو آن‌ها با آزمون توکی به کمک نرم‌افزار (GraphPad Software, San Diego, CA, USA) Prism 6 انجام شد.

نتایج و بحث

طراحی آزمایش‌ها

مدل‌سازی و آزمون معنی‌داری آماری

در این پژوهش از روش سطح پاسخ باکس بنکن به‌منظور بهینه‌سازی فرآیند تولید کف روغنی استفاده شد. تمامی ۱۷ آزمایش طراحی شده انجام و مقادیر پاسخ‌های به‌دست آمده در جدول ۳ گزارش شده است.

از بین مدل‌های ارائه شده، مدل چندجمله‌ای مرتبه دوم با ضرایب تبیین برابر ۹۷/۰۱ و ۹۴/۹۴ درصد به‌ترتیب برای متغیرهای پاسخ افزایش حجم و حجم زهکشی طبق روابط ۷ و ۸، برازش شد. علامت مثبت ضرایب رگرسیون پیش‌بینی شده بیانگر تاثیر مستقیم و علامت منفی نیز بیانگر تاثیر معکوس متغیرهای مستقل بر متغیرهای پاسخ است. همچنین مقدار عددی ضرایب نشان‌دهنده میزان تاثیر

$$Y_1 = 53.23 + 14.14 X_1 + 3.85 X_2 + 2.58 X_3 - 6.74 X_2 X_3 - 5.46 X_1^2 \quad (7)$$

$$Y_2 = 1.34 - 5.90 X_1 - 1.93 X_2 + 1.66 X_3 + 2.58 X_1 X_2 - 1.49 X_1 X_3 + 3.98 X_1^2 \quad (۸)$$

جدول ۳- آزمایش‌های طراحی شده به روش سطح پاسخ و پاسخ‌های محاسبه شده در بررسی اثر متغیرهای مستقل بر ویژگی‌های کف
Table 2-Experiments designed by response surface methodology and calculated responses to investigate the effect of independent variables on foam properties

| Run* آزمون | Independent variables متغیرهای مستقل | | | Dependent variables (Responses)** متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها) | |
|---------------|--|---|---|--|--|
| | Surfactant concentration (%) غلظت سورفاکتانت (درصد) | Whipping speed (rpm) سرعت همزدن (دور بر دقیقه) | Whipping time (min) زمان همزدن (دقیقه) | Overrun (%) افزایش حجم (درصد) | Drainage (mL) حجم زهکشی (میلی لیتر) |
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | Y ₁ | Y ₂ |
| 1 | 10 | 1100 | 25 | 61.016 ± 1.419 | 0.333 ± 0.577 |
| 2 | 6 | 3250 | 15 | 52.381 ± 0.639 | 1.666 ± 0.577 |
| 3 | 6 | 3250 | 15 | 53.488 ± 0.639 | 2.000 ± 0.577 |
| 4 | 2 | 3250 | 15 | 35.484 ± 2.083 | 10.000 ± 0.577 |
| 5 | 10 | 3250 | 15 | 60.784 ± 0.854 | 0.333 ± 0.577 |
| 6 | 10 | 1100 | 5 | 45.840 ± 2.931 | 0.333 ± 0.577 |
| 7 | 6 | 5400 | 15 | 54.819 ± 2.166 | 1.666 ± 0.577 |
| 8 | 6 | 1100 | 15 | 45.920 ± 1.462 | 1.666 ± 0.577 |
| 9 | 6 | 3250 | 25 | 52.750 ± 0.639 | 3.666 ± 1.000 |
| 10 | 2 | 1100 | 25 | 34.722 ± 2.405 | 21.000 ± 1.000 |
| 11 | 2 | 5400 | 5 | 37.459 ± 1.955 | 4.666 ± 0.577 |
| 12 | 6 | 3250 | 15 | 52.381 ± 0.639 | 1.000 ± 0.577 |
| 13 | 6 | 3250 | 5 | 49.573 ± 0.740 | 0.333 ± 0.577 |
| 14 | 2 | 1100 | 5 | 11.584 ± 2.749 | 14.666 ± 1.000 |
| 15 | 10 | 5400 | 25 | 57.434 ± 0.905 | 1.000 ± 1.000 |
| 16 | 2 | 5400 | 25 | 26.190 ± 0.584 | 11.000 ± 0.577 |
| 17 | 10 | 5400 | 15 | 61.780 ± 1.149 | 0.333 ± 0.577 |

* ترتیب تصادفی بوده و شماره اجراها با ترتیب آزمون‌ها مطابقت ندارد. ** داده‌های نشان داده شده معادل انحراف معیار ± میانگین هستند.

* The order is random and the number of runs does not match the order of the experiments.

** The data shown are the standard deviation ± mean.

۱۰ درصد وزنی با سرعت هوادهی بالای ۴۰۰۰ دور بر دقیقه حاصل شد.

لازم به ذکر است که محصولاتی با این میزان از حجم هوا (افزایش حجم بیش از ۶۰ درصد) به عنوان محصول با هوادهی بالا در نظر گرفته می‌شوند (Campbell and Mougeot, 1999). با افزایش سرعت تا ۵۰۰۰ دور بر دقیقه مقدار افزایش حجم کاهش یافت که ممکن است به دلیل اعمال نیروی برشی بالا باشد. در نتیجه اعمال برش مداوم و یا افزایش سرعت آن، هوا وارد سطح آزاد مایع شده و حباب‌های بزرگی ایجاد می‌کند که شکسته شده و منجر به بی‌ثباتی کف تولید شده می‌شوند (Drenckhan and Saint-Jalmes, 2015).

اثر متقابل غلظت سورفاکتانت و زمان هوادهی بر افزایش حجم در شکل ۲-ب ارائه شده است. بیشترین مقدار افزایش حجم در غلظت سورفاکتانت ۱۰ درصد وزنی تحت هوادهی به مدت ۲۰ دقیقه حدود ۶۴ درصد بود

تجزیه و تحلیل سطوح پاسخ سه بعدی

به منظور ارزیابی اثرات متقابل متغیرهای مستقل روی هر یک از متغیرهای پاسخ، منحنی‌های سطح پاسخ برای هر مدل برازش شده ایجاد شد. در شکل ۲-ا اثر متقابل غلظت سورفاکتانت و سرعت هوادهی بر افزایش حجم نشان داده شده است. قابلیت تولید کف روغنی با افزایش غلظت سورفاکتانت تا ۱۰ درصد وزنی افزایش یافت. این روند مشابه روند کلی پذیرفته شده در مورد سیستم‌های آبی است. با افزایش غلظت، بخش وسیع‌تری از سطح مشترک روغن و هوا با سورفاکتانت پوشیده شده و تثبیت می‌شود (Binks et al., 2011). به طور مشابه، در مورد مخلوط روغن آفتابگردان و سورفاکتانت الکل چرب ۱-اکتادکانول، میزان افزایش حجم از ۲۰ درصد برای ۲ درصد وزنی به ۷۵ درصد برای ۱۰ درصد وزنی افزایش یافت (Fameau et al., 2015). نتایج مشابهی نیز برای مخلوط روغن آفتابگردان و سورفاکتانت میریستیک اسید (Binks et al., 2011) و روغن زیتون و سورفاکتانت‌های دی گلیسرول مونومیرستات و دی گلیسرول منولوات (Shrestha et al., 2008) گزارش شده است. بیشترین مقدار افزایش حجم معادل ۶۵ درصد بود که در غلظت سورفاکتانت

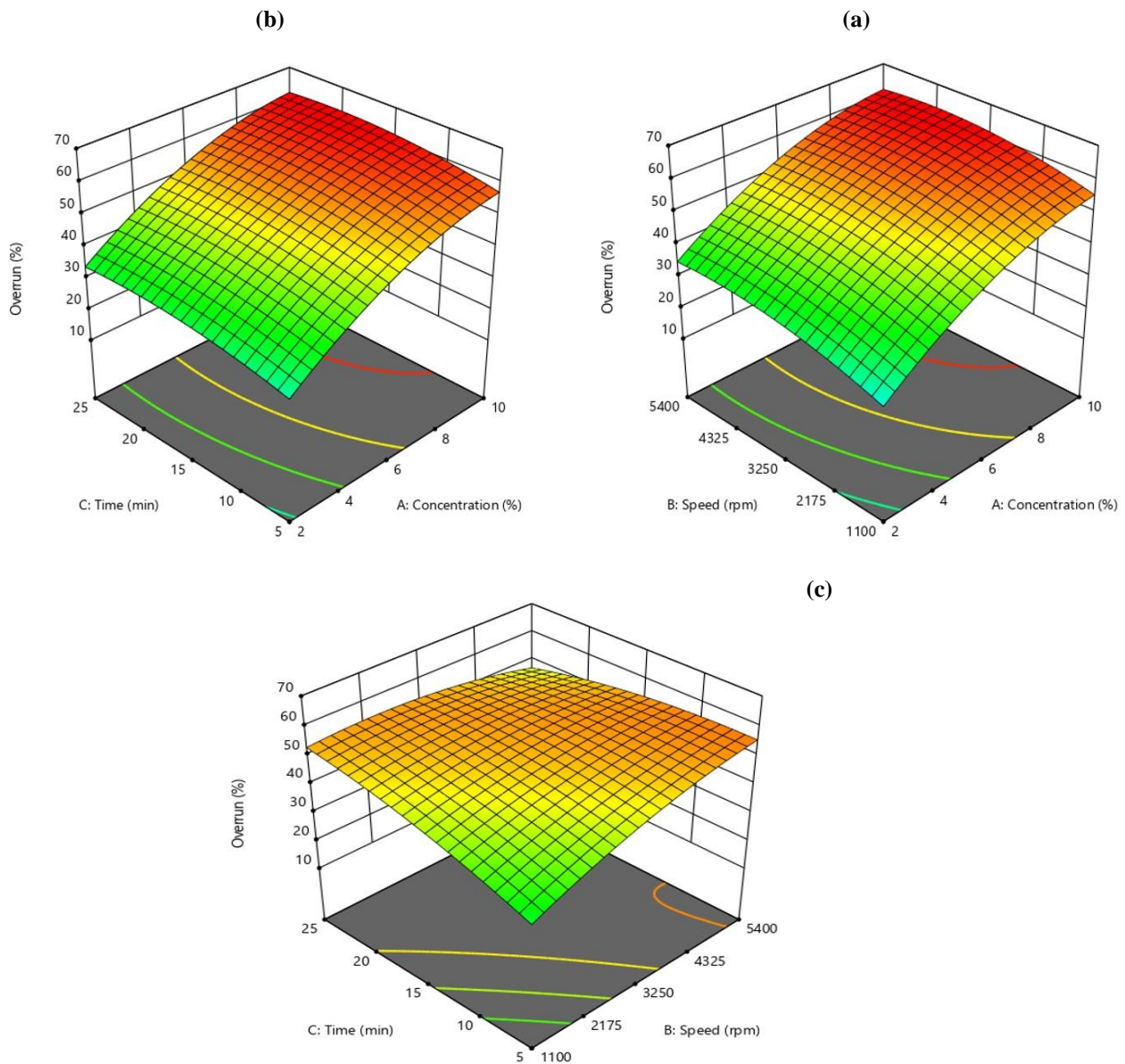
جدول ۴- نتایج تجزیه و تحلیل واریانس و ضرایب مدل برازش شده به معادله رگرسیونی درجه دوم متغیر پاسخ افزایش حجم
Table 4- Results of analysis of variance and model coefficients fitted to the quadratic regression equation for the overrun response variable

| | Predicted coefficients ضرایب پیش‌بینی شده | sum of squares مجموع مربعات | Degree of freedom درجه آزادی | Mean squared میانگین مربعات | F-value | p-value | Std. Dev. | C.V. % |
|---|--|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------|---------|-----------|--------|
| Model مدل | | 2937.92 | 9 | 326.44 | 58.59 | 0.0001> | 2.36 | 5.06 |
| Intercept عرض از مبدا β_0 | 53.24 | | | | | | | |
| Linear expression عبارت خطی | | | | | | | | |
| Surfactant concentration ($\beta_1 X_1$) غلظت سورفاکتانت ($\beta_1 X_1$) | 14.14 | 1999.74 | 1 | 1999.74 | 358.90 | 0.0001> | | |
| Whipping speed ($\beta_2 X_2$) سرعت همزدن ($\beta_2 X_2$) | 3.86 | 148.97 | 1 | 148.97 | 26.74 | 0.0013 | | |
| Whipping time ($\beta_3 X_3$) زمان همزدن ($\beta_3 X_3$) | 2.59 | 66.94 | 1 | 66.94 | 12.01 | 0.0105 | | |
| Interaction متقابل | | | | | | | | |
| Surfactant concentration × Whipping speed ($\beta_{12} X_1 X_2$) غلظت سورفاکتانت × سرعت همزدن ($\beta_{12} X_1 X_2$) | -0.62 | 3.10 | 1 | 3.10 | 0.5568 | 0.4798 | | |
| Surfactant concentration × Whipping time ($\beta_{13} X_1 X_3$) غلظت سورفاکتانت × زمان همزدن ($\beta_{13} X_1 X_3$) | -0.12 | 0.1342 | 1 | 0.1342 | 0.0241 | 0.8811 | | |
| Whipping speed × Whipping time ($\beta_{23} X_2 X_3$) سرعت همزدن × زمان همزدن ($\beta_{23} X_2 X_3$) | -6.74 | 363.50 | 1 | 363.50 | 65.24 | 0.0001> | | |
| Quadratic expression عبارت درجه دوم | | | | | | | | |
| Surfactant concentration ² ($\beta_{11} X_1^2$) غلظت سورفاکتانت ² ($\beta_{11} X_1^2$) | -5.47 | 80.12 | 1 | 80.12 | 14.38 | 0.0068 | | |
| Whipping speed ² ($\beta_{22} X_2^2$) سرعت همزدن ² ($\beta_{22} X_2^2$) | -3.23 | 28.00 | 1 | 28.00 | 5.03 | 0.0599 | | |
| Whipping time ² ($\beta_{33} X_3^2$) زمان همزدن ² ($\beta_{33} X_3^2$) | -2.44 | 15.96 | 1 | 15.96 | 2.86 | 0.1344 | | |
| Residual error خطای باقی مانده | | 39.00 | 7 | 5.57 | | | | |
| Lack of fit عدم برازش | | 38.19 | 5 | 7.64 | 18.70 | 0.0515 | | |
| Net error کل خالص | | 0.8170 | 2 | 0.4085 | | | | |
| Sum جمع | | 2976.92 | 16 | | | | | |

جدول ۵- نتایج تجزیه و تحلیل واریانس و ضرایب مدل برازشی شده به معادله رگرسیونی درجه دوم متغیر پاسخ حجم زهکشی

Table 5- Results of analysis of variance and model coefficients fitted to the quadratic regression equation for the drainage response variable

| | Predicted coefficients | sum of squares | Degree of freedom | Mean squared | F-value | p-value | Std. Dev. | C.V. % |
|--|------------------------|----------------|-------------------|--------------|---------|---------|-----------|--------|
| Model مدل | | 577.37 | 9 | 64.15 | 34.37 | 0.0001> | 1.37 | 30.690 |
| Intercept عرض از مبدا β_0 | 1.34 | | | | | | | |
| Linear expression عبارت خطی | | | | | | | | |
| Surfactant concentration ($\beta_1 X_1$) غلظت سورفاکتانت ($\beta_1 X_1$) | -5.90 | 348.10 | 1 | 348.10 | 186.51 | 0.0001> | | |
| Whipping speed ($\beta_2 X_2$) سرعت همزدن ($\beta_2 X_2$) | -1.93 | 37.38 | 1 | 37.38 | 20.03 | 0.0029 | | |
| Whipping time ($\beta_3 X_3$) زمان همزدن ($\beta_3 X_3$) | 1.67 | 27.78 | 1 | 27.78 | 14.88 | 0.0062 | | |
| Interaction متقابل | | | | | | | | |
| Surfactant concentration × Whipping speed ($\beta_{12} X_1 X_2$) غلظت سورفاکتانت × سرعت همزدن ($\beta_{12} X_1 X_2$) | 2.58 | 53.39 | 1 | 53.39 | 28.61 | 0.0011 | | |
| Surfactant concentration × Whipping time ($\beta_{13} X_1 X_3$) غلظت سورفاکتانت × زمان همزدن ($\beta_{13} X_1 X_3$) | -1.50 | 18.00 | 1 | 18.00 | 9.64 | 0.0172 | | |
| Whipping speed × Whipping time ($\beta_{23} X_2 X_3$) سرعت همزدن × زمان همزدن ($\beta_{23} X_2 X_3$) | 0.08 | 0.05 | 1 | 0.05 | 0.02 | 0.8679 | | |
| Quadratic expression عبارت درجه دوم | | | | | | | | |
| Surfactant concentration ² ($\beta_{11} X_1^2$) غلظت سورفاکتانت ² ($\beta_{11} X_1^2$) | 3.98 | 42.52 | 1 | 42.52 | 22.78 | 0.0020 | | |
| Whipping speed ² ($\beta_{22} X_2^2$) سرعت همزدن ² ($\beta_{22} X_2^2$) | 0.48 | 0.62 | 1 | 0.62 | 0.33 | 0.5805 | | |
| Whipping time ² ($\beta_{33} X_3^2$) زمان همزدن ² ($\beta_{33} X_3^2$) | 0.81 | 1.79 | 1 | 1.79 | 0.9580 | 0.3603 | | |
| Residual error خطای باقی مانده | | 13.06 | 7 | 1.78 | | | | |
| Lack of fit عدم برازش | | 12.55 | 5 | 2.51 | 9.68 | 0.0963 | | |
| Net error خالص کل | | 0.51 | 2 | 0.25 | | | | |
| Sum جمع | | 590.43 | 16 | | | | | |



شکل ۲- اثرات متقابل غلظت سورفکتانت و سرعت هوادهی در زمان ۱۵ دقیقه (الف)، غلظت سورفکتانت و زمان هوادهی در سرعت ۳۲۵۰ دور بر دقیقه (ب) و سرعت و زمان هوادهی در غلظت سورفکتانت ۶ درصد (ج) بر افزایش حجم کفها

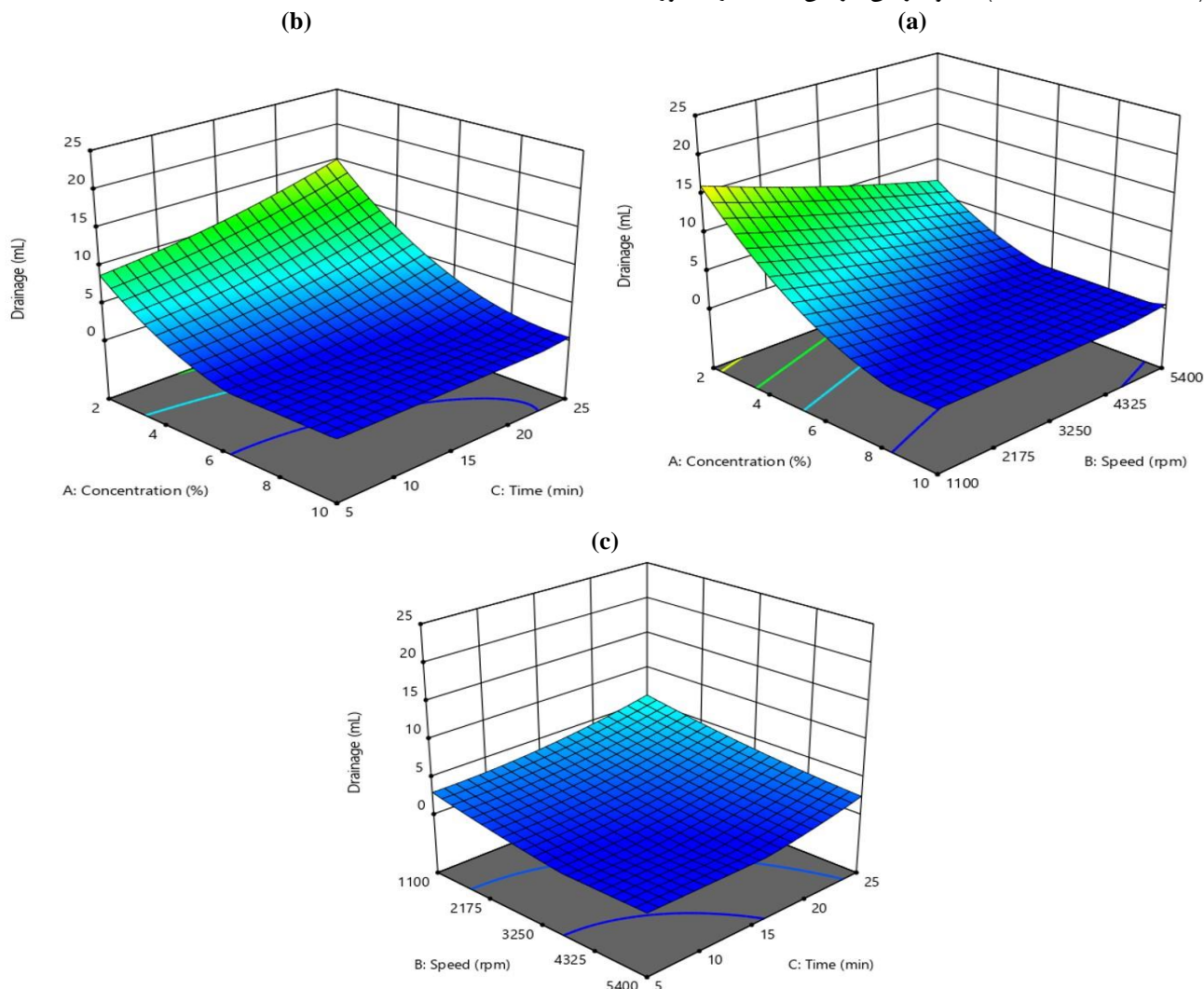
Fig. 2. Interaction of surfactant concentration and whipping speed at 15 minutes (a), surfactant concentration and whipping time at 3250 rpm (b) and whipping speed and time at 6% surfactant concentration (c) on overrun

حجم کاهش یافت. بنابراین کف‌های تهیه شده از مخلوط‌های حاوی ۶ درصد وزنی سورفکتانت تحت سرعت هوادهی ۵۴۰۰ دور در دقیقه، تنها ظرف مدت ۵ دقیقه به حداکثر حجم خود (افزایش حجم حدود ۶۴ درصد) رسیدند. با این حال، همانطور که پیش از این اشاره شد کف‌های تولید شده در سرعت‌های هوادهی بالا پایدار نخواهند بود. بنابراین انتخاب سرعت و زمانی که در آن علاوه بر بازده حداکثری تولید، کف‌ها پایداری مناسبی نیز داشته باشند، بسیار حائز اهمیت است. همان‌طور که در شکل ۳-ا و ۳-ب به وضوح مشخص است

همان‌طور که نتایج مطالعه پیشین نیز نشان داد، حجم کف در ابتدا به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد اما سپس ثابت باقی می‌ماند و همه مخلوط‌ها در ۲۰ دقیقه ابتدایی زمان هوادهی به حداکثر حجم خود می‌رسند (Saremnejad et al., 2020). نتایج مشابهی برای هوادهی روغن آفتابگردان اولئیک بالا حاوی سورفکتانت میریستیک اسید گزارش شده است (Binks et al., 2016). در مورد اثر متقابل سرعت و زمان هوادهی (شکل ۲-ج) نیز همانطور که انتظار می‌رفت با افزایش سرعت هوادهی، زمان لازم برای رسیدن به حداکثر افزایش

سورفکتانت می‌تواند منجر به تشکیل یک اولئوزل (مخلوط روغن و سورفکتانت) بسیار ویسکوالاستیک شود. در چنین مخلوطی مقادیر زیادی از فاز پیوسته روغنی بی‌حرکت می‌شود و در نتیجه پایداری کف افزایش می‌یابد (Fameau and Saint-Jalmes, 2017).

میزان زهکشی کف‌ها با افزایش غلظت سورفکتانت کاهش می‌یابد. پایداری کف به‌طور قابل توجهی به غلظت سورفکتانت بستگی دارد چرا که مولکول‌های آن سطح مشترک روغن و حباب‌های هوا را پوشانده، به این ترتیب از فروپاشی کف جلوگیری می‌کنند (Shrestha et al., 2006). علاوه بر این افزایش غلظت ذرات بلوری



شکل ۳- اثرات متقابل غلظت سورفکتانت و سرعت هوادهی در زمان ۱۵ دقیقه (الف)، غلظت سورفکتانت و زمان هوادهی در سرعت ۳۲۵۰ دور بر دقیقه (ب) و سرعت و زمان هوادهی در غلظت سورفکتانت ۶ درصد (ج) بر حجم زهکشی کف‌ها

Fig. 3. Interaction of surfactant concentration and whipping speed at 15 minutes (a), surfactant concentration and whipping time at 3250 rpm (b) and whipping speed and time at 6% surfactant concentration (c) on drainage.

توجه داشت که این روند در زمان‌های کوتاه‌تری از فرآیند هوادهی صادق بود و کف‌هایی که به مدت طولانی‌تری در معرض سرعت‌های بالای هوادهی قرار گرفتند، ناپایدار بودند

بهبودسازی و اعتبارسنجی مدل

پس از به‌دست آمدن مدل‌های چندجمله‌ای مرتبه دوم برای هر کدام از پاسخ‌ها، به‌منظور بهبود اعتبارسنجی هم زمان متغیرهای پاسخ از

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت کف‌های تهیه شده از مخلوط‌های روغنی حاوی بالای ۸ درصد وزنی سورفکتانت تحت سرعت‌های هوادهی ۳۰۰۰-۳۵۰۰ دور در دقیقه و بازه زمانی ۲۰-۱۵ دقیقه، حداقل مقدار میزان حجم زهکشی را داشتند و از این لحاظ پایدارتر بودند. در مورد اثر متقابل سرعت و زمان هوادهی (شکل ۳-ج) نیز کف‌های تهیه شده در سرعت‌های پایین ناپایدار بودند. با افزایش سرعت هوادهی میزان حجم زهکشی کف‌ها نیز کاهش یافت. اما باید

حداکثر بازده تولید کف روغنی و پایداری آن می‌باشد. برای تایید اعتبار مقادیر پیش‌بینی شده در بهینه‌سازی مدل، میزان افزایش حجم و حجم زهکشی در شرایط بهینه پیش‌بینی شده با سه تکرار به‌دست آمد (جدول ۷). نزدیک بودن میزان مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده نشان از صحت مدل‌ها داشت. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کف تهیه شده از مخلوط حاوی حدود ۱۰ وزنی سورفکتانت تحت شرایط سرعت هوادهی حدود ۳۴۰۰ دور در دقیقه به مدت تقریبی ۱۵ دقیقه افزایش حجم بالای ۶۰ درصد به لحاظ قابلیت تولید کف و پایداری قابل قبول می‌باشد. بنابراین کف آماده شده تحت این شرایط به‌عنوان کف بهینه برای تولید سس کم‌چرب هوادهی شده انتخاب گردید.

روش سطح پاسخ و تابع مطلوبیت استفاده شد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر مد نظر و همچنین ضریب اهمیت آن‌ها برای متغیرهای پاسخ مورد بررسی در جدول ۶ ارائه شده است. درجه مطلوبیت هر پاسخ می‌تواند رابطه حائز اهمیتی با پاسخ‌های دیگر داشته باشد. درجه این اهمیت با علامت «+» تعیین شده و از حداقل مقدار یک (+) تا حداکثر مقدار پنج (+++++) تغییر می‌کند (Lee et al., 2018). ضرایب اهمیت در این مطالعه به نحوی انتخاب شدند تا شرایطی را که مقادیر پاسخ در آن مطلوب‌ترین است، ارائه کنند. طبق مقادیر پیش‌بینی شده در بهینه‌سازی مدل هوادهی مخلوط حاوی حدود ۱۰ درصد سورفکتانت تحت سرعت حدود ۳۴۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه، با شاخص مطلوبیت یک شرایط بهینه برای دستیابی به

جدول ۶- محدوده متغیرها و ضریب اهمیت پاسخ‌ها جهت بهینه‌سازی فرآیند تهیه کف به روش سطح پاسخ

Table 6- Range of variables and significance coefficient of responses to optimize the foam preparation process by response surface methodology

| Variables متغیرها | Minimum کمترین | Maximum بیشترین | Coefficient of importance ضریب اهمیت | |
|---|-------------------|--------------------|---|------|
| Independent | | | | |
| متغیرهای مستقل | | | | |
| Surfactant concentration (%) غلظت سورفکتانت (درصد) | In range | 2 | 10 | - |
| Whipping speed (rpm) سرعت همزدن (دور بر دقیقه) | In range | 1100 | 5400 | - |
| Whipping time (min) زمان همزدن (دقیقه) | In range | 5 | 15 | - |
| Dependent | | | | |
| Overrun (%) افزایش حجم (درصد) | Maximum | 11.58 | 61.78 | ++++ |
| Drainage (mL) حجم زهکشی (میلی لیتر) | Minimum | 0.00 | 21.00 | +++ |

جدول ۷- مقادیر پیش‌بینی شده متغیرهای وابسته و مستقل به روش سطح پاسخ

Table 7- Predicted values of dependent and independent variables by response surface methodology

| Independent variables متغیرهای مستقل | Dependent variables (Responses)** متغیرهای وابسته (پاسخ) | | | | Residues باقی‌مانده‌ها | | | | |
|---|---|---------|-------------------------------|--------------|---------------------------|--------------|-------------|-------|------|
| | Predicted مقادیر پیش‌بینی (برازش) شده | | Measured مقادیر مشاهده شده | | Y1 | Y2 | | | |
| | X1 | X2 | X3 | Y1 | | | Y2 | | |
| | 14.09 | 3466.35 | 9.80 | 62.01 ± 2.36 | 0.00 ± 1.36 | 60.78 ± 0.85 | 0.23 ± 0.57 | -1.23 | 0.33 |

تجاری و نیز فاصله زمانی موجود از تولید تا خرید آن‌ها امکان بررسی تغییر و pH در طول بازه زمانی میسر نبود، بنابراین فقط نمونه‌های هوادهی شده از نظر تغییرات اسیدیته و pH در بازه زمانی نگهداری مورد مطالعه قرار گرفتند.

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود مقادیر pH تمام نمونه‌ها در محدوده استاندارد یعنی کمتر از ۴/۱ قرار داشتند. بالاترین میزان pH اندازه‌گیری شده (حدود ۴/۰۱) مربوط به سس تجاری پرچرب بود که با سایر نمونه‌ها اختلاف معنی داری داشت (۰/۰۰۱ < p). در ترکیبات این نمونه به نگهدارنده‌های بنزوات سدیم و سوربات

ارزیابی ویژگی‌های سس اسیدیته و pH

اسیدیته و pH از پارامترهای شیمیایی مهم در تهیه سس‌ها می‌باشند. طبق استاندارد ملی ایران شماره ۲۴۵۴، pH سس نباید بیش از ۴/۱ و اسیدیته آن نیز نباید کمتر از ۰/۶ (برحسب گرم در صد اسید استیک) باشد. سس با اسیدیته بیش از ۱/۵ طعم نامطلوبی خواهد داشت و از طرفی اسیدیته کمتر از ۰/۶ زمینه را برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌سازد. جدول ۸ مقادیر pH و اسیدیته نمونه‌ها را نشان می‌دهد. به دلیل تفاوت تاریخ تولید محصولات

شاهد و حاوی لینولئیک اسید مشاهده نشد ($p > 0.05$). با افزایش طول مدت نگهداری pH سس‌های هوادهی شده کم‌چرب کمی کاهش یافت. اگرچه این تغییر معنی‌دار نبود ($p > 0.05$), اما کاهش pH در طول زمان نگهداری، ممکن است مربوط به شکسته شدن برخی از گروه‌های استری و تبدیل آن‌ها به گروه‌های اسیدی باشد (Hosseinvand and Sohrabvandi, 2016).

پتاسیم (در مجموع ۷۰۰ ppm) اشاره شده بود که احتمالاً به‌منظور جبران اثرات pH بالا و افزایش ماندگاری آن به‌کار رفته‌اند. کم‌ترین میزان pH (حدود ۳/۶۸) نیز به سس تجاری بدون چربی اختصاص داشت. هرچند اختلاف معنی‌داری بین pH این نمونه با بقیه سس‌ها مشاهده نشد ($p > 0.05$), اما وجود اسید سیتریک و اسید لاکتیک ممکن است علت پایین‌تر بودن pH این محصول باشد. در مورد سس‌های هوادهی شده کم‌چرب نیز اختلافی بین pH نمونه‌های

جدول ۸- مقادیر pH و اسیدیته

Table 3. PH and acidity of the samples (mean \pm standard deviation values are reported in each column).

| Sauce | pH | | | | Acidity | | | |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Storage (month) | | | | Storage (month) | | | |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| Aerated | | | | | | | | |
| Control | | | | | | | | |
| شاهد | 3.775 \pm 0.021 | 3.76 \pm 0.014 | 3.755 \pm 0.007 | 3.74 \pm 0.028 | 1.21 \pm 0.042 | 1.27 \pm 0.056 | 1.30 \pm 0.014 | 1.33 \pm 0.084 |
| Containing linoleic acid | | | | | | | | |
| حاوی لینولئیک اسید | 3.780 \pm 0.056 | 3.765 \pm 0.035 | 3.725 \pm 0.049 | 3.710 \pm 0.042 | 1.17 \pm 0.070 | 1.20 \pm 0.113 | 1.26 \pm 0.042 | 1.35 \pm 0.098 |
| Commercial Free-fat | | | | | | | | |
| تجاری بدون چربی | 3.685 \pm 0.049 | - | - | - | 1.37 \pm 0.084 | - | - | - |
| Low-fat | | | | | | | | |
| کم چرب | 3.715 \pm 0.063 | - | - | - | 1.34 \pm 0.063 | - | - | - |
| Full-fat | | | | | | | | |
| پرچرب | 4.010 \pm 0.056 | | | | 0.92 \pm 0.056 | | | |

پراکسیدها محصولات اصلی اکسیداسیون چربی‌ها بوده و جزء اولین ترکیباتی هستند که به محض شروع این فرآیند تشکیل می‌شوند (Dos Passos et al., 2019). طبق شکل ۴-ا مقدار پراکسید در تمام نمونه‌ها، از ابتدای دوره نگهداری تا پایان آن افزایش یافت که البته این میزان افزایش در محدوده استاندارد یعنی کم‌تر از ۱۰ بود (استاندارد ملی شماره ۲۴۵۴). در روز اول تنها اختلاف بین عدد پراکسید سس تجاری بدون چربی با بقیه نمونه‌ها معنی‌دار بود ($p < 0.05$). در روز سوم عدد پراکسید سس تجاری پر چرب نسبت به سایر نمونه‌ها به طور قابل توجهی افزایش یافت ($p < 0.001$). اختلاف عدد پراکسید سس تجاری بدون چربی نیز هم‌چنان معنی‌دار بود ($p < 0.05$). مانند روز اول در روز سوم نیز اختلافی بین اعداد پراکسید نمونه‌های هوادهی شده شاهد و حاوی محرک و تجاری کم چرب مشاهده نشد ($p > 0.05$).

در روز پنجم افزایش عدد پراکسید نمونه پرچرب همچنان ادامه یافت. علاوه بر این عدد پراکسید سس تجاری بدون چربی یا سایر نمونه‌ها اختلاف قابل توجهی پیدا کرد ($p < 0.001$). اعداد پراکسید نمونه‌های هوادهی شده (شاهد و حاوی محرک) و تجاری کم چرب با یک‌دیگر اختلافی نداشتند ($p > 0.05$). همین روند تا روز هفتم ادامه یافت و طی هفت روز متوالی، افزایش مقادیر پراکسید نمونه تجاری پر

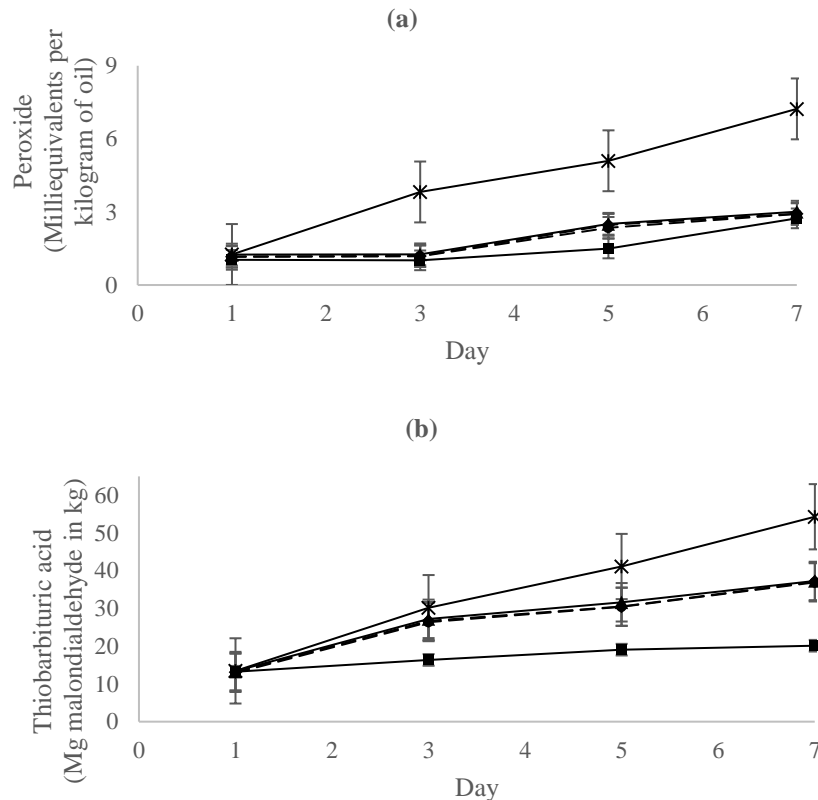
اسیدیته همه نمونه‌ها نیز در محدوده استاندارد یعنی بین ۰/۶ تا ۱/۵ بود و مقادیر مربوط به نمونه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با یک‌دیگر نشان ندادند ($p > 0.05$). بیش‌ترین میزان اسیدیته (حدود ۱/۳۷) به سس تجاری بدون چربی اختصاص داشت که با توجه به تقابل اسیدیته و pH، امری طبیعی به نظر می‌رسد. هم‌چنین با گذشت زمان و کاهش pH سس‌های هوادهی شده کم‌چرب، مقدار اسیدیته آن‌ها نیز افزایش یافت. اسیدی شدن می‌تواند نقش مهمی در ادراک سایر ویژگی‌های حسی سس‌ها داشته باشد. علاوه بر این با توجه به اسیدیته بالا، می‌توان این سس‌ها را به‌عنوان یک محصول با ثبات میکروبی مناسب در نظر گرفت (Alu'datt et al., 2016).

پایداری اکسیداتیو

اگرچه به دلیل بالا بودن اسیدیته، سس‌ها اغلب محصولات پایداری به حساب می‌آیند اما با این حال ممکن است با چالش کاهش کیفیت به‌دلیل اکسیداسیون چربی مواجه شوند. اکسیداسیون چربی‌ها فرآیند مضر است که باعث از بین رفتن مواد مغذی و ایجاد طعم و رنگ نامطلوب می‌شود. سس‌ها به عنوان فرآورده‌های غذایی امولسیون حاوی چربی بالا (اغلب حدود ۸۰ درصد)، به تخریب اکسیداتیو بسیار حساس هستند (Featherstone, 2014).

برای نمونه‌های هوادهی شده حدود ۲/۵ برابر بود. پایین‌ترین مقدار پراکسید در روز هفتم مربوط به نمونه تجاری بدون چربی (۲/۷۴ میلی اکی والان در کیلوگرم روغن) بود.

چرب به دلیل وجود مقادیر بالای چربی در مقایسه با سایر نمونه‌ها با شیب تندتری ادامه یافت. به طوری که در روز هفتم، مقدار پراکسید نمونه پر چرب بیش از ۵ برابر روز اول بود، در حالی که این نسبت



شکل ۴- مقدار پراکسید (الف) و تیوباربتوریک اسید (ب) نمونه‌های هوادهی شده (خطوط نقطه چین) شاهد (●) و حاوی لینولئیک (◆) و تجاری (خطوط پر) بدون چربی (■)، کم چرب (▲) و پر چرب (★) در طول مدت ۷ روز

Fig. 4. The amount of peroxide (a) and thiobarbituric acid (b) in aerated sauces (dotted lines) control (●) and containing linoleic acid (◆) and commercial (full lines) free-fat (■), low-fat (▲) and full-fat (★) for 7 days.

کم‌چرب و پرچرب نسبت به سایر نمونه‌ها به‌طور قابل توجهی افزایش یافت ($p < 0.001$)، با این حال باز هم اختلافی بین شاخص تیوباربتوریک اسید نمونه‌های هوادهی شده (شاهد و حاوی لینولئیک اسید) و تجاری بدون چربی مشاهده نشد ($p > 0.05$). به‌طور کلی بین نمونه‌های هوادهی شده و تجاری حاوی چربی به لحاظ اکسیداسیون تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.001$). مقادیر پایین‌تر شاخص تیوباربتوریک اسید در نمونه‌های هوادهی شده نشان‌دهنده مقاومت این سس‌ها در برابر اکسیداسیون است. مقادیر مالون دی آلدئید این نمونه‌ها پس از گذشت هفت روز در حدود ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. این در حالی است که در روز هفتم افزایش بسیار زیادی در مقدار مالون دی آلدئید (۵۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) نمونه تجاری پرچرب مشاهده شد. بر اساس این مشاهدات، می‌توان نتیجه گرفت که سس‌های هوادهی شده دارای محصولات حاصل از اکسیداسیون کم‌تری بودند. این پدیده احتمالاً به علت پوشیده شدن حباب‌های هوا توسط بلورهای سورفکتانت جذب شده در سطح مشترک روغن و هوا باشد

روند تشکیل هیدروپراکسیدها در نمونه‌های هوادهی شده و سس تجاری کم‌چرب نیز کندتر از نمونه تجاری پرچرب بود. این مشاهدات با توجه به درصد چربی نمونه‌ها که در جدول ۲ نیز به آن اشاره شده، همخوانی دارد. علاوه بر این، عدم مشاهده اختلاف معنی‌دار بین مقادیر پراکسید سس‌های هوادهی شده شاهد و حاوی لینولئیک اسید در طول مدت هفت روز ($p > 0.05$)، نشان داد که افزودن اسید چرب آزاد اشباع نشده‌ای مانند لینولئیک اسید (C 18:2) در غلظت‌های بسیار پایین در حد ۳/۰۰ میلی‌مولار تأثیری بر روند اکسیداسیون نداشته است.

مالون دی آلدئیدها بر خلاف پراکسیدها از محصولات ثانویه اکسیداسیون هستند که در طول اکسیداسیون چربی‌ها تشکیل و توسط روش واکنش با تیوباربتوریک اسید اندازه‌گیری می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۴-ب مشاهده می‌شود، در روز اول اختلاف معنی‌داری بین شاخص تیوباربتوریک اسید نمونه‌ها مشاهده نشد ($p > 0.05$). اما از روز سوم مقدار مالون دی آلدئید سس‌های تجاری

که از تماس مستقیم هوا با روغن که ممکن است روند اکسیداسیون را تسریع کند ممانعت به عمل می‌آورد. در تصاویر میکروسکوپ نوری کف‌ها مطالعه پیشین نیز بلورهای سورفکتانت جذب شده در سطح مشترک روغن و هوا به وضوح قابل مشاهده بودند ([Saremnejad et al., 2020](#)).

ارزیابی حسی

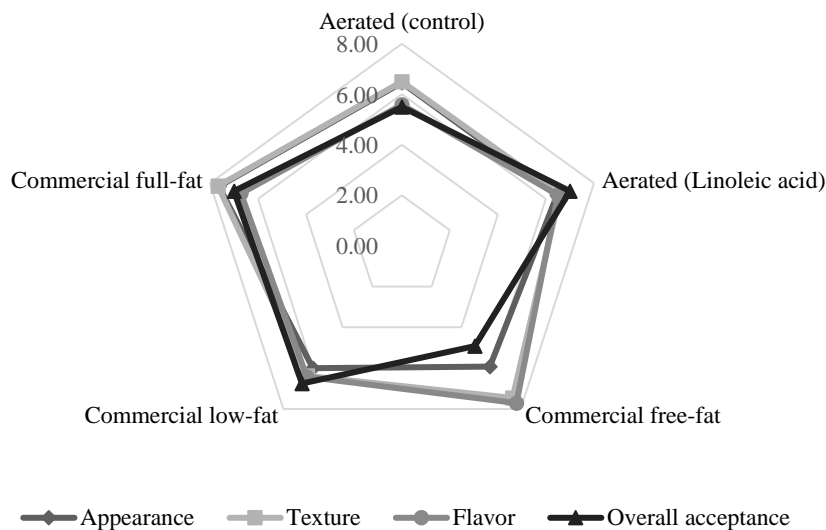
روش جایگزینی قطره‌های چربی با حباب‌های هوا و تولید امولسیون‌های چندگانه هوا در روغن در آب می‌تواند از اهمیت قابل توجهی جهت کاربرد بالقوه آن‌ها در تهیه سس‌های کم چرب برخوردار باشد. با این وجود ارزیابی ویژگی‌های حسی آن‌ها حائز اهمیت می‌باشد. لذا در ادامه این مطالعه تاثیر فرآیند هوادهی و همچنین افزودن محرک مزه چربی بر ویژگی‌های حسی سس‌ها بررسی شده، با نمونه‌های تجاری بدون چربی، کم‌چرب و پرچرب مقایسه گردید. تعریف ویژگی‌های حسی مورد ارزیابی شامل ظاهر (شامل رنگ)، طعم (شامل مزه و بو)، بافت (مقاومت مکانیکی روی قاشق، دهان، در اولین تماس با دندان و روی کام) و به‌طور کلی پذیرش آن‌ها برای گروه ارزیاب حسی مطابق با مطالعات پیشین صورت گرفت ([Laca et al., 2010](#)). همانطور که در [شکل ۵](#) مشخص است، ظاهر نمونه‌های هوادهی شده (شاهد و حاوی لینولئیک اسید)، تجاری بدون چربی و کم‌چرب اختلاف معنی‌داری نداشتند ($p > 0.05$). کم‌ترین امتیاز ظاهر به سس بدون چربی اختصاص داشت که عمدتاً به دلیل حضور عوامل قوام دهنده (نشاسته اصلاح شده، گوار و زانتان) در فرمولاسیون آن می‌باشد. این مشاهده با یافته‌های مطالعات پیشین که در آن‌ها کاهش امتیاز ظاهر به دلیل رنگ سفید مقلدهای چربی گزارش شده، مطابقت دارد ([Liu et al., 2007](#); [Karas et al., 2002](#)). کاهش چربی و جبران کاهش آن با مقلدهای چربی هر دو ممکن است منجر به افت ویژگی‌های ظاهری محصول شوند. در همین راستا تحقیقات نشان داده‌اند که کاهش اندازه ذرات در محصولات مبتنی بر امولسیون مانند سس‌ها، به دلیل افزایش پراکندگی نور می‌تواند ویژگی‌های ظاهری را بهبود بخشد ([Thauidom and Khantarat, 2012](#)). بر اساس نتایج پژوهش پیشین، کف‌های روغنی تهیه شده به‌منظور تولید سس هوادهی شده، ذرات کوچک‌تر با اندازه‌های زیر ۲۰ میکرومتر را به نمایش گذاشتند ([Saremnejad et al., 2020](#)). این مشاهدات حاکی از آن است اگرچه نمونه‌های هوادهی شده حاوی چربی کم‌تری بودند، اما به دلیل اندازه حباب‌های کوچک‌تر، توانستند امتیاز ظاهری بالاتری را نسبت به سس‌های بدون چربی و کم‌چرب کسب کنند. بیش‌ترین امتیاز رنگ متعلق به سس تجاری پرچرب بود که اختلاف معنی‌داری با سایر نمونه‌ها داشت ($p < 0.001$). پیش از این نیز مشخص شده که سس‌های حاوی مقادیر زیاد چربی از نظر ظاهر کلی (به‌عنوان مثال، رنگ، کدورت، براقیت و همگن بودن) بهتر از نمونه‌های کم‌چرب یا بدون چربی هستند ([Guardaño et al., Chung et al., 2016](#)); [2012](#)). بالاترین امتیاز ویژگی‌های بافتی متعلق به سس‌های تجاری بدون چربی و پرچرب بود که اختلاف معنی‌داری با سایر نمونه‌ها نداشتند ($p < 0.05$). بدیهی است که مقاومت، استحکام و قوام نمونه

بدون چربی که در فرمولاسیون آن از پایدارکننده‌هایی مانند نشاسته اصلاح شده، گوار و زانتان استفاده شده، با سس پرچرب برابری می‌کند. اختلاف ویژگی‌های بافتی نمونه‌های هوادهی شده (شاهد و حاوی لینولئیک اسید) و کم‌چرب با یک‌دیگر معنی‌دار نبود ($p > 0.05$) و سس‌های هوادهی شده به لحاظ بافت سبک‌تر مشابه با سس تجاری کم‌چرب بودند. در واقع یکی دیگر از مزیت‌های جایگزینی حباب‌های هوا دستیابی به محصولی با ویژگی‌های بافتی تقریباً مشابه با محصولات تجاری کم‌چرب، بدون نیاز به استفاده از پایدارکننده‌ها و قوام‌دهنده‌ها می‌باشد. در این روش از طریق دستکاری ریزساختار و جایگزینی مقدار قابل توجهی از ذرات چربی با هوا، شکل‌گیری فاز گازی در فاز پیوسته به شکل حباب‌های ریز منجر به سبک‌تر شدن بافت و در نتیجه احساس دهانی مطلوبی می‌شود ([Labbafi et al., 2007](#)).

امتیاز طعم نمونه هوادهی شده شاهد با نمونه حاوی محرک مزه چربی اختلاف معنی‌داری داشت ($p < 0.05$). این مشاهده حاکی از آن است که افزودن مقدار اندکی (۳/۰۰ میلی‌مولار) از لینولئیک اسید به سس هوادهی شده برای گروه ارزیاب حسی به‌عنوان مزه چربی قابل تشخیص بوده است. این مشاهده همسو با یافته‌های اخیر محققان است که در آن چربی را به‌عنوان یک ویژگی حسی و مزه اصلی توصیف و واژه جدید اولئوگستوس را برای آن پیشنهاد کرده‌اند ([Running and Mattes, 2016](#); [Running et al., 2015](#)). علاوه بر این اختلاف امتیاز طعم نمونه هوادهی شده حاوی محرک با سس‌های تجاری کم‌چرب و پرچرب معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). به این ترتیب نمونه حاوی محرک مزه چربی پروفایل حسی طعمی مشابه با نمونه‌های کم‌چرب و پرچرب را ارائه نمود که اثباتی بر فرضیه جبران افت ادراک حسی ناشی از کاهش چربی از طریق روش برهمکنش متقابل با افزودن محرک مزه چربی می‌باشد. تاکنون اثر متقابل بین شیرینی، شور، ترشی، تلخی و امامی در سیستم‌های مدل مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، از این روش برای به حداقل رساندن تاثیرات کاهش قند در دسر لبنی ([Velázquez et al., 2020](#)) و نمک و چربی در پنیر ([Syarifuddin et al., 2016](#)) بر ویژگی‌های حسی استفاده شده است. این در حالی است که با توجه به اهمیت برهمکنش‌های متقابل بین ادراک مزه چربی با سایر ویژگی‌های حسی برای تولید فرآورده‌های غذایی جدید (به ویژه، ترکیبات جایگزین چربی در توسعه محصولات کم‌چرب) این موضوع نیاز به مطالعات بیشتری دارد. بین امتیاز طعم سس‌های کم‌چرب و پرچرب اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p > 0.05$). امتیاز طعم نمونه تجاری بدون چربی به‌طور قابل توجهی پایین‌تر از بقیه نمونه‌ها بود ($p < 0.001$) که احتمالاً به دلیل طعم ترش شدیدی است که توسط گروه ارزیاب حس شد. همانطور که پیش از این بیان شد این نمونه به دلیل وجود هم زمان دو اسید آلی (سیتریک و لاکتیک) در ترکیب خود اسیدیته بالایی داشت. احتمالاً به همین دلیل نیز پذیرش کلی این نمونه پایین‌ترین امتیاز را به‌خود اختصاص داد به‌طوری که اختلاف معنی‌داری با سایر نمونه‌ها داشت ($p < 0.001$). پذیرش کلی سس هوادهی شده شاهد با سس حاوی لینولئیک اسید اختلاف قابل

هو و نیز افزودن محرک مزه چربی در چارچوب برنامه‌های کاهش چربی، می‌تواند با موفقیت برای تولید سس‌های هوادهی شده با امتیازات حسی نسبتاً مشابه با انواع تجاری، مورد استفاده قرار بگیرد.

توجهی داشت ($p < 0.001$). اختلاف پذیرش کلی نمونه هوادهی شده حاوی لینولئیک اسید با سس‌های تجاری کم‌چرب و پرچرب نیز معنی دار نبود ($p > 0.05$). طبق این نتایج رویکردهای جایگزینی حباب‌های



شکل ۵- ارزیابی حسی نمونه‌های مختلف
Fig. 5. Sensory evaluation of different samples

در محدوده استاندارد و به ترتیب کم‌تر از ۰/۶ (برحسب گرم در صد اسید استیک) و ۴/۱ بودند. پایداری اکسیداتیو محصولات نیز در طول زمان نگهداری قابل قبول بود. به‌طور کلی سس هوادهی شده حاوی لینولئیک اسید، دارای امتیازات حسی کلی نسبتاً مشابه با سس تجاری پرچرب بود که نشان از پذیرش کلی آن داشت. تحقیقات بیشتر در زمینه ادراک مزه چربی می‌تواند پیامدهای مفیدی برای تولید فرآورده‌های غذایی جدید (به‌ویژه ترکیبات جایگزین چربی در توسعه محصولات کم‌چرب)، مطالعات بالینی (مثل مدیریت اشتها، هضم غذا، اختلالات چسبایی) و سیاست‌های بهداشت عمومی (از جمله، توصیه‌های رژیم غذایی برای تعدیل چربی در مصرف مواد غذایی) در بر داشته باشد. بدین ترتیب استفاده از کف‌های روغنی خوراکی در محصولات غذایی کم‌چرب مبتنی بر امولسیون‌ها مانند انواع سس‌ها به‌طور عملی امکان‌پذیر خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به کمک جایگزینی حباب‌های هوا با قطره‌های چربی، یک فرآورده غذایی مبتنی بر امولسیون روغن در آب (سس) با چربی کاهش یافته تولید گردید. شرایط بهینه فرآیند هوادهی به کمک طراحی آزمایشات به روش سطح پاسخ تعیین شد. بر این اساس هوادهی روغن حاوی حدود ۱۰ درصد سورفکتانت تحت سرعت ۳۴۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه، مطلوب‌ترین شرایط برای تهیه کف‌های روغنی بود. کف‌های تهیه شده تحت این شرایط به‌عنوان امولسیون پایه جهت تولید سس هوادهی شده کم‌چرب مورد استفاده قرار گرفتند. دو نوع سس بر اساس غلظت لینولئیک اسید، یعنی صفر به‌عنوان شاهد و ۳ میلی‌مولار به‌عنوان نمونه حاوی محرک مزه چربی تهیه شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی نمونه‌های آماده شده با سس‌های تجاری مورد مقایسه قرار گرفتند. اسیدیته و pH سس‌ها نیز

منابع

1. Aganovic, K., Bindrich, U., & Heinz, V. (2018). Ultra-high pressure homogenisation process for production of reduced fat mayonnaise with similar rheological characteristics as its full fat counterpart. *Innovative food science & emerging technologies*, 45, 208-214. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.10.013>
2. Alu'datt, M. H., Rababah, T., Gammoh, S., Ereifej, K., Al-Mahasneh, M., Kubow, S., & Tawalbeh, D. (2016). Emulsified protein filaments: types, preparation, nutritional, functional, and biological properties of mayonnaise. In *Emulsions* (pp. 557-572). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804306-6.00016-7>
3. AOCS Official Method Cd 8b-90, 2017. Sampling and analysis of commercial fats and oils.
4. Arancibia, C., Costell, E., & Bayarri, S. (2011). Fat replacers in low-fat carboxymethyl cellulose dairy beverages: Color, rheology, and consumer perception. *Journal of dairy science*, 94(5), 2245-2258. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3989>

5. Bazmi, A., Duquenoy, A., & Relkin, P. (2007). Aeration of low fat dairy emulsions: Effects of saturated-unsaturated triglycerides. *International dairy journal*, 17(9), 1021-1027. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.12.011>
6. Bimal, C., & Guonong, Z. (2006). Olestra: A solution to food fat?. *Food Reviews International*, 22(3), 245-258. <https://doi.org/10.1080/87559120600694705>
7. Binks, B. P., Garvey, E. J., & Vieira, J. (2016). Whipped oil stabilised by surfactant crystals. *Chemical science*, 7(4), 2621-2632. DOI: [10.1039/C6SC00046K](https://doi.org/10.1039/C6SC00046K)
8. Binks, B. P., & Marinopoulos, I. (2017). Ultra-stable self-foaming oils. *Food Research International*, 95, 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.02.020>
9. Binks, B. P., Rocher, A., & Kirkland, M. (2011). Oil foams stabilised solely by particles. *Soft Matter*, 7(5), 1800-1808. <https://doi.org/10.1039/C0SM01129K>
10. Brun, M., Delample, M., Harte, E., Lecomte, S., & Leal-Calderon, F. (2015). Stabilization of air bubbles in oil by surfactant crystals: A route to produce air-in-oil foams and air-in-oil-in-water emulsions. *Food Research International*, 67, 366-375. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.044>
11. Campbell, G. M., & Mougeot, E. (1999). Creation and characterisation of aerated food products. *Trends in food science & technology*, 10(9), 283-296. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)00008-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)00008-X)
12. Chale-Rush, A., Burgess, J. R., & Mattes, R. D. (2007). Evidence for human orosensory (taste?) sensitivity to free fatty acids. *Chemical senses*, 32(5), 423-431. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjm007>
13. Chen, X. W., Yang, D. X., Zou, Y., & Yang, X. Q. (2017). Stabilization and functionalization of aqueous foams by Quillaja saponin-coated nanodroplets. *Food Research International*, 99, 679-687. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.045v>
14. Chung, C., Degner, B., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2013). Oil-filled hydrogel particles for reduced-fat food applications: Fabrication, characterization, and properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 324-334. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.08.006>
15. Chung, C., Smith, G., Degner, B., & McClements, D. J. (2016). Reduced fat food emulsions: physicochemical, sensory, and biological aspects. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(4), 650-685. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.792236>
16. Ciron, C. I. E., Gee, V. L., Kelly, A. L., & Auty, M. A. (2011). Effect of microfluidization of heat-treated milk on rheology and sensory properties of reduced fat yoghurt. *Food Hydrocolloids*, 25(6), 1470-1476. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.012>
17. Dickinson, E. (2012). Emulsion gels: The structuring of soft solids with protein-stabilized oil droplets. *Food hydrocolloids*, 28(1), 224-241. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.017>
18. Passos, R. B. D., Bazzo, G. C., Almeida, A. D. R., Noronha, C. M., & Barreto, P. L. M. (2019). Evaluation of oxidative stability of mayonnaise containing poly μ -caprolactone nanoparticles loaded with thyme essential oil. *Braz. J. Pharm. Sci.(Online)*, 18177-18177.
19. Drenckhan, W., & Saint-Jalmes, A. (2015). The science of foaming. *Advances in Colloid and Interface Science*, 222, 228-259. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.04.001>
20. El-Yassimi, A., Hichami, A., Besnard, P., & Khan, N. A. (2008). Linoleic acid induces calcium signaling, Src kinase phosphorylation, and neurotransmitter release in mouse CD36-positive gustatory cells. *Journal of biological chemistry*, 283(19), 12949-12959. DOI: <https://doi.org/10.1074/jbc.M707478200>
21. Emadzadeh, B., Razavi, S. M. A., Rezvani, E., & Schleining, G. (2015). Steady shear rheological behavior and thixotropy of low-calorie pistachio butter. *International Journal of Food Properties*, 18(1), 137-148. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.822882>
22. Fameau, A. L., Lam, S., Arnould, A., Gaillard, C., Velev, O. D., & Saint-Jalmes, A. (2015). Smart nonaqueous foams from lipid-based oleogel. *Langmuir*, 31(50), 13501-13510. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.5b03660>
23. Fameau, A. L., & Saint-Jalmes, A. (2017). Non-aqueous foams: Current understanding on the formation and stability mechanisms. *Advances in colloid and interface science*, 247, 454-464. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.02.007>
24. Harvey, J. L. (1959). Title 21—Food and drugs chapter I—Food and drug administration, department of health, education, and welfare subchapter B—Food and food products part 121—Food additives definitions and procedural and interpretative regulations. *Food, Drug, Cosmetic Law Journal*, 14(4), 269-290.
25. Featherstone, S., 2014. A Complete Course in Canning and Related Processes: Fourteenth Edition, A Complete Course in Canning and Related Processes: Fourteenth Edition. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-16339-8>
26. Garrec, D. A., Frasc-Melnik, S., Henry, J. V., Spyropoulos, F., & Norton, I. T. (2012). Designing colloidal structures for micro and macro nutrient content and release in foods. *Faraday Discussions*, 158(1), 37-49. <https://doi.org/10.1039/C2FD20024D>
27. Garrec, D. A., & Norton, I. T. (2012). Understanding fluid gel formation and properties. *Journal of Food Engineering*, 112(3), 175-182. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.04.001>

28. González-Tomás, L., Bayarri, S., Taylor, A. J., & Costell, E. (2008). Rheology, flavour release and perception of low-fat dairy desserts. *International Dairy Journal*, 18(8), 858-866. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.09.010>
29. Guardeno, L. M., Hernando, I., Llorca, E., Hernández-Carrión, M., & Quiles, A. (2012). Microstructural, physical, and sensory impact of starch, inulin, and soy protein in low-fat gluten and lactose free white sauces. *Journal of food science*, 77(8), C859-C865. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02798.x>
30. Gunes, D. Z., Murith, M., Godefroid, J., Pelloux, C., Deyber, H., Schafer, O., & Breton, O. (2017). Oleofoams: Properties of Crystal-Coated Bubbles from Whipped Oleogels Evidence for Pickering Stabilization. *Langmuir*, 33(6), 1563-1575. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6b04141>
31. Hosseinvand, A., & Sohrabvandi, S. (2016). Physicochemical, textural and sensory evaluation of reduced-fat mustard sauce formulation prepared with Inulin, Pectin and β -glucan. *Croatian journal of food science and technology*, 8(2), 46-52. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2016.8.2.01>
32. Javidi, F., Razavi, S. M., & Amini, A. M. (2019). Cornstarch nanocrystals as a potential fat replacer in reduced fat O/W emulsions: A rheological and physical study. *Food Hydrocolloids*, 90, 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.003>
33. Karas, R., Skvarča, M., & Žlender, B. (2002). Sensory quality of standard and light mayonnaise during storage. *Food Technology and Biotechnology*, 40(2), 119-127.
34. Labbafi, M., Thakur, R. K., Vial, C., & Djelveh, G. (2007). Development of an on-line optical method for assessment of the bubble size and morphology in aerated food products. *Food Chemistry*, 102(2), 454-465. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.011>
35. Laca, A., Sáenz, M. C., Paredes, B., & Díaz, M. (2010). Rheological properties, stability and sensory evaluation of low-cholesterol mayonnaises prepared using egg yolk granules as emulsifying agent. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 243-252. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.017>
36. Lee, D. H., Jeong, I. J., & Kim, K. J. (2018). A desirability function method for optimizing mean and variability of multiple responses using a posterior preference articulation approach. *Quality and Reliability Engineering International*, 34(3), 360-376. <https://doi.org/10.1002/qre.2258>
37. Liu, H., Xu, X. M., & Guo, S. D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT-Food Science and Technology*, 40(6), 946-954. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.007>
38. McClements, D. J. (2015). Reduced-fat foods: the complex science of developing diet-based strategies for tackling overweight and obesity. *Advances in Nutrition*, 6(3), 338S-352S. <https://doi.org/10.3945/an.114.006999>
39. Mishima, S., Suzuki, A., Sato, K., & Ueno, S. (2016). Formation and microstructures of whipped oils composed of vegetable oils and high-melting fat crystals. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93(11), 1453-1466. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2888-4>
40. Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Impact of high-intensity pulsed electric fields variables on vitamin C, anthocyanins and antioxidant capacity of strawberry juice. *LWT-Food Science and Technology*, 42(1), 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.05.008>
41. Oppermann, A. K. L., Piqueras-Fiszman, B., De Graaf, C., Scholten, E., & Stieger, M. (2016). Descriptive sensory profiling of double emulsions with gelled and non-gelled inner water phase. *Food Research International*, 85, 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.030>
42. Saremnejad, F., Mohebbi, M., & Koocheki, A. (2020). Practical application of nonaqueous foam in the preparation of a novel aerated reduced-fat sauce. *Food and Bioprocess Technology*, 119, 216-225. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.11.004>
43. Costa, A. R., Rosado, E. L., & Soares-Mota, M. (2012). Influence of the dietary intake of medium chain triglycerides on body composition, energy expenditure and satiety; a systematic review. *Nutricion hospitalaria*, 27(1), 103-108.
44. Riener, J., Noci, F., Cronin, D. A., Morgan, D. J., & Lyng, J. G. (2009). The effect of thermosonication of milk on selected physicochemical and microstructural properties of yoghurt gels during fermentation. *Food Chemistry*, 114(3), 905-911. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.037>
45. Running, C. A., Craig, B. A., & Mattes, R. D. (2015). Oleogustus: the unique taste of fat. *Chemical senses*, 40(7), 507-516. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjv036>
46. Running, C. A., & Mattes, R. D. (2016). A review of the evidence supporting the taste of non-esterified fatty acids in humans. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93(10), 1325-1336. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2885-7>
47. Shamsaei, S., Razavi, S. M. A., Emadzadeh, B., & Atayesalehi, E. (2017). The effect of basil seed gum and xanthan on the physical and rheological characteristics of low fat mayonnaise. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 13(1), 65-78. <http://dx.doi.org/10.22067/ifstrj.v1395i0.37356>

48. Sheng, L., Wang, Y., Chen, J., Zou, J., Wang, Q., & Ma, M. (2018). Influence of high-intensity ultrasound on foaming and structural properties of egg white. *Food Research International*, 108, 604-610. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.007>
49. Shrestha, L. K., Aramaki, K., Kato, H., Takase, Y., & Kunieda, H. (2006). Foaming properties of monoglycerol fatty acid esters in nonpolar oil systems. *Langmuir*, 22(20), 8337-8345. <https://doi.org/10.1021/la061204h>
50. Shrestha, L.K., Shrestha, R.G., Sharma, S.C., Aramaki, K., (2008). Stabilization of nonaqueous foam with lamellar liquid crystal particles in diglycerol monolaurate/olive oil system. *J. Colloid Interface Sci.* 328, 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.08.051>
51. Shrestha, R. G., Shrestha, L. K., Solans, C., Gonzalez, C., & Aramaki, K. (2010). Nonaqueous foam with outstanding stability in diglycerol monomyristate/olive oil system. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 353(2-3), 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2009.11.007>
52. Sørensen, L. B., Cueto, H. T., Andersen, M. T., Bitz, C., Holst, J. J., Rehfeld, J. F., & Astrup, A. (2008). The effect of salatrim, a low-calorie modified triacylglycerol, on appetite and energy intake. *The American journal of clinical nutrition*, 87(5), 1163-1169. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1163>
53. Spence, C. (2015). Multisensory flavor perception. *Cell*, 161(1), 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.03.007>
54. Tchuenbou-Magaia, F. L., Norton, I. T., & Cox, P. W. (2009). Hydrophobins stabilised air-filled emulsions for the food industry. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1877-1885. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.03.005>
55. Thaiudom, S., & Khantarat, K. (2011). Stability and rheological properties of fat-reduced mayonnaises by using sodium octenyl succinate starch as fat replacer. *Procedia Food Science*, 1, 315-321. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.049>
56. Velázquez, A. L., Vidal, L., Varela, P., & Ares, G. (2020). Cross-modal interactions as a strategy for sugar reduction in products targeted at children: Case study with vanilla milk desserts. *Food Research International*, 130, 108920. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108920>.
57. Sorensen, L. B., Cueto, H. T., Andersen, M. T., Bitz, C., Holst, J. J., Rehfeld, J. F., & Astrup, A. (2008). The effect of salatrim, a low-calorie modified triacylglycerol, on appetite and energy intake. *The American journal of clinical nutrition*, 87(5), 1163-1169. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1163>
58. Shamsaee, S., Razavi, S.M.A., Emadzadeh, B., Salehi, E.A., (2017). The effect of basil seed gum and xanthan on the physical and rheological characteristics of low fat mayonnaise. *Iran. Food Sci. Technol. Res. J.* 13, 65–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1395i0.37356>
59. Shrestha, R.G., Shrestha, L.K., Solans, C., Gonzalez, C., Aramaki, K., (2010). Nonaqueous foam with outstanding stability in diglycerol monomyristate/olive oil system. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 353, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2009.11.007>
60. Friberg, S.E., (2010). Foams from non-aqueous systems. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 15, 359–364. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2010.05.011>
61. FDA, (2018). Title 21--Food and drugs Chapter i--Food and drug administration department of health and human services Subchapter b--Food for human consumption Part 169 Food dressings and flavorings [WWW Document]. URL <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcr/CFRSearch.cfm?CFRPart=169>
62. Guardado, L.M., Hernando, I., Llorca, E., Hernández-Carrión, M., Quiles, A., (2012). Microstructural, Physical, and Sensory Impact of Starch, Inulin, and Soy Protein in Low-Fat Gluten and Lactose Free White Sauces. *J. Food Sci.* 77, 1–7. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02798.x>
63. Syarifuddin, A., Septier, C., Salles, C., Thomas-Danguin, T., 2016. Reducing salt and fat while maintaining taste: An approach on a model food system. *Food Qual. Prefer.* 48, 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.08.009>



Effect of *Aloe vera* gel edible coating on bioactive compounds of cherry tomato during storage at different temperatures

Samaneh Monajem¹, Ali Ganjloo^{2*} , Mandana Bimakr²

Received: 2020.10.05

Accepted: 2020.10.31

How to cite this article:

Monajem, S., Ganjloo, A., Bimakr, M. (2022). Effect of *Aloe vera* gel edible coating on bioactive compounds of cherry tomato during storage at different temperatures. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18(1), 21-39.

Abstract

Introduction: Tomatoes are versatile climacteric fruit consumed as raw or processed form. Tomatoes are rich in essential amino acids, monounsaturated fatty acids, minerals and bioactive compounds such as tocopherols, lycopene, ascorbic acid and flavonoids. Unfortunately, climacteric fruits have relatively shorter postharvest life due to ethylene production and high rates of respiration and transpiration. Controlling the atmospheric gas composition, temperature and humidity of the storage room could extend the postharvest shelf life of tomatoes. Alternatively, the postharvest shelf life of tomatoes could be extended through using of the edible coatings. The edible coating consists of a thin layer of the edible material such as proteins, polysaccharides and lipids that can act as a water vapor, gas and solute barrier through creating a semi-permeable membrane around the fruit. The edible coating could prolong the postharvest shelf life and maintain quality of fruits by minimizing respiration rate, water loss and oxidation process. Furthermore, the increasing human demand to use natural agents has also been encouraged the researchers towards the exploitation of effective natural edible coatings from renewable resources. Polysaccharides-based edible coatings have been used to effectively prolong the postharvest shelf life of some climacteric fruits. *Aloe vera* gel is a polysaccharide matrix rich in physiologically active substances that successfully applied as edible coating to effectively maintain quality and extend the postharvest life of some climacteric fruits. According to the literature review, there is no evidence on the use of fresh *A. vera* gel as edible coating in cherry tomatoes. Therefore, the main objective of the current research was to compare the effects of using different concentrations of *A. vera* gel as edible coating and storage temperature on some bioactive compounds of cherry tomato such as ascorbic acid, lycopene, and total phenolic content as well as free radical scavenging activity during a storage period of 24 days.

Materials and Methods: Cherry tomatoes were obtained from a local market in Zanjan, Iran. Cherry tomatoes were selected based on uniform size, without any physical damage or infections. *Aloe vera* leaves were obtained from a local market in Zanjan, Iran. Cherry tomatoes were coated with different concentrations of *A. vera* gel (0, 25, 50, 75 and 100% v/v) and stored at different temperatures (5, 12, and 25°C) and 85% RH for 24 days. The ascorbic acid, total phenolic and lycopene contents, as well as antiradical activity of the all-treated samples, were evaluated during the storage. All experiments and analysis were performed in triplicate.

Results and Discussion: Statistical analysis showed that *A. vera* gel concentration, temperature and storage time had a significant effect on the changes in bioactive compounds ($p < 0.05$), although this difference between 75% and 100% *A. vera* gel concentration was not significant ($p < 0.05$). Based on the results, the amount of ascorbic acid decreased significantly with increasing temperature and storage time, while the application of coating could preserve the ascorbic acid content. On the contrary, lycopene was accumulated during the storage period. During the storage period, the total phenolic content and free radical scavenging activity of cherry tomatoes increased with increasing temperature. Unlike the temperature of 5°C, which shows a continuous increase, the amount of total phenolic content and free radical scavenging activity of cherry tomatoes began to decrease from the 12th and 8th day of storage period

1 and 2. MSc Student and Associate Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

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

DOI: [10.22067/IFSTRJ.V18I1.88987](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.V18I1.88987)

with the increasing of temperature from 12 to 25 °C. However, with increasing concentration of *A. vera* gel, the total phenolic content and free radical scavenging activity of cherry tomatoes increased.

Conclusion: Based on the findings of the current study, the 75% *v/v* *A. vera* gel coating could be a promising natural coating agent for preservation of bioactive compounds of cherry tomatoes during the postharvest life especially at storage temperature of 5 °C.

Keywords: Antiradical activity; Total phenolic compounds; Ascorbic acid; Cherry tomato; *Aloe vera*; Lycopene.

مقاله علمی-پژوهشی

تاثیر پوشش خوراکی ژل آلوه‌ورا بر ترکیبات زیست‌فعال گوجه‌فرنگی گیلاسی حین نگهداری در دماهای مختلف

سمانه منجم^۱ - علی گنجلو*^۲ - ماندانا بی مکر^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۰

چکیده

در این پژوهش با توجه به لزوم حفظ ویژگی‌های کیفی محصولات کشاورزی در مرحله پس از برداشت و افزایش زمان ماندگاری آنها تاثیر پوشش خوراکی ژل آلوه‌ورا (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد حجمی/حجمی) و دمای نگهداری (۵، ۱۲ و ۲۵ درجه سلسیوس) بر تغییرات برخی از ترکیبات زیست‌فعال گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی حین دوره نگهداری مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی با غلظت‌های مختلف از ژل آلوه‌ورا به روش غوطه‌وری پوشش‌دار شدند و پس از بسته‌بندی به مدت ۲۴ روز در دماهای مختلف نگهداری شدند. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد غلظت ژل آلوه‌ورا، دما و زمان نگهداری تاثیر معنی‌داری بر روند تغییرات ترکیبات زیست‌فعال داشتند ($p < 0.05$) هرچند این تفاوت بین سطح ۷۵ و ۱۰۰ درصد غلظت ژل آلوه‌ورا معنی‌داری نبود ($p > 0.05$). بر اساس نتایج به دست آمده میزان آسکوربیک اسید با افزایش دما و زمان نگهداری کاهش یافت در حالی که اعمال پوشش سبب حفظ آسکوربیک اسید حداکثر به میزان ۱۲/۶۵ درصد گردید. روند تغییرات لیکوپن گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی بر خلاف روند تغییرات آسکوربیک اسید بود. حین دوره نگهداری در دمای ۵ درجه سلسیوس محتوای ترکیبات فنولی کل و فعالیت مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی شاهد به ترتیب حداکثر به میزان ۱۲/۳۵ و ۲۱/۶۰ درصد افزایش یافت. اما بر خلاف دمای ۵ درجه سلسیوس که این افزایش به‌طور پیوسته بود با افزایش دما به ۱۲ و ۲۵ درجه سلسیوس مقدار ترکیبات فنولی کل به‌ترتیب از روز ۱۲ و ۸ دوره نگهداری روندی کاهشی را آغاز نمود. این در حالی است که با افزایش غلظت ژل آلوه‌ورا محتوای ترکیبات فنولی کل و فعالیت ضدرادیکالی به‌ترتیب حداکثر به میزان ۱۲/۲۴ و ۲۴/۳۰ درصد افزایش یافت. بر اساس یافته‌های این پژوهش برای حفظ ترکیبات زیست‌فعال گوجه‌فرنگی گیلاسی در مرحله پس از برداشت می‌توان از دمای ۵ درجه سلسیوس و ژل آلوه‌ورا با غلظت ۷۵ درصد حجمی/حجمی به‌عنوان یک پوشش خوراکی طبیعی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: فعالیت ضدرادیکالی، ترکیبات فنولی کل، آسکوربیک اسید، گوجه‌فرنگی گیلاسی، آلوه‌ورا، لیکوپن.

مقدمه

ترکیبات زیست‌فعال که غالباً در مقادیر کم در میوه‌ها، سبزیجات و غلات یافت می‌شوند به ترکیباتی اطلاق می‌شود که دارای فعالیت بیولوژیکی نظیر خواص ضداکسایشی، ضدسرطانی، ضد میکروبی، ضد فشار خون، ضد التهابی، ضد دیابت و... بوده و خواص سلامت‌بخشی نیز دارند. از این ترکیبات می‌توان به کاروتنوئیدها، ترکیبات فنولی، آلکالوئیدها و ترکیبات حاوی نیتروژن و سولفور اشاره نمود ([Mallhi](#)). [et al., 2020](#)). لذا مواد غذایی با دارا بودن ترکیبات زیست‌فعال یکی از منابع مهم تامین‌کننده ترکیبات ضداکسایشی برای بدن انسان هستند. معمولاً ویژگی ضداکسایشی ترکیبات زیست‌فعال از طریق روبش اکسیژن یگانه، کاهش پراکسیداسیون لیپید و کاهش تشکیل رادیکال هیدروکسیل بروز می‌نماید ([Shi et al., 2002](#)).

گوجه‌فرنگی از جمله سبزیجاتی است که در سراسر جهان به‌طور گسترده کشت و مصرف می‌شود. براساس آمار ارائه شده توسط

آزاد شدن رادیکال‌های آزاد در بدن انسان به علت بروز تنش‌های اکسایشی سبب بروز بیماری‌های قلبی-عروقی، روماتیسم مفصلی، بسیاری از سرطان‌ها، بیماری‌های خود ایمنی و پیری می‌شود. سامانه دفاعی بدن انسان برای مقابله با اثر رادیکال‌های آزاد شامل آنزیم‌های مختلف و ترکیبات ضداکسایش با اوزان مولکولی پایین و بالا است که از سلول‌ها در برابر تنش‌های اکسایشی از طریق جلوگیری از آغاز یا ادامه یافتن واکنش‌های زنجیره اکسایش محافظت می‌نماید ([Kaur & Kapoor, 2001](#)).

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی و دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

* (نویسنده مسئول): (Email: aganjloo@znu.ac.ir)

DOI: [10.22067/IFSTRJ.V18I1.88987](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.V18I1.88987)

کیتوزان (Guerra et al., 2015)، تری هالوز (Jafari et al., 2018) و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (Fagundes et al., 2015) برای حفظ ویژگی‌های پس از برداشت گوجه‌فرنگی گیلاسی استفاده شده است.

ژل آلونته‌ورا با توانایی مطلوب جهت تشکیل فیلم‌های نازک، شفاف، مقاوم به روغن با نفوذپذیری کم نسبت به اکسیژن، فقدان بو و طعم نامطلوب و وجود ترکیبات ضداسکایسی و ضد میکروبی گزینه مناسبی برای استفاده به‌عنوان پوشش خوراکی می‌باشد (Valverde et al., 2005). بر اساس منابع موجود از ژل آلونته‌ورا به‌طور موفقیت‌آمیزی برای حفظ ویژگی‌های پس از برداشت محصولاتی نظیر هلو (Pirhayati et al., 2019)، Sapodilla (Khaliq et al., 2019) و Litchi (Ali et al., 2019) استفاده شده است. بر اساس نتایج بخش پیشین پژوهش حاضر استفاده از ژل آلونته‌ورا با کاهش نرخ افزایش مواد جامد محلول کل، کاهش نرخ افت اسیدیته قابل تیتراژ و کاهش نرم‌شدگی بافت حین دوره نگهداری سبب به تأخیر افتادن فرایند رسیدگی و در نتیجه افزایش زمان ماندگاری گوجه‌فرنگی گیلاسی گردید (Ganjiloo et al., 2020). با توجه به اهمیت مطالعه تغییرات ترکیبات زیست‌فعال محصولات کشاورزی در مرحله پس از برداشت پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر غلظت‌های مختلف از ژل تازه آلونته‌ورا به‌عنوان یک پوشش خوراکی طبیعی بر حفظ ترکیبات زیست‌فعال گوجه‌فرنگی گیلاسی از جمله آسکوربیک اسید، ترکیبات فنولی کل، لیکوپن و همچنین فعالیت ضد رادیکالی حین دوره نگهداری در دماهای مختلف انجام شد.

مواد و روش‌ها

گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی مورد استفاده در این پژوهش از بازار زنجان خریداری شد. پس از انتقال به آزمایشگاه گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی با اندازه تقریباً یکسان، بدون لک، فاقد هرگونه آسیب فیزیکی و فساد قارچی از سایر نمونه‌ها جدا شدند. از محلول هیپوکلیت سدیم به مدت پنج دقیقه جهت ضد عفونی استفاده شد. برگ‌های تازه گیاه آلونته‌ورا از بازار محلی زنجان تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه با آب شست‌وشو و به مدت پانزده دقیقه در محلول هیپوکلیت سدیم غوطه‌ور و مجدداً آبکشی شدند. به‌منظور حذف ماده تلخ مزه (آلونن) ژل با استفاده از یک چاقوی دستی قسمت انتهایی برگ‌ها برش و حداقل به مدت ۳۰ دقیقه در آب مقطر قرار داده شد. ژل تازه به‌دست آمده از قسمت میانی با استفاده از یک مخلوط‌کن خانگی (جنرال اینترنشنال، GL319، چین) یکنواخت شد و پس از عبور از صافی پارچه‌ای در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت پنج دقیقه پاستوریزه شد (Valverde et al., 2005).

سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد^۱ میزان تولید جهانی انواع گوجه‌فرنگی معادل ۱۸۲ میلیون تن در سال ۲۰۱۷ بوده است (FAOSTAT, 2017). گوجه‌فرنگی محصولی غنی از ترکیبات زیست‌فعال نظیر ویتامین‌ها، ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و کاروتنوئیدها عمدتاً به شکل لیکوپن است درحالی‌که میزان چربی و کالری پایینی دارد (۲۰ کالری انرژی به ازاء ۱۰۰ گرم گوجه‌فرنگی خام) (Esmaili, 2011). در میان وارپته‌های مختلف این محصول، مصرف گوجه‌فرنگی گیلاسی در سالیان اخیر به دلیل محتوای قندی و ترکیبات زیست‌فعال و سلامتی بخش بیشتر، ویژگی‌های ارگانولپتیکی مطلوب‌تر و همچنین سادگی آماده‌سازی و استفاده از آنها به تنهایی یا در ترکیب سایر مواد غذایی نظیر سالادها به دلیل اندازه کوچک‌تر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (D' Aquino et al., 2016; Wu et al., 2016; Wei et al., 2018). هرچند که عوامل بسیاری نظیر ژنوتیپ، زمان برداشت، مقدار آب در دسترس، مواد معدنی موجود در خاک، درجه حرارت و میزان نور بر ویژگی‌های کیفی و محتوای ترکیبات زیست‌فعال گوجه‌فرنگی تأثیرگذار می‌باشند (Rosello et al., 2011). لذا استفاده از چنین محصولی در رژیم غذایی به دلیل وجود مقادیر متناهی از ترکیبات زیست‌فعال با اثرات سلامتی بخش از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (Fraser et al., 2002). در این راستا گزارشاتی مبنی بر تأثیر مصرف گوجه‌فرنگی بر جلوگیری از بروز بیماری‌های قلبی- عروقی و برخی از سرطان‌ها نظیر سرطان پروستات وجود دارد (Arab & Steck, 2000; Barber & Barber, 2002). متأسفانه گوجه‌فرنگی از جمله محصولاتی است که به دلیل تعرق، حمله پاتوژن‌ها، رسیدن سریع و پیری بسیار فسادپذیر است (Zapata et al., 2008). کاهش ارزش کیفی و تغذیه‌ای در مرحله پس از برداشت و فسادپذیر بودن غالب محصولات کشاورزی می‌تواند سبب افزایش ضایعات کشاورزی گردد که این امر در نتیجه تهدیدی برای امنیت غذایی محسوب می‌گردد. لذا جهت غلبه بر چنین مشکلاتی باید عوامل موثر بر آنها در مسیر تولید تا مصرف کنترل گردد.

علاوه بر انتخاب صحیح دمای نگهداری استفاده از فناوری‌های پس از برداشت می‌تواند سهم مهمی در کاهش بروز ضایعات محصولات کشاورزی ایفا نماید. در سالیان اخیر پوشش‌های خوراکی^۲ که عمدتاً بر پایه پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و لیپیدها شکل می‌گیرند به‌عنوان یک فناوری دوستدار محیط زیست برای افزایش زمان ماندگاری میوه‌ها و حفظ ویژگی‌های پس از برداشت معرفی شده‌اند (Fagundes et al., 2014). بر اساس منابع در دسترس تاکنون از پوشش‌هایی بر پایه موسیلاژ دانه ریحان (Shahiri et al., 2013)،

1 Food and Agriculture Organization of the United Nations
2 Edible coatings

استخراج نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی صاف شدند و سپس به مقدار ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آنها اضافه شد و به‌منظور تقسیم به دو فاز آلی (فاز بالایی حاوی لیکوپن) و آبی (فاز پایینی) مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه درون یک قیف جدا کننده به حال خود باقی ماند. میزان لیکوپن با قرائت میزان جذب فاز بالایی توسط دستگاه طیف‌سنج نور مرئی-فرابنفش (SPECORD 250-Analytik jena, Germany) در طول موج ۴۷۲ نانومتر اندازه‌گیری شد. تبدیل میزان جذب به محتوای لیکوپن با در نظر گرفتن ضریب خاموشی ویژه لیکوپن در هگزان (۳/۴۵۰) صورت پذیرفت (Gross, 1987). نتایج بر اساس منحنی استاندارد لیکوپن و بر حسب میلی‌گرم لیکوپن در ۱۰۰ گرم نمونه گزارش شد.

اندازه‌گیری نسبت a^*/b^*

نسبت a^*/b^* به‌عنوان یکی از شاخص‌های رسیدگی گوجه‌فرنگی بر اساس رنگ سطحی شناخته می‌شود (Arias et al., 2000). به‌منظور اندازه‌گیری این نسبت شاخص‌های قرمزی-سبزی (a^*) و زردی-آبی (b^*) گوجه‌فرنگی‌های گیلای طی دوره نگهداری با استفاده از یک دستگاه رنگ‌سنج قابل حمل (TES-135, Taiwan) اندازه‌گیری شد. قرائت هر یک از شاخص‌ها برای هر تیمار حداقل از سه نقطه انجام شد و نسبت a^*/b^* بر اساس رابطه ۱ زیر محاسبه گردید:

$$a^*/b^* \text{ ratio} = a^*/b^* \quad (1)$$

اندازه‌گیری محتوای ترکیبات فنولی کل

اندازه‌گیری محتوای ترکیبات فنولی کل بر اساس روش احیاء معرف فولین-سیکالتیو^۲ در محیط قلیایی انجام شد. بدین منظور عصاره حاوی ترکیبات فنولی از ۵ گرم گوجه‌فرنگی گیلای به کمک اتانول ۹۵ درصد با رعایت نسبت نمونه به حلال ۱ به ۱۰ و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی استخراج شد. عصاره به‌دست آمده صاف شد و سپس به ۱ میلی‌لیتر از آن ۱ میلی‌لیتر شناساگر فولین-سیکالتیو (رقیق شده با آب مقطر با نسبت ۱ به ۱۰) اضافه شد. پس از گذشت ۱۰ دقیقه به آن ۱۰ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷ درصد اضافه شد. میزان جذب با دستگاه طیف‌سنج مرئی-ماورابنفش (SPECORD 250-Analytik jena, Germany) در طول موج ۷۵۰ نانومتر پس از ۹۰ دقیقه نگهداری در تاریکی قرائت شد (Kim et al., 2003). برای رسم منحنی کالیبراسیون از غلظت‌های مختلف گالیک اسید به‌عنوان ترکیب فنولی استاندارد استفاده شد و نتایج به‌صورت میلی‌گرم معادل گالیک اسید به ازاء ۱۰۰ گرم وزن نمونه محاسبه شد.

پوشش‌دار کردن گوجه‌فرنگی‌های گیلای با ژل آلونهورا

محلول پوششی بر پایه ژل آلونهورا با غلظت‌های مختلف شامل ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد (حجمی/حجمی) با افزودن مقادیر مشخصی آب مقطر به ژل خالص آلونهورا تهیه شد. سپس تعداد مشخصی از گوجه‌فرنگی‌های گیلای به‌طور جداگانه در محلول‌های پوشش‌دهنده به مدت ۵ دقیقه غوطه‌رو شدند و هر دقیقه یکبار به‌منظور افزایش کارایی پوشش‌دهی درون محلول چرخانده شدند. گوجه‌فرنگی‌های گیلای پوشش‌دار شده به‌منظور جدا شدن محلول اضافی روی یک صفحه توری قرار گرفتند و پوشش سطحی در معرض جریان طبیعی هوا در دمای اتاق خشک شد (Ganjiloo et al., 2020). گوجه‌فرنگی‌های گیلای تیمار شده با آب مقطر به‌عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شدند. نمونه‌های مربوط به هر تیمار (۱۰ نمونه) در ظروف یکبار مصرف پلاستیکی از جنس پلی‌اتیلن ترفتالات با ابعاد $173 \times 228 \times 61$ میلی‌متر بسته‌بندی و به‌طور جداگانه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس (دمای اتاق)، دمای ۱۲ درجه سلسیوس (دمای حین حمل و نقل) و دمای ۵ درجه سلسیوس (دمای انبار سرد) و رطوبت نسبی ۸۵ درصد به مدت ۲۴ روز نگهداری شدند. آزمون‌های اندازه‌گیری آسکوربیک اسید، محتوای ترکیبات فنولی کل، لیکوپن و فعالیت ضدرادیکالی پس از طی زمان‌های صفر (بالافاصله پس از پوشش‌دهی)، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ روز بر روی نمونه‌ها انجام شد. دما و رطوبت نسبی در طول انبارش به‌طور مداوم کنترل و تنظیم گردید.

اندازه‌گیری آسکوربیک اسید

برای اندازه‌گیری مقدار آسکوربیک اسید، ۵ گرم گوجه‌فرنگی گیلای با ۲۰ میلی‌لیتر متافسفریک اسید ۶ درصد یکنواخت شد. مخلوط حاصل صاف و با استفاده از معرف ۲، ۶ دی کلروفنول ایندوفنول تا ظهور رنگ صورتی تیتیر شد. میزان آسکوربیک اسید با توجه به منحنی استاندارد آسکوربیک اسید محاسبه و نتایج بر حسب میلی‌گرم آسکوربیک اسید در ۱۰۰ گرم نمونه گزارش شد (Pregnotatto & Pregnotatto, 1985).

اندازه‌گیری لیکوپن

به‌منظور اندازه‌گیری مقدار لیکوپن حدود ۵ گرم گوجه‌فرنگی گیلای با حلال استون: اتانول: هگزان (۱: ۱: ۲ حجمی/حجمی) با رعایت نسبت ۱ به ۱۰ و BHT^۱ (۵ درصد وزنی/وزنی) به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به آرامی مخلوط شد (Sadler et al., 1990). ظرف استخراج به‌منظور حفاظت از لیکوپن در برابر نور توسط فویل آلومینیومی به‌طور کامل پوشانده شد. پس از پایان فرایند

اندازه‌گیری میزان مهار رادیکال‌های آزاد به روش ۱، ۱- دی فنیل ۲- پیکریل هیدرازیل (DPPH)

ارزیابی فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH توسط عصاره گوجه‌فرنگی گیلاسی طبق روش Brand-Williams و همکاران (۱۹۹۵) انجام شد. بدین منظور ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره گوجه‌فرنگی گیلاسی با ۲/۹ میلی‌لیتر DPPH (۰/۱ میلی‌مولار در متانول) مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و مکان تاریک نگهداری شد. میزان جذب نمونه‌ها در مقابل نمونه شاهد حاوی ۰/۱ میلی‌لیتر متانول و ۲/۹ میلی‌لیتر محلول متانولی DPPH در طول موج ۵۱۵ نانومتر توسط دستگاه طیف‌سنج مرئی-ماورابنفش (SPECORD 250- Analytik jena, Germany) قرائت شد و بر اساس درصد بازدارندگی رادیکال‌های DPPH از طریق رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$DPPH_{SC} (\%) = \left[\frac{(A_B - A_S)}{A_B} \right] \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه A_S و A_B به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر جذب نمونه و شاهد است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

پژوهش حاضر در قالب طرح کاملا تصادفی با در نظر گرفتن سه متغیر مستقل شامل غلظت ژل آلونهورا (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد حجمی/حجمی)، دمای نگهداری (۵، ۱۲ و ۲۵ درجه سلسیوس) و زمان نگهداری (صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ روز) انجام شد. تاثیر هر یک از متغیرهای مستقل از طریق تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) مورد بررسی قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ انجام شد. آزمون‌ها حداقل در سه تکرار انجام و نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شدند.

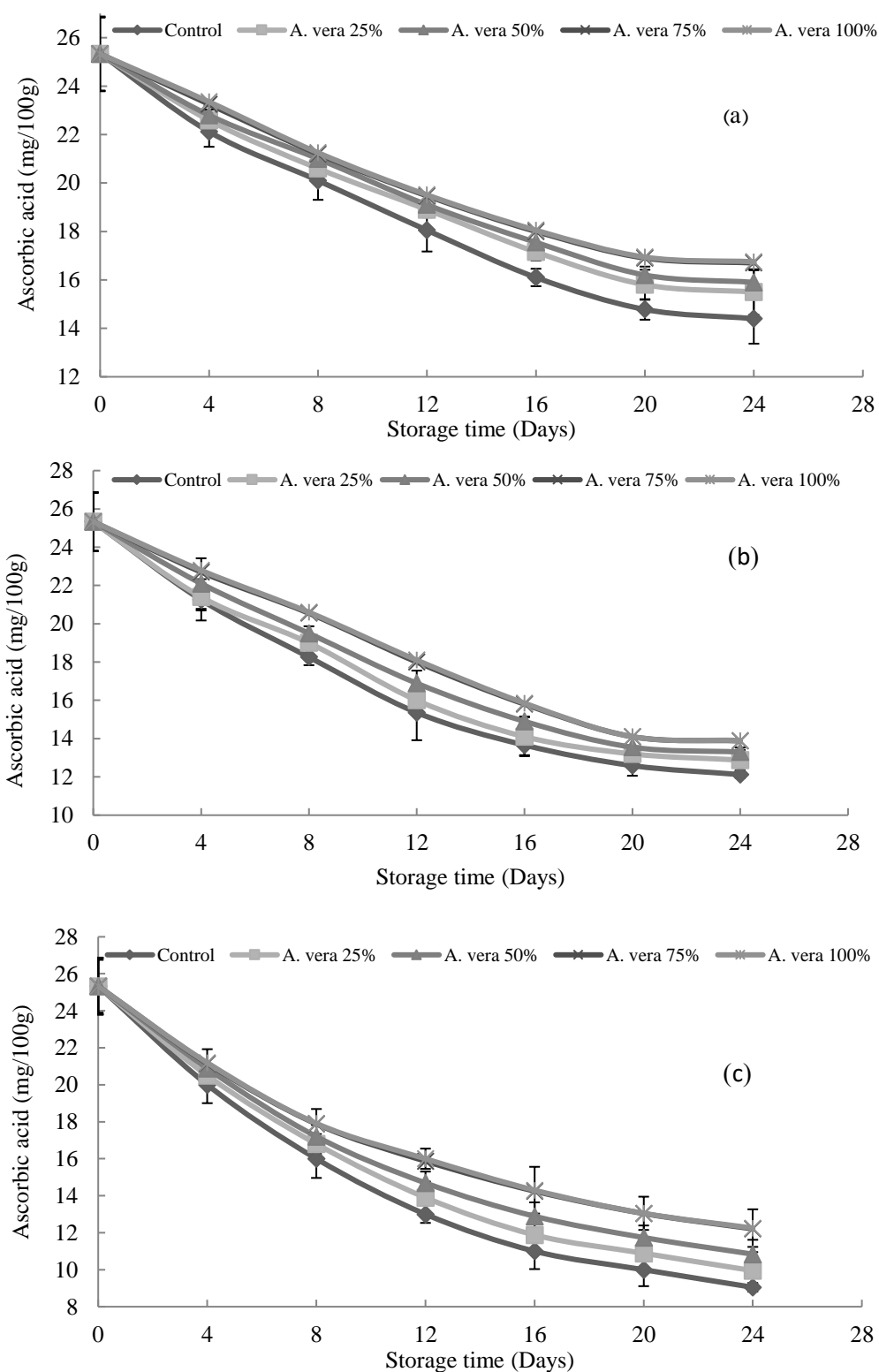
نتایج و بحث

آسکوربیک اسید

آسکوربیک اسید به همراه ترکیبات فنولی و کاروتنوئیدها از جمله ترکیبات ضداکسایش اصلی در گوجه‌فرنگی هستند (Leonardi et al., 2000). میزان آسکوربیک اسید در میوه‌ها و سبزی‌ها تحت تاثیر شرایط رشد، گونه، مرحله رسیدگی و زمان انبارش قرار دارد (Khalil et al., 2019). آسکوربیک اسید به دلیل شرایط اسیدی حاکم بر بافت گوجه‌فرنگی نسبتا پایدار است (Davidek et al., 1990). اما کاهش چشمگیر میزان آسکوربیک اسید حین مرحله پس از برداشت، آماده‌سازی و یا فرآیند پختن به دلیل اکسیداسیون و نشت آن در آب مورد استفاده برای پختن مشاهده شده است (Sahlin et al., 2004). آسکوربیک اسید موجود در بسیاری از میوه‌ها و سبزی‌ها حین مرحله

پس از برداشت عمدتا به دلیل وقوع فرایندهای اکسیداتیو که در حضور نور، اکسیژن، حرارت و آنزیم‌های اکسیدکننده نظیر آنزیم‌های اسکوربات اکسیداز یا پراکسیداز تسریع می‌شوند کاهش می‌یابد (Plaza et al., 2006). از آنجایی که آسکوربیک اسید عمدتا از تاثیرات نامطلوب گونه‌های فعال اکسیژن حین مرحله رسیدگی جلوگیری می‌کند از آن می‌توان برای ارزیابی عمر انبارمانی میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده نمود.

روند تغییرات مقادیر آسکوربیک اسید گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی بدون پوشش و پوشش‌دار شده با غلظت‌های مختلف از ژل آلونهورا حین دوره نگهداری در دماهای مختلف در شکل ۱ ارائه شده است. مقدار آسکوربیک اسید گوجه‌فرنگی گیلاسی در ابتدای دوره نگهداری معادل $25/33 \pm 1/53$ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم بود که این مقدار به‌طور معنی‌داری ($p < 0/05$) حین دوره نگهداری کاهش یافت. حداکثر میزان کاهش آسکوربیک اسید در پایان دوره نگهداری حدود ۶۴/۲۷ درصد و مربوط به نمونه بدون پوشش در پایان دوره نگهداری در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بود که این مقدار معادل $9/05 \pm 0/23$ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم می‌باشد. با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل آماری استفاده از دمای پایین در مقایسه با دماهای بالاتر به‌طور معنی‌داری ($p < 0/05$) باعث حفظ بهتر آسکوربیک اسید گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی شد. در این راستا مقدار آسکوربیک اسید نمونه بدون پوشش در پایان دوره نگهداری در دماهای ۵، ۱۲ و ۲۵ درجه سلسیوس به ترتیب $14/1 \pm 4/03$ ، $12/0 \pm 12/18$ و $9/05 \pm 0/23$ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم به‌دست آمد. دمای نگهداری یکی از عواملی است که می‌تواند روند کاهش آسکوربیک اسید میوه‌ها و سبزی‌ها را حین دوره نگهداری تسریع نماید. یافته‌های Vahdat و همکاران (۲۰۱۲) حاکی از آن است که استفاده از دمای پایین سبب حفظ بیشتر آسکوربیک اسید در توت‌فرنگی حین دوره نگهداری می‌گردد. سلول‌های گیاهی حاوی سیستم‌های طبیعی ضداکسایشی هستند تا مقادیر گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده را تنظیم نمایند. در میان ترکیبات متعدد ضداکسایشی موجود در سلول آسکوربیک اسید به سرعت با گونه‌های رادیکالی به‌منظور حفاظت از سلول در شرایط نامتعادل اکسیداسیون - احیا وارد واکنش می‌شود (Mittler, 2002). افت بیشتر مقدار آسکوربیک اسید در گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی نگهداری شده در دماهای بالاتر از ۱۰ درجه سلسیوس را می‌توان به این دلیل دانست. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل آماری تاثیر غلظت پوشش ژل آلونهورا بر مقدار آسکوربیک اسید نیز معنی‌دار بود ($p < 0/05$). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود اعمال پوشش خوراکی ژل آلونهورا سبب کاهش سیر نزولی مقدار آسکوربیک اسید حین دوره نگهداری شد.



شکل ۱- محتوای آسکوربیک اسید گوجه‌فرنگی‌های بدون پوشش و پوشش‌دار شده با ژل آلونهورا نگهداری شده در دماهای (الف) ۵ درجه سلسیوس، (ب) ۱۲ درجه سلسیوس و (ج) ۲۵ درجه سلسیوس.

Fig. 1. Ascorbic acid content of uncoated and *Aloe vera* coated cherry tomatoes stored at temperatures of (a) 5°C, (b) 12°C and (c) 25°C.

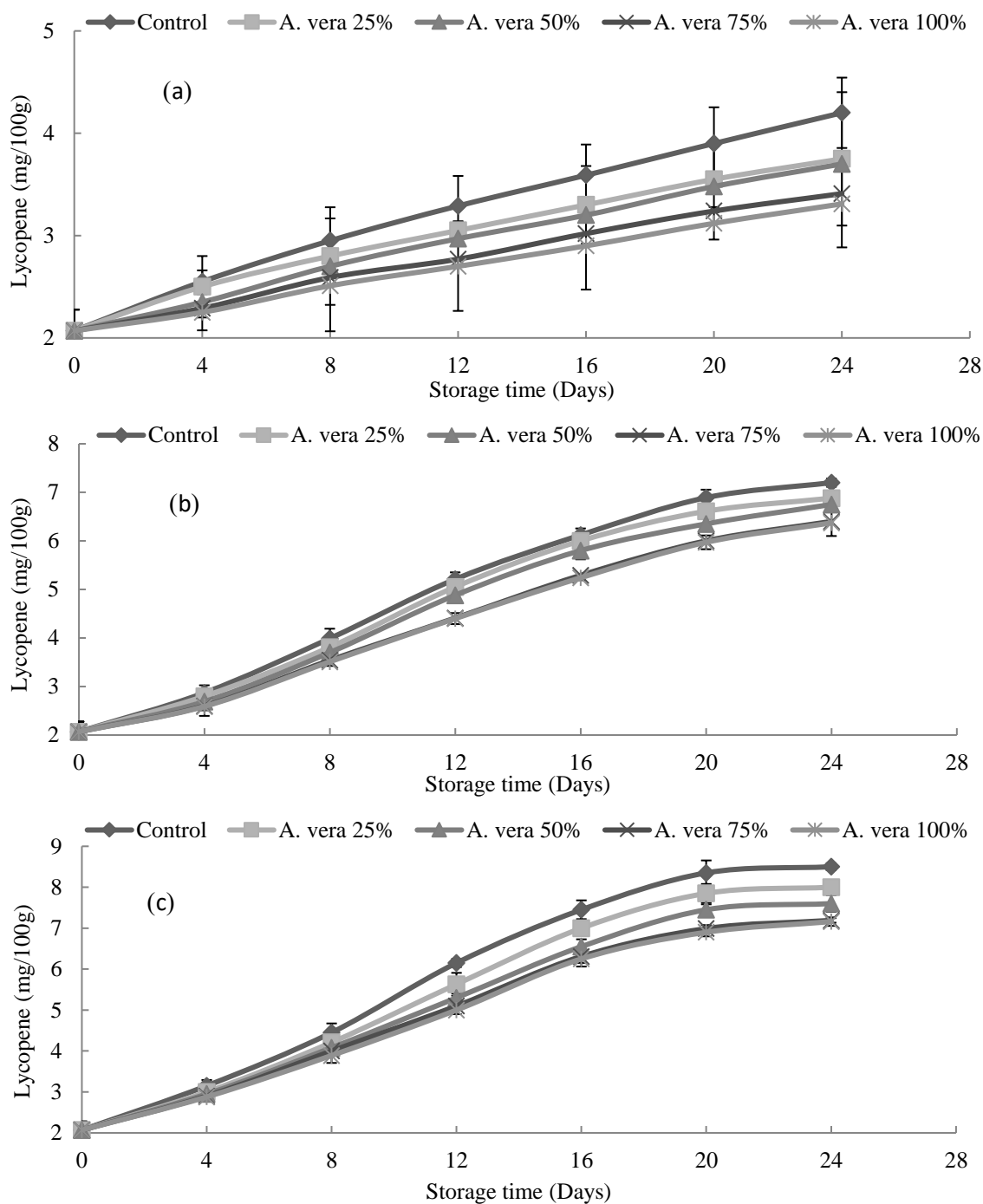
به‌عنوان مثال محتوای آسکوربیک اسید گوجه‌فرنگی‌های گیلادی پوشش‌دار شده با غلظت ۷۵ درصد از ژل آلوتهورا حدود ۱۵/۹۷ درصد بیش از نمونه بدون پوشش در پایان دوره نگهداری در دمای ۵ درجه سلسیوس بود. این در حالی است که این مقدار در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به ۳۴/۹۲ درصد رسید. لازم به ذکر است که اختلاف معنی‌داری بین غلظت‌های ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد از ژل آلوتهورا مشاهده نگردید ($p > 0.05$). کاهش میزان افت آسکوربیک اسید حین نگهداری توت‌فرنگی (Zafari, et al., 2015)، برش‌های پرتقال (Radi et al., 2017)، میوه Sapodilla (Khaliq et al., 2019) و انبه (Zahedi et al., 2019) به ترتیب با اعمال پوشش‌های ژل آلوتهورا، ترکیب ژل آلوتهورا و ژلاتین، ژل آلوتهورا حاوی عصاره گیاه *Fagonia indica* و کیتوزان گزارش شده است. کاهش میزان نفوذپذیری به اکسیژن را می‌توان یکی از مهم‌ترین عوامل ماندگاری آسکوربیک اسید در نمونه‌های پوشش‌دار شده دانست که در واقع ژل آلوتهورا به مثابه سد عمل نموده و سرعت نفوذ اکسیژن را کاهش می‌دهد (Gol et al., 2013). به علاوه اعمال پوشش آلوتهورا منجر به کاهش وقوع تغییرات ساختاری ناشی از پیری در سطح سلول می‌شود که می‌تواند در حفظ آسکوربیک اسید موثر باشد.

لیکوپن

لیکوپن یک ترکیب ایزوپرنوئیدی از دسته کاروتنوئیدها با فعالیت بیولوژیکی در بدن موجودات زنده و مسئول ایجاد رنگ قرمز در گوجه‌فرنگی است (Britton et al., 2004; Nguyen & Schwartz, 1999; Stahl & Sies, 1996). لیکوپن حدود ۶۰ الی ۷۴ درصد کاروتنوئیدهای گوجه‌فرنگی را شامل می‌شود و به‌طور کلی مقدار آن تحت تاثیر میزان رسیدگی، واریته، تیمارهای مختلف و شرایط انبارش قرار می‌گیرد (Javanmardi & Kubota, 2006; Martinez, 2002; Valverde et al., 2002). مقدار لیکوپن گوجه‌فرنگی‌های گیلادی در ابتدای دوره نگهداری معادل $20 \pm 2/07$ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم بود. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود مقدار لیکوپن با گذشت زمان نگهداری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$). به‌طوری که مقدار لیکوپن موجود در نمونه‌های بدون پوشش در پایان دوره نگهداری در دماهای ۵، ۱۲ و ۲۵ درجه سلسیوس به‌ترتیب معادل $34 \pm 2/04$ ، $20 \pm 7/0$ و $8 \pm 5/08$ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم بود. Thompson و همکاران (۲۰۰۰) و Javanmardi و Kubota (۲۰۰۶) اذعان کردند که فرایند رسیدگی گوجه‌فرنگی با افزایش محتوای لیکوپن مرتبط است. Nour و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند که حداکثر میزان لیکوپن در مراحل انتهایی رسیدگی گوجه‌فرنگی زمانی که رنگ گوجه‌فرنگی به‌صورت کاملاً قرمز در می‌آید مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌گردد با افزایش دمای نگهداری مقدار لیکوپن گوجه‌فرنگی‌های گیلادی

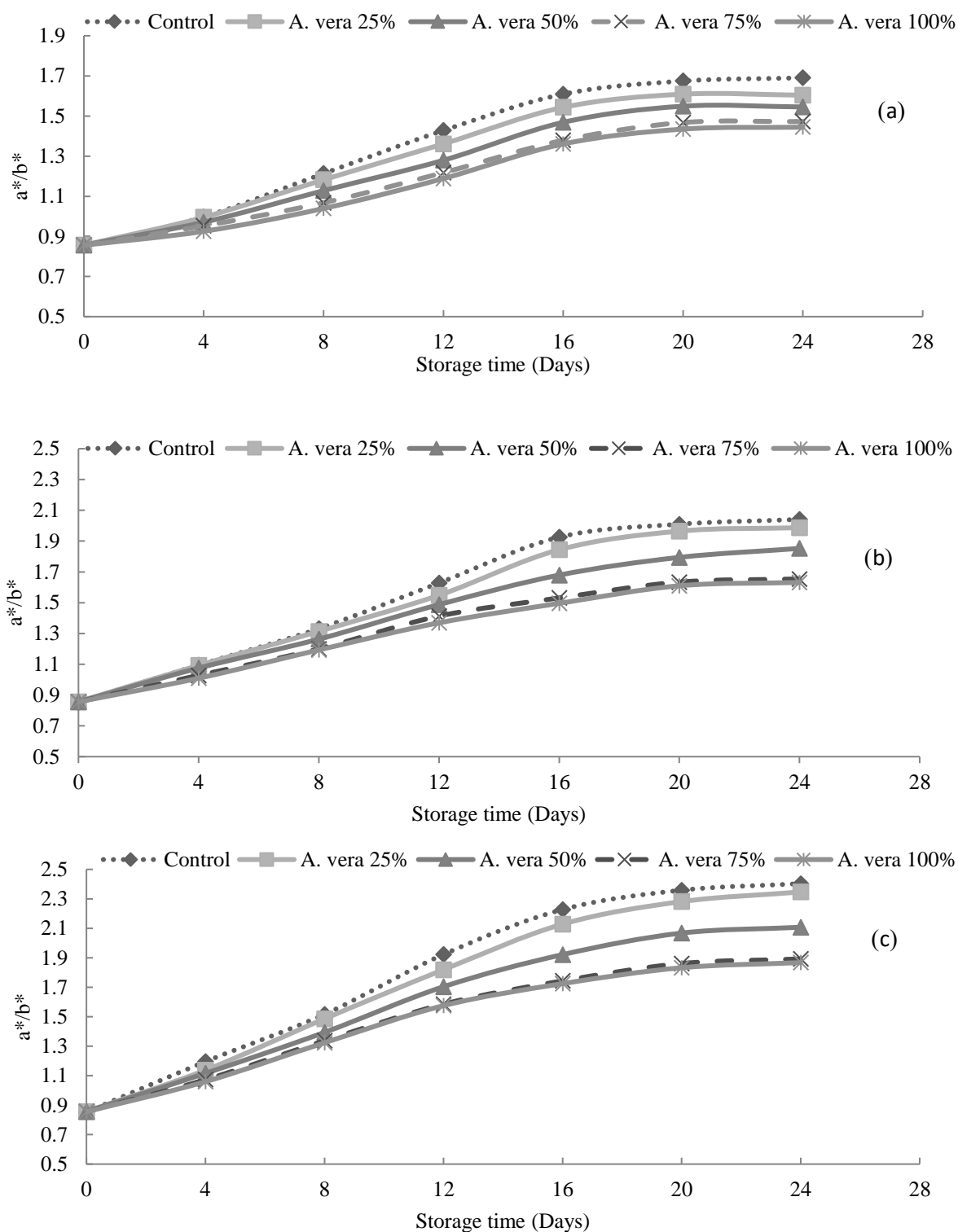
به‌طور چشمگیری افزایش یافت. افزایش مقدار لیکوپن گوجه‌فرنگی‌های گیلادی با افزایش دمای نگهداری حاکی از آن است که فرایند رسیدگی که با افزایش مقدار لیکوپن همراه است در گوجه‌فرنگی‌های گیلادی نگهداری شده در دماهای پایین‌تر با سرعت کمتری رخ داده است. در این راستا لئون (۱۹۹۲) گزارش نمود که تولید لیکوپن وابسته به محدوده دمایی ۱۲ تا ۳۲ درجه سلسیوس است (Leoni, 1992). Giovanelli و همکاران (۱۹۹۹) و Kubota و Javanmardi (۲۰۰۶) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. بیشتر این که گوجه‌فرنگی‌های پوشش‌دار شده با غلظت‌های مختلف از ژل آلوتهورا به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) مقادیر لیکوپن کمتری نسبت به نمونه بدون پوشش داشتند هرچند این اختلاف بین غلظت‌های ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد ژل آلوتهورا معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). ژل آلوتهورا به‌عنوان یک پوشش خوراکی طبیعی از خود توانایی اصلاح اتمسفر داخلی (افزایش دی‌اکسید کربن و کاهش اکسیژن) و در نتیجه به تأخیر انداختن تولید اتیلن در میوه‌های فرازگرا نظیر هلو و آلو را نشان داده است (Guillen et al., 2013). با توجه به کاهش سرعت در روند افزایشی تجمع لیکوپن در گوجه‌فرنگی‌های گیلادی پوشش‌دار شده در مقایسه با نمونه بدون پوشش می‌توان دریافت که فرایند رسیدن گوجه‌فرنگی به‌عنوان یک محصول کشاورزی فرازگرا در اثر اعمال پوشش ژل آلوتهورا به تأخیر افتاده است. مولفه a^* به‌عنوان شاخص قرمزی بهترین گزینه برای اندازه‌گیری درجه رسیدگی گوجه‌فرنگی است در حالی که مولفه b^* از بین رفتن رنگ زرد را نشان می‌دهد (Artés et al., 1998). به‌طور کلی نسبت بالای صفر نشان‌دهنده شروع تغییر رنگ از سبز به قرمز است و نسبت بالای یک نشان‌دهنده محصول کاملاً رسیده است (Batu, 2004). برای اطلاعات بیشتر طبقه‌بندی گوجه‌فرنگی بر اساس رنگ و مرحله رسیدگی بر اساس نسبت a^*/b^* در جدول ۱ آورده شده است (Batu, 2004). تغییرات نسبت a^*/b^* گوجه‌فرنگی‌های گیلادی بدون پوشش و پوشش‌دار شده با غلظت‌های مختلف از ژل آلوتهورا حین نگهداری در دماهای مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل آماری غلظت ژل آلوتهورا، زمان و دمای نگهداری تاثیر معنی‌داری ($p < 0.05$) بر این نسبت داشتند. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با گذشت زمان و افزایش دمای نگهداری مقدار این نسبت افزایش یافت. این در حالی است که با اعمال ژل آلوتهورا به‌عنوان پوشش در مقایسه با نمونه‌های بدون پوشش مقدار نسبت a^*/b^* کاهش یافت. مقادیر بالاتر نسبت a^*/b^* نمونه‌های بدون پوشش نگهداری شده در دمای بالاتر نیز موید این مطلب است که با اعمال پوشش ژل آلوتهورا و استفاده از دمای ۵ درجه سلسیوس می‌توان رسیدگی گوجه‌فرنگی‌های گیلادی را بیشتر به تعویق انداخت که این امر تجمع کمتر لیکوپن را به همراه دارد. در راستای نتایج پژوهش حاضر Shahiri و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند نسبت

a^*/b^* گوجه فرنگی پوشش دار شده با صمغ ریحان در مقایسه با نمونه بدون پوشش کاهش یافت.



شکل ۲- محتوای لیکوپین گوجه فرنگی های بدون پوشش و پوشش دار شده با ژل آلونهورا نگهداری شده در دماهای (الف) ۵ درجه سلسیوس، (ب) ۱۲ درجه سلسیوس و (ج) ۲۵ درجه سلسیوس.

Fig. 2. Lycopene content of uncoated and *Aloe vera* coated cherry tomatoes stored at temperatures of (a) 5 °C, (b) 12°C and (c) 25°C.



شکل ۳- تغییرات نسبت a^*/b^* گوجه‌فرنگی‌های بدون پوشش و پوشش‌دار شده با ژل آلونئه‌ورا نگهداری شده در دماهای (الف) ۵ درجه سلسیوس، (ب) ۱۲ درجه سلسیوس و (ج) ۲۵ درجه سلسیوس.

Fig. 3. a^*/b^* changes of uncoated and *Aloe vera* coated cherry tomatoes stored at temperatures of (a) 5°C, (b) 12°C and (c) 25°C.

جدول ۱- طبقه‌بندی رنگ و مراحل رسیدگی گوجه‌فرنگی بر اساس نسبت های a^*/b^* منبع (Batu, 2004).
 Table 1- Color classification and ripening stages of tomato according to a^*/b^* ratios

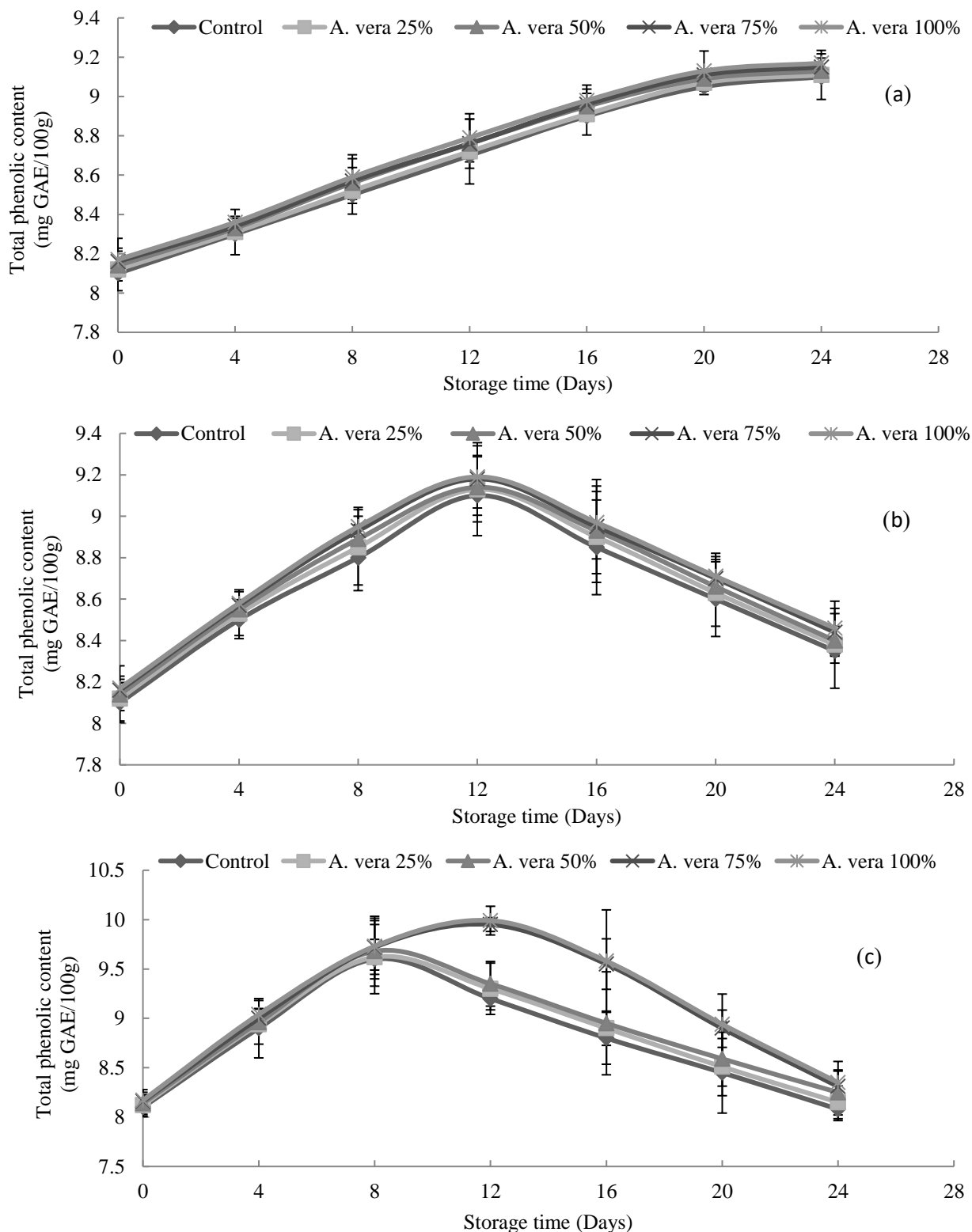
| Stage مرحله | a^*/b^* ratio نسبت a^*/b^* |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Green سبز | -0.59 to -0.47 |
| Beaker Turning Pink صورتی | -0.47 to -0.27 -0.27 to 0.08 |
| Light red قرمز روشن | 0.08 to 0.60 0.60 to 0.95 |
| Red قرمز | 0.95 to 1.21 |

محتوای ترکیبات فنولی کل

ترکیبات فنولی نقش‌های متفاوتی در گیاهان و محصولات کشاورزی از جمله جلوگیری از آلودگی به پاتوژن‌ها و یا مقاومت در برابر پاتوژن‌ها دارند (Singh et al., 2010). محتوای ترکیبات فنولی کل گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی در ابتدای دوره نگهداری معادل 10.9 ± 1.0 میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر ۱۰۰ گرم نمونه بود که این مقدار پس از پوشش‌دهی با افزایش غلظت ژل آلوتهورا اندکی افزایش یافت. افزایش محتوای ترکیبات فنولی کل گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی پوشش‌دار شده در ابتدای دوره نگهداری می‌تواند ناشی از ترکیبات فنولی موجود در ژل آلوتهورا باشد. [Khaliq](#) و همکاران (۲۰۱۹) اندکی افزایش در محتوای ترکیبات فنولی کل نمونه‌های پوشش‌دار شده با ژل آلوتهورا را در مقایسه با نمونه شاهد گزارش کردند. نتایج تجزیه و تحلیل آماری حاکی از آن است که غلظت پوشش ژل آلوتهورا، دما و زمان نگهداری تاثیر معنی‌داری بر محتوای ترکیبات فنولی کل گوجه‌فرنگی گیلاسی داشت ($p < 0.05$).

همان‌طور که در [شکل ۴-ا](#) مشاهده می‌شود محتوای ترکیبات فنولی کل گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی بدون پوشش و پوشش‌دار شده با غلظت‌های مختلف از ژل آلوتهورا نگهداری شده در دمای ۵ درجه سلسیوس حین دوره نگهداری افزایش یافت. به‌طوری‌که محتوای ترکیبات فنولی کل در پایان دوره نگهداری برای نمونه بدون پوشش معادل 10.0 ± 0.9 میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر ۱۰۰ گرم نمونه و برای نمونه‌های پوشش‌دار شده با ژل آلوتهورا در محدوده ۹/۱۷-۹/۱۱ میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر ۱۰۰ گرم نمونه به‌دست آمد. به عبارت دیگر گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی نگهداری شده در دمای ۵ درجه سلسیوس تا پایان روز ۲۴ هنوز وارد مرحله رسیدگی پیری نشده‌اند. محتوای ترکیبات فنولی کل گوجه‌فرنگی حین فرایند رشد و رسیدگی متغیر بوده و به‌علاوه مقدار این ترکیبات تحت تاثیر گونه گوجه‌فرنگی

و حتی وارثه آن نیز قرار دارد (Egea et al., 2009). به‌طور دقیق‌تر محتوای ترکیبات فنولی کل حین مرحله رشد تقریباً ثابت است و به‌طور پیوسته حین مراحل اولیه رسیدگی افزایش می‌یابد اما در مراحل انتهایی دوره رسیدگی (مراحل قرمز و قرمز پر رنگ) این مقدار کاهش می‌یابد (Nour et al., 2014). نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر نیز موید این مطلب است. محتوای ترکیبات فنولی کل تمامی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی نگهداری شده در دمای ۱۲ درجه سلسیوس تنها تا روز ۱۲ دوره نگهداری افزایش یافت و پس از آن میزان ترکیبات فنولی کل کاهش یافت (شکل ۴-ب). در نتیجه گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی نگهداری شده در دمای ۱۲ درجه سلسیوس در پایان روز ۱۲ وارد مرحله پیری شده‌اند این در حالی است در دمای ۲۵ درجه سلسیوس محتوای ترکیبات فنولی کل گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی بدون پوشش و پوشش‌دار شده با غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ درصد ژل آلوتهورا تا روز ۸ نگهداری و نمونه‌های پوشش‌دار شده با غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد تا روز ۱۲ نگهداری افزایش یافت و سپس مقدار ترکیبات فنولی کل کاهش یافت (شکل ۴-ج). بررسی روند تغییرات محتوای ترکیبات فنولی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی بدون پوشش و پوشش‌دار شده با ژل آلوتهورا حین دوره نگهداری در دماهای مختلف می‌توان ادعان نمود که با افزایش دما محتوای ترکیبات فنولی افزایش و از طرفی ورود به مرحله پیری زودتر اتفاق می‌افتد. [Vahdat](#) و همکاران (۲۰۱۲) و [Odrizola-Serrano](#) (۲۰۰۸) نیز دریافتند که در دماهای بالاتر میزان ترکیبات فنولی کل افزایش می‌یابد. [Reyes](#) و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که با کاهش سطح آسکوربیک در بافت میوه‌ها و سبزی‌ها میزان سنتز ترکیبات فنولی برای تنظیم سطح گونه‌های اکسیژن فعال و محافظت از سلول‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۴- محتوای ترکیبات فنولی کل گوجه‌فرنگی‌های بدون پوشش و پوشش‌دار شده با ژل آلوئه‌ورا نگهداری شده در دماهای (الف) ۵ درجه سلسیوس، (ب) ۱۲ درجه سلسیوس و (ج) ۲۵ درجه سلسیوس.

Fig. 4. Total phenolic content of uncoated and *Aloe vera* coated cherry tomatoes stored at temperatures of (a) 5°C, (b) 12°C and (c) 25°C.

مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد DPPH مورد ارزیابی قرار گرفت. روند تغییرات فعالیت ضد رادیکالی در شکل ۵ آورده شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که غلظت ژل آلوئه‌ورا، دما و زمان نگهداری تاثیر معنی‌داری بر فعالیت ضد رادیکالی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی داشت ($p < 0.05$).

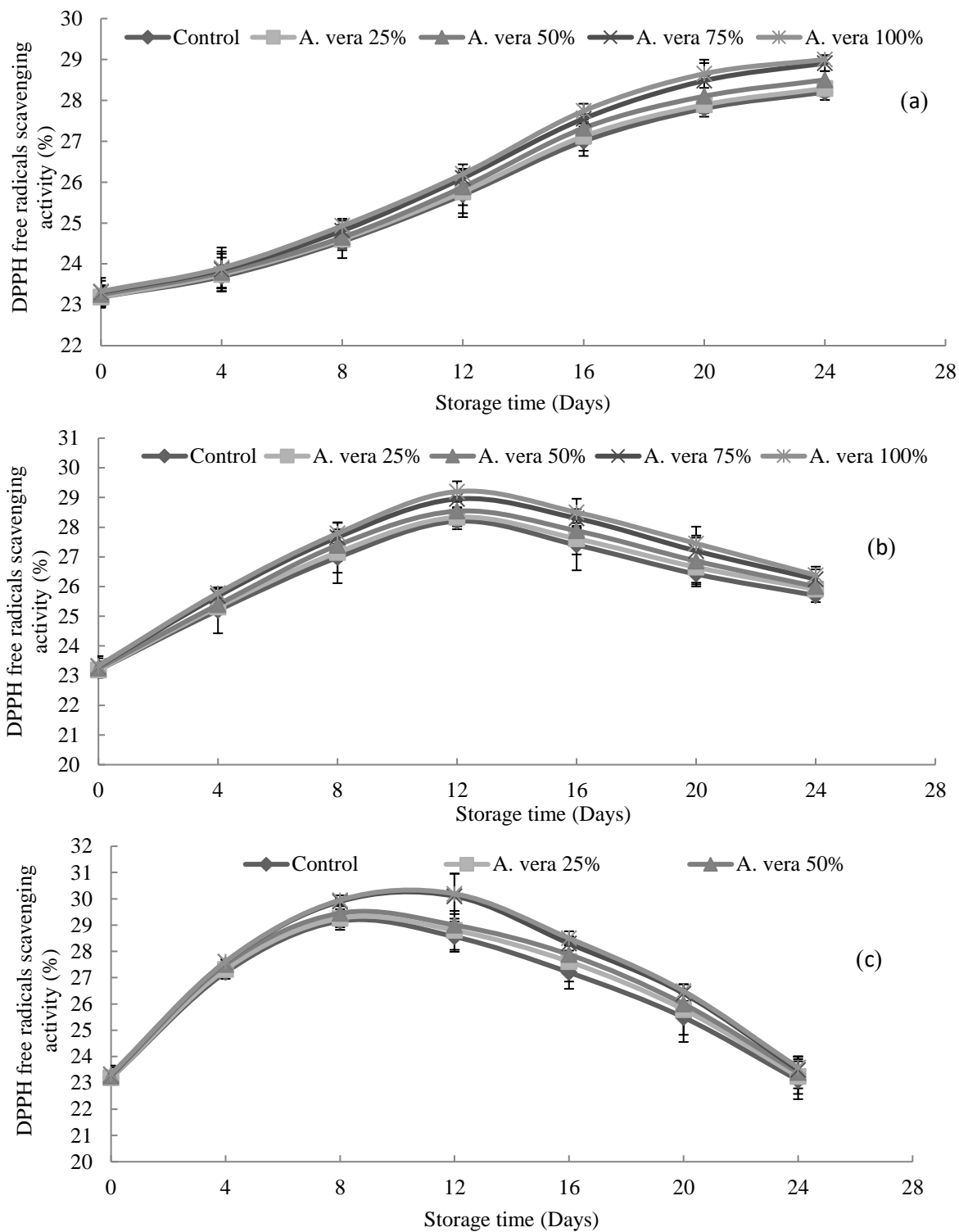
همان‌طور که در شکل ۵-a مشاهده می‌گردد فعالیت ضد رادیکالی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی در حین دوره نگهداری در دمای ۵ درجه سلسیوس به‌طور پیوسته افزایش یافت. به‌علاوه اعمال ژل آلوئه‌ورا اثر مثبتی بر افزایش فعالیت ضد رادیکالی گوجه‌فرنگی گیلاسی داشت به طوری که با افزایش غلظت ژل آلوئه‌ورا این تاثیر بیشتر نیز شد اما تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد ژل آلوئه‌ورا مشاهده نگردید ($p > 0.05$). فعالیت ضد رادیکالی بالاتر گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی پوشش‌دار شده را می‌توان به مقادیر بالاتر محتوای ترکیبات فنولی و حفظ بیشتر آسکوربیک اسید آنها نسبت داد. از طرفی ژل آلوئه‌ورا حاوی ترکیبات زیادی با فعالیت ضد رادیکالی است که از آن جمله می‌توان به ترکیبی به نام آلوئه-امودین^۱ اشاره کرد (Ni et al., 2004). در این راستا Serrano و همکاران (۲۰۰۶)، Hassanpour (۲۰۱۵) و Gorgani و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که می‌توان با اعمال پوشش ژل آلوئه‌ورا بر میوه انگور، تمشک و کیوی رقم‌های وارد در انتهای دوره نگهداری به مقادیر بالاتری از فعالیت ضد رادیکالی دست یافت. Zahedi و همکاران (۲۰۱۹) گزارش نمودند که انبه‌های پوشش‌دار شده با کیتوزان نسبت به نمونه بدون پوشش در پایان دوره نگهداری از محتوای فنولی و فعالیت ضد رادیکالی بالاتری برخوردار هستند. در بسیاری از مطالعات پیشین افزایش فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایش نظیر سوپراکسید دیسموتاز^۲، پروکسیداز^۳ و کاتالاز^۴ در پی تیمار محصولات نظیر گوجه‌فرنگی (Liu et al., 2007) و گوآوا (Hong et al., 2012) با غلظت‌های مختلف از کیتوزان مشاهده شده است که می‌تواند مسئول بروز بخش اعظمی از فعالیت ضد رادیکالی حین دوره نگهداری باشند. با افزایش دمای نگهداری از ۵ به ۱۲ درجه سلسیوس میزان فعالیت ضد رادیکالی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی تا روز ۱۲ افزایش و پس از آن تا پایان دوره نگهداری کاهش یافت (شکل ۵-b). با افزایش بیشتر دمای نگهداری روند مشابهی مشاهده گردید با این تفاوت که زمان آغاز کاهش فعالیت ضد رادیکالی روز ۸ دوره نگهداری بود (شکل ۵-C).

به‌علاوه، افزایش تولید اتیلن در دماهای بالاتر به دلیل تاثیر مثبت بر فعالیت فنیل آلانین آمونیا لایز به‌عنوان عامل محرک برای تولید ترکیبات پلی‌فنولی از فنیل آلانین می‌تواند یکی دیگر از دلایل افزایش میزان ترکیبات پلی‌فنولی در دماهای بالاتر باشد (Laja et al., 2003). کاهش محتوای ترکیبات فنولی کل در پایان دوره نگهداری احتمالاً می‌تواند به دلیل از بین رفتن ساختار سلولی به دلیل ورود به مرحله پیری باشد (Ghasemnezhad & Shiri, 2010). همان‌طور که در شکل ۴ (c-b) مشاهده می‌شود با اعمال پوشش ژل آلوئه‌ورا می‌توان از کاهش محتوای ترکیبات فنولی کل حین دوره نگهداری جلوگیری نماید. بیشتر این که با اعمال پوشش ژل آلوئه‌ورا خصوصاً در غلظت‌های بالاتر از ۵۰ درصد می‌توان زمان ورود به مرحله پیری را در دمای ۲۵ درجه سلسیوس افزایش داد. ذکر این نکته لازم است که تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد ژل آلوئه‌ورا در حفظ محتوای ترکیبات فنولی کل حین دوره نگهداری مشاهده نگردید ($p > 0.05$). اعمال پوشش بر پایه ژل آلوئه‌ورا می‌تواند با اصلاح اتمسفر داخلی گوجه‌فرنگی گیلاسی و محدود کردن فعالیت آنزیم‌هایی نظیر پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز مانع از تجزیه ترکیبات فنولی حین دوره نگهداری گردد (Gorgani et al., 2018). نتایج مطالعات Serrano و همکاران (۲۰۰۶) و Khaliq و همکاران (۲۰۱۹) نیز مشابه نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. این محققان دریافتند که میزان کاهش محتوای ترکیبات فنولی کل میوه‌هایی نظیر انگور، میوه چیکو و بلوبری با اعمال پوشش‌های خوراکی از ژل آلوئه‌ورا و کیتوزان حین دوره نگهداری کاهش می‌یابد. کاهش مقدار ترکیبات فنولی در مراحل انتهایی رسیدن گوجه‌فرنگی می‌تواند به علت شرکت این ترکیبات در مکانیسم‌های دفاعی علیه گونه‌های اکسیژن فعال باشد که در اثر افزایش سرعت تنفس در اواخر دوره رسیدگی به مقدار بیشتری تولید می‌شوند (Raffo et al., 2002). لذا در گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی پوشش‌دار شده به علت کاهش آسیب وارده به ساختار سلولی حین دوره نگهداری مقادیر بالاتری از ترکیبات فنولی مشاهده می‌گردد.

فعالیت ضد رادیکالی

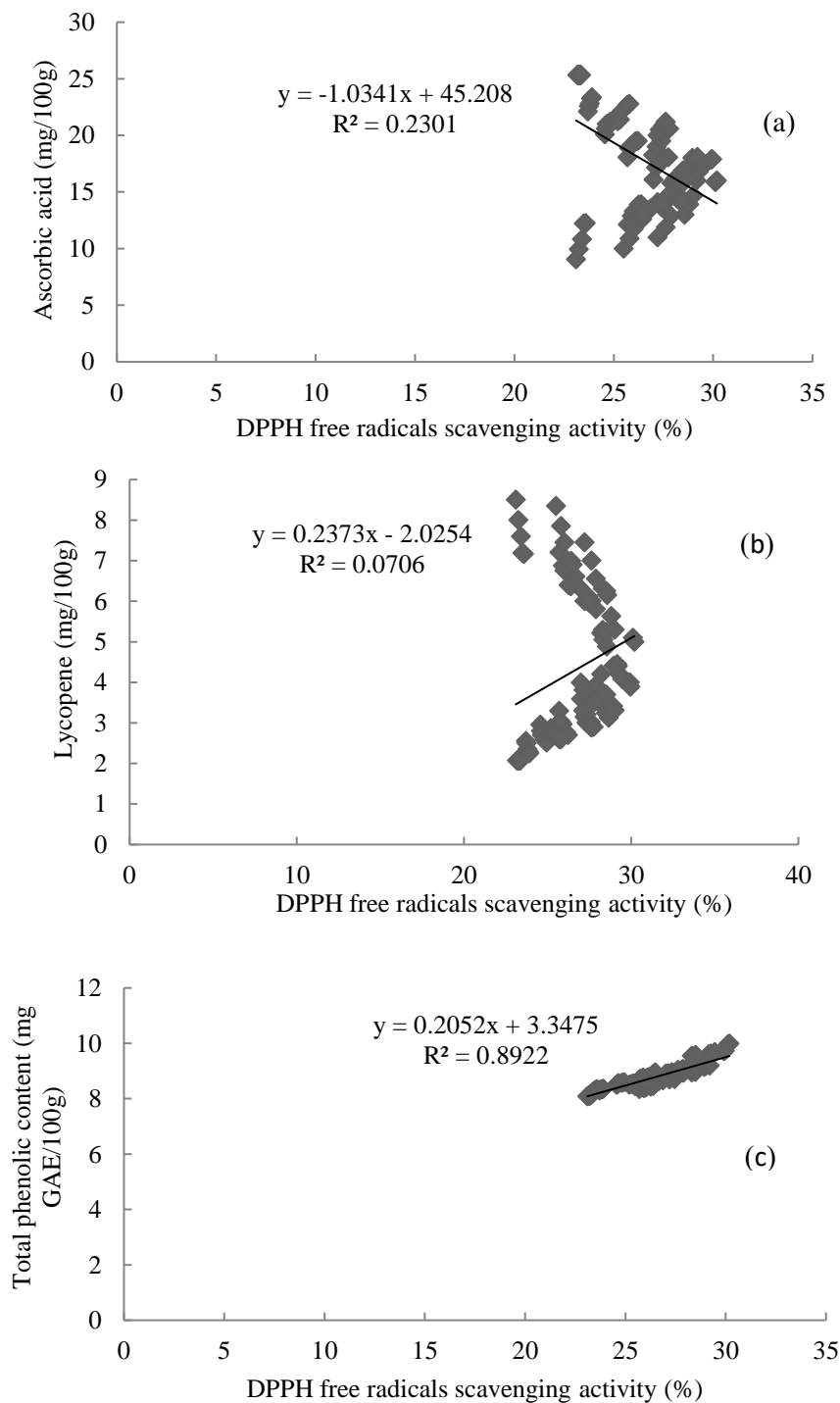
فعالیت ضد رادیکالی گوجه‌فرنگی گیلاسی می‌تواند تحت تاثیر ترکیبات فنولی نظیر فلاونوئیدها، آسکوربیک اسید و کارتنوئیدها نظیر لیکوپن قرار گیرد (Giovaneli et al., 1999). هرچند که این فعالیت می‌تواند تحت تاثیر عواملی نظیر ژنتیک، شرایط محیطی (نور، دما، در دسترس بودن آب و مواد مغذی)، تکنیک مورد استفاده برای تولید و شرایط نگهداری پس از برداشت نیز قرار گیرد (Dumas et al., 2003). در این پژوهش فعالیت ضد رادیکالی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی بدون پوشش و پوشش‌دار شده با غلظت‌های مختلف از ژل آلوئه‌ورا حین نگهداری در دماهای مختلف به‌روش فعالیت

1 Aloe-emodin
2 Superoxide dismutase (SOD)
3 Peroxidase (POD)
4 Catalase (CAT)



شکل ۵- فعالیت ضدرادیکالی گوجه‌فرنگی‌های بدون پوشش و پوشش‌دار شده با ژل آلونئورا نگهداری شده در دماهای (الف) ۵ درجه سلسیوس، (ب) ۱۲ درجه سلسیوس و (ج) ۲۵ درجه سلسیوس.

Fig. 5. Antiradical activity of uncoated and *Aloe vera* coated cherry tomatoes stored at temperatures of (a) 5°C, (b) 12°C and (c) 25°C.



شکل ۶- روابط همبستگی بین فعالیت ضدرادیکالی عصاره گوجه‌فرنگی‌های بدون پوشش و پوشش‌دار شده با ژل آلونئه‌ورا نگهداری شده در دماهای مختلف و (الف) آسکوربیک اسید، (ب) لیکوپن و (ج) ترکیبات فنولی کل.

Fig. 6. Correlations between antiradical activity of uncoated and *Aloe vera* coated cherry tomatoes stored at different temperatures and (a) ascorbic acid, (b) lycopene and (c) total phenolic content.

آسیب منجر به صدمه سلولی و تغییر در ترکیب و محتوای ترکیبات ضداکساینده و در نهایت بروز تغییراتی در فعالیت ضداکسایشی

همان‌طور که پیشتر نیز بیان شد گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی حین دوره نگهداری در معرض آسیب اکسیداتیو قرار می‌گیرند که این

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مقادیر آسکوربیک اسید، ترکیبات فنولی کل و فعالیت ضدرادیکالی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی حین دوره نگهداری کاهش می‌یابد در حالی که برای مقدار لیکوپن روند افزایشی مشاهده گردید. بررسی اثر افزایش دما حاکی از تسریع کاهش آسکوربیک اسید، ترکیبات فنولی کل و فعالیت ضدرادیکالی و افزایش سرعت تجمع لیکوپن در گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی بود. اعمال پوشش خوراکی بر پایه ژل آلوتئورا خصوصاً با غلظت ۷۵ درصد توانست روند کاهشی محتوای آسکوربیک اسید، ترکیبات فنولی کل و فعالیت ضدرادیکالی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی حین دوره نگهداری را کنترل نماید. درنهایت می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از تکنیک پوشش‌دهی و کنترل دمای نگهداری تاثیر به‌سزایی بر حفظ ترکیبات زیست‌فعال گوجه‌فرنگی گیلاسی در مرحله پس از برداشت دارد.

می‌شود. در این راستا کاهش فعالیت ضد رادیکالی در پایان روزهای ۱۲ و ۸ دوره نگهداری به ترتیب برای گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی نگهداری شده در دمای ۱۲ و ۲۵ درجه سلسیوس موید نتیجه فوق است.

نتایج بررسی همبستگی فعالیت ضدرادیکالی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی با میزان آسکوربیک اسید، لیکوپن و محتوای ترکیبات فنولی کل در **شکل ۶** نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد فعالیت ضدرادیکالی گوجه‌فرنگی گیلاسی همبستگی قوی با ترکیبات فنولی کل ($R^2=0/8922$) دارد. به علاوه این‌که همبستگی فعالیت ضدرادیکالی با میزان آسکوربیک اسید ($R^2=0/2301$) بیش از همبستگی با مقدار لیکوپن ($R^2=0/0706$) بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده تغییرات فعالیت ضدرادیکالی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی بیشتر تحت تاثیر تغییرات ترکیبات فنولی قرار دارد. سایر محققان نیز همبستگی بین فعالیت ضداکسایشی و آسکوربیک اسید، ترکیبات فنولی و لیکوپن در گوجه‌فرنگی را نشان داده‌اند (*Martinez-* *Valverde et al., 2002; Odriozola-Serrano et al., 2008*).

منابع

1. Ali, S., Sattar Khan, A., Nawaz, A., Anjum, M. A., Ejaz, S., & Hussain, S. (2019). *Aloe vera* gel coating delays postharvest browning and maintains quality of harvested litchi fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 157, 110960. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110960>
2. Arab, L., & Steck, S. (2000). Lycopene and cardiovascular disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71, 1691-1695. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.6.1691S>
3. Arias, R., Lee, T. C., Logendra, L., & Janes, H. (2000). Correlation of lycopene measured by HPLC with the L^* , a^* , b^* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1697-1702. <https://doi.org/10.1021/jf990974e>
4. Artés, F., Sánchez, E., & Tijskens, L. M. M. (1998). Quality and shelf life of tomatoes improved by intermittent warming. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*, 31, 427-431. <https://doi.org/10.1006/food.1997.0321>
5. Barber, N. J., & Barber, J. (2002). Lycopene and prostate cancer. *Prostate Cancer Prostatic Disease*, 5, 6-12. <https://doi.org/10.1038/sj.pcan.4500560>
6. Batu, A. (2004). Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes *Journal of Food Engineering*, 61, 471-475. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00141-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00141-9)
7. Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
8. Britton G., & Hornero-Mendez D. (2004). Carotenoids and colour in fruit and vegetables, in *Carotenoids Handbook* ed. by Britton G, Liaaen-Jensen S and Pfander H. Birkhauser, Basle, 11-27.
9. Davidek, J., Velisek, J., & Pokorny, J. (1990). Chemical changes during food processing, 4.10: Ascorbic and dehydroascorbic acid (vitamin C). Czechoslovak Medical Press, Avicenum, Prague.
10. D'Aquino, S., Mistriotis, A., Briassoulis, D., Di Lorenzo, M. L., Malinconico, M., & Palma, A. (2016). Influence of modified atmosphere packaging on postharvest quality of cherry tomatoes held at 20 °C. *Postharvest Biobiology and Technology*, 115, 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.12.014>
11. Dumas, Y., Dado, M., Di Lucca, G., & Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 369-382. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1370>
12. Egea, M. I., Flores, B., Sánchez-Bel, P., Vald negro, M., Martínezmadrid, M. C., & Romojaro, F. (2009). Factors influencing the evolution of the antioxidant compounds and the total antioxidant activity in fruits and vegetable products. *Postharvest Technologies for Horticultural Crops*, Research Signpost Publisher, Kerala, Vol. 2, 121-138.
13. Esmaili, S. (2011). Effect of modified atmosphere packaging on quality of pink tomato after harvesting. *The 2nd National of Food Security. Islamic Azad University of Savadkouh. [in Persian]*.


14. Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A. R., & Pérez-Gago, M. B. (2014). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose-beewax edible coatings on gray mold development and quality attributes of cold-stored cherry tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.006>
15. Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A. R., & Pérez-Gago, M. B. (2015). Hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings formulated with antifungal food additives to reduce alternaria black spot and maintain postharvest quality of cold-stored cherry tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 193, 249-257. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.027>
16. FAOSTAT, Food and Agriculture Organization (FAO), Statistics, (2017), Ed. <http://www.fao.org/faostat/en>. 2017.
17. Fraser, P., Romer, S., Shipton, C., Mills, P., Kiano, J., Misawa, N., Bramley, P. (2002). Evaluation of transgenic tomato plants expressing an additional phytoene synthase in a fruit-specific manner. *Proc. Nat. Am. Sci.*, 99(2), 1092-1097. <https://doi.org/10.1073/pnas.241374598>
18. Ganjloo, A., Zandi, M., Bimakr, M., & Monajem, S. (2020). Ripening Stages Control of Cherry Tomato Coated with Aloe Vera Gel using Artificial Vision System. *Journal of Food Science and Technology*, 17(105), 135-149. doi: [10.52547/fsct.17.105.135](https://doi.org/10.52547/fsct.17.105.135)
19. Ghasemnezhad, M., & Shiri, M. A. (2010). Effect of chitosan coatings on some quality indices of apricot (*Prunus armeniaca* L.) during cold storage. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 8(1), 25-33.
20. Giovanelli, G., Lavelli, V., Peri, C., & Nobili, S. (1999). Variation in antioxidant compounds of tomato during vine and post-harvest ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 1583-1588. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199909\)79:12<1583::AID-JSFA405>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199909)79:12<1583::AID-JSFA405>3.0.CO;2-J)
21. Gol, N. B., Patel, P. R., & Rao, T. R. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, 85, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.008>
22. Gorgani, S., Sedaghat, N., & Hosseini, F. (2018). Effects of edible coating (*Aloe vera* gel) and type of packaging on the quality of Hayward kiwi fruit. *JFST*, 15(82), 437-450.
23. Gross, J. (1987). Pigments in fruits. Academic Press: London.
24. Guerra, I. C. D., de Oliveira, P. D. L., de Souza Pontes, A. L., Lúcio, A. S. S. C., Tavares, J. F., Barbosa-Filho, J. M., de Souza, E. L. (2015). Coatings comprising chitosan and *Mentha piperita* L. or *Mentha × villosa* Huds essential oils to prevent common postharvest mold infections and maintain the quality of cherry tomato fruit. *International Journal of Food Microbiology*, 214, 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.08.009>
25. Guillen, F., Diaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Valero, D., Serrano, M., Castillo, S., & Martinez-Romero, D. (2013). *Aloe Arborescens* and *Aloe Vera* gels as coatings in delaying postharvest ripening in peach and plum fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 83, 54-57. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.011>
26. Hassanpour, H. (2015). Effect of *Aloe vera* gel coating on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activities and decay in raspberry fruit. *LWT-Food Science and Technology*, 60(1), 495-501. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.049>
27. Hong, K., Xie, J., Zhang, L., Sun, D., & Gong, D. (2012). Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 144, 172-178. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.002>
28. Jafari, S., Hojjati, M., & Noshad, M. (2018). Effect of trehalose coating included *Artemisia sieberi* essential oil on some quantitative and qualitative postharvest characteristics of cherry tomato. *Innovative Food Technologies*, 5(2), 287-300. DOI: [10.22104/jift.2017.2558.1600](https://doi.org/10.22104/jift.2017.2558.1600)
29. Javanmardi, J., & Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 151-155. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.008>
30. Kaur, C., & Kapoor, H. C. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables-the millennium's health. *International Journal of Food Science & Technology*, 36, 703-725. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.00513.x>
31. Khaliq, G., Ramzan, M., & Baloch, A. H. (2019). Effect of *Aloe vera* gel coating enriched with *Fagonia indica* plant extract on physicochemical and antioxidant activity of sapodilla fruit during postharvest storage. *Food Chemistry*, 286, 346-353. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.00513.x>
32. Kim, D. O., Jeong, S. W., & Lee, C. Y. (2003). Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry*, 18, 321-326. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00423-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00423-5)
33. Laja, M., Mareczek, A., & Ben, J. (2003). Antioxidant properties of two apple cultivars during long-term storage. *Food Chemistry*, 80, 303-307. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00263-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00263-7)
34. Leonardi, C., Ambrosino, P., Esposito, F., & Fogliano, V. (2000). Antioxidant activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 4723-4727. <https://doi.org/10.1021/jf000225t>
35. Leoni, C. (1992). Industrial quality as influenced by crop management. *Acta Horticulture*, 301, 177-184. DOI: [10.17660/ActaHortic.1992.301.20](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.301.20)

36. Liu, J., Tian, S., Meng, X., & Xu, Y. (2007). Effect of chitosan on control of postharvest diseases and physiological responses of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 44, 300–306. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.019>
37. Martinez-Valverde, I., Periago, M. J., Provan, G., & Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 323-330. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1035>
38. Mallhi, T. H., Rasheed, M., Khan, Y. H., Alzarea, A. I., & Raja, A.A. (2020). Bioactive compounds for the treatment of metabolic disorders. In: Akash M., Rehman K., Hashmi M. (eds) *Endocrine Disrupting Chemicals-induced Metabolic Disorders and Treatment Strategies, Emerging Contaminants and Associated Treatment Technologies*. Springer, Cham., pp 489-505. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45923-9_28
39. Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.*, 7, 405–410. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02312-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9)
40. Nguyen, M. L. (1999). Lycopene: chemical and biological properties. *Food Tech.*, 53, 38-45.
41. Ni, Y., Turner, D., Yates, K. M., & Tizard, I. (2004). Isolation and characterization of structural components of *Aloe vera* L. leaf pulp. *International Immunopharmacology*, 4 (14), 1745–1755. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2004.07.006>
42. Nour, V., Trandafir, I., & Ionica, M. E. (2014). Evolution of antioxidant activity and bioactive compounds in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits during growth and ripening. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 87, 97 – 103.
43. Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Antioxidant properties and shelf-life extension of fresh-cut tomatoes stored at different temperatures. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 2606-2614.
44. Pirhayati A., Daraei Garmakhany A., Gholami M., Mirzakhani A., & Khalilzadeh Ranjbar, G. (2019). Application of *Aloe vera* gel coating enriched with golpar essential oil on the shelf life of peach fruit (*Prunus persica* var, *Zafarani*). *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 13(4), 75-88.
45. Plaza, L., Sánchez-Moreno, C., Elez-Martínez, P., de Ancos, B., Martín-Belloso, O., & Cano, M. P. (2006). Effect of refrigerated storage on vitamin C and antioxidant activity of orange juice processed by high-pressure or pulsed electric fields with regard to low pasteurization. *European Food Research and Technology*, 223(4), 487-493. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0228-2>
46. Pregnotatto, W., & Pregnotatto, N. P. (1985). *Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz*. São Paulo: Instituto Adolfo.
47. Radi, M., Firouzi, E., Akhavan, H., & Amiri, S. (2017). Effect of gelatin-based edible coatings incorporated with *Aloe vera* and black and green tea extracts on the shelf life of fresh-cut oranges. *Journal of Food Quality*, 10, 9764650. <https://doi.org/10.1155/2017/9764650>
48. Raffo, A., Leonardi, C., Fogliano, V., Ambrosino, P., Salucci, M., Gennaro, L., Quaglia, G. (2002). Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6550-6556. <https://doi.org/10.1021/jf020315t>
49. Reyes, L. F., Villarreal, J. E., & Cisneros-Zavallós, L. (2007). The increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue. *Food Chemistry*, 101, 1254–1262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.032>
50. Rosello, S., Adalid, A. M., Cebolla-Cornejo, J., & Nuez, F. (2011). Evaluation of the genotype, environment and their interaction on carotenoid and ascorbic acid accumulation in tomato germplasm. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 1014-1021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4276>
51. Sadler, G., Davis, J., & Dezman, D. (1990). Rapid extraction of lycopene and β -carotene from reconstituted tomato paste and pink grapefruits homogenates. *Journal of Food Science*, 55, 1460-1461. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb03958.x>
52. Sahlin, E., Savage, G. P., & Lister, C. E. (2004). Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17 635–647. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2003.10.003>
53. Serrano, M., Valverde, J. M., Guilleán, F., Castillo, S., Martíáñez-Romero, D., & Valero, D. (2006). Use of *Aloe vera* gel coating preserves the functional properties of table grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 3882-3886. <https://doi.org/10.1021/jf060168p>
54. Shahiri Tabaeest, H., Sedaghat, N., Saeedi Pooya, E., & Alipour, A. (2013). Shelf life improvement and postharvest quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit using basil mucilage edible coating and cumin essential oil. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(9), 2346-2353.
55. Shi, J., Le Maguer, M., & Bryan, M. (2002). *Lycopene from tomatoes*. In: Shi, J., Ghazza, Le Maguer, M. (Eds.), *Functional Foods. Biochemical and Processing Aspects, Vol. 2*. CRC Press, Ottawa, Canada, pp. 135-166.
56. Singh, R., Rastogi, S., & Dwivedi, U. (2010). Phenylpropanoid metabolism in ripening fruits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 398–416. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00116.x>

57. Stahl, W., & Sies, H. (1996). Lycopene: a biologically important carotenoid for humans? *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 336, 1–9.
58. Thompson, K. A., Marshall, M. R., Sims, C. A., EWei, C. I., Sargent, S. A., & Sott, J. W. (2000). Cultivar, maturity and heat treatment on lycopene content in tomatoes. *Journal of Food Science*, 65, 791-795. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb13588.x>
59. Vahdat, S., Ghasemnezhad, M., Fotouhi Ghazvini, R., Shiri, M. A., & Khodaparast, S. A. K. (2012). Effect of different concentration of *Aloe vera* gel on maintaining postharvest quality of strawberry. *Journal of Food Research*, 22(3), 271-285.
60. Valverde, J. M., Valero, D., Martinez-Romero, D., Guillen, F., Castell, S., & Serrano, M. (2005). Novel edible coatings based on Aloe vera gel to maintain table grape quality and safety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 7807-7813. <https://doi.org/10.1021/jf050962v>
61. Wei, Y., Zhou, D., Wang, Z., Tu, S., Shao, X., & Peng, J. (2018). Hot air treatment reduces postharvest decay and delays softening of cherry tomato by regulating gene expression and activities of cell wall-degrading enzymes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(6), 2105–2112. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8692>
62. Wu, S., Lu, M., & Wang, S. (2016). Effect of oligosaccharides derived from *Laminaria japonica*-incorporated pullulan coatings on preservation of cherry tomatoes. *Food Chemistry*. 199, 296–300. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.029>
63. Zafari, E., Mohammadkhani, A., Roohi, V., Fadaei, A., & Zafari, H. (2015). Effect of exogenous putrescine and *Aloe vera* gel coating on post-harvest life of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) fruit, cultivar Kamarosa *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8, 578–584.
64. Zahedi, S. M., Sadat Hosseini, M., Karimi, M., & Ebrahimzadeh, A. (2019). Effects of postharvest polyamine application and edible coating on maintaining quality of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Langra during cold storage. *Food Science & Nutrition*, 7, 433-441. <https://doi.org/10.1002/fsn3.802>
65. Zapata, P. J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2008). Use of alginate or zein as edible coatings to delay postharvest ripening process and to maintain tomato (*Solanum lycopersicon* Mill) quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(7), 1287-1293. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3220>



Production of reduced fat muffins using soluble complex of egg white protein-xanthan gum oleogel based on foam molding

Reza Jaberi¹, Ahmad Pedram Nia¹, Sara Naji-Tabasi^{*2}, Amir Hossein Elhami Rad¹ , Masoud Shafafi Zanozian¹

Received: 2020.12.04

Accepted: 2021.02.13

How to cite this article:

Jaberi, R., Pedramnia, A., Naji-Tabasi, S., Elhami Rad, A. H., Shafafi Zanozian, M., (2022). Production of reduced fat muffins using soluble complex of egg white protein-xanthan gum oleogel based on foam molding. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18(1), 40-50.

Abstract

Introduction: Fats are widely used in food formulations to improve nutrients and quality of food products. In recent years, consumer awareness of the relationship between diet and health has increased, which results in increasing concerns about fats in products, in terms of high levels of saturated fatty acids. Therefore, various attempts have been conducted to find appropriate method to produce solid fats with unsaturated fatty acid content. The production of low-fat cake is of special nutritional importance due to the effects of fats and the incidence of various diseases such as hypercholesterolemia and cardiovascular. In cake making, oil is very important, first of all, it has an effect on keeping the air in the cake dough. It causes porosity and increases the volume of the cake. The conversion of liquid oils to gel-like structures that have the properties of a solid fat (rheological properties, viscoelasticity, dispersibility, and softness) without using large amounts of saturated fats is an important development in the food industry, and structures produced by oleogelation are called oleogels. Therefore, the main purpose of this study was to produce low-calorie muffins by removing fat and replacing it with an oleogel system prepared from a soluble complex of xanthan gum and egg white by indirect foam molding.

Materials and Methods: First, aerogels were produced indirectly using egg white protein complex and xanthan gum, and then oleogel was produced by adsorption of oil. In this method, first, water suspensions containing 0.5 wt% of xanthan and 5 wt% of egg white protein were prepared. In the next step, the oleogel was used to produce muffin with reduced oil in three levels of 10, 30 and 50%. In this study, texture characteristics, color, porosity, water activity, moisture, specific volume of muffin samples were investigated. In the control sample, cake dough contained 100% wheat flour, 50% sugar powder, 30% liquid vegetable oil, 2% baking powder, 0.2% vanilla, 36% eggs and 12% invert syrup. To prepare samples containing oleogels, oil was removed and different concentrations of oil reduction at the level of 50, 30 and 10% in the formulation were added to each treatment.

Results and Discussion: Muffin with 10% reduced oil had the highest volume and density and had similar texture characteristics to the control sample. By reducing the amount of fat to 50% of the initial amount in muffin, the volume decreased and the firmness of the texture increased significantly ($p < 0.05$). The reduction of the percentage of porosity confirmed that the texture stiffness in higher values of substitution. The sensory evaluation showed that the 10% reduced oil sample had the highest consumer acceptance. According to the results of this study, it can be suggested that preparing muffins with oleogels can reduce the problems caused by fats, while improved sensory and qualitative properties and be produced as a functional food.

Keywords: Aerogels, Muffins, Structured oils, Unsaturated oils.

1. Department of Food Science & Technology, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran.
2. Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.
(Corresponding author: s.najitabasi@rifst.ac.ir)
DOI: [10.22067/IFSTRJ.2021.67365.1000](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.2021.67365.1000)

مقاله علمی-پژوهشی

تولید مافین با روغن کاهش یافته با استفاده از اولئوژل کمپلکس محلول پروتئین سفیده تخم مرغ و صمغ زانتان به روش قالب گیری کف

رضا جابری^۱ - احمد پدرام‌نیا^۱ - سارا ناجی طبسی^{۲*} - امیرحسین الهامی‌راد^۱ - مسعود شفافی زنونزبان^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

چکیده

روغن‌ها و چربی‌ها به‌منظور بهبود مواد مغذی و خصوصیات کیفی به‌طور گسترده در فرمولاسیون مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر، آگاهی مصرف‌کننده‌ها از رابطه بین رژیم غذایی و سلامتی افزایش یافته است که باعث افزایش نگرانی از نظر میزان اسیدهای چرب اشباع در محصولات غذایی شده است. بنابراین در این تحقیق استفاده از چربی جامد با محتوای اسیدهای چرب غیراشباع با استفاده از اولئوژل جهت تولید مافین با روغن کاهش یافته مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا به روش غیرمستقیم قالب‌گیری کف با استفاده از کمپلکس پروتئین سفیده تخم مرغ و صمغ زانتان سیستم اولئوژل روغن کنگد تولید شد. سپس اولئوژل جهت تولید کیک مافین با روغن کاهش یافته در سه سطح ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصد استفاده شد. در این مطالعه ویژگی‌های بافتی، رنگ، تخلخل، فعالیت آبی، رطوبت و حجم مخصوص نمونه‌های مافین مورد بررسی قرار گرفت. مافین با ۱۰ درصد روغن کاهش یافته بیشترین حجم و دانسیته را داشت و از ویژگی‌های بافتی مشابه نمونه شاهد برخوردار بود. با کاهش میزان چربی به ۵۰ درصد مقدار اولیه حجم مافین کاهش و سفتی بافت افزایش یافت که این افزایش معنی‌دار بود ($p < 0.05$). نتایج ارزیابی حسی نشان داد که نمونه ۱۰ درصد روغن کاهش یافته از بالاترین مقبولیت نزد مصرف‌کننده برخوردار است. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان بیان داشت با استفاده از سیستم اولئوژل ضمن مهار مشکلات ناشی از چربی می‌توان محصولات رژیمی فاقد کلسترول با خواص حسی و کیفی بهبود یافته و به‌عنوان یک غذای عملگرا تولید نمود.

واژه‌های کلیدی: اولئوژل، روغن ساختاریافته، روغن غیراشباع، مافین.

مقدمه

مخلوط کردن اجزای کیک به روش خامه‌ای کردن موجب محبوس شدن هوا در لابه‌لای خمیر کیک شده و در ادامه این هوای محبوس شده در هنگام پخت منبسط شده و سبب تخلخل و افزایش حجم بیشتر کیک می‌شود. علاوه بر این، روغن موجب تردی فرآورده و بهبود طعم آن می‌گردد. بدین صورت که روغن به‌صورت لایه‌هایی در بافت خمیر قرار گرفته و باعث کوتاه شدن رشته‌های گلوته‌نی می‌شود و آن را ترد می‌کند. روغن مورد استفاده در فرمول کیک حتما باید همراه با امولسیفایر مناسب به‌کار رود تا در بافت خمیر به‌خوبی پخش گردد. لستین موجود در زرده تخم مرغ افزوده شده به فرمول کیک به‌عنوان امولسیفایر عمل می‌کند (Manzocco et al., 2012).

در صنعت غذا یک روند رو به رشدی جهت تولید محصولات جدید با کاهش سطح اسیدهای چرب اشباع و ترانس ایجاد شده است. مصرف سطوح بالایی از اسیدهای چرب اشباع و ترانس در رژیم غذایی به شدت تهدیدکننده سلامت انسان می‌باشد و باعث بروز بیماری‌های قلبی عروقی، چاقی و انواع سرطان می‌شود، صنعت غذا به دنبال جایگزین‌هایی برای اسیدهای چرب اشباع و ترانس و به

صنعت نانوائی یکی از بزرگترین صنایع غذایی در تمام جهان است و محصولاتی از جمله کیک و کلوچه و بیسکوئیت به دلیل سهولت مصرف و ماندگاری بالا از پرفرودارترین میان وعده‌های غذایی می‌باشند. کیک به‌عنوان یک منبع کالری‌زا حد واسط نان و بیسکوئیت قرار دارد. چهار ماده اولیه اصلی که برای تهیه کیک استفاده می‌شود شامل آرد، شکر، روغن و تخم مرغ است (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۵). در حقیقت خمیر کیک یک امولسیون روغن در آب است که در آن ذرات چربی به‌طور نامنظم در فاز آبی قرار گرفته‌اند (Wilderjans et al., 2013, Oh et al., 2018). در کیک‌سازی روغن اهمیت زیادی دارد، در درجه اول در نگهداری هوا در خمیر کیک تاثیر دارد، بدین ترتیب که ضمن عمل

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران.
۲- گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

* نویسنده مسئول: (s.najitabasi@rifst.ac.ir)

بهبود می‌یابد. از این‌رو هدف اصلی این تحقیق تولید مافین کم‌کالری از طریق حذف چربی جامد و جایگزینی آن با سیستم اولئوزولی تهیه شده از کمپلکس محلول صمغ زانتان و سفیده تخم مرغ به روش غیرمستقیم قالب کف بود.

مواد و روش‌ها

آرد مورد استفاده در این پژوهش از کارخانه آرد پیشگام، مشهد تهیه شد. درجه استخراج آرد ۸۷ درصد و مشخصات آن (گلوتن مرطوب ۲۶/۷ درصد، پروتئین ۱۰/۸ درصد، خاکستر ۰/۷۹ درصد و رطوبت ۱۰/۵۲ درصد) بود (AACC, 2000). همچنین سایر مواد مصرفی در تولید کیک شامل شکر سفید (محسن، کرج، ایران)، روغن کنجد (لادن، تهران، ایران) و پودر پخت تخم مرغ و وانیل از فروشگاه عرضه‌کننده مواد اولیه قنادی خریداری شد. شربت اینورت هم مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۸۰۲۵ تهیه شد. صمغ زانتان از شرکت سیگما آلدریج و پودر سفیده تخم مرغ از شرکت تلاونگ خریداری گردید.

روش تهیه اولئوزل

اولئوزل به روش غیرمستقیم از قالب گیری کف در شرایط بهینه براساس روش جابری و همکاران (۲۰۲۰) تولید شد. ابتدا سوسپانسیون‌های آبی حاوی ۰/۵ درصد (وزنی/وزنی) از زانتان و ۵ درصد (وزنی/وزنی) سفیده تخم مرغ تهیه و نسبت ۵۰:۵۰ از هر دو به آرامی در دمای اتاق و به‌وسیله همزن با هم مخلوط شدند. سپس سوسپانسیون همگن در فریزر درایر (Operon-FDU-8606) خشک گردیدند. نمونه‌ها به‌منظور به‌دست آوردن آئروژل‌های متخلخل و خشک به مدت ۴۸ ساعت تحت دمای (۶۰- درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند، سپس نمونه‌های آئروژل به مدت ۲۴ ساعت در روغن کنجد در دمای محیط (۲۰ درجه سانتی‌گراد) به حالت تعلیق درآمد تا روغن کاملاً جذب شد، سپس همزدن نمونه انجام گرفت تا آئروژل به ساختار اولئوزل تبدیل شود.

تهیه مافین

در نمونه شاهد خمیر کیک حاوی ۱۰۰ درصد آرد گندم، ۵۰ درصد پودر شکر، ۳۰ درصد روغن نباتی مایع، ۲ درصد پودر پخت، ۰/۲ درصد وانیل، ۳۶ درصد تخم مرغ و ۱۲ درصد شربت اینورت بود. خمیر کیک به روش دو مرحله‌ای، ابتدا روغن، پودر شکر و تخم مرغ با استفاده از یک همزن برقی به مدت ۳ دقیقه مخلوط سپس آب و در آخر آرد و پودر پخت اضافه و خمیر بدست آمده با استفاده از یک قیف به میزان ۴۰ گرم درون کاغذهای مخصوص مافین ریخته و عمل پخت در فر طبقه‌ای (صنایع پخت، مشهد) در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به

دنبال آن کاهش بروز بیماری‌های ناشی از آن می‌باشد (O'Sullivan et al., 2016).

تبدیل روغن مایع به ساختار ژل مانند که ویژگی‌های یک چربی جامد (خواص رئولوژیکی، ویسکوالاستیسیته، قابلیت پخش و نرمی) را بدون داشتن مقدار زیادی چربی‌های اشباع داشته باشند یک پیشرفت مهم در صنعت غذا است و ساختارهای تولید شده در نتیجه اولئوزلاسیون، اولئوزل نامیده می‌شود. روغن‌های گیاهی سالم در ماتریس‌های ژل مانند، جهت تشکیل عامل‌های روغنی حجم‌دهنده به‌عنوان راهکار جدیدی برای کاهش محتوای چربی‌های حیوانی و اشباع در محصولات غذایی عملگرها به‌کار گرفته شده است (Herrero et al., 2016). در صنعت غذا اولئوزل شبکه ژلی حاوی روغن‌های خوراکی مایع است. برای تولید اولئوزل نیاز به یک ترکیب ژل‌دهنده ای است که توانایی ایجاد شبکه سه‌بعدی برای به‌دام انداختن روغن صمغ‌ها، اتیل سلولز، مونو و دی‌گلیسریدها، فیتواسترول، اریزانول و موم‌ها را نام برد (Martins et al., 2018; Kim et al., 2017).

مطالعات گسترده‌ای جهت جایگزینی چربی جامد با ساختارهای اولئوزل صورت گرفته است. Jang و همکاران (۲۰۱۵) الئوزل روغن کلزا با موم کاندلیلا تهیه و به‌عنوان جایگزین شورتینگ برای تولید کوکی با سطح بالایی از اسیدهای چرب اشباع نشده استفاده کردند. Demirkesen و Mert (۲۰۱۶) کاربرد بالقوه دو نوع اولئوزل مختلف حاوی واکس کارنوبا و موم کاندلیلا برای جایگزینی شورتینگ کوکی‌ها را بررسی کردند. Alamprese و Moriano (۲۰۱۷) استفاده از ارگانوزل‌های روغن آفتابگردان ساخته شده با ۱۳ فیتواسترول و ۷ اریزانول به‌عنوان جایگزین چربی شیر در بستنی را ارزیابی کردند.

پلی‌ساکاریدها به‌صورت جداگانه یا در ترکیب با هم می‌توانند برای ایجاد ساختارهای ژلی گوناگون که مناسب تثبیت قطرات روغن هستند استفاده شوند و به‌عنوان عامل‌های حجم‌دهنده روغنی عمل نمایند (Ruiz-Capillas et al., 2013). ساختارهای اولئوزل تهیه شده بر پایه پلیمرها دارای پایداری بالاتری است، از این‌رو در محصولات پخت می‌تواند ساختار مناسب‌تری ایجاد نماید. یکی از روش‌های تولید اولئوزل استفاده از یک کرایوژل متخلخل از یک پلیمر حلال در آب از طریق قالب‌گیری کف است. در تحقیقی از فعالیت سطحی هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به‌منظور تشکیل قالب کرایوژل متخلخل استفاده شد. این ساختار متخلخل دارای خاصیت جذب روغن بوده که بعد از اعمال برش به اولئوزلی با خواص رئولوژی جدید تبدیل شد (Patel et al., 2013). خواص پلی‌ساکاریدهایی که به‌عنوان عامل‌های حجم‌دهنده در سیستم‌های ساختار یافته به‌کار می‌روند با مخلوط کردن آنها با سایر بیوپلیمرها به‌ویژه پروتئین‌ها

تصویربرداری شد. به وسیله نرم‌افزار ImageJ و با فعال کردن قسمت ۸ بیت، به صورت تصاویر خاکستری درآمده و سپس با فعال کردن گزینه دودویی نرم‌افزار تصویر به صورت نقاط تیره و روشن در آمد که محاسبه نسبت نقاط روشن به نقاط تیره به عنوان شاخص میزان تخلخل مافین محاسبه شد (Wilderjans et al., 2008).

خصوصیات حسی

ارزیابی ویژگی‌های حسی مافین توسط ۱۵ نفر ارزیاب آموزش دیده با استفاده از آزمون امتیازدهی و به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای انجام شد. صفاتی که در این آزمون مورد ارزیابی قرار گرفت شامل رنگ، عطر، طعم، پوکی و تخلخل مغز مافین، قابلیت جویدن و پذیرش کلی بود.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از طرح ساده با آرایش کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۹۵ درصد انجام گرفت. برای مقایسه میانگین و رسم نمودارها به ترتیب از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ و اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

میزان فعالیت آبی و رطوبت مافین تهیه شده با اولئوژل

نتایج جایگزینی اولئوژل با روغن در فرمولاسیون کیک نشان داد که با افزایش میزان اولئوژل میزان رطوبت نمونه‌های کیک بیشتر شد. بطوریکه در نمونه ۵۰ درصد چربی کاهش یافته در مقایسه با نمونه شاهد میزان رطوبت از همه کمتر بود، اما با افزایش میزان جایگزینی اولئوژل در نمونه ۱۰ درصد چربی کاهش یافته میزان رطوبت نمونه‌های کیک افزایش و مشابه با نمونه شاهد شد.

رطوبت مواد غذایی بیانگر کیفیت مواد غذایی به‌ویژه محصولات پخت است و مرطوب بودن یکی از شاخص‌های مطلوب در کیک می‌باشد؛ به طوری که کاهش محتوای رطوبتی کیک، موجب ایجاد بافتی سفت‌تر و خشک‌تر شده، در حالی که حفظ و نگهداری آب در کیک باعث نرمی بافت کیک و تعویق بیاتی آن می‌شود (Mert, 2016). میزان رطوبت محصول غذایی به ظرفیت آن در جذب آب بستگی دارد. حفظ رطوبت نمونه‌های کیک تهیه شده با اولئوژل‌ها در طول مدت پخت می‌تواند به قابلیت اولئوژل‌ها در جذب و به‌دام انداختن مولکول‌های آب مرتبط باشد.

دلیل افزایش محتوای رطوبت نمونه‌های حاوی اولئوژل، قدرت بالای صمغ زانتان در جذب رطوبت و نگهداری آن در حین فرآیند پخت می‌باشد. همچنین بیان شده است، اولئوژل‌ها سبب حفظ و

مدت ۲۰ دقیقه انجام شد. پس از سرد شدن هریک از نمونه‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی به منظور ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی، بسته‌بندی و در دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. برای تهیه نمونه‌های مافین با روغن کاهش یافته (۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصد کاهش روغن)، روغن از فرمولاسیون حذف شد و سیستم اولئوژل در تولید مافین جهت ایجاد درصد روغن مدنظر مورد استفاده قرار گرفت.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی مافین

خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های مافین پس از تولید و سرد شدن مورد ارزیابی قرار گرفتند. رطوبت مافین مطابق استاندارد AACC (۲۰۰۰) تعیین گردید. اندازه‌گیری میزان فعالیت آبی با استفاده از دستگاه واتراکتیویتی متر (Novasina ms1-aw, Axair Ltd, سوئیس)، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۲ ساعت بعد از پخت انجام شد. برای اندازه‌گیری حجم از روش جایگزینی دانه کلزا مطابق استاندارد AACC (۲۰۰۰) شماره ۰۲-۱۵-۴۴ استفاده شد و حجم مخصوص از تقسیم حجم به وزن محاسبه گردید.

آنالیز بافت

برای تعیین ویژگی‌های مکانیکی بافت از آزمون آنالیز پروفایل بافت (TPA) استفاده شد. نمونه‌های مافین از پوشش خارج شده و به صورت صفحه‌ای با ضخامت ۱۵ میلی‌متر و قطر ۴۰ میلی‌متر برش زده و در دمای اتاق تا ۵۰ درصد ارتفاع اولیه با یک مکانیسم دو مرحله‌ای فشرده شد. از سرعت معادل ۱ میلی‌متر بر ثانیه استفاده و شاخص‌های بافتی شامل سختی، چسبندگی، پیوستگی، قابلیت جویدن و فنریت در اولین و دومین مرحله فشرودن مورد ارزیابی قرار گرفت (Oh et al., 2017).

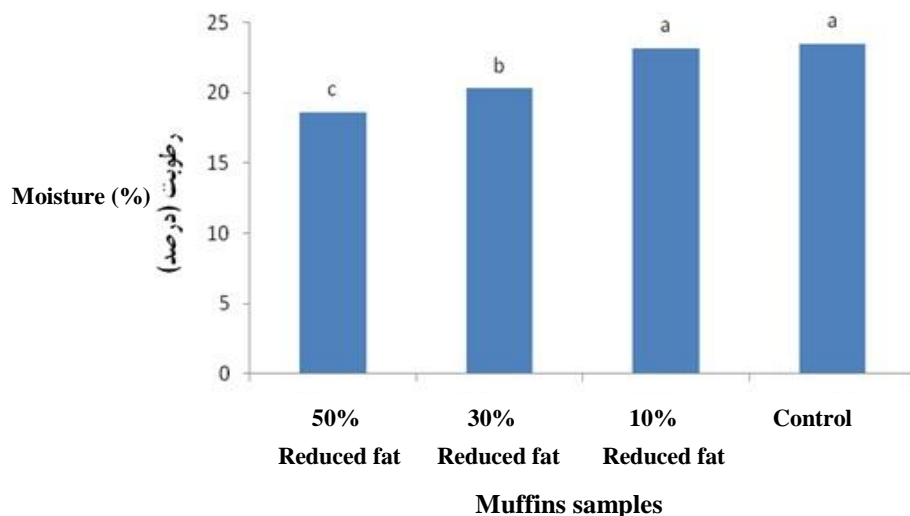
آنالیز رنگ

تغییرات رنگ پوسته کیک با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (Colorimeter, WF-30, Iwave, چین) اندازه‌گیری شد. این دستگاه جهت اندازه‌گیری شاخص‌های رنگی L^* ، a^* و b^* به کار می‌رود. L^* نشان‌دهنده روشنایی می‌باشد که بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است. پارامترهای a^* از سبز تا قرمز و b^* از آبی تا زرد اجزای رنگی می‌باشند که بین ۱۲۰- تا ۱۲۰+ متغیر هستند (Psimouli, & Oreopoulou, 2012).

تخلخل

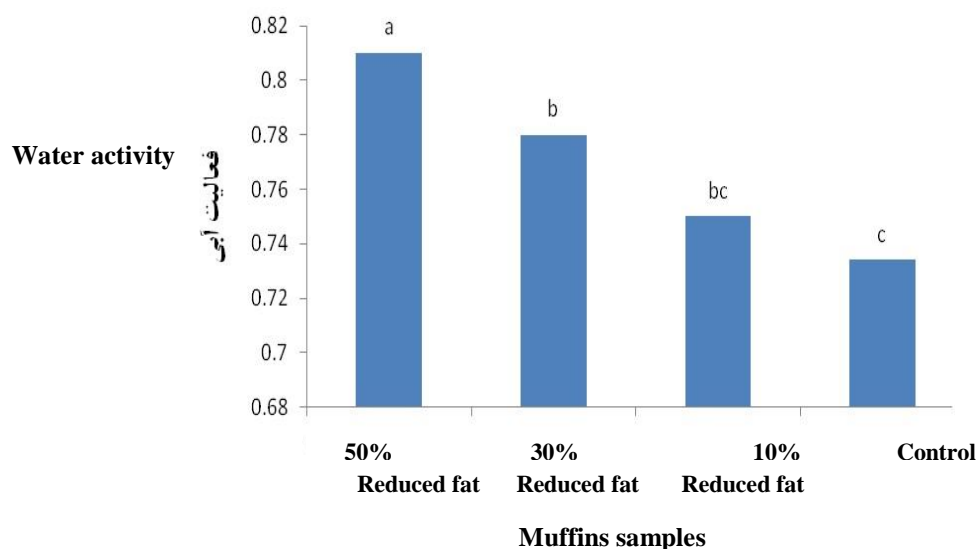
برای ارزیابی تخلخل مافین از روش پردازش تصویر استفاده شد. بدین‌منظور قطعه به ابعاد 4×4 سانتی‌متر از قسمت میانی مغز مافین بریده و عکس آن به‌وسیله دوربین عکس‌برداری (Canon, D3220)

نگهداری رطوبت در بافت کیک شده و از مهاجرت رطوبت و انتقال آن به رشته‌های نشاسته جلوگیری می‌کنند (Lim et al., 2017).



شکل ۱- اثر سطوح مختلف اولئوژل بر میزان رطوبت مافین‌ها

Fig. 1. Effect of different levels of oleogels on the moisture content of muffins



شکل ۲- اثر سطوح مختلف اولئوژل بر میزان فعالیت آبی مافین

Fig. 2. Effect of different levels of oleogels on the water activity of muffins

کاهش یافته، ۰/۷۶ بود که این عدد نزدیک به نمونه شاهد بود و تفاوت معنی‌داری با آن نداشت. نتایج به‌دست آمده از رطوبت و فعالیت آبی نشان می‌دهد تولید کیک در نمونه ۱۰ درصد روغن کاهش یافته می‌تواند ماندگاری مشابه با کیک شاهد داشته‌باشد. قابلیت بالای نگهداری آب به‌دلیل حضور گروه‌های هیدروکسیل در ساختار صمغ استفاده‌شده در اولئوژل می‌باشد. ترکیبات ژل‌دهنده نظیر هیدروکلوئیدها در فرمولاسیون محصولات پخت به دلیل طبیعت آبدوست خود با آب برهم‌کنش می‌دهند و سبب کاهش انتشار آب و پایداری حضور آن در سیستم می‌شوند (Adili et al., 2020) که

میزان فعالیت آبی فاکتور بسیار مهمی است که بر رشد میکروارگانیسم تاثیر می‌گذارد و اهمیت ویژه‌ای در ماندگاری محصولات پخت دارد. نتایج حاصل از ارزیابی فعالیت آبی نشان داد که حذف روغن و جایگزینی اولئوژل، فعالیت آبی نمونه‌های مافین را افزایش داد، اما با بیشتر شدن درصد اولئوژل در مافین میزان فعالیت آبی نمونه‌ها کاسته شد (نمونه با ۱۰ درصد کاهش روغن)، به‌طوری‌که بیشترین میزان فعالیت آبی در نمونه با ۵۰ درصد روغن کاهش یافته بود. کمترین میزان فعالیت آبی ۰/۷۳ مربوط به نمونه کنترل بود که فاقد اولئوژل است. میزان فعالیت آبی در نمونه ۱۰ درصد روغن

البته لازم به ذکر است که مقدار حجم مخصوص در نمونه ۱۰ درصد روغن کاهش یافته حجم مخصوص مشابهی با نمونه کیک تهیه شده با روغن داشت. اولئوژل ها ضمن ایجاد مکانیسم تثبیت امولسیون کف، بر هوادهی کیک نیز موثر هستند (Kim et al., 2017). Pehlivanoglu و همکاران (۲۰۱۸) در نتیجه پژوهش های خود نشان دادند که حجم کیک تهیه شده با اولئوژل با استفاده از روغن کتان و شورتینگ از سایر نمونه های تولید شده بالاتر است چون هوای بیشتری در خمیر این نمونه ها به دام می افتد. همچنین بیان شده استفاده از اولئوژل در کیک تأثیر زیادی بر میزان توزیع هوا در سیستم خمیر می گذارد (Ghotra et al., 2002). Lee و Oh (۲۰۱۸) بیان کردند که حجم مخصوص مافین با جایگزین کردن شورتینگ با اولئوژل HPMC کاهش می یابد که دلیل آنرا متراکم تر شدن ساختار مافین با جایگزینی اولئوژل و توانایی کمتر خمیر در حفظ هوا دانستند. اگر چه این محققان در نتایج خود نشان دادند که جایگزینی شورتینگ ها با اولئوژل های HPMC تا ۵۰ درصد وزنی تأثیر منفی بر حجم مخصوص مافین ندارد. نتایج مشابه دیگری مبنی بر کاهش حجم مخصوص نمونه های کیک با جایگزینی شورتینگ با اولئوژل های واکس کارنوبا (Kim et al., 2017) واکس سبوس برنج، واکس کاندلیلا (Mert & Demirkesen, 2019) گزارش شده است که در همه این مطالعات کاهش مقدار اولیه هوا و ظرفیت نگه داری آن طی پخت با افزودن اولئوژل ها به عنوان دلیل این پدیده ذکر شده است.

همین امر در افزایش جذب آب و کاهش میزان آب آزاد در نتیجه کاهش فعالیت آبی در محصول نهایی و در حین فرآیند پخت و نگهداری مؤثر است. Giacomozzi و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که مافین های حاوی اولئوژل در مدت ارزیابی به دلیل احتباس قوی تر آب در داخل ساختار سبب کاهش مقدار آب آزاد در مافین و افزایش زمان ماندگاری نمونه ها شدند.

میزان حجم مخصوص و تخلخل مافین

نتایج این پژوهش نشان داد که اضافه کردن اولئوژل به جای روغن در فرمولاسیون مافین در نمونه ۵۰ درصد چربی کاهش یافته سبب کاهش حجم مخصوص و افزایش دانسیته کیک شد. چربی نقش مهمی در هوادهی محصولات پخت دارد و در نتیجه بر حجم و بافت محصولات نهایی تأثیر می گذارد. ویسکوزیته مناسب خمیر حباب های هوا را در حین مخلوط کردن خمیر حفظ می کند و منجر به بهبود حجم محصول نهایی می شود (Sahi & Alava, 2003). با افزایش میزان جایگزینی اولئوژل میزان حجم مخصوص افزایش داشت. بطوریکه در نمونه مافین با ۱۰ درصد چربی کاهش یافته میزان حجم مخصوص نمونه کیک اختلاف معنی داری با نمونه شاهد نداشت ($P > 0.05$). نمونه با ۱۰ درصد روغن کاهش یافته دارای بیشترین میزان روغن در سیستم اولئوژل می باشد و به این دلیل از نظر هوادهی و حجم مشابه نمونه شاهد می باشد.

جدول ۱- اثر جایگزینی اولئوژل بر حجم مخصوص و دانسیته مافین

Table 1- Effect of oleogels replacement on specific volume and density of muffin.

| Samples | Specific volume (ml/g) | Density (g/cm ³) |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| نمونه | حجم مخصوص | دانسیته |
| Control شاهد | 26.32±0.50 ^a | 0.16±0.04 ^d |
| 50% reduced fat چربی کاهش یافته | 14.35±0.20 ^c | 0.34±0.00 ^a |
| 30% reduced fat چربی کاهش یافته | 19.56±0.20 ^b | 0.23±0.00 ^b |
| 10% reduced fat چربی کاهش یافته | 25.36±0.61 ^a | 0.18±0.16 ^c |

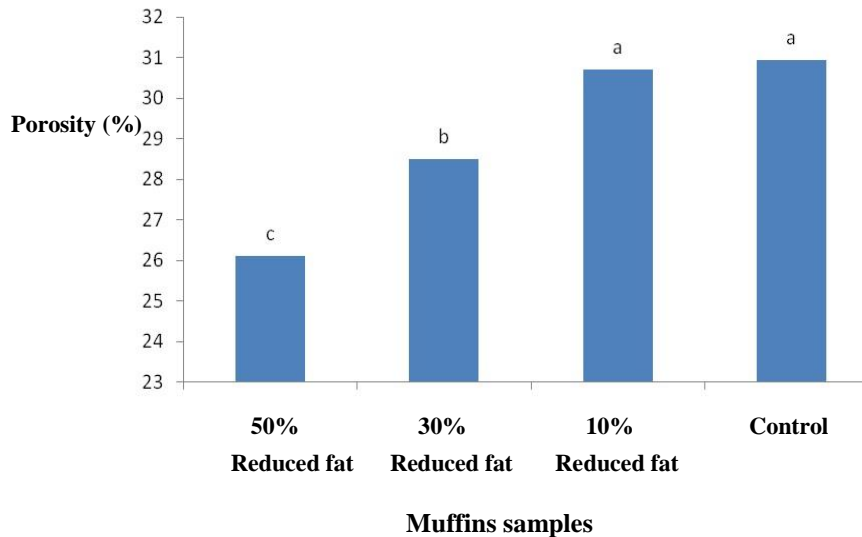
* میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارد.

بافت محصولات پخت مخصوصا کیک بوده و به طور کلی تابعی از تعداد حفرات موجود در مغز بافت این محصولات و همچنین نحوه توزیع و پخش این حفرات می باشد (خیابانی و همکاران، ۱۳۹۹). به طوری که هرچه تعداد حفرات و سلول های گازی بیشتر بوده و توزیع و پخش آن ها یکنواخت تر صورت گرفته باشد، میزان تخلخل محصول نهایی بیشتر خواهد بود. با توجه به مطالعات گذشته، کاهش میزان تخلخل نمونه های کیک با جایگزینی روغن با اولئوژل ها را می توان به دو پدیده نسبت داد: الف) افزایش بیش از حد ویسکوزیته خمیر با افزودن اولئوژل ها که باعث اختلال در پذیرش بخشی از حباب های

شکل ۳، درصد تخلخل را در نمونه های مختلف مافین نشان می دهد. درصد های پایین اولئوژل سبب کاهش تخلخل نسبت به نمونه شاهد شد. بین حجم و تخلخل رابطه مستقیم وجود دارد. بنابراین با توجه به اینکه حجم با حذف روغن و جایگزینی اولئوژل کاهش می یابد، تخلخل نیز کاهش می یابد. کمترین تخلخل مربوط به تیمار ۵۰ درصد چربی کاهش یافته است که افزایش میزان اولئوژل در فرمولاسیون روغن سبب افزایش میزان تخلخل کیک شد. به طوریکه میزان تخلخل در نمونه با ۱۰ درصد چربی کاهش یافته نزدیک نمونه شاهد بود. تخلخل یکی از شاخص های مهم ارزیابی

اطراف حباب‌های هوا ایجاد کرده و باعث حفظ آن‌ها در طول مدت پخت می‌شوند، ولی با جایگزینی روغن با اولئوژل‌ها این اثر حفاظتی تا حدودی از بین رفته و در نتیجه باعث کاهش میزان تخلخل کیک می‌گردد، اما با افزایش میزان اولئوژل، اثر حذف روغن در فرمولاسیون جبران می‌شود.

هوای ورودی به بافت خمیر کیک طی فرآیند هم‌زدن و همچنین عدم پخش یکنواخت آن می‌شود؛ (ب) حذف اثر محافظتی کریستال‌های اسیدهای چرب اشباع بر حباب‌های هوای مغز بافت کیک با جایگزینی سورتینینگ توسط اولئوژل‌ها (Jang et al., Hwang et al., 2018)؛ (2015). در فرمولاسیون عادی کیک کریستال‌های چربی لایه‌ای



شکل ۳- اثر سطوح مختلف اولئوژل بر درصد تخلخل مافین

Fig. 3. The effect of different levels of oleogels on the porosity of muffins.

جدول ۲- اثر جایگزینی اولئوژل بر ویژگی‌های مکانیکی بافت مافین

Table 2- The effect of oleogel replacement on the mechanical properties of muffin texture

| Samples نمونه | Hardness (g) سفتی | Chewiness (g.s) قابلیت جویدن | Cohesiveness پیوستگی | Springiness (mm) فنریت | Adhesiveness (g.s) چسبندگی |
|--|----------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Control شاهد | 1079.84±79.99 ^b | 13111±76.79 ^a | 0.53±0.37 ^a | 22.91±0.96 ^b | -0.92± 0.49 ^{ab} |
| 50% reduced fat ۵۰٪ چربی کاهش یافته | 1099.44±67.48 ^b | 11718±23.66 ^c | 0.46±0.27 ^a | 23.17±0.42 ^b | -1.02± 0.08 ^b |
| 30% reduced fat ۳۰٪ چربی کاهش یافته | 1174.92±29.85 ^b | 10398±5.67 ^d | 0.37±0.15 ^a | 23.92±0.05 ^b | -1.50± 0.33 ^a |
| 10% reduced fat ۱۰٪ چربی کاهش یافته | 1292.45±55.62 ^a | 11931±3.38 ^b | 0.37±0.23 ^a | 24.95±0.19 ^a | -1.67± 0.10 ^a |

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارد.

نمونه‌های مافین شد که می‌تواند به افزایش تراکم و کاهش تخلخل مربوط باشد. با این حال نمونه‌های مافین با ۱۰ درصد روغن کاهش یافته سفتی نزدیک به نمونه شاهد داشت. با افزایش میزان اولئوژل بافت کیک مافین نرم‌تر و فنریت افزایش پیدا کرد. [Oh و Lee \(۲۰۱۸\)](#) بیان کردند که خصوصیات بافتی کلوجه تهیه شده با اولئوژل‌های HPMC تا ۵۰ درصد وزنی تأثیر منفی بر نرمی بافت و قابلیت جویدن نمونه‌های مافین نداشت.

ویژگی‌های بافتی

ویژگی‌های مکانیکی بافت یک مشخصه کیفی بسیار مهم در محصولات نانوائی از جمله کیک بوده و معیاری برای تعیین مدت زمان نگه‌داری محصول می‌باشد. چربی به‌عنوان یک ماده موثر در فرمولاسیون کیک، بافت را برای مدت زمان بیشتری نرم نگه‌داشته و اثرات ناشی از سفتی بافت را کاهش می‌دهد ([Pehlivanoglu et al., 2018](#)). [جدول ۲](#) نتایج حاصل ارزیابی پروفایل بافتی نمونه‌های مافین را نشان می‌دهد. جایگزینی روغن توسط اولئوژل باعث افزایش سفتی

نتایج رنگ سنجی پوسته مافین نشان داد که میزان پارامترهای رنگی به طور معنی داری با جایگزینی اولئوژل کاهش یافت ($P < 0.05$) (جدول ۳). با این حال، میزان L^* در نمونه با ۱۰ درصد روغن کاهش یافته نزدیک نمونه شاهد بود. تفاوت معنی داری در پارامتر a^* در بین نمونه‌ها مشاهده نشد. میزان پارامتر b^* نمونه‌های مافین با جایگزینی اولئوژل با روغن روند افزایشی از خود نشان داد که نشان دهنده افزایش رنگ زرد پوسته مافین با استفاده از اولئوژل است. میزان پارامتر رنگ کیک به عوامل مختلفی از جمله برهمکنش‌ها و یا تغییرات اجزاء و تغییرات رنگ ایجاد شده طی فرآیند بستگی دارد. به طوریکه رطوبت پوسته و وجود ترکیبات رنگی در فرمولاسیون از عوامل موثر بر رنگ پوسته هستند (Naji-Tabasi & Mohebbi, 2015). نتایج حاصل با مطالعات پیشین مطابقت داشت. مطالعات Oh و Lee (۲۰۱۸) در مورد تاثیر اولئوژل HPMC بر روی پارامترهای رنگی کیک نشان داد که مقدار L^* در نمونه‌های حاوی اولئوژل‌های HPMC به طور قابل توجهی کاهش یافت، که نشانگر رنگ تیره تر در این نمونه‌ها است. اگرچه در سطح جایگزینی ۲۵ و ۵۰ درصد تفاوت معنی داری در قرمزی (a^*) یا زردی (b^*) با نمونه شاهد گزارش نکردند. Naji-Tabasi و Mohebbi (۲۰۱۵) نیز گزارش نمودند که میزان L^* نمونه‌های پوسته کیک با جایگزینی ۵۰ درصد اولئوژل موم کارنوبا/ اسید آدیپیک کاهش می‌یابد اما در پارامتر a^* و b^* تفاوت معنی داری مشاهده نشده است ($P > 0.05$).

همچنین نتایج بافت سنجی نشان داد که با کاهش سطح اولئوژل قابلیت ارتجاعی مافین کمتر و ساختار آن منسجم تر می‌شود. ساختار متراکم تر مافین تهیه شده از اولئوژل ناشی از حجم و تخلخل کمتر در این نمونه‌ها است. بررسی نتایج پیوستگی بافت کیک نشان داد که استفاده از اولئوژل به جای روغن تفاوت معنی داری در سطح معنی داری ۹۵ درصد در میزان پیوستگی ایجاد نمی‌کند. اما در میزان قابلیت جویدن نمونه‌های حاوی اولئوژل کاهش معنی داری مشاهده شد ($P < 0.05$). Lim و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که اولئوژل‌ها با حفظ و نگهداری رطوبت در بافت کیک و جلوگیری از مهاجرت رطوبت و انتقال آن به رشته‌های نشاسته و کریستاله شدن آن‌ها، باعث نرم تر شدن بافت کیک می‌شوند. Ashok و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که استفاده از اولئوژل در کیک سبب افزایش مقدار سفتی می‌شود که دلیل آن متراکم تر شدن ساختار با حذف روغن می‌باشد. مارگارین‌ها و شورتینگ‌ها در فرمولاسیون کیک دارای مقدار زیادی کریستال چربی می‌باشد که با ایجاد سد از تشکیل شبکه گلوتن جلوگیری می‌کند. اما برخلاف سایر مطالعات، Naji-Tabasi و Mohebbi (۲۰۱۵) بیان کردند که استفاده از اولئوژل سبب بهبود نرمی کیک می‌شود که دلیل آنرا مربوط به ایجاد شبکه سه بعدی حاوی اسیدهای چرب موجود در اولئوژل دانستند که منجر به اختلاط بیشتر حباب هوا در خمیر کیک می‌شود.

آنالیز رنگ

جدول ۳- اثر جایگزینی اولئوژل با روغن بر رنگ مافین.

Table 3- The effect of replacing oleogel with oil on muffin color

| Samples نمونه | L^* | a^* | b^* |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Control شاهد | 52.10±3.52 ^a | 17.24±0.62 ^a | 39.49±3.04 ^a |
| 50% reduced fat ۵۰٪ چربی کاهش یافته | 45.12±2.82 ^d | 15.13±2.50 ^b | 37.18±3.8 ^b |
| 30% reduced fat ۳۰٪ چربی کاهش یافته | 47.86±0.38 ^c | 16.69±0.38 ^{ab} | 38.75±1.69 ^{ab} |
| 10% reduced fat ۱۰٪ چربی کاهش یافته | 50.31±4.87 ^b | 17.12±0.42 ^a | 39.29±2.88 ^a |

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارد.

درصد چربی کاهش یافته بیشترین امتیاز پوکی و تخلخل را توسط ارزیابان کسب نمود (۴±۰/۶۳) ($P < 0.05$) که این خود نشان دهنده تاثیر مثبت افزایش میزان اولئوژل بر پوکی و تخلخل بافت کیک است. بر اساس این نتایج، مقبولیت حسی نمونه‌های مافین تهیه شده با اولئوژل‌ها در تمامی نمونه‌ها قابل قبول بود (پذیرش کلی در تمام نمونه‌ها بیشتر از ۳ بود). اما نمونه کیک تهیه شده با ۱۰ درصد چربی کاهش یافته بر پایه اولئوژل مقبولیت حسی مشابه نمونه شاهد را نشان داد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد اولئوژل به عنوان

خصوصیات حسی

جدول ۴ نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های کیک (نظیر رنگ پوسته، عطر، طعم، بافت، پوکی و تخلخل مغز نان، و قابلیت جویدن) را نشان می‌دهد. بررسی رنگ، عطر، طعم و قابلیت جویدن تفاوت چشمگیری باهم نداشتند. اگرچه قابل ذکر است که نمونه ۱۰ درصد چربی کاهش یافته امتیازی نزدیک به نمونه شاهد داشت. همچنین نمونه شاهد و نمونه ۱۰ درصد چربی کاهش یافته از نظر بافت نیز در یک سطح مقبولیت قرار داشتند ($P < 0.05$). نمونه ۱۰

(۲۰۱۴) در بررسی نتایج خواص حسی کیک اسفنجی تولید شده با اولئوژل بیان کردند که نتایج آزمون حسی (احساس دهانی، رنگ، طعم و ظاهر) مشابه با نمونه شاهد بوده و تنها از نظر پوکی، اندازه حفرات و توزیع سلول‌های هوا امتیاز کمتری داشتند. این نتایج بیانگر قابلیت استفاده از سیستم اولئوژل به عنوان جایگزین شورتینگ‌ها در کیک است.

جایگزین روغن در فرمولاسیون کیک اثر منفی بر پارامترهای حسی کیک نداشت.

نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعات پیشین مطابقت داشت. در مطالعه [Pehlivanoglu](#) و همکاران (۲۰۱۸) گزارش شده است که جایگزینی شورتینگ با اولئوژل مبتنی بر واکس کارنوبا اثرات نامطلوبی بر خصوصیات حسی نمونه‌های کیک نداشته و نمونه‌های مذکور دارای پذیرش حسی قابل قبولی بودند. [Ashok](#) و همکاران

جدول ۴- اثر جایگزینی اولئوژل بر خصوصیات حسی مافین.

| Table 4- The effect of oleogel substitution on the sensory properties of muffins | Flavour | Texture | Porosity | Overall acceptance |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| نمونه | طعم | بافت | تخلخل | پذیرش کلی |
| Control شاهد | 4.00±0.40 ^a | 4.00±0.63 ^a | 4.20±0.54 ^a | 4.40±0.40 ^a |
| 50% reduced fat ۵۰٪ چربی کاهش یافته | 3.80±0.53 ^b | 3.70±0.51 ^c | 3.30±0.51 ^c | 3.60±0.51 ^c |
| 30% reduced fat ۳۰٪ چربی کاهش یافته | 3.80±0.51 ^b | 3.90±0.63 ^a | 3.80±0.40 ^b | 4.00±0.63 ^b |
| 10% reduced fat ۱۰٪ چربی کاهش یافته | 4.00±0.63 ^a | 4.00±0.75 ^a | 4.00±0.63 ^a | 4.30±0.57 ^a |

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارد.

در فرمولاسیون این تیمار مربوط بود. نتایج ارزیابی حسی نیز نشان داد که نمونه ۱۰ درصد روغن کاهش یافته دارای بیشترین پذیرش کلی است که با کاهش درصد چربی به ۵۰ درصد امتیاز پارامترهای حسی کاهش معنی‌دار داشت. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان پیشنهاد کرد تهیه مافین با جایگزینی اولئوژل با روغن ضمن مهار مشکلات ناشی از چربی و کاهش کلسترول، محصول رژیمی با خواص حسی و کیفی مطلوب سالم تولید نمود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که می‌توان با استفاده از سیستم اولئوژل کمپلکس پروتئین سفیده تخم مرغ و صمغ زانتان میزان روغن کیک مافین را با حفظ ویژگی‌های کیفی و بافتی محصول کاهش داد. بیشترین حجم و دانسیته در نمونه مافین تولید شده با ۱۰ درصد روغن کاهش یافته حاصل گردید. بافت، رطوبت و فعالیت آبی نمونه مافین با ۱۰ درصد روغن کاهش یافته مشابه نمونه شاهد بود که به مقدار بیشتر اولئوژل

منابع

1. AACC. 2000. Approved methods of the AACC (10th ed.). St. Paul: The American Association of Cereal Chemists.
2. Adili, L., Roufegarinejad, L., Tabibiazar, M., Hamishehkar, H., & Alizadeh, A. (2020). Development and characterization of reinforced ethyl cellulose based oleogel with adipic acid: Its application in cake and beef burger. *LWT*, 109277. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109277>
3. Ashok R. Patel, Pravin S. Rajarethinam, Agnieszka Grębowska, Ozge Turhan, Ans Lesaffer, Winnok H. De Vos,cd Davy Van de Wallea and Koen Dewettincka. (2014). Edible applications of shellac oleogels: spreads, chocolate paste and cakes *Food Funct.* 5, 645–652.
4. Demirkesen, I., & Mert, B. (2019). Recent developments of oleogel utilizations in bakery products. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1-20. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1649243>
5. Ghotra, B. S., Dyal, S. D., & Narine, S. S. (2002). Lipid shortening: A review. *Food Research International*, 35(10), 1015–1048. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00163-1](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00163-1)
6. Giacomozzi, A. S., Carrín, M. E., & Palla, C. A. (2018). Muffins elaborated with optimized monoglycerides oleogels: From solid fat replacer obtention to product quality evaluation. *Journal of food science*, 83(6), 1505-1515. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14174>
7. Herrero, A. M., Carmona, P., Jiménez-Colmenero, F., & Ruiz-Capillas, C. (2014). Polysaccharide gels as oil bulking agents: Technological and structural properties. *Food Hydrocolloids*, 36, 374-381. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.008>

8. Hwang, H. S., Gillman, J. D., Winkler-Moser, J. K., Kim, S., Singh, M., Byars, J. A., & Evangelista, R. L. (2018). Properties of oleogels formed with high-stearic soybean oils and sunflower wax. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 95(5), 557-569. <https://doi.org/10.1002/aocs.12060>
9. Jaber, R., Pedram Nia, A., Naji-Tabasi, S., Elhamirad, A. H., & Shafafi Zenoozian, M. (2020). Rheological and structural properties of oleogel base on soluble complex of egg white protein and xanthan gum. *Journal of Texture Studies*, 51(6), 925-936. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12552>
10. Jang, A., Bae, W., Hwang, H. S., Lee, H. G., & Lee, S. (2015). Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods. *Food chemistry*, 187, 525-529. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.110>
11. Kim, J. Y., Lim, J., Lee, J., Hwang, H.-S., & Lee, S. (2017). Utilization of Oleogels as a Replacement for Solid Fat in Aerated Baked Goods: Physicochemical, Rheological, and Tomographic Characterization. *Journal of Food Science*, 82(2), 445-452. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13583>
12. Lim, J., Hwang, H. S., & Lee, S. (2017). Oil-structuring characterization of natural waxes in canola oil oleogels: rheological, thermal, and oxidative properties. *Applied Biological Chemistry*, 60(1), 17-22. <https://doi.org/10.1007/s13765-016-0243-y>
13. Manzocco, L., Anese, M., Calligaris, S., Quarta, B., & Nicoli, M. C. (2012). Use of monoglyceride hydrogel for the production of low fat short dough pastry. *Food Chemistry*, 132(1), 175-180. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.049>
14. Marand, M. A., Amjadi, S., Marand, M. A., Roufegarinejad, L., & Jafari, S. M. (2020). Fortification of yogurt with flaxseed powder and evaluation of its fatty acid profile, physicochemical, antioxidant, and sensory properties. *Powder Technology*, 359, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.09.082>
15. Martins, A. J., Vicente, A. A., Cunha, R. L., & Cerqueira, M. A. (2018). Edible oleogels: An opportunity for fat replacement in foods. *Food & function*, 9(2), 758-773. <https://doi.org/10.1039/C7FO01641G>
16. Moriano, M. E., & Alamprese, C. (2017). Organogels as novel ingredients for low saturated fat ice creams. *LWT*, 86, 371-376. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.034>
17. Naji-Tabasi, S., & Mohebbi, M. (2015). Evaluation of cress seed gum and xanthan gum effect on macrostructure properties of gluten-free bread by image processing. *Journal of Food Measurement and characterization*, 9(1), 110-119.
18. Oh, I. K., Amoah, C., Lim, J., Jeong, S., & Lee, S. (2017). Assessing the effectiveness of wax-based sun fl ower oil oleogels in cakes as a shortening replacer. *LWT – Food Science and Technology*, 86, 430–437. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.021>
19. Oh, I.K., Lee, S. (2018). Utilization of foam structured hydroxypropyl methylcellulose for oleogels and their application as a solid fat replacer in muffins. *Food Hydrocolloids* 77, 796–802. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.022>
20. O'Sullivan, C. M., Barbut, S., & Marangoni, A. G. (2016). Edible oleogels for the oral delivery of lipid soluble molecules: Composition and structural design considerations. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 59-73. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.018>
21. Panagiotopoulou, E., Moschakis, T., & Katsanidis, E. (2016). Sunflower oil organogels and organogel-in-water emulsions (part II): Implementation in frankfurter sausages. *LWT*, 73, 351-356. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.006>
22. Patel, A. R., Remijn, C., Heussen, P. C., den Adel, R., & Velikov, K. P. (2013). Novel low-molecular-weight-gelator-based microcapsules with controllable morphology and temperature responsiveness. *ChemPhysChem*, 14(2), 305-310. <https://doi.org/10.1002/cphc.201200942>
23. Pehlivanoglu, H., Ozulku, G., Yildirim, R. M., Demirci, M., Toker, O. S., & Sagdic, O. (2018). Investigating the usage of unsaturated fatty acid-rich and low-calorie oleogels as a shortening mimetics in cake. *Journal of food processing and preservation*, 42(6), e13621. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13621>
24. Psimouli, V., & Oreopoulou, V. (2012). The effect of alternative sweeteners on batter rheology and cake properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(1), 99-105. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4547>
25. Ruiz-Capillas, C., Carmona, P., Jiménez-Colmenero, F., & Herrero, A. M. (2013). Oil bulking agents based on polysaccharide gels in meat batters: A Raman spectroscopic study. *Food Chemistry*, 141(4), 3688-3694. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.043>
26. Sahi, S. S., & Alava, J. M. (2003). Functionality of emulsifiers in sponge cake production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83 (14), 1419–1429. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1557>
27. Tabibiazar, M., Roufegarinejad, L., Hamishehkar, H., & Alizadeh, A. (2020). Preparation and characterization of carnauba wax/adipic acid oleogel: A new reinforced oleogel for application in cake and beef burger. *Food Chemistry*, 333, 127446. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127446>

28. Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in food science & technology*, 30(1), 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.01.001>
29. Wilderjans, E., Pareyt, B., Goesart, H., Brijs, K., & Delcour, J.A. 2008. The role of gluten in a pound cake system: A model approach based on gluten–starch blends. *Food Chemistry*, 110(4):909-915. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.079>



Full Research Paper

Quality grading of grapes coated with Farsi gum and hemp seed oil emulsion based on surface defects using RGB and binary images

Mohsen Zandi^{1*}, Ali Ganjloo², Mandana Bimakr², Abolfazl Gharebaghi²

Received: 2020.08.23

Accepted: 2020.10.26

How to cite this article:

Zandi, M., Ganjloo, A., Bimakr, M., Gharebaghi, A., (2022). Quality grading of grapes coated with Farsi gum and hemp seed oil emulsion based on surface defects using RGB and binary images. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18(1), 51-64.

Abstract

Introduction: Grape is a non-climacteric fruit with a low rate of physiological activity but is subject to serious physiological and parasitic disorders after harvest and during long term storage (Ciccarese *et al.*, 2013). Currently, Edible coatings have been studied as potential substitutes for conventional plastics in food packaging. Edible coating is a thin layer of edible material formed as a coating on a food product. Edible coating can offer several advantages to the fresh fruit and vegetable industry such as improvement in the retention of color, acids, sugar and flavor components, the maintenance of quality during shipping and storage, the reduction of storage disorders and improved consumer appeal (Antonioni *et al.*, 2015; Cazon *et al.*, 2017; Fakhouri *et al.*, 2015; Galus & Kadzińska, 2015). Farsi gum as a novel source of polysaccharides has drawn much attention in a wide range of various fields such as pharmaceuticals, food and cosmetics industries. Functional properties of Farsi gum are influenced by its structure and molecular weight (Hadian *et al.*, 2016; Joukar *et al.*, 2017). By inclusion of bioactive compounds in the Farsi gum network the aforementioned impairments could be overcome and moreover, new protective and functional valences could be added. The inclusion of lipid-based component in Farsi gum gives it excellent light and moisture barrier properties. The benefic impact on human health of hemp seed oil is worldwide recognized. A recent study demonstrated the antimicrobial properties of hemp seed oil. Due to their abundance in biologically active compounds, hemp seed oil is promising natural alternatives that may extend the shelf-life, microbiological safety and nutritional values of food (Cozmata *et al.*, 2015; Leizer *et al.*, 2000; Salarnia *et al.*, 2018). Growing awareness of the quality of fruit has necessitated increasing effort to develop rapid and non-destructive methods for evaluating fruit quality (Bhargava & Bansal, 2020; Rachmawati *et al.*, 2017; Tao & Zhou, 2017; Wu & Sun, 2013). The aim of this study was the consideration of image processing application for grape sorting based on visual surface characterize.

Materials and Methods: Coating emulsion was prepared using (Farsi gum (0%, 1.5% and 3%), hemp seed oil (0%, 0.075% and 0.15%) and glyceride (0.3%)). grape fruit were coated by immersion in coating dispersion for 5 min. Samples were then allowed to lose the excess coating dispersion. Coatings were developed at room temperature during an hour. Samples were refrigerated at $4 \pm 1^\circ\text{C}$ for 28 days and analyses were performed at days 0 and 28. Defect identification and maturity detection of grape fruits are challenging task for the computer vision to achieve near human levels of recognition. The image acquisition was performed in a homogeneously controlled lighting condition. Considering the camera lens's focal length, the samples were placed 25 cm under the camera's lens to be under camera's field of view. The images of grape were segmented from the background using thresholding of the high contrast images via MATLAB software (R2019a, image processing toolbox). The optimum threshold value was obtained to be 0.35, 0.45 and 0.30 for R, G and B channel, respectively.

Results and Discussion: The proposed techniques can separate between the defected and the healthy grape fruits, and then detect and classify the actual defected area. Classification is performed in two manners which in the first one, an

1, 2 and 3. Assistant Professor, Associate Professor, and Bachelor graduate student, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan 45371-38791, Iran.

(*Corresponding author Email: zandi@znu.ac.ir)

DOI: [10.22067/IFSTRJ.V18I1.88305](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.V18I1.88305)

input grape is classified with two different algorithms (RGB and binary). The Result showed that the accuracies for detecting the surface defects on grape were 97.73% and 96.30% using RGB and binary algorithms, respectively. Proposed method can be used to detect the visible defects of coated grape, and to grade the grape in high speed and precision.

Conclusions: The results of this research and similar ones can provide helpful recommendations in grading fruits for fresh consumption. The simplicity and the efficiency of the proposed techniques make them appropriate for designing a low-cost hardware kit that can be used for real applications.

Keywords: Coating, Grading, Image processing, Grape, Hemp seed oil, Surface defects.

مقاله علمی-پژوهشی

درجه‌بندی کیفی انگور پوشش‌دهی شده با امولسیون صمغ فارسی و روغن شاهدانه بر اساس صدمات سطحی با استفاده از تصاویر RGB و دودویی

محسن زندی^{۱*} - علی گنجلو^۲ - ماندانا بی مکر^۲ - ابوالفضل قره‌باغی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۵

چکیده

در پژوهش حاضر روش پردازش تصویر جدیدی بر مبنای دو الگوریتم دودویی و RGB با هدف محاسبه میزان صدمات سطحی به‌طور خودکار و انجام درجه‌بندی کیفی ایجاد گردید. ابتدا انگورها با استفاده از فرمولاسیونی از سطوح مختلف صمغ فارسی (صفر، ۱/۵ و ۳ درصد) و روغن شاهدانه (صفر، ۰/۰۷۵ و ۰/۱۵ درصد) و ۰/۳ درصد گلیسرول پوشش‌دهی گردید و در ادامه با اندازه‌گیری میزان صدمات سطحی انگور در روزهای ۱ و ۲۸ به‌صورت دستی (با کمک نرم‌افزار Image J)، ضمن بررسی اثر پوشش در قالب طرح فاکتوریل (طرح پایه کاملاً تصادفی)، عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی نیز ارزیابی گردید. در الگوریتم دودویی پس از پیش‌پردازش تصاویر، تصاویر به تصاویر دودویی تبدیل شدند. در الگوریتم RGB، فرآیند با کمک مقایسه آماری بین مولفه‌های رنگی صورت پذیرفت. پس از حذف دم انگور و محاسبه مناطق معیوب با کمک گشتاور تصویر (مرتبه صفر و اول)، در نهایت بر اساس درصد مناطق معیوب به ۴ درجه کیفی عالی (کمتر از ۵ درصد)، درجه ۱ (بین ۵ تا ۲۰ درصد)، درجه ۲ (بین ۲۰ تا ۳۵ درصد) و درجه ۳ (بیشتر از ۳۵ درصد) درجه‌بندی شد. مشخص شد که از کانال‌های R، G و B با مقدار سطح آستانه ۰/۳۵، ۰/۴۵ و ۰/۳ می‌توان برای فرآیند تشخیص صدمات سطحی استفاده نمود. نتایج نشان داد که هر دو الگوریتم دودویی و RGB توانستند فرآیند محاسبه میزان صدمات سطحی را با صحت بالایی (به‌ترتیب ۹۷/۳۳ و ۹۸/۰۸ درصد) انجام دهند و براساس نتایج ماتریکس درهم‌ریختگی فرآیند درجه‌بندی نیز با صحت بالاتر از ۹۶/۳۰ درصد انجام گرفت. همچنین مشخص شد که پوشش‌دهی با صمغ فارسی و روغن شاهدانه خصوصاً در سطوح پایین سبب کاهش بروز صدمات سطحی طی دوره نگهداری می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، صدمات سطحی، انگور، پوشش‌دهی، درجه‌بندی.

مقدمه

انگور از میوه‌های نافرزاگرا^۴ است که فرآیند رسیدن آن با برداشت از درخت متوقف می‌گردد و در نتیجه هنگام برداشت باید کاملاً رسیده باشد. میوه انگور اگرچه پس از برداشت میزان فعالیت فیزیولوژیکی پائینی دارد ولی به هر حال مستعد اختلالات جدی فیزیولوژیکی و میکروبی طی نگهداری طولانی مدت است (Ciccarese et al., 2010; Topalovic & Mikulic-Petkovsek, 2013). از این‌رو استفاده از فرایندهای پس از برداشت مناسب از مهم‌ترین راه‌کارها برای بالا بردن ارزش تجاری و کیفیت این محصولات می‌باشد. روش‌های پس از برداشت بسیاری مانند استفاده از بسته‌بندی‌ها و یا پوشش‌های پلیمری، سردخانه‌های با اتمسفر کنترل شده، مواد شیمیایی و غیره وجود دارد که یا هزینه‌بر هستند و یا برای سلامتی انسان و محیط زیست مضر می‌باشند؛ اما اخیراً محققان بر استفاده از مواد پلیمری طبیعی به

عنوان ماده اولیه برای پوشش خوراکی^۵ متمرکز شده‌اند (Vargas & González-Martínez, 2010)؛ استفاده از این مواد به‌عنوان پوشش‌های خوراکی طبیعی روشی کم‌هزینه، کم‌خطر و تاثیرگذار در کاهش سرعت واکنش‌های تخریبی ویژگی‌های کیفی محصولات کشاورزی است (Cazon et al., 2017).

پوشش‌های خوراکی طبیعی شامل پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و یا مخلوطی از آنها هستند که از منابع گیاهی و حیوانی به‌دست می‌آیند و به‌صورت لایه‌ای نازک روی محصول قرار می‌گیرند و با کاهش سرعت خروج رطوبت و شدت تنفس، سبب افزایش عمر انبارمانی و کاهش آسیب به کیفیت محصول می‌گردند (Salehi, 2019). استفاده از پلی‌ساکاریدها از جمله مشتقات سلولز، کیتوزان، نشاسته و صمغ‌ها به‌عنوان مواد اولیه برای تهیه فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی گزارش شده است (Salehi, 2020). صمغ فارسی که ترشحات

DOI: [10.22067/IFSTRJ.V18I1.88305](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.V18I1.88305)

4 Climacteric

5 Edible coating

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استادیار، دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان ۳۸۷۹۱-۴۵۳۷۱، ایران.
(* ایمیل نویسنده مسئول: Zandi@znu.ac.ir)

آرابینوگالاکتان^۱ موجود در پوسته درخت بادام است از دو بخش محلول در آب (۳۰-۲۵ درصد) و نامحلول (۷۵-۷۰ درصد) تشکیل شده است که قسمت محلول قادر به تشکیل محلول شفاف با چسبندگی مناسب برای کاربرد به عنوان پوشش خوراکی است (Hadian et al., 2016; Khaledi et al., 2016). استفاده از صمغ فارسی به عنوان پوشش برای موز (Shahbazi & Shavisi, 2020)، پرتقال (Khorram et al., 2017) و فیله ماهی قزل آلا (Dehghani et al., 2018; Joukar et al., 2017) گزارش شده است. پوشش‌های خوراکی بر پایه پلی‌ساکاریدها اگرچه خواص نفوذناپذیری خوبی نسبت به گازها دارند ولی با این حال خصوصیات نفوذناپذیری ضعیفی در برابر بخار آب دارند. از طرف دیگر لیپیدها نسبت به گازها نفوذناپذیری ضعیف و در برابر بخار آب خصوصیات نفوذناپذیری خوبی دارند (Khorram et al., 2017). از این رو استفاده از یک ترکیب لیپیدی سبب بهبود خواص پوشش‌های خوراکی بر پایه پلی‌ساکاریدها می‌گردد. روغن شاهدانه به عنوان بخش لیپیدی می‌تواند باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و ممانعت‌کنندگی^۲ پوشش‌های پلی‌ساکاریدی به خصوص در برابر نفوذ بخار آب گردد. روغن شاهدانه بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع (خصوصاً لینولئیک اسید و آلفالینولئیک اسید) و نزدیک به ۱۰ درصد اسیدهای چرب اشباع دارد (Cozmuta et al., 2015; Leizer et al., 2018; Salamia et al., 2000). به علاوه خواص ضد میکروبی روغن شاهدانه نیز گزارش شده است (Cozmuta et al., 2015). با وجود کاهش سرعت تغییرات فیزیکی و شیمیایی و تخریب ویژگی‌های کیفی به سبب اعمال پوشش‌های خوراکی همچنان طیف وسیعی از صدمات و نقایص سطحی حین نگهداری محصولات کشاورزی نظیر انگور به وقوع می‌پیوندد که سبب کاهش کیفیت نهایی می‌گردد (Ciccarese et al., 2013). از این رو توجه به روش‌های بررسی غیرمخرب برای تشخیص و کنترل تغییرات سطحی در سردخانه و قبل از عرضه به بازار ضروری است. به علاوه، درجه‌بندی محصولات کشاورزی امری بسیار مهم در نگهداری و عرضه آنها به بازار است و سال‌ها است که این امر از طریق بازرسی بصری انجام می‌پذیرد که به شدت تحت تاثیر خطای انسانی است. بنابراین، دستیابی به روشی سریع، هوشمندانه و غیرمخرب به منظور تشخیص کیفیت و درجه‌بندی محصولات کشاورزی ضروری می‌باشد (Bhargava & Bansal, 2020; Wu & Sun, 2013).

در طول دهه گذشته، فناوری پردازش تصویر به در فرآیند بررسی و کنترل کیفیت محصولات کشاورزی نقش داشته است تا با کمک تصاویر RGB و با توجه به روش‌ها و الگوریتم‌های مختلف محاسباتی، ویژگی‌های مورد نیاز استخراج و پردازش گردند (Dorj et al., 2017).

Hashim et al., 2018; Rachmawati et al., 2017; Tao & Zhou, 2017). از این روش به منظور تشخیص صدمات سطحی میوه‌ها و درجه‌بندی آنها بر این اساس و با کمک الگوریتم‌های مختلف (استخراج رنگ، بافت، لبه، یا ویژگی‌های شکلی) توسط محققان مختلف به طور موفقیت‌آمیزی استفاده شده است. در همین راستا تشخیص عیوب و صدمات سطحی میوه زیتون با کمک دو الگوریتم مبتنی بر استخراج عیوب سطحی با اندازه‌گیری میزان تفاوت بین پیکسل‌ها و اندازه‌گیری یکنواختی بافت و تجزیه و تحلیل بافت توسط Hassan و Nashat (۲۰۱۸) انجام پذیرفت. این سیستم توانست با درجه صحت بالایی فرآیند درجه‌بندی و اندازه‌گیری عیوب سطحی را انجام دهد. Hashim و همکاران (۲۰۱۸) روشی را برای ارزیابی کیفی موز با استفاده از تجزیه و تحلیل بافت تصویر و درجه‌بندی با کمک شبکه عصبی مصنوعی ارائه دادند. Pordarbanی و همکاران (۱۳۸۸) از سیستم بینایی ماشین برای اندازه‌گیری عیوب سطحی و درجه‌بندی سیب استفاده نمودند و توانستند این عملیات را با دقت کلی ۹۵/۲۳ درصد انجام دهند. Khan و همکاران (۲۰۱۹) یک روش بهینه برای درجه‌بندی سیب بر اساس بیماری‌های سطحی آن ارائه دادند که این روش با انتخاب ویژگی‌ها توسط الگوریتم ژنتیک تشخیص بیماری سطحی را با دقت ۹۷/۷۹ درصد انجام داد. Golzarian و همکاران (۱۳۹۵) آسیب‌های سطحی ناشی از صدمات مکانیکی میوه انبه رقم کلک سرخ با استفاده از استخراج ویژگی‌های رنگی در دو مدل RGB و CIELAB را با دقت بیش از ۹۰ درصد تشخیص دادند. Moallem و همکاران (۲۰۱۷) توانستند با استفاده از ویژگی‌های آماری، بافتی و هندسی مستخرج از تصویر و با کمک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه^۳ عیوب سطحی در سیب را با کارایی بیش از ۸۹/۲۰ درصد تشخیص دهند. Dorj و همکاران (۲۰۱۷) از ویژگی‌های رنگی برای درجه‌بندی مرکبات با استفاده از روش بخش‌بندی آب‌بخشان^۴ با ضریب همبستگی ۰/۹۳ استفاده نمودند. عیوب ظاهری سیب با کمک الگوریتم بخش‌بندی تصویر رنگی K-mean توسط Henila و Chithra (۲۰۱۷) با صحت بالاتر از ۹۱ درصد تشخیص داده شد. در پژوهشی دیگر شناسایی عیوب ظاهری و تشخیص درجه رسیدگی میوه انبه با استفاده از تجزیه و تحلیل تصویر و با کمک سه فضای رنگی RGB، HSI و CIELAB با دقت بالای ۹۱ درصد انجام پذیرفت (Sahu & Potdar, 2017). با توجه به اینکه امروزه در بسیاری از موارد کنترل کیفیت ظاهری و درجه‌بندی انگور طی نگهداری و عرضه به بازار به کمک نیروی انسانی متخصص انجام می‌شود و این عمل مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی است؛ از این رو شناسایی تغییرات بصری میوه انگور و درجه‌بندی آن با استفاده از روش‌های پردازش تصویر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا هدف از

1 Arabinogalactan
2 Inhibition

3 Multi-Layer Perceptron
4 Watershed

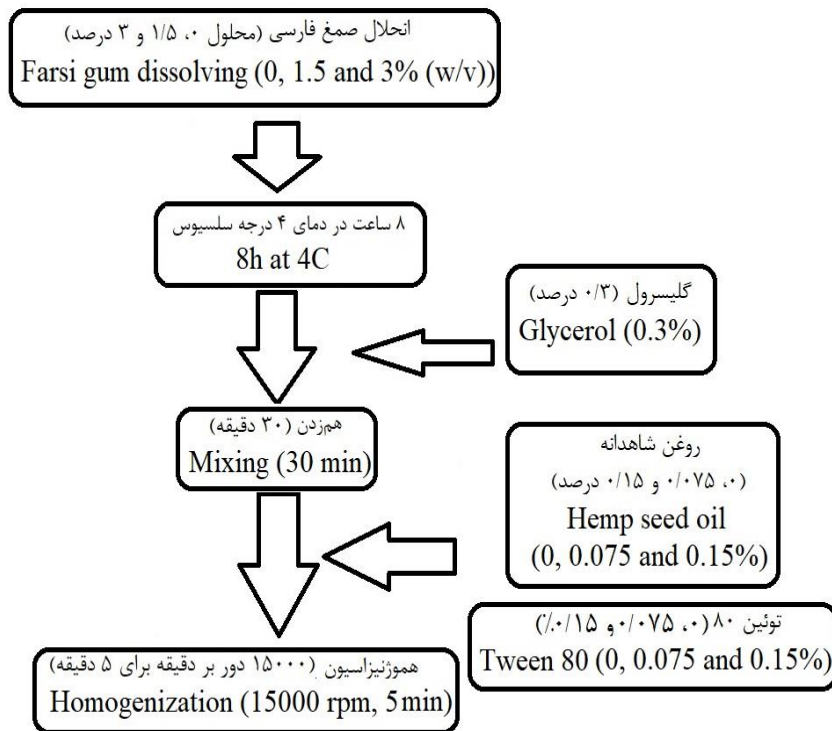
تهیه پوشش خوراکی و پوشش‌دار کردن نمونه‌ها

به‌منظور تهیه محلول پوشش‌دهی (شکل ۱)، مقادیر صفر، ۱/۵ و ۳ گرم صمغ فارسی به‌طور جداگانه به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید و به مدت ۳ ساعت در دمای اتاق با استفاده از یک همزن مغناطیسی (PIT300، پل ایده پارس، ایران) هم‌زده شد. محلول‌های صمغ فارسی به مدت یک شب در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری گردید (Joukar et al., 2017) تا به‌طور کامل آب‌گیری (هیدراسیون) شود. پس از آن، ۰/۳ درصد (وزنی/حجمی) گلیسرول به‌عنوان پلاستی‌سایزر (نرم‌کننده) به محلول‌های صمغ فارسی اضافه گردید و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق با همزن مغناطیسی هم‌زده شدند. در ادامه مقادیر مختلفی از روغن شاهدانه (صفر، ۰/۰۷۵ و ۰/۱۵ درصد وزنی/حجمی) به محلول اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه هم‌زده شد. توئین ۸۰ (سیگما، آمریکا) به‌عنوان امولسیون‌کننده قبل از افزودن روغن شاهدانه در مقداری مشابه با روغن شاهدانه به محلول اضافه گردید. در نهایت امولسیون‌های مورد نظر توسط دستگاه هموژنایزر (MTOPTS-SR30، کره جنوبی) با سرعت ۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۵ دقیقه تهیه شدند. محلول‌های پوشش‌دهی مورد آزمون در جدول ۱ نشان داده شده است.

انجام پژوهش حاضر تشخیص و شناسایی صدمات سطحی میوه انگور پوشش‌دار شده با صمغ فارسی حاوی روغن شاهدانه و درجه‌بندی کیفی آن است تا در صورت عملیاتی‌شدن این گونه تحقیقات، روش سریع، دقیق و غیرمخرب برای استفاده در سردخانه‌ها و مراکز توزیع ایجاد گردد.

مواد و روش‌ها

صمغ فارسی از فروشگاه گیاهان دارویی (زنجان، ایران) خریداری و به‌وسیله یک آسیاب برقی (پارس‌خزر، ایران) پودر شد. پودر صمغ فارسی پس از جمع‌آوری از الک با مش ۳۵ گذارنده و برای تولید پوشش استفاده شد. خوشه‌های تازه انگور (رقم خلیلی سفید) از بازار محلی (زنجان، ایران) خریداری شد. خوشه‌های سالم، تقریباً یک اندازه و عاری از هرگونه صدمه دیدگی یا عفونت قارچی جداسازی و ابتدا با آب آشامیدنی شسته شدند و سپس برای حذف آلودگی سطحی به مدت ۱۵ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۱ درصد (وزنی/حجمی) غوطه‌ور گردیدند؛ خوشه‌ها در نهایت با آب مقطر شسته شدند (Ganjiloo et al., 2020) و آب سطحی آن در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) خشک گردیدند.



شکل ۱- مراحل تهیه محلول پوشش

Fig. 1. Coating solution preparation.

نگهداری شدند. در نهایت خوشه‌های انگور پوشش‌دار شده به صورت یک لایه در ظروف پلی‌پروپیلن و در دمای 1 ± 4 درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۶۵ درصد به مدت ۲۸ روز نگهداری گردید. محلول شماره ۱ در حقیقت تیمار شاهد می‌باشد که فاقد روغن شاهدانه و صمغ فارسی است.

خوشه‌های انگور به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق درون محلول‌های پوشش‌دهی غوطه‌ور گردیدند و سپس خوشه‌های پوشش‌دار شده با استفاده از انبر استریل از محلول‌های پوشش‌دهی خارج شدند. فرآیند پوشش‌دهی پس از گذشت ۲ دقیقه مجدداً تکرار گردید. خوشه‌های انگور به منظور حذف محلول اضافی روی توری‌های فلزی تمیز پهن و تا خشک شدن کامل پوشش (حداقل به مدت ۱ ساعت) در دمای اتاق

جدول ۱- فرمولاسیون محلول‌های پوشش‌دهی

Table 1- Coating solution formulations

| No | Farsi gum (%W/V) صمغ فارسی (درصد وزنی/حجمی)) | Glycerol (%W/V) گلیسرول (درصد وزنی/حجمی)) | Hemp seed oil (%(W/V) روغن شاهدانه (درصد وزنی/حجمی)) |
|----|--|---|--|
| 1 | 0 | 0.03 | 0 |
| 2 | 0 | 0.03 | 0.075 |
| 3 | 0 | 0.03 | 0.15 |
| 4 | 1.5 | 0.03 | 0 |
| 5 | 1.5 | 0.03 | 0.075 |
| 6 | 1.5 | 0.03 | 0.15 |
| 7 | 3 | 0.03 | 0 |
| 8 | 3 | 0.03 | 0.075 |
| 9 | 3 | 0.03 | 0.15 |

به دست آمد. در مجموع ۲۰۰ تصویر از ۱۰۰ حبه انگور در روزهای صفر و ۲۸ تهیه گردید.

بخش‌بندی و جداسازی تصویر

در ادامه از دو الگوریتم جهت جداسازی نواحی معیوب از نواحی سالم استفاده گردید. تمامی مراحل پیش‌پردازش، پردازش، استخراج ویژگی‌ها و طبقه‌بندی با کمک جعبه ابزار پردازش تصویر نرم افزار Matlab R2019a (Mathworks، ایالات متحده آمریکا) انجام گردید و از نرم‌افزار (NHI) ImagJ (ایالات متحده آمریکا) برای محاسبه دستی عیوب و صدمات سطحی استفاده گردید.

الگوریتم بر مبنای تصاویر دودویی^۱

در این الگوریتم ابتدا تصاویر حبه‌های انگور (شکل ۲-ا) پیش‌پردازش شدند؛ در مرحله پیش‌پردازش از فیلتر میانه به منظور هموارسازی تصویر و حذف نویزهای احتمالی حاصل از انعکاس استفاده گردید. در مرحله بخش‌بندی تصویر^۲ ادامه پس‌زمینه به منظور تعیین حدود حبه انگور حذف گردید. فرایند حذف پس‌زمینه با اختصاص یک آستانه صورت گرفت (آستانه‌گیری رنگی^۳)؛ به گونه‌ای که پیکسل‌های با مقادیر کمتر از این آستانه به عنوان پس‌زمینه و پیکسل‌های با مقادیر

سیستم پردازش تصویر

سیستم پردازش تصویر در این پژوهش به منظور تشخیص تغییرات در حبه انگور طی نگهداری استفاده گردید. این سیستم شامل فرایندهای عکس‌برداری، پیش‌پردازش و فرایند استخراج ویژگی (ویژگی‌های رنگی و بافتی) از تصویر است.

عکس‌برداری

عکس‌برداری با کمک یک محفظه عکس‌برداری مجهز به سیستم نورپردازی شامل دو لامپ SMD با زاویه ۴۵ درجه (۱۵ وات، مهتابی) و یک پنل LED مهتابی (۲۰ وات) انجام پذیرفت. نورپردازی به گونه‌ای صورت گرفت تا از تشکیل سایه، نقاط متمرکز نوری و هرگونه نویز در تصویر جلوگیری شود. عکس‌برداری در یک پس‌زمینه به رنگ سفید انجام شد. تصاویر خام در طیف مرئی و با استفاده از دوربین سونی (DSC-H5، ژاپن) با فاصله کانونی ۱۸ میلی‌متری گرفته شد. با توجه به فاصله کانونی لنز در دوربین و به منظور قرارگیری کامل حبه‌های انگور در حوزه دید دوربین و سهولت در تجزیه و تحلیل تصاویر، فاصله ۲۵ سانتی‌متری بین نمونه و دوربین در نظر گرفته شد. دوربین به صورت عمود بر حبه‌های انگور قرار گرفت و تصاویر خام با فرمت TIFF و وضوح 2304×3072 و با قدرت تفکیک $0.3/0$ میلی‌متر در هر پیکسل

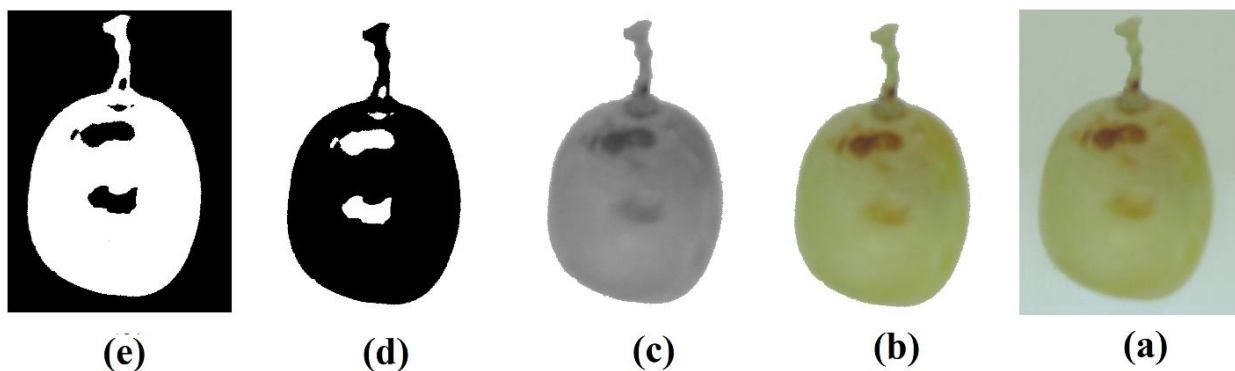
3 Color thresholding

1 Binary image

2 Image segmentation

بخش‌بندی در کیفیت ویژگی‌هایی که از تصاویر استخراج می‌شود و در مراحل بعدی پردازش مورد استفاده قرار می‌گیرند تأثیرگذار است. یکی از روش‌های معمول به‌منظور بخش‌بندی و جداسازی تصویر از زمینه آن، استفاده از آستانه‌گیری با استفاده از هیستوگرام تصویر می‌باشد. با استفاده از هیستوگرام تصویر، می‌توان بهترین حد آستانه را برای جداسازی بدست آورد. سطح آستانه با کمک روش آزمون و خطا و بر اساس اطلاعات موجود از ۱۰۰ نمونه محاسبه گردید. با این سطح آستانه تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی با ارزش پیکسل‌های صفر و ۱ تبدیل گردید، به طوری که ناحیه سالم حبه انگور سیاه است و ناحیه معیوب سفید می‌شود. در نهایت، وارونگی در روی تصویر اعمال گردید تا ناحیه سالم حبه انگور سفید (پیکسل با مقدار عددی ۱) و ناحیه معیوب سیاه (پیکسل با مقدار عددی صفر) مشخص گردد و تصویر مکمل^۲ (دودویی وارونه) ایجاد شود (شکل ۲-۳e).

بالتر به‌عنوان حبه انگور در نظر گرفته شد (شکل ۲-۲b). در ادامه فرآیند، تصاویر از محیط RGB به محیط خاکستری^۱ تبدیل شدند (شکل ۲-۲c). در ادامه، حبه‌های انگور سالم از معیوب تفکیک گردید و مساحت دقیق مناطق آسیب‌دیده یا لکه‌های بافتی نیز مشخص گردید. این فرآیند از طریق اندازه‌گیری میزان یکنواختی پیکسل‌ها انجام پذیرفت. در این مرحله تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی تبدیل شدند (شکل ۲-۲d). رنگ لکه‌های انگور قهوه‌ای است که متفاوت از رنگ بافت سالم انگور می‌باشد و همین امر سبب می‌گردد که در تصاویر دودویی این نواحی از بافت سالم تفکیک شوند. برای تبدیل تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی نیاز به یک سطح آستانه می‌باشد که این سطح آستانه متغیر است و بستگی به میزان تفاوت بین ناحیه معیوب و ناحیه سالم حبه انگور دارد. به عبارت دیگر، اگر ناحیه معیوب کاملاً مشخص و یکنواخت باشد مقدار سطح آستانه کوچک است و در غیر این صورت این مقدار بزرگ می‌باشد. دقت و عملکرد الگوریتم



شکل ۲- (الف) تصویر RGB اولیه، (ب) تصویر پس از حذف پس‌زمینه، (ج) تصویر خاکستری، (د) تصویر دودویی و (ذ) تصویر مکمل.
 Fig. 2. (a) RGB image, (b) Image without background, (c) Gray image, (d) Binary image and (e) Complement image.

کانال‌های R، G و B با مقدار سطح آستانه ۰/۳۵، ۰/۴۵ و ۰/۳ می‌توان برای فرآیند تشخیصی استفاده نمود، این سطح آستانه در هر حقیقت بر اساس شدت رنگ هر کانال و با کمک تصویر ۱۰۰ حبه انگور انتخاب گردید (شکل ۲-۳c,d). در این حالت ناحیه سالم از ناحیه معیوب با کمک سطح آستانه هر کانال جداسازی گردید. مانند الگوریتم دودویی، وارونگی در روی تصویر اعمال شد تا ناحیه سالم حبه انگور سفید (پیکسل با مقدار عددی ۱) و ناحیه معیوب سیاه (پیکسل با مقدار عددی صفر) مشخص گردد (شکل ۲-۳e).

الگوریتم بر مبنای تصاویر RGB (الگوریتم RGB)

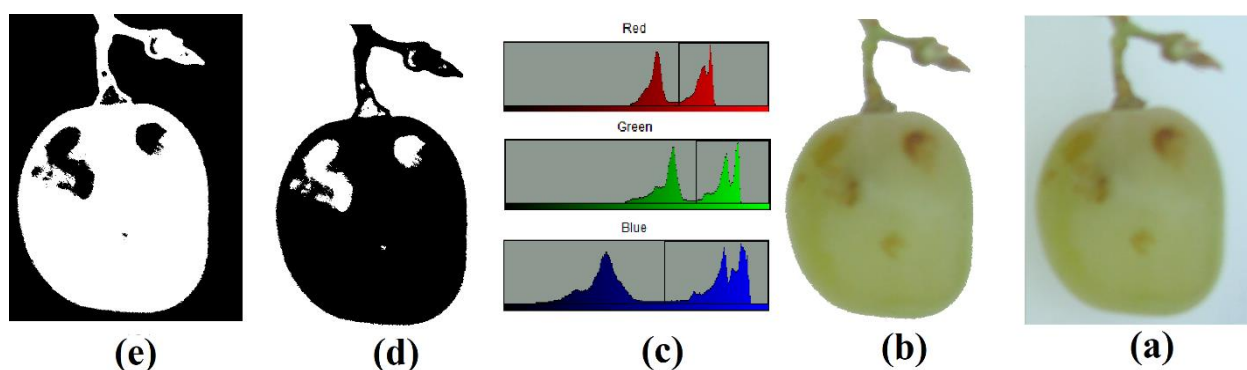
در این الگوریتم و در گام اول میانگین هر کانال رنگی برای قسمت سالم و قسمت معیوب حدود ۵۰ حبه انگور برای تعداد پیکسل مشخص محاسبه گردید. متوسط هر کانال رنگی استخراج شده در جدول ۲ نشان داده شده است. مانند الگوریتم دودویی ابتدا پس‌زمینه تصویر با کمک آستانه‌گیری با استفاده از روش هیستوگرام تصویر حذف گردید. سطح آستانه برای جداسازی ۰/۲ در نظر گرفته شد (شکل ۲-۳b).

در این مرحله، تصویر حبه انگور از نظر ویژگی‌های بافتی به نواحی سالم و معیوب طبقه‌بندی گردید. این فرآیند با کمک مقایسه آماری بین مولفه‌های رنگی صورت پذیرفت (جدول ۲) و مشخص شد که از

جدول ۲- متوسط هر کانال رنگی برای ناحیه سالم و معیوب.

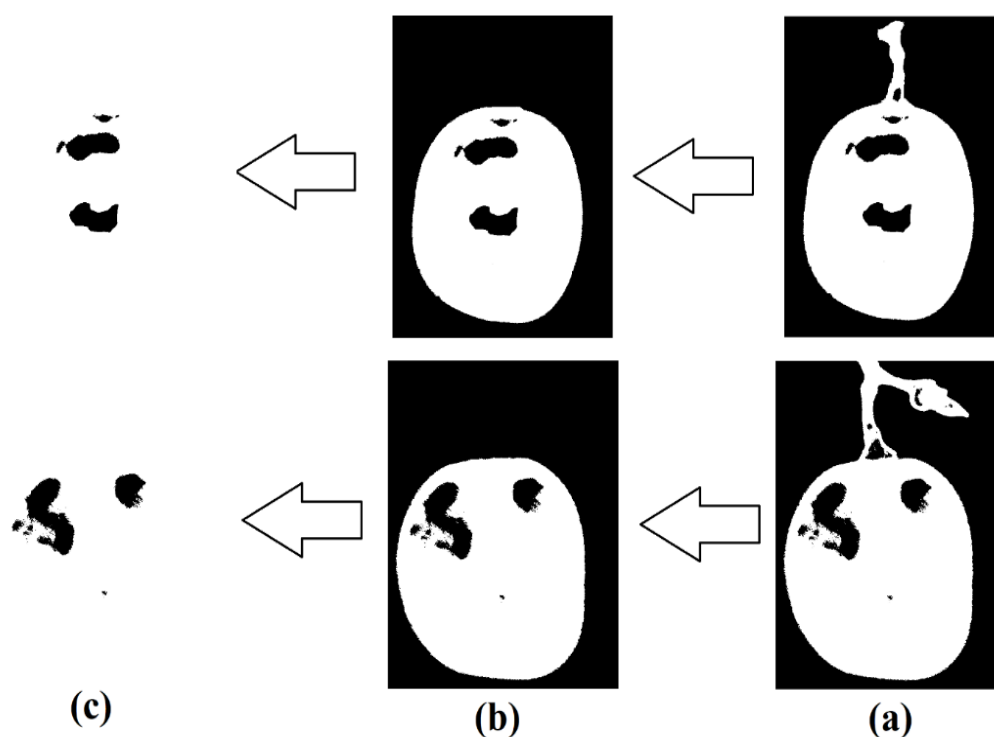
Table 2- Color channel average for intact and defect regions.

| Color channel کانال رنگی | Intact region ناحیه سالم | Defected region ناحیه معیوب |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| R | 156.79 ± 1.11 | 106.53 ± 0.98 |
| G | 168.32 ± 4.18 | 74.11 ± 5.32 |
| B | 110.27 ± 7.32 | 43.51 ± 6.43 |



شکل ۳- (الف) تصویر RGB، (ب) تصویر پس از حذف پس زمینه، (ج) هیستوگرام کانال‌های رنگی R، G و B، (د) تصویر پس از آستانه‌گیری و (ذ) تصویر آستانه‌گیری وارونه.

Fig. 3. (a) RGB image, (b) Image without background, (c) Color channel histogram for RGB channels, (d) Image after thresholding (e) Invers thresholded image.



شکل ۴- (الف) تصویر آستانه‌گیری وارونه، (ب) تصویر پس از حذف دم انگور، (ج) تصویر قسمت معیوب حبه انگور.

Fig. 4. (a) Invers thresholded image, (b) Image after removing the grape tail, (c) Defected region image.

می‌نامند که نشان‌دهنده تعداد پیکسل در محدوده تصویر و سطح ناحیه تصویر است (Sahu & Patra, 2015):

$$m_{00} = \int \int f(x, y) dx dy \quad (2)$$

محاسبه مرکز حبه انگور با کمک گشتاور مرتبه صفر (m_{00}) و مرتبه اول (m_{10} و m_{01}) صورت پذیرفت و در نهایت از گشتاور مرتبه صفر برای محاسبه سطح کل حبه و سطح قسمت معیوب استفاده گردید. با حذف دم و از آنجائی که پس‌زمینه حذف گردیده است، قسمت معیوب کاملاً قابل تشخیص می‌گردد (شکل ۴-۲). محیط کل با کمک الگوریتم لبه‌یابی^۲ مشخص گردید.

درجه‌بندی انگور

به این منظور ابتدا با کمک تصویر یک شاخص با مساحت مشخص بر حسب میلی متر مربع، تعداد پیکسل تصویر به میلی متر تبدیل شد و سطح بر اساس میلی متر مربع محاسبه گردید. این کار باعث تبدیل سطح از پیکسل به میلی متر مربع می‌گردد، در ادامه به منظور درجه‌بندی از نسبت سطح معیوب به سطح کل حبه انگور استفاده شد. به عبارت دیگر درصد سطح معیوب نسبت به سطح کل محاسبه گردید. بر اساس میزان صدمات سطحی، انگور به ۴ درجه کیفی عالی (با صدمات سطحی کمتر از ۵ درصد)، درجه ۱ (با صدمات سطحی بین ۵ تا ۲۰ درصد)، درجه ۲ (با صدمات سطحی بین ۲۰ تا ۳۵ درصد) و درجه ۳ (با صدمات سطحی بیشتر از ۳۵ درصد) درجه‌بندی گردید (شکل ۵). صحت درجه‌بندی از طریق بررسی چشمی تصویر تمامی ۱۰۰ حبه انگور و استخراج دستی صدمات با کمک نرم‌افزار Image صورت پذیرفت، در نهایت مساحت ناحیه صدمه‌دیده با ناحیه تشخیصی توسط هر دو الگوریتم نیز مورد مقایسه قرار گرفت.

حذف دم از تصویر حبه انگور و جداسازی قسمت‌های

معیوب

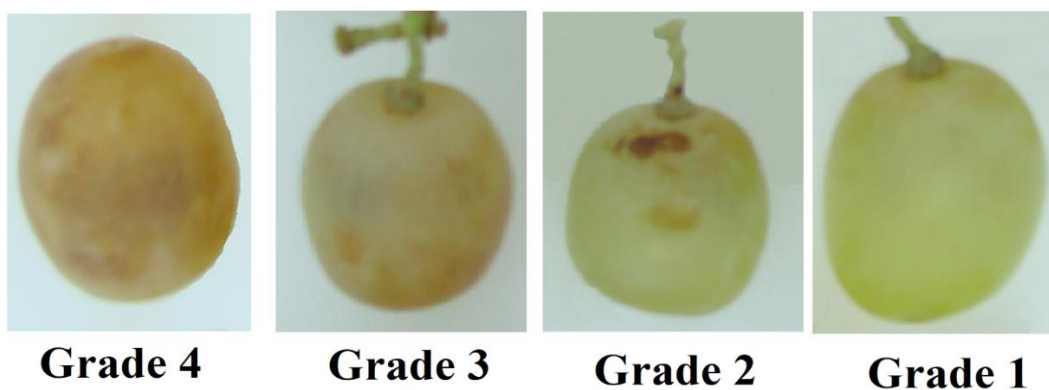
محاسبه دم انگور به‌عنوان بخشی از کل سطح حبه انگور مشکلی است که در تصاویر خروجی وجود دارد، از این‌رو باید این ناحیه حذف گردد. علت نیز این بوده که حضور دم توسط الگوریتم به‌عنوان بخشی از سطح انگور تلقی می‌شود و سبب ایجاد خطا در محاسبه درصد صحیح صدمات سطحی انگور می‌گردد. از آنجائی که دم انگور ناحیه‌ای با ضخامت کم نسبت به حبه انگور است، بنابراین با توجه به نتایج حاصل از بررسی ۱۰۰ حبه انگور، اگر نسبت طول به ضخامت ناحیه‌ای با مقادیر پیکسلی با ارزش ۱ (ناحیه سفید) بیشتر از ۲ باشد، الگوریتم مقدار صفر را جایگزین ارزش پیکسلی آن می‌کند، که این کار سبب حذف دم می‌گردد (شکل ۴-۲).

استخراج ویژگی و محاسبه ناحیه معیوب

به‌منظور استخراج ویژگی از گشتاور تصویر (مومنت)^۱ استفاده گردید. گشتاور تصویر، میانگین وزنی مشخص (گشتاور) از شدت پیکسل‌های تصویر (و یا تابعی از این گشتاورها) است که معمولاً برای داشتن برخی از ویژگی‌های خاص و یا تفسیر نتایج انتخاب می‌گردد. گشتاور تصویر پس از بخش‌بندی تصویر و به‌منظور توصیف آن استفاده می‌شود تا خصوصیات ساده مثل سطح یا شدت پیکسل به‌دست آید (Sahu & Potdar, 2017). تابع تصویر $f(x, y)$ یک تابع حقیقی و پیوسته است که شامل دو متغیر x و y است و بر این اساس گشتاور تصویر (m_{ij}) به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Sahu & Patra, 2015):

$$m_{ij} = \int \int x^i y^j f(x, y) dx dy \quad (1)$$

که i و j اعداد صحیح غیر منفی است و $i+j$ هم مرتبه گشتاور است. اگر i و j برابر صفر باشند آنگاه آن را گشتاور مرتبه صفر (m_{00})



شکل ۵- درجه‌های کیفی حبه انگور.

Fig. 5. Grape quality grading.

مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها

برای مقایسه عملکرد دو الگوریتم دودویی و RGB در تعیین میزان صدمات سطحی و درجه‌بندی انگور بر اساس آن، ابتدا میزان صدمات سطحی به صورت دستی و با کمک خط‌کش استاندارد و تصاویر موجود اندازه‌گیری شد و درجه‌بندی چشمی نیز انجام پذیرفت تا صحت تشخیص هر کدام از الگوریتم‌ها مشخص گردد. وضعیت حبه‌های انگور در روزهای صفر و ۲۸ نگهداری به منظور بررسی اثر پوشش‌دهی با صمغ فارسی حاوی روغن شاهدانه بر تغییرات سطحی حبه‌های انگور و همچنین دو الگوریتم پیشنهادی جهت شناسایی عیوب سطحی انگور مورد بررسی قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

مقایسه آماری بین تیمارها، در قالب طرح فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با حداقل ۳ تکرار انجام گردید. تجزیه واریانس از طریق آنالیز واریانس دو طرفه صورت پذیرفت و از آزمون تعقیبی دانکن به منظور مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید. آزمون‌ها در سطح آماری $\alpha=0/05$ انجام پذیرفت. تجزیه واریانس با کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۶، آمریکا) و برازش داده‌ها با کمک جعبه ابزار برازش داده نرم‌افزار Matlab R2019a (Mathworks، آمریکا) انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی عملکرد الگوریتم‌ها در تشخیص صدمات سطحی و درجه‌بندی

همانطور که در [جدول ۳](#) مشاهده می‌گردد، برای هر کدام از ۲۰۰ تصویر (۱۰۰ حبه انگور در روزهای صفر و ۲۸ نگهداری) میزان صدمات

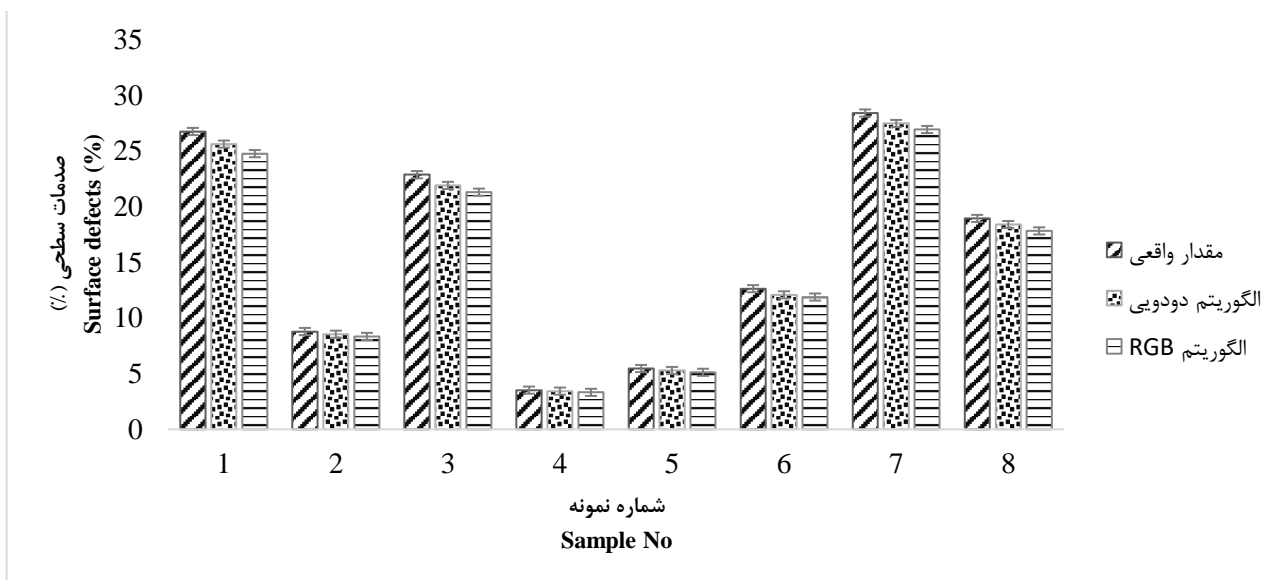
سطحی اندازه‌گیری و با صدمات سطحی به دست آمده از هر کدام از الگوریتم‌ها مقایسه گردید. نتایج نشان داد که هر دو الگوریتم توانستند با صحت بسیار بالایی میزان صدمات سطحی را اندازه‌گیری نمایند؛ به طوری که متوسط صحت اندازه‌گیری الگوریتم‌های دودویی و RGB به ترتیب برابر ۹۷/۳۳ و ۹۸/۰۸ درصد بود. اگرچه مقدار عددی صحت الگوریتم RGB بیشتر از دودویی است ولی با این حال قدرت تشخیص دو الگوریتم با هم تفاوت معنی‌داری نداشت ($p<0/05$). همچنین بین تیمارهای پوشش‌دهی و زمان نگهداری در میزان صحت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($p<0/05$). [شکل ۶](#) با استفاده از الگوریتم‌های دودویی و RGB میزان صدمات سطحی در برخی از حبه‌های انگور انتخاب شده با شکل‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود هر دو الگوریتم بدون در نظر گرفتن شکل یا اندازه موفق به تشخیص صحیح صدمات با دقت بالایی شده‌اند. گام بعدی در جهت درجه‌بندی انگور با استفاده از الگوریتم‌های دودویی و RGB بود؛ تفاوت این الگوریتم‌ها با الگوریتم‌های پیشین پردازش تصویر در سایر پژوهش‌های مشابه عدم درجه‌بندی مستقیم توسط آن‌ها می‌باشد ([Bhargava & Bansal, 2020](#); [Chithra & Henila, 2017](#); [Golzarian et al., 2017](#); [Hassan & Nashat, 2019](#); [Khan et al., 2019](#); [Moallem et al., 2017](#); [Pordarbani et al., 2009](#); [Rachmawati et al., 2017](#); [Sahu & Potdar, 2017](#); [Sahu & Patra, 2015](#))؛ به طوری که خروجی الگوریتم میزان صدمات سطحی است و درجه‌بندی بر اساس آن صورت می‌پذیرد که این امر سرعت و دقت درجه‌بندی را افزایش می‌دهد. برای این منظور ۲۰۰ تصویر موجود به صورت تجربی به ۴ درجه کیفی عالی، درجه ۱، درجه ۲ و درجه ۳ تقسیم‌بندی گردید.

جدول ۳- مقایسه صحت دو الگوریتم دودویی و RGB در تعیین درصد صدمات سطحی.

Table 3- Binary and RGB algorithms comparison for surface defect detection.

| Treatments تیمار | 0 | 28 | | |
|---------------------|---|---|---|---|
| | روز ۰ | روز ۲۸ | | |
| | RGB algorithms accuracy (%) صحت الگوریتم RGB (%) | Binary algorithms accuracy (%) صحت الگوریتم دودویی (%) | RGB algorithms accuracy (%) صحت الگوریتم RGB (%) | Binary algorithms accuracy (%) صحت الگوریتم دودویی (%) |
| 1 | 95.97 | 97.24 | 97.13 | 98.34 |
| 2 | 96.23 | 98.16 | 98.28 | 97.65 |
| 3 | 98.11 | 98.47 | 97.21 | 99.08 |
| 4 | 96.23 | 97.39 | 98.67 | 98.21 |
| 5 | 98.39 | 97.21 | 95.43 | 98.68 |
| 6 | 97.47 | 96.91 | 96.71 | 97.98 |
| 7 | 96.51 | 98.47 | 97.83 | 98.43 |
| 8 | 98.22 | 99.05 | 98.31 | 96.78 |
| 9 | 97.11 | 98.56 | 97.29 | 97.45 |
| 10 | 98.49 | 99.15 | 97.11 | 98.33 |
| Mean میانگین | 98.10±0.96 ^a | 97.39±0.83 ^a | 98.06±1.09 ^a | 97.27±0.96 ^a |

* میانگین‌ها با حروف انگلیسی متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار ($p<0.05$) می‌باشند.



شکل ۶- میزان صدمات سطحی اندازه‌گیری شده توسط الگوریتم دودویی و RGB برای تصویر چند حبه انگور و مقایسه آن با مقدار واقعی صدمات سطحی اندازه‌گیری شده به صورت دستی.

Fig. 6. Measured surface defects (%) by binary and RGB algorithms, and comparing with actual values.

جدول ۴- ماتریکس درهم‌ریختگی برای نتایج الگوریتم دودویی در درجه‌بندی انگور.

Table 4. The confusion matrix for the results of the binary algorithm in grape grading.

| | Grade 1 درجه ۱ | Grade 2 درجه ۲ | Grade 3 درجه ۳ | Grade 4 درجه ۴ | Grading accuracy صحت درجه‌بندی |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Grade 1 | 44 | 2 | 0 | 0 | 95.65 |
| Grade 2 | 1 | 50 | 1 | 0 | 96.11 |
| Grade 3 | 0 | 1 | 38 | 1 | 95 |
| Grade 4 | 0 | 0 | 1 | 61 | 98.39 |
| Mean Grading accuracy میانگین صحت درجه‌بندی | | | | | 96.30 |

جدول ۵- ماتریکس درهم‌ریختگی برای نتایج الگوریتم RGB در درجه‌بندی انگور.

Table 4- The confusion matrix for the results of the RGB algorithm in grape grading.

| | Grade 1 درجه ۱ | Grade 2 درجه ۲ | Grade 3 درجه ۳ | Grade 4 درجه ۴ | Grading accuracy صحت درجه‌بندی |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Grade 1 | 45 | 1 | 0 | 0 | 97.83 |
| Grade 2 | 0 | 51 | 1 | 0 | 98.08 |
| Grade 3 | 0 | 2 | 38 | 0 | 95 |
| Grade 4 | 0 | 0 | 0 | 62 | 100 |
| Mean Grading accuracy میانگین صحت درجه‌بندی | | | | | 97.73 |

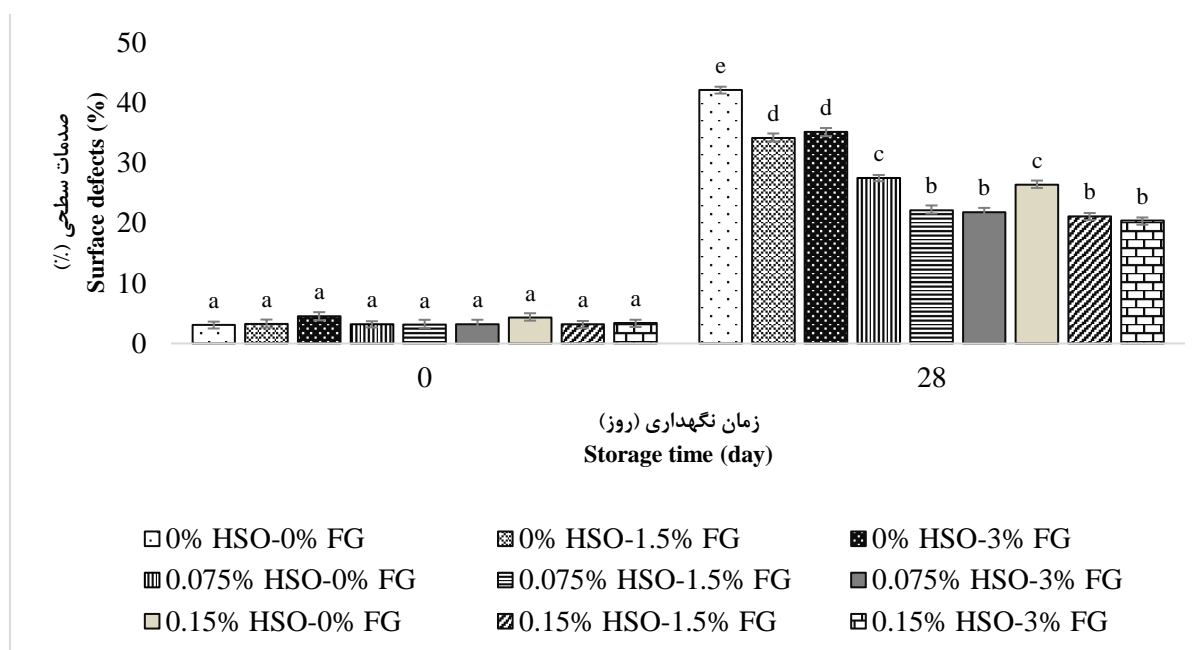
به الگوریتم دودویی (۹۶/۳۰ درصد) صحت طبقه‌بندی بالاتری داشت؛ احتمالاً این امر به سبب استفاده از سه کانال رنگی در ارزیابی و درجه‌بندی کیفی حبه انگور باشد. نتایج نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب هر دو الگوریتم در تشخیص صدمات و درجه‌بندی انگور است؛

در جدول ۴ و ۵ نتایج ماتریکس درهم‌ریختگی به همراه صحت درجه‌بندی هر کدام از الگوها نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، این الگوریتم‌ها توانستند با صحت بالایی درجه‌بندی را انجام دهند که در این میان الگوریتم RGB (۹۷/۷۳ درصد) نسبت

(Ciccarese et al., 2013; Topalovic & Mikulic-Petkovsek.) همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد تیمارهای که در آن یک سطح حداکثری یا میانی از روغن شاهدانه (۰/۰۷۵ یا ۱/۵ درصد) با یک سطح حداکثری یا میانی از صمغ فارسی (۱/۵ یا ۳ درصد) حضور دارد، سبب کاهش سرعت ایجاد عیوب سطحی گردیده است. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت روغن شاهدانه میزان صدمات سطحی کاهش یافت. افزایش میزان روغن شاهدانه باعث کاهش نفوذپذیری به بخار آب و ایجاد خواص ضد میکروبی در پوشش می‌گردد (Salarnia et al., 2018) که این امر سبب کاهش تغییرات فیزیکی و شیمیایی و فعالیت میکروبی و در نتیجه کاهش ایجاد صدمات و عیوب سطحی می‌شود. این تاثیر در تغییر سطح روغن از صفر به ۰/۰۷۵ درصد بیشتر است و بین تیمارهای ۰/۰۷۵ و ۰/۱۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($p < 0/05$) که احتمالاً به سبب افزایش نفوذپذیری به اکسیژن پوشش با افزایش بیشتر روغن شاهدانه باشد (Salarnia et al., 2018).

الگوریتمی مشابه توسط Golzarian و همکاران (۲۰۱۷) برای درجه‌بندی انبه بر اساس صدمات سطحی توسعه یافت که توانست با دقت ۹۰ درصد (بر مبنای کانال سبز) درجه‌بندی را انجام دهد (Golzarian et al., 2017). نتایج حاصل از درجه‌بندی سیب (Pordarbani et al., 2009)، زیتون (Hassan & Nashat, 2019) و انبه (Sahu & Potdar, 2017) نشان داد که سیستم پردازش تصویر و صحت بالای قادر به تشخیص عیوب و صدمات سطحی و درجه‌بندی بر اساس آن است.

تاثیر پوشش‌دهی با تیمارهای مختلف بر میزان صدمات سطحی طی نگهداری انگور
نتایج تغییرات سطحی انگور نشان داد که صدمات و عیوب سطحی با افزایش زمان نگهداری از روز صفر تا روز ۲۸ به‌طور معنی‌داری ($p < 0/05$) افزایش یافت (شکل ۷). این تغییرات عمدتاً به سبب تغییرات فیزیکی و شیمیایی طی نگهداری و نیز فعالیت میکروبی سطحی است



شکل ۷- میانگین درصد صدمات سطحی حبه انگور پوشش‌دار شده با تیمارهای مختلف در روزهای صفر و ۲۸.

Fig. 7. Mean surface defects of grape after day of 0 and 28.

نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر اندازه‌گیری صدمات سطحی انگور تحت تیمارهای مختلف از طریق پردازش تصویر و درجه‌بندی کیفی آن بود. نتایج نشان داد که الگوریتم‌های ایجاد شده قادر به محاسبه میزان صدمات سطحی با صحت بالای ۹۷ درصد بودند و این در حالی است که تفاوت معنی‌داری در قدرت تشخیص دو الگوریتم وجود نداشت

افزایش غلظت صمغ فارسی نیز نتایج مشابهی داشت (شکل ۷). با افزایش غلظت صمغ به دلیل خصوصیات چسبندگی خوب صمغ فارسی و ایجاد یک لایه نسبتاً نفوذناپذیر در برابر اکسیژن (Joukar et al., 2017; Shahbazi & Shavisi, 2020) سرعت ایجاد تغییرات فیزیکی و شیمیایی و فعالیت‌های میکروبی کاهش یافت و در نتیجه میزان صدمات سطحی نیز به‌طور معنی‌داری کمتر بود ($p < 0/05$).

تمشک‌ها می‌توان در آینده این الگوریتم برای دسته از میوه‌ها هم مورد بررسی قرار داده شود.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر حاصل از پروژه کارشناسی و طرح پژوهشی مصوب گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه زنجان با عنوان "استفاده از سامانه‌های میکروامولسیون و نانوامولسیون حاوی صمغ فارسی و روغن شاهدانه برای نگهداری انگور (بهینه‌سازی، مدل‌سازی و پردازش تصویر)" مورخ ۱۳۹۸/۰۷/۱۵ می‌باشد. از دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان که با فراهم آوردن امکانات تحقیق، ما را یاری نمودند، سپاسگزاری می‌نمایم.

($p < 0.05$). اگرچه قدرت طبقه‌بندی گوریتم RGB (۹۷/۷۳ درصد) نسبت به الگوریتم دودویی (۹۶/۳۰ درصد) از نظر آماری بیشتر بود ($p < 0.05$) ولی نتایج حاصل از ماتریکس درهم‌ریختگی نشان داد که هر دو روش قادر به درجه‌بندی انگور با صحت بالایی بودند. نتایج حاصل از تاثیر تیمار پوشش‌دهی بر کاهش صدمات سطحی میوه انگور حاکی از این بود که با افزایش غلظت روغن شاهدانه (به دلیل اثرات ضد میکروبی آن) و صمغ فارسی (به دلایل تشکیل پوشش ضخیم‌تر در سطح میوه) از سرعت ایجاد صدمات و عیوب سطحی طی نگهداری کاسته می‌شود. قدرت تشخیصی بالای الگوریتم ایجاد شده این امکان را برای استفاده صنعتی آن در سرخانه برای فرایندهای تشخیصی، کنترل و درجه‌بندی فراهم می‌آورد و با توجه به شباهت خانواده برخی

منابع

1. Antoniou, J., Liu, F., Majeed, H., & Zhong, F. (2015). Characterization of tara gum edible films incorporated with bulk chitosan and chitosan nanoparticles: A comparative study. *Food Hydrocolloids*, 44, 309-319. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.09.023>
2. Bhargava, A., & Bansal, A. (2020). Automatic Detection and Grading of Multiple Fruits by Machine Learning. *Food Analytical Methods*, 13(3), 751-761. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01690-6>
3. Cazon, P., Velazquez, G., Ramirez, J. A., & Vazquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68 136-148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009>
4. Chithra, P., & Henila, M. (2017). Defect identification in the fruit apple using k-means color image segmentation algorithm. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(8).
5. Ciccarese, A., Stellacci, A. M., Gentile, G., & Rubino, P. (2013). Effectiveness of pre-and post-veraison calcium applications to control decay and maintain table grape fruit quality during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 75, 135-141. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.08.010>
6. Cozmuta, A. M., Turila, A., Apjok, R., Ciocian, A., Cozmuta, L. M., Peter, A., Nicula, C., Galić, N., & Benković, T. (2015). Preparation and characterization of improved gelatin films incorporating hemp and sage oils. *Food Hydrocolloids*, 49, 144-155. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.022>
7. Dehghani, P., Hosseini, S. M. H., Golmakani, M.-T., Majdinasab, M., & Esteghlal, S. (2018). Shelf-life extension of refrigerated rainbow trout filets using total Farsi gum-based coatings containing clove and thyme essential oils emulsions. *Food Hydrocolloids*, 77, 677-688. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.009>
8. Dorj, U.-O., Lee, M., & Yun, S.-s. (2017). An yield estimation in citrus orchards via fruit detection and counting using image processing. *Computers and electronics in agriculture*, 140, 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.019>
9. Fakhouri, F. M., Martelli, S. M., Caon, T., Velasco, J. I., & Mei, L. H. I. (2015). Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.015>
10. Galus, S., & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 273-283. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.011>
11. Ganjloo, A., Zandi, M., Bimakr, M., & Monajem, S. (2020). Ripening Stages Control of Cherry Tomato Coated with Aloe Vera Gel using Artificial Vision System (In persian). *Food Science and Technology*, 17(105), 135-149. DOI: [10.52547/fsct.17.105.135](https://doi.org/10.52547/fsct.17.105.135)
12. Golzarian, M., Shamili, M., Doosti Irani, O., & Azarkish, P. (2017). Detection of surface defects caused by mechanical damages on Mangos of Kelk-e Sorkh variety with the use of color image processing. *Iranian Food Science and Technology Research Journal (IFSTRJ)*, 12(5), 652-662.
13. Hadian, M., Hosseini, S. M. H., Farahnaky, A., Mesbahi, G. R., Yousefi, G. H., & Saboury, A. A. (2016). Isothermal titration calorimetric and spectroscopic studies of β -lactoglobulin-water-soluble fraction of Persian gum interaction in aqueous solution. *Food Hydrocolloids*, 55, 108-118. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.006>
14. Hashim, N., Adebayo, S. E., Abdan, K., & Hanafi, M. (2018). Comparative study of transform-based image texture analysis for the evaluation of banana quality using an optical backscattering system. *Postharvest Biology and Technology*, 135, 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.021>

15. Hassan, N. M. H., & Nashat, A. A. (2019). New effective techniques for automatic detection and classification of external olive fruits defects based on image processing techniques. *Multidimensional Systems and Signal Processing*, 30(2), 571-589. <https://doi.org/10.1007/s11045-018-0573-5>
16. Joukar, F., Hosseini, S. M. H., Moosavi-Nasab, M., Mesbahi, G. R., & Behzadnia, A. (2017). Effect of Farsi gum-based antimicrobial adhesive coatings on the refrigeration shelf life of rainbow trout fillets. *LWT*, 80, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.074>
17. Khalesi, H., Emadzadeh, B., Kadkhodae, R., & Fang, Y. (2016). Whey protein isolate-Persian gum interaction at neutral pH. *Food Hydrocolloids*, 59, 45-49. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.10.017>
18. Khan, M. A., Lali, M. I. U., Sharif, M., Javed, K., Aurangzeb, K., Haider, S. I., Altamrah, A. S., & Akram, T. (2019). An optimized method for segmentation and classification of apple diseases based on strong correlation and genetic algorithm based feature selection. *IEEE Access*, 7, 46261-46277. DOI: [10.1109/ACCESS.2019.2908040](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2908040)
19. Khorram, F., Ramezani, A., & Hosseini, S. M. H. (2017). Shellac, gelatin and Persian gum as alternative coating for orange fruit. *Scientia Horticulturae*, 225, 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.045>
20. Leizer, C., Ribnicky, D., Poulev, A., Dushenkov, S., & Raskin, I. (2000). The composition of hemp seed oil and its potential as an important source of nutrition. *Journal of Nutraceuticals, functional & medical foods*, 2(4), 35-53. https://doi.org/10.1300/J133v02n04_04
21. Moallem, P., Serajoddin, A., & Pourghassem, H. (2017). Computer vision-based apple grading for golden delicious apples based on surface features. *Information processing in agriculture*, 4(1), 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.10.003>
22. Pordarbani, R., Gasemzadeh, H. R., Golzadeh, A. A., & Behfar, H. (2009). Feasibility Study of Apple Quality Grading Using Image Processing. *Journal of Food Research*, 19(1), 75-85.
23. Rachmawati, E., Supriana, I., & Khodra, M. L. (2017, September). Toward a new approach in fruit recognition using hybrid RGBD features and fruit hierarchy property. In *2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)* (pp. 1-6). IEEE.
24. Sahu, D., & Potdar, R. M. (2017). Defect identification and maturity detection of mango fruits using image analysis. *American Journal of Artificial Intelligence*, 1(1), 5-14.
25. Sahu, U. K., & Patra, D. (2015, December). Shape features for image-based servo-control using image moments. In *2015 Annual IEEE India Conference (INDICON)* (pp. 1-6). IEEE.
26. Salarnia, M., Ganjloo, A., Emam-Djomeh, Z., & Bimakr, M. (2018). Physical, Barrier and Antimicrobial Properties of Sodium Caseinate-based Edible Film Containing Hemp Seed oil (in persian). *journal of Innovative Food Technologies (JIIFT)*, 5(3), 485-497. DOI: [10.22104/jift.2018.2607.1617](https://doi.org/10.22104/jift.2018.2607.1617)
27. Salehi, F. (2019). Characterization of new biodegradable edible films and coatings based on seeds gum: A review. *Journal of Packaging Technology and Research*, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.011>
28. Salehi, F. (2020). Effect of coatings made by new hydrocolloids on the oil uptake during deep-fat frying: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, e14879. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14879>
29. Shahbazi, Y., & Shavisi, N. (2020). Application of active Kurdi gum and Farsi gum-based coatings in banana fruits. *Journal of Food Science and Technology*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04462-x>
30. Tao, Y., & Zhou, J. (2017). Automatic apple recognition based on the fusion of color and 3D feature for robotic fruit picking. *Computers and electronics in agriculture*, 142, 388-396. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.019>
31. Topalovic, A., & Mikulic-Petkovsek, M. (2010). Changes in sugars, organic acids and phenolics of grape berries of cultivar Cardinal during ripening. *J Food Agric Environ*, 8(3&4), 223-227.
32. Vargas, M., & González-Martínez, C. (2010). Recent patents on food applications of chitosan. *Recent patents on food, nutrition & agriculture*, 2(2), 121-128.
33. Wu, D., & Sun, D.-W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 29(1), 5-20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004>



Full Research Paper

Drying kinetics of camel milk cream foam using foam mat drying and study its effect on the structure and color of the product

Morteza Kashaninejad¹, Seyed Mohammad Ali Razavi^{2*} , Mohammad Reza Salahi¹

Received: 2020.10.23

Accepted: 2021.01.16

How to cite this article:

Kashaninejad, M., Razavi, S. M. A., Salahi, M. R., (2022). Drying kinetics of camel milk cream foam using foam mat drying and study its effect on the structure and color of the product. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18(1), 65-79.

Abstract

Introduction: One of the products that its production has not been investigated well and is an imported product is cream powder. Foam mat drying is a widespread technique to dehydrate liquid or semi-liquid foods with high viscosity, adhesion and high sugar content, which are usually difficult to dry. Evaluating moisture content over time is the first indication of how the drying process is performed and can be used as a tool to compare the drying behavior of food. The rate of drying, which is expressed as a function of time or moisture content, is also a very important parameter that helps to understand drying properties of a material. Color can also indicate chemical changes in food during the thermal process such as browning and caramelization. Therefore, since in the drying industry, process time, product quality, optimization and equipment design are directly affected by the rate of drying of food, hence, in this study, in the process of drying the camel milk cream by the foam mat drying method, drying operation at temperatures of 45, 60 and 75 °C and thicknesses of 1, 3 and 5 mm was performed in a non-continuous cabinet dryer to evaluate the kinetics of drying, structure and color of the dried foam.

Materials and Methods: Camel milk cream was mixed with carboxymethyl cellulose (0.1%), cress seed gum (0.1%) and 80% whey protein concentrate (5%) at 25 °C. After pasteurization, the samples were stirred with a mixer at a maximum speed of 1500 rpm (5 minutes) for proper aeration. The foam samples were poured into a plate in a thin layer with thicknesses of 1, 3 and 5 mm and then dried in a dryer at temperatures of 45, 60 and 75 °C until a constant moisture was reached. The process treatments were performed in a completely randomized central composite design (CCD) (5 replications at the center point) for 2 variables at three levels. The effective diffusion coefficient was calculated based on the second Fick's law of diffusion. Then, using Arrhenius equation, which shows the relationship between temperature and effective diffusion coefficient, activation energy was also calculated. After the drying stage, in order to investigate the changes in moisture during the drying, by determining MR, we have used some experimental models that were previously used for drying agricultural products, to fit the experimental data using the statistical software MATLAB 2016.

Results and Discussion: The results showed that increasing the temperature from 45 to 75 °C reduced the drying time of the samples by almost 50%. Reducing the thickness from 3 to 1 mm led to an 80% reduction in drying time of the samples. The overall effective diffusion coefficient of the tested samples varied between 7.09×10^{-10} and 8.11×10^{-9} m²/s. The increase in the temperature led to an increase in the effective diffusion coefficient of the samples. The activation energy of the samples varied between 25.59 and 38.22 kJ/mol, and comparison of the means showed that the activation energy of the samples was also increased by increasing the foam thickness. Totally, 17 models were evaluated to investigate the drying kinetics of the samples and in all cases of foam drying, page and Midilli models with R² values above than 0.99 and the lowest values of RMSE indicate the best fit with the experimental data among the 17 fitted model. Examining the digital images of the samples also showed that at low temperatures, the structure of the dried foams was

1 and 2. PhD student and Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(* Corresponding Author's Email: s.razavi@um.ac.ir)

DOI: [10.22067/IFSTRJ.2021.40190.0](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.2021.40190.0)

smooth and it became more uneven and porous as a result of increasing the temperature. Also, the trend of changes in the parameters of the gray level co-occurrence matrix (GLCM) (energy, correlation, and homogeneity) of the samples was almost the same with the changes in temperature and thickness so that, the increase in the drying temperature and a decrease in the thickness of the samples led to a decrease in these parameters. Increasing the foam thickness at high temperatures led to a decrease in the browning index and at low temperatures, led to an increase in the browning index of the samples.

Keywords: Browning index; Camel milk cream; Drying kinetics; Foam mat drying; Structure

مقاله علمی-پژوهشی

سینتیک خشک کردن کف خامه شیر شتر به روش کف‌پوشی و بررسی تاثیر آن بر ساختار و رنگ محصول

مرتضی کاشانی نژاد^۱ - سید محمدعلی رضوی^{۲*} - محمدرضا صلاحی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷

چکیده

در این پژوهش، سینتیک خشک کردن، ساختار و رنگ کف خشک شده در فرآیند خشک کردن خامه شیر شتر به روش کف‌پوشی ارزیابی شد. بدین منظور فرآیند خشک کردن در ۳ دمای ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد و در ۳ ضخامت ۱، ۳ و ۵ میلی‌متر در یک خشک‌کن کابینتی غیرمداوم در قالب طرح مرکب مرکزی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش دما از ۴۵ به ۷۵ درجه سانتی‌گراد و کاهش ضخامت از ۳ به ۱ میلی‌متر به ترتیب منجر به کاهش ۵۰ و ۸۰ درصدی در زمان خشک شدن نمونه‌ها شد. ضریب نفوذ موثر کلی (D_{eff}) نمونه‌های مورد آزمون نیز بین 10^{-10} تا $8/11 \times 10^{-9}$ متر مربع بر ثانیه متغیر بود و افزایش دما منجر به افزایش معنی‌دار (سطح ۹۵ درصد) ضریب نفوذ موثر نمونه‌ها شد. انرژی فعال‌سازی (E_a) نمونه‌های مورد آزمون در دامنه ۲۵/۵۹ تا ۳۸/۲۲ کیلوژول بر مول به دست آمد و نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش ضخامت کف، انرژی فعال‌سازی نمونه‌ها نیز افزایش یافت. ۸ مدل نیز برای بررسی سینتیک خشک شدن نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت که در تمام حالت‌های خشک شدن کف از نظر دما و ضخامت، مدل‌های پیچ و مدلی با مقدار R^2 بالای ۰/۹۹ و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا دارای بهترین برازش با داده‌های آزمایشی بودند. بررسی تصاویر دیجیتالی نمونه‌ها نشان داد که در دماهای پایین، ساختار کف‌های خشک شده حالتی صاف داشتند و با افزایش دما، ساختار حالت غیرمسطح و متخلخل‌تری پیدا کردند. همچنین روند تغییرات پارامترهای ماتریس هم‌زمانی سطح خاکستری (GLCM) (انرژی، همبستگی و یکنواختی) نمونه‌ها با تغییرات دما و ضخامت تقریباً یکسان بود به طوری که افزایش دمای خشک شدن و کاهش ضخامت نمونه‌ها منجر به کاهش معنی‌دار (سطح ۹۵ درصد) این پارامترها شد. افزایش ضخامت کف نیز در دماهای بالا منجر به کاهش شاخص قهوه‌ای شدن و در دماهای پایین منجر به افزایش شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌ها گردید.

واژه‌های کلیدی: خامه شیر شتر، خشک کردن کف‌پوشی، ساختار، سینتیک، ضریب نفوذ موثر

مقدمه

اسیدهای چرب غیراشباع در شیر شتر (۴۳/۱ درصد) در مقایسه با شیر گاو (۳۸/۸ درصد) مفیدتر است. علاوه بر این، شیر شتر حاوی مقادیر قابل توجهی از اسیدهای چرب ضروری $C_{18:2n-6}$ می‌باشد (Alkanhal, 2010). پودر خامه فرآورده‌ای وارداتی است که تا به امروز تحقیقات زیادی در زمینه تولید آن صورت نگرفته است. از موارد استفاده پودر خامه می‌توان به کاربرد آن در صنعت شیرینی پزی و نانوبی، مصارف خانگی و دسرها، تولید بستنی، تولید خامه بازساخته^۲، استفاده در استاندارد کردن چربی شیر و تولید پنیرهای خامه‌ای اشاره کرد (Hall & Hedrick, 1966). طبق تعریف (Jisiri, 2005)، پودر خامه فرآورده ای از شیر است که می‌تواند در نتیجه حذف آب، از شیر یا خامه به دست آید. پودر خامه باید دارای رنگ سفید تا زرد روشن، بافت یکنواخت بدون کلوخه و تا حد امکان بدون ذرات سوخته باشد. بنابه تعریف استاندارد

شتر از جمله دام‌هایی است که به‌عنوان یکی از منابع مهم تولید شیر در کشور های منطق گرم و خشک محسوب می‌گردد. بخش عمده ای از این شیر به دلیل وجود مشکلات در تولید فرآورده‌های تخمیری چربی آن جداسازی شده و خشک می‌شود. بنابراین استفاده از چربی شیر شتر به‌عنوان یک محصول جانبی بسیار حائز اهمیت است. بررسی الگوی کلی اسیدهای چرب شیر شتر در مقایسه با سایر گونه‌ها مانند گاو، بز و گوسفند نشان می‌دهد که اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (C_4 - C_{12}) به میزان بسیار کمتری در شیر شتر یافت می‌شوند. اما غلظت اسیدهای چرب $C_{14:0}$ ، $C_{16:0}$ و $C_{18:0}$ نسبتاً زیاد و میزان $C_{16:1}$ و نسبت اسیدهای چرب غیراشباع در شیر شتر بیشتر از شیر سایر گونه‌ها است (Hassan et al., 1987). از نظر متابولیسم بدن، وجود مقدار بیشتر

DOI: [10.22067/IFSTRJ.2021.40190.0](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.2021.40190.0)

3 Critical moisture content Vacuum drying, spray drying and freeze drying

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

s.razavi@um.ac.ir

* ایمیل نویسنده مسئول:

شیوه مناسبی برای کنترل زمان و شرایط خشک کردن باشد و هدف از فرآیند مدل‌سازی، برازش داده‌های آزمایشگاهی با مدل‌های تجربی و انتخاب مناسب‌ترین مدل جهت بررسی روند تغییرات ماده غذایی طی فرآیند خشک کردن، طراحی خشک‌کن‌های صنعتی مناسب، شبیه‌سازی و یا بهبود سیستم‌های مورد استفاده می‌باشد (Inyang et al., 2018). تغییرات رنگ هم می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات شیمیایی در مواد غذایی در حین فرآیند حرارتی (مانند قهوه‌ای شدن و کاراملیزاسیون) باشد (DeMan et al., 1999). این پارامتر از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی پودر است که به‌طور مستقیم بیانگر شرایط اعمال شده به هنگام خشک کردن و کیفیت محصول نهایی می‌باشد. ساختار یک ماده نیز تعیین کننده خواص عملکردی آن بوده و تغییر خواص ماکروسکوپی مواد تحت تاثیر تغییر در ساختار میکروسکوپی می‌باشد به طوری که وجود ساختار متخلخل سبب افزایش سرعت خروج رطوبت از ماده غذایی طی فرآیند خشک کردن می‌شود. لذا بررسی ریز ساختار نیز می‌تواند به درک درستی از مکانیسم‌ها و تغییرات در خواص کیفی به خصوص تغییرات در بافت ماده غذایی کمک نماید (Xiao et al., 2009).

در یک جمع‌بندی می‌توان بیان کرد که اگرچه تحقیقات مختلفی روی فرآیند سینتیک خشک کردن، ساختار و رنگ در فرآیند خشک کردن برخی از مواد غذایی انجام شده است اما متأسفانه اطلاعاتی در مورد بررسی این پارامترها در فرآیند خشک کردن خامه شیر شتر به روش کف پوشی موجود نیست. از آنجایی که در صنعت خشک کردن، زمان انجام فرآیند، کیفیت محصول، بهینه‌سازی و طراحی تجهیزات مستقیماً تحت تاثیر سرعت خشک کردن مواد غذایی قرار دارند (Chen & Mujumdar, 2009)، از این رو در پژوهش حاضر فرآیند خشک کردن خامه شیر شتر به روش کف‌پوشی در دمای ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد و در ضخامت ۳ و ۵ میلی‌متر در یک خشک‌کن کابینتی غیرمداوم در سه تکرار صورت پذیرفت و فرآیند سینتیک خشک کردن، ساختار و رنگ کف خشک شده مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه کف خامه شتر

شیر شتر از بازار محلی^۴ مشهد، ایران تهیه شد و چربی آن پس از پیش گرم شدن (تا دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد)، توسط سپراتور جدا شد. در مرحله بعد، نمونه‌های خامه با ۳۷ درصد چربی با استفاده از مخلوط شیر پس چرخ^۵ و چربی تولیدی بر اساس مربع پیرسون تهیه شد. خامه تهیه شده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به همراه کربوکسی متیل سلولز (۰/۱ درصد)، صمغ دانه شاهی (۰/۱ درصد) و کنسانتره پروتئینی آب

بین المللی (Codex, 1999)، میزان آب در پودر خامه نباید بیش از ۲٪ باشد. در تعاریف موجود در منابع معتبر پودر خامه، فرآورده‌ای است که درصد چربی آن بیش از درصد چربی پودر شیر خشک کامل باشد (Carić, 1994; Hall & Hedrick, 1966). مزایای عمده پودر خامه عبارتند از کاهش حجم و صرفه جویی در هزینه انتقال و انبارداری، قابلیت نگهداری بالاتر نسبت به خامه تازه و امکان استفاده به‌جای شیر خشک پرچرب.

خشک کردن تحت خلاء^۱، خشک کردن پاششی^۲ و خشک کردن انجمادی^۳ از روش‌های خشک کردن ماده غذایی می‌باشند که موجب خشک کردن ماده غذایی در زمان کوتاه و با کیفیت و ارزش تغذیه‌ای بالا می‌شوند. هزینه بالا تجهیزات و عملیات خشک کردن از معایب این روش‌ها هستند (Guiné, 2018). ضمن اینکه یکی از مشکلات خشک کردن پاششی خامه مربوط به زمان منتقل کردن پودر گرم از محفظه خشک‌کن به بیرون است، زیرا با پارگی غشای گلبول‌های چربی در دمای بالای خشک‌کن، چربی به حالت مایع به سطح پودر مهاجرت می‌کند و باعث کیک شدن پودر می‌گردد و در نهایت انتقال و جریان پذیری پودر خامه را با محدودیت روبه رو می‌نماید (O'Callaghan & Hogan, 2013). خشک کردن کف پوشی روش مناسبی برای خشک کردن مواد غذایی مایع یا شبه مایع با ویسکوزیته بالا، چسبنده و حاوی قند بالا که به سختی خشک می‌شوند، می‌باشد (Labelle, 1984). در حالت کفی، به دلیل ساختار متخلخل ترکیبات، انتقال جرم به سرعت انجام می‌شود که این امر منجر به کاهش زمان خشک شدن و حفظ کیفیت و ارزش تغذیه‌ای محصول خشک شده می‌گردد (Brygidyr et al., 1977). در این روش، مواد غذایی مایع و شبه مایع با افزودن ترکیبات کف‌زا و پایدارکننده و وارد کردن هوا توسط هم‌زدن به شکل کف پایدار در آمده و سپس با استفاده از هوای گرم در فشار اتمسفری خشک شده و به شکل ورقه نازک متخلخل در می‌آیند. از جمله مزایای این روش می‌توان به آسان بودن، هزینه پایین، امکان خشک کردن نسبتاً سریع در دمای پایین و مناسب بودن آن برای خشک کردن مواد غذایی حساس به حرارت اشاره کرد (Labelle, 1984). ارزیابی محتوای رطوبتی در طی زمان، اولین نشانه از چگونگی انجام فرآیند خشک کردن می‌باشد و می‌تواند به‌عنوان یک ابزار جهت مقایسه رفتار خشک شدن مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد. سرعت خشک شدن که به‌عنوان تابعی از زمان یا محتوای رطوبتی بیان می‌شود، نیز پارامتر بسیار مهمی است که به درک ویژگی‌های خشک شدن یک ماده کمک می‌کند. نفوذ رطوبت در مواد غذایی با اشکال معین را می‌توان تحت شرایط مشخصی از سرعت خشک شدن تخمین زد. مدل‌سازی سینتیک خشک کردن نیز روابط بین متغیرهای زمان و رطوبت را ارائه می‌دهد که می‌تواند

4 Local market

5 Skim

1 Vacuum drying

2 Spray drying

3 Freeze drying

با ضخامت‌های ۱، ۳ و ۵ میلی‌متر ریخته شدند و سپس درون خشک‌کن با دماهای ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت ثابت خشک شدند. در مرحله بعد نمونه‌ها از خشک‌کن خارج شدند و لایه خشک شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تیمارهای فرآیند نیز به روش کاملاً تصادفی در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD) (۵ تکرار در نقطه مرکزی) برای ۲ متغیر (ضخامت کف و دمای خشک‌کردن) و در سه سطح انجام شد به صورتی که تعداد کل تیمارها ۱۳ تیمار بود (جدول ۱).

پنیر ۸۰ درصد (۵ درصد) مخلوط شدند. نمونه‌ها در دمای ۸۰ درجه به مدت ۵ دقیقه در حمام آب پاستوریزه شدند و سپس در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد توسط همزنایزر اولتراسونیک (IKA، آلمان) همزنیزه گردیدند و در نهایت به منظور آبیگری کامل به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴-۶ درجه سانتی‌گراد در یخچال قرار گرفتند. روز بعد، نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به وسیله همزن با حداکثر دور ۱۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه همزده شدند تا هوادهی مناسب صورت پذیرفت.

خشک کردن کف خامه شیر شتر

خشک کردن نمونه‌ها توسط خشک‌کن غیرمداوم کابینتی با جریان هوای داغ انجام شد. نمونه‌های کف درون پلیت به صورت لایه نازک

جدول ۱- سطوح متغیرهای مستقل طرح مرکب مرکزی نمونه‌های کف خامه شیر شتر خشک شده به روش کفپوشی

Table 1- Levels of independent variables for central composite design of camel milk cream foam using foam mat drying

| Drying temperature (°C) دمای خشک‌کردن (درجه سانتی‌گراد) | Foam thickness (mm) ضخامت کف (میلی‌متر) | Treatment تیمار |
|--|--|--------------------|
| 75 | 2 | 1 |
| 45 | 3 | 2 |
| 75 | 3 | 3 |
| 75 | 1 | 4 |
| 60 | 3 | 5 |
| 60 | 2 | 6 |
| 60 | 2 | 7 |
| 60 | 1 | 8 |
| 45 | 2 | 9 |
| 45 | 1 | 10 |
| 60 | 2 | 11 |
| 60 | 2 | 12 |
| 60 | 2 | 13 |

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left(-\frac{(2n-1)^2 \mu^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (2)$$

که در این رابطه MR نسبت رطوبت، D_{eff} ضریب نفوذ موثر رطوبت (m^2/s)، L ضخامت کف (متر) و t زمان خشک کردن (ثانیه) و $n=1,2,3$ ، عدد صحیح مثبت است. با حل معادله فیک، نفوذ رطوبت را می‌توان با استفاده از رابطه ۳ محاسبه کرد (Falade & Solademi, 2010):

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{8}{\mu^2}\right) - \left(\frac{\mu^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (3)$$

با رسم نمودار $\ln(MR)$ در برابر زمان خشک کردن نیز یک خط مستقیم با شیب K (رابطه ۴) به دست می‌آید که از آن برای محاسبه ضریب نفوذ موثر استفاده می‌شود:

بررسی سینتیک خشک کردن

برای مطالعه سینتیک خشک کردن، در فواصل زمانی مشخص، نمونه‌ها از خشک‌کن خارج شدند و توسط ترازوی دیجیتال (AND.EK-300i، ژاپن) با دقت ± 0.01 گرم توزین شدند. نمونه‌ها تا رسیدن به وزن ثابت توزین شدند. جهت مدل‌سازی فرآیند خشک شدن نیز ابتدا مقدار نسبت رطوبت (MR) با استفاده از مقدار رطوبت اولیه (MR)، رطوبت تعادلی (M_e) و رطوبت در هر لحظه (M) طبق رابطه ۱ محاسبه شد (Ertekin & Yaldiz, 2004).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} \quad (1)$$

محاسبه ضریب نفوذ موثر

ضریب نفوذ موثر بر مبنای قانون دوم فیک^۱ برای تیغه نامحدود با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Liu et al., 2009).

MR، مدل‌های ارائه شده در این جدول جهت برازش داده‌های تجربی مورد استفاده قرار گرفتند. برای برازش داده‌ها روش رگرسیون غیر خطی به کار گرفته شد و به کمک نرم‌افزار Matlab 2016، داده‌ها با مدل - های مذکور برازش داده شدند. برای سنجش کیفیت مدل‌های برازش داده شده، پارامترهای آماری شامل ضریب تبیین (R^2) (رابطه ۶) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۷) مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت مدلی انتخاب گردید که دارای بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار RMSE باشد (Akpınar, 2006):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{i,Pre} - MR_{i,Exp})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{i,Exp} - MR_{i,Pre\ mean})^2} \quad (6)$$

$$RMSE = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{i,Pre} - MR_{i,Exp}) \right)^{1/2} \quad (7)$$

که در این روابط $MR_{i,exp}$ نسبت رطوبت در i امین اندازه‌گیری، $MR_{i,pre}$ نسبت رطوبت پیش‌بینی شده توسط مدل در i امین اندازه‌گیری، N تعداد مشاهدات (داده‌ها) و Z تعداد ضرایب ثابت به کار رفته در هر مدل می‌باشد.

جدول ۲- مدل‌های ریاضی مورد استفاده برای مدل‌سازی سینتیک خشک شدن خامه شیر شتر
Table 2- Mathematical models for modeling of drying kinetics of camel milk cream

| References مرجع | Model مدل | Name | NO. |
|-------------------------------|---|--|-----|
| (Lemus-Mondaca et al., 2009) | $MR = \exp(-kt)$ | Newton نیوتن | 1 |
| (Sun et al., 2007) | $MR = \exp(-kt^n)$ | Page پیج | 2 |
| (Akgun & Doymaz, 2005) | $MR = a \exp(-kt)$ | Henderson and Pabis هندرسون و پابیس | 3 |
| (Zielinska & Markowski, 2010) | $MR = a \exp(-bt) + c \exp(-dt)$ | Two-term دو جمله‌ای | 4 |
| (Liu et al., 2009) | $MR = a \exp(-kt) + c$ | Logarithmic لگاریتمی | 5 |
| (Menges & Ertekin, 2006) | $MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$ | Approximation of diffusion تقریب انتشار | 6 |
| (Vega-Gálvez et al., 2012) | $MR = a \exp(-kt^n) + bt$ | Midilli میدیلی | 7 |
| (Babalıs et al., 2006) | $MR = a - b \exp(-kt^n)$ | Weibull distribution توزیع ویبل | 8 |

دیجیتال (Canon PowerShot A550) متصل به رایانه صورت گرفت. دوربین در فاصله ۲۰ سانتی متری نمونه‌ها و موازی با آن روی پایه ثابت قرار گرفت. کلیه تصاویر به فرمت JPG و دارای وضوح 2500×2000 پیکسل در قالب مدل رنگی RGB بودند. به منظور حذف بخش‌های اضافه تصویر و نیز کاهش حجم کار پردازش تصویر در ابتدا برشی از تصاویر به ابعاد 500×500 با استفاده از نرم‌افزار Image J

$$K = \frac{\mu^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (4)$$

محاسبه انرژی فعال‌سازی

در این تحقیق، با استفاده از معادله آرنیوس که رابطه بین دما و ضریب نفوذ مؤثر (معادله ۵) را نشان می‌دهد، انرژی فعال‌سازی محاسبه شد (Lopez et al., 2000):

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (5)$$

که در آن D_0 فاکتور آرنیوس (m^2/s)، E_a انرژی فعال‌سازی برای نفوذ رطوبت (kJ/mol)، R ثابت جهانی گازهای ایده‌آل ($kJ/k.mol$) و T دمای مطلق بر حسب کلونین (K) می‌باشد. با رسم $\ln D_{eff}$ در برابر عکس دما، انرژی فعال‌سازی را می‌توان تعیین کرد.

برازش منحنی‌های خشک‌کردن و انتخاب بهترین مدل

در جدول ۲، مدل‌های تجربی نیوتن، پیج، هندرسون و پابیس، دو جمله‌ای، لگاریتمی، تقریب انتشار، میدیلی، توزیع ویبل جهت خشک کردن محصولات کشاورزی ارائه شده است. پس از اتمام مرحله خشک شدن، به منظور بررسی تغییرات رطوبت طی زمان خشک‌کردن، با تعیین

استخراج خصوصیات تصویر نمونه‌ها

جهت عکس‌برداری از نمونه‌ها، ۵۰ گرم از هر نمونه درون پلیت 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

نتایج و بحث

بررسی منحنی‌های خشک شدن

شکل ۱ منحنی‌های خشک شدن کف خامه شیر شتر در ضخامت های ۱، ۳ و ۵ میلی‌متر در دماهای ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. با مشاهده شکل می‌توان دریافت که با افزایش دمای خشک شدن و کاهش ضخامت کف، مدت زمان خشک شدن نمونه‌های کف کاهش پیدا کرده است، به طوری که افزایش دما از ۴۵ به ۷۵ درجه سانتی‌گراد منجر به کاهش تقریباً ۵۰ درصدی زمان خشک شدن نمونه ها شد. همچنین کاهش ضخامت از ۳ به ۱ میلی‌متر، زمان خشک شدن نمونه ها را ۸۰ درصد کاهش داد. سجادی (۱۳۹۶) نیز نشان داد که افزایش دمای خشک کردن کف پوشی نمونه های خامه شیر گاو از ۵۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد، موجب کاهش ۳۰ درصدی زمان خشک کردن نمونه ها شد. همچنین مطابق **شکل ۱**، با توجه به تغییرات شیب منحنی هر نمونه می‌توان نتیجه گرفت که سرعت خشک شدن کف خامه شیر شتر در مراحل اولیه خشک شدن در مقایسه با مراحل نهایی بالاتر است (شیب بیشتر منحنی) و خشک شدن کف غالباً در دوره سرعت نزولی انجام می‌شود.

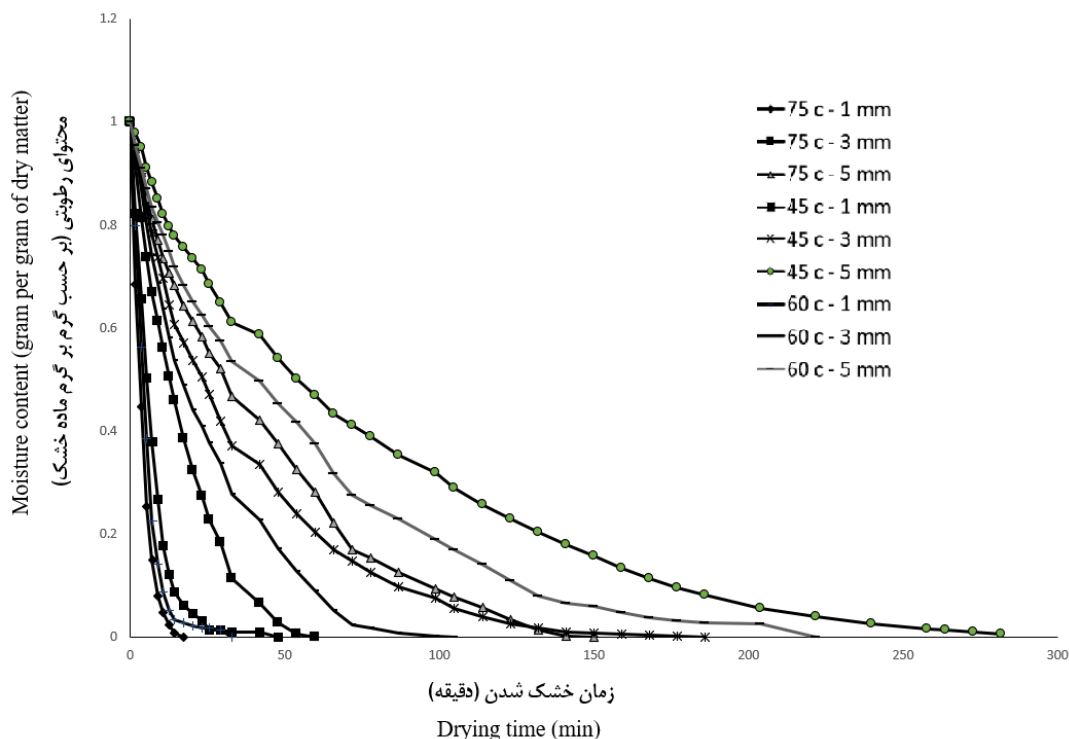
(National Institute of Health, USA) به دست آمد و سپس آنالیز تصاویر نیز با استفاده از همین نرم‌افزار صورت پذیرفت. بدین منظور ابتدا عمل آستانه‌گیری^۱ در کانال رنگی خاکستری با شدت 5 ± 95 انجام شد و سپس ویژگی‌های تصویر نظیر انرژی، همبستگی و یکنواختی مورد بررسی قرار گرفت (Razi, Mir Arab, 2014).

از مدل رنگی $L^*a^*b^*$ CIE، 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 مقادیر L^* ، a^* و b^* برای ۱۵ نمونه در دو تکرار اندازه‌گیری شد و در نهایت شاخص قهوه‌ای شدن^۲ که میزان تغییر رنگ محصول به سمت رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد، با استفاده از رابطه ۸ محاسبه شد:

$$BI = \frac{(100 - (X - 0.31))}{0.71} \quad (8)$$

که در آن X برابر است با معادله (۹):

$$X = \frac{a + 1.75L}{5.645L + a - 3.012b} \quad (9)$$



شکل ۱- تغییرات میزان رطوبت با زمان خشک کردن کف خامه شیر شتر در در دماها و ضخامت های مختلف

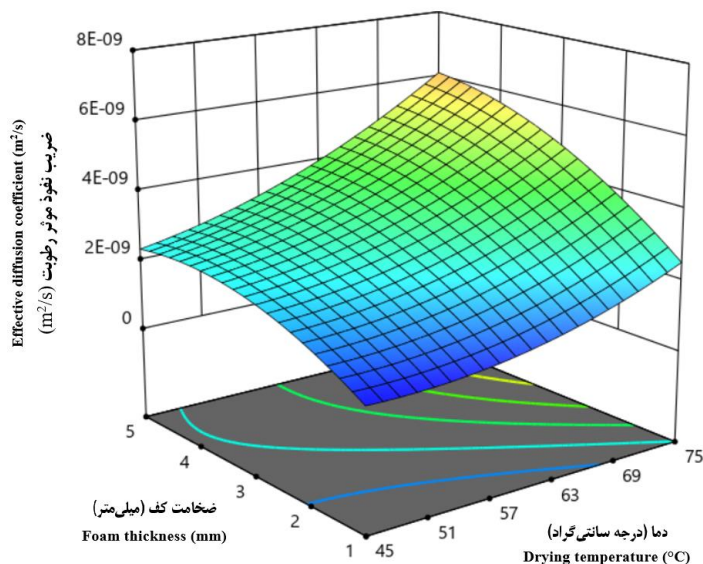
Fig. 1. Changes of moisture content with the drying time of camel milk cream foam at different temperatures and thicknesses.

بود. شکل ۲ تأثیر دما و ضخامت را بر ضریب نفوذ موثر نمونه‌های خامه شیر شتر را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش دما ضریب نفوذ موثر نمونه‌ها افزایش پیدا کرده است که دلیل این امر اثر مثبت دما در افزایش شدت فعل و انفعالات و جنبش مولکولی است. همچنین می‌توان دریافت با افزایش ضخامت کف نیز مقادیر ضریب نفوذ موثر افزایش پیدا کرده است، این در حالی است که مطابق نتایج بررسی‌ها افزایش ضخامت منجر به کاهش سرعت خشک شدن شده بود. تغییر در ساختار منافذ مواد غذایی ضریب نفوذ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در فرآورده‌های متخلخل‌تر، ضریب نفوذ موثر به خاطر امکان تحرک بیشتر رطوبت، بالاتر است (Benmakhlouf et al., 2017). همچنین نتایج تحقیق نشان داد که مقدار شیب خط در هر دو قسمت خشک شدن در هر ۳ دمای ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش ضخامت کاهش یافت اما میزان ضریب نفوذ موثر افزایش یافت. با افزایش ضخامت، مهاجرت رطوبت درونی در فاصله بیشتری نسبت به ضخامت‌های کمتر اتفاق می‌افتد، که این امر سبب افزایش میزان ضریب نفوذ موثر در ضخامت‌های بالاتر می‌شود. بنابراین الزاماً بالاتر بودن ضریب نفوذ نشان‌دهنده بالاتر بودن سرعت خشک شدن و در نتیجه کمتر بودن زمان خشک شدن نیست، بلکه این دو پارامتر به مقدار و ضخامت نمونه نیز بستگی دارند. نتایج مشابه‌ای برای خشک کردن کف پوشی پالپ طالبی (Salahi et al., 2015)، پالپ انبه (Rajkumar et al., 2007) و ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس^۲ (Atarodi, 2014) گزارش شده است.

به‌طور کلی منحنی خشک کردن نمونه‌های مورد بررسی را می‌توان به دو بخش تقسیم‌بندی کرد. در بخش اول، سرعت خشک کردن تقریباً ثابت و در بخش دوم، سرعت نزولی است. نقطه‌ای که این دو بخش را از هم جدا می‌کند، نقطه بحرانی رطوبتی^۱ نامیده می‌شود. در بخش اول، سرعت خروج آب از منافذ کف به سطح آن با سرعت تبخیر در سطح یکسان است. رطوبت بحرانی تابعی از سرعت خشک کردن است (Tsotsas et al., 2000). سرعت بالای خشک کردن (برای مثال در دمای بالا و ضخامت کم)، رطوبت بحرانی را افزایش می‌دهد، یعنی کف در مقدار رطوبت بالاتری وارد مرحله سرعت نزولی می‌شود. در این حالت به تدریج لایه‌های خشک سطحی به مرکز کف نزدیک می‌شوند و در حقیقت آب از لایه‌های داخلی ماده تبخیر شده و از منافذ کف خشک شده، کندتر از حالت اول به طرف بالا آمده و از سطح کف خارج می‌شود (Benmakhlouf et al., 2017).

ضریب نفوذ موثر و انرژی فعال‌سازی

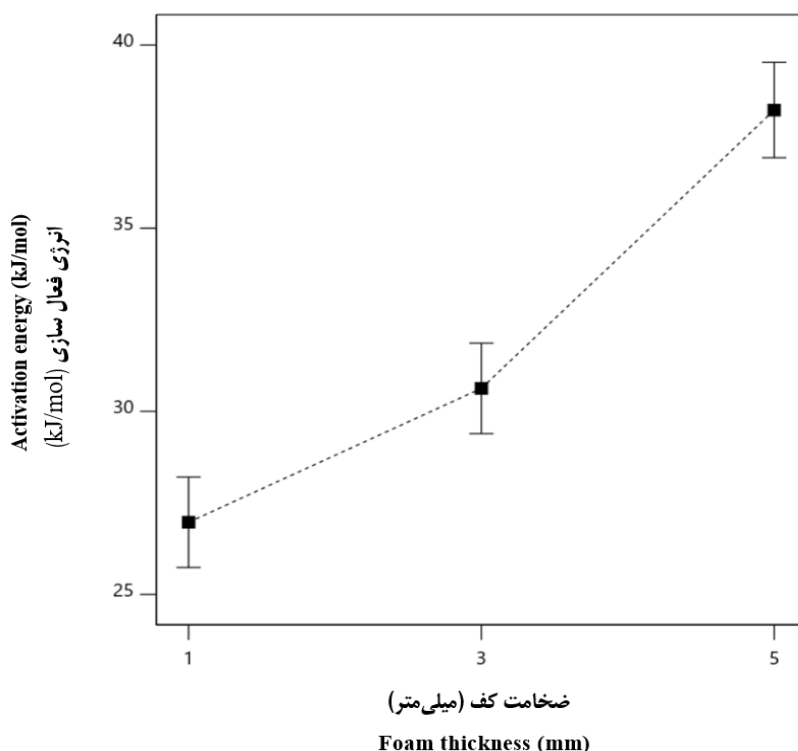
نتایج تحقیق نشان داد که رابطه LnMR با زمان غیرخطی بود که نشان‌دهنده تغییر ضریب نفوذ موثر با محتوای رطوبتی است که این رفتار برای کلیه نمونه‌ها مشاهده شد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که ضریب نفوذ موثر کلی نمونه‌های مورد آزمون بین 10^{-10} تا $8/11 \times 10^{-9}$ متر مربع بر ثانیه متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس، اثرات خطی دما و ضخامت در سطح ۹۹ درصد و اثر متقابل دما-ضخامت در سطح ۹۵ درصد بر ضریب نفوذ موثر نمونه‌ها معنی‌دار



شکل ۲- تأثیر دما و ضخامت بر ضریب نفوذ موثر نمونه‌های کف خامه شیر شتر

Fig. 2. The effect of temperature and thickness on the effective diffusion coefficient of camel milk cream foam samples.

فعال‌سازی نمونه‌ها با افزایش ضخامت کف نشان‌دهنده افزایش حساسیت ضریب نفوذ موثر نمونه‌های با ضخامت بالاتر نسبت به ضخامت‌های کمتر در برابر تغییرات دمای شرایط خشک شدن است. [Sajadi \(2018\)](#) انرژی فعال‌سازی خشک کردن کف‌پوشی خامه شیر گاو را در دامنه دمایی ۵۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد و ضخامت ۳ میلی‌متر برابر ۱۹/۹۵ کیلوژول بر مول گزارش کرد که نشان‌دهنده حساسیت کمتر ضریب نفوذ موثر خامه شیر گاو در مقایسه با خامه شیر شتر در برابر تغییرات دما تحت شرایط خشک کردن کف‌پوشی است.



شکل ۳- تغییرات انرژی فعال‌سازی با ضخامت خشک کردن کف خامه شیر شتر

Fig. 3. Activation energy changes with drying thickness of camel milk cream foam.

برازش با داده‌های آزمایشی بود. ثابت‌های مدل‌های پیچ و مدیلی در [جدول ۳](#) ارائه شده است. نتایج سایر پژوهشگران نیز نشان داده است که برای خشک کردن کف پوشی خامه شیر گاو و پنیر ([Izadi et al., 2020](#))، مدل مدیلی مناسب‌ترین بوده است. همچنین برای خشک کردن سیب زمینی در خشک‌کن هوای داغ ([Yaghoubi et al., 2013](#))، خشک کردن کیوی، آواکادو و موز ([Ceylan et al., 2007](#))، کیوی خشک شده با سامانه مادون قرمز ([Inyang et al., 2018](#))، قارچ دکمه ای ([Salahi et al., 2017](#)) و لایه نازک کدو حلواپی ([Ghaboos et al., 2016](#)) در تمامی دماهای مورد مطالعه، مدل پیچ دارای بهترین برازش بوده است.

در [شکل ۳](#) تغییرات انرژی فعال‌سازی خشک کردن کف خامه شیر شتر به‌عنوان تابعی از ضخامت نمونه‌ها نشان داده شده است. بر اساس نتایج این تحقیق، انرژی فعال‌سازی نمونه‌های مورد آزمون بین ۲۵/۵۹ تا ۳۸/۲۲ کیلوژول بر مول متغیر در دامنه دمایی ۴۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد بود و نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که بین انرژی فعال‌سازی نمونه‌های با ضخامت‌های ۱، ۳ و ۵ میلی‌متر اختلاف آماری معنی‌دار وجود دارد، به طوری که با افزایش ضخامت کف، انرژی فعال‌سازی نمونه‌ها نیز افزایش یافت ([شکل ۳](#)). انرژی فعال‌سازی حساسیت یک واکنش یا فرآیند را به دما نشان می‌دهد. در واقع افزایش انرژی

مدلسازی فرآیند خشک کردن کف‌پوشی و انتخاب بهترین

مدل

داده‌های حاصل از آزمایش‌های خشک کردن (نسبت‌های رطوبتی (MR) در مقابل زمان) با ۸ مدل نیمه تجربی ([جدول ۳](#)) برازش شدند. مدل‌های مختلف توسط چهار معیار ضریب تبیین (R^2)، ضریب تبیین تعدیل شده (R^2_{adj})، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و مجموع مربعات خطا (SSE) با یکدیگر مقایسه و در نهایت مدلی انتخاب گردید که دارای بیشترین مقدار R^2 و R^2_{adj} و کمترین مقدار RMSE و SSE باشد. با توجه به معیارهای بیان شده برای انتخاب بهترین مدل، در تمام حالت‌های خشک شدن کف بهینه از نظر دما و ضخامت، مدل‌های پیچ و مدیلی با مقدار R^2 و R^2_{adj} بالای ۰/۹۹ دارای بهترین

جدول ۳- ثابت‌های مدل‌های بیبج و مدیلی برای تیمارهای مختلف خشک‌کردن کف‌پوشی خامه شیر شتر

Table 2- Constants of page and midilli models for different treatments of drying of camel milk cream using foam mat drying

| Midilli model مدل مدیلی | | | Page model مدل پیج | | Drying temperature (°C) دمای خشک‌کردن (درجه سانتی‌گراد) | Foam thickness (mm) ضخامت کف (میلی‌متر) | Treatment تیمار |
|----------------------------|--------|---------|-----------------------|-------|--|--|--------------------|
| n | k | b | a | N | k | | |
| -36.93 | 6.014 | -0.015 | 0.375 | 1.286 | 0.079 | 75 | 1 |
| -21.02 | 1.813 | -0.003 | 0.741 | 0.898 | 0.019 | 45 | 2 |
| 0.776 | 0.043 | -0.001 | 1.006 | 0.960 | 0.027 | 75 | 3 |
| 1.45 | 0.106 | -0.0004 | 0.995 | 1.46 | 0.106 | 75 | 4 |
| 1.303 | -0.001 | -0.012 | 0.919 | 0.957 | 0.204 | 60 | 5 |
| 0.919 | 0.051 | -0.0005 | 1.009 | 0.997 | 0.042 | 60 | 6 |
| 0.864 | 0.057 | -0.0006 | 1.019 | 0.969 | 0.043 | 60 | 7 |
| 1.092 | 0.174 | 0.0012 | 1.004 | 1.03 | 0.186 | 60 | 8 |
| 0.817 | 0.056 | -0.0003 | 1.038 | 0.899 | 0.041 | 45 | 9 |
| 1.344 | 0.0672 | 0.0004 | 0.955 | 1.22 | 0.088 | 45 | 10 |
| 0.881 | 0.045 | -0.0007 | 0.995 | 0.961 | 0.037 | 60 | 11 |
| 0.954 | 0.057 | -0.0003 | 1.022 | 1.033 | 0.046 | 60 | 12 |
| 0.801 | 0.045 | -0.0009 | 0.994 | 0.922 | 0.036 | 60 | 13 |

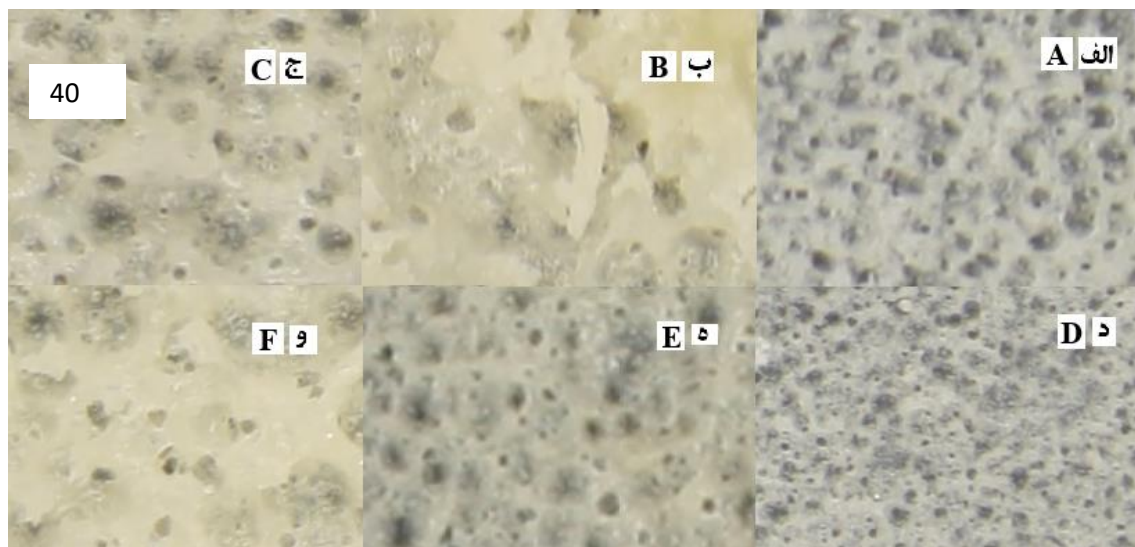
دادند. آنها دریافتند که دمای خشک‌کردن به شدت روی ساختار موز خشک شده اثر گذاشته و با افزایش دما اندازه و تعداد حفرات افزایش پیدا کرده که این امر اثر قابل توجهی بر ویژگی سختی بافت نمونه‌ها داشته است.

رنگ

دما و زمان خشک‌کردن از مهمترین پارامترهای موثر بر تغییرات رنگ مواد غذایی هستند (Qing-Guo *et al.*, 2006). رنگ نمونه‌ها می‌تواند تحت تاثیر فاکتورهای مختلفی از جمله دمای خشک‌کردن، مدت زمان خشک‌شدن، قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیرآنزیمی، محتوای رطوبت و رطوبت سطحی قرار بگیرد (Dehghannya *et al.*, 2018; Salahi *et al.*, 2017). نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌های مورد آزمون بین ۱۴۰/۸۱ تا ۱۴۰/۸۴ متغیر بود و در بین اثرات خطی، متقابل و درجه دوم، اثر خطی دما و ضخامت و اثر متقابل دما- ضخامت در سطح ۹۹ درصد بر روی شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌ها معنی‌دار بودند. شکل ۵ اثر ضخامت کف و دما بر شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

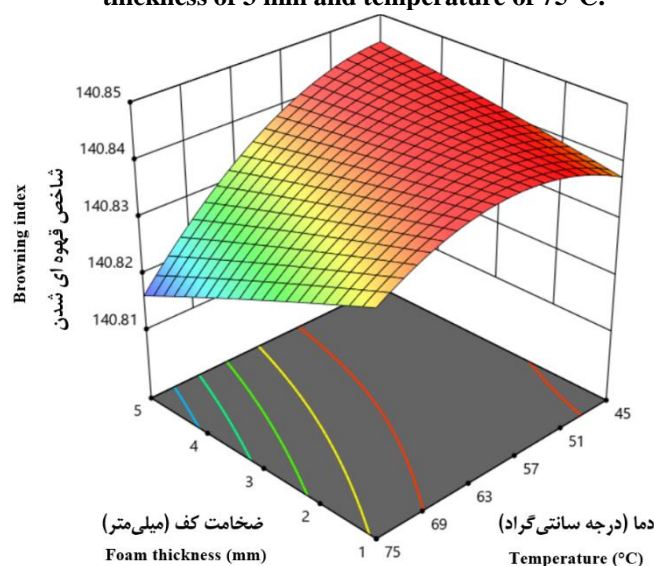
تأثیر دمای خشک‌کردن بر ریز ساختار کف

تصاویر دیجیتال خامه شیر شتر خشک شده به روش کف‌پوشی برخی تیمارهای جدول ۱ در شکل ۴ ارائه شده است. در بررسی تصاویر مشخص شد که در دماهای پایین ساختار کف‌های خشک شده حالتی صاف دارد و با افزایش دما، ساختار حالت غیرمسطح و متخلخل‌تری پیدا کرده است. دلیل این رفتار را می‌توان چنین بیان کرد که با افزایش دما (احتمالاً به دلیل کاهش زمان خشک‌شدن)، فروپاشی و ترکیب شدن حباب‌های مجاور کمتر اتفاق افتاده که منجر به افزایش تخلخل و یکنواخت‌تر شدن اندازه منافذ شده است (Azizpour *et al.*, 2014). همچنین تصاویر دیجیتال نمونه‌ها نشان داد که با افزایش ضخامت کف خشک شده حالت مسطح داشته و تخلخل کمتری دارد که احتمالاً دلیل این امر فروپاشی ساختار کف به دلیل طولانی شدن زمان خشک‌شدن می‌باشد. نتایج مشابهی برای خشک‌کردن کف پوشی پالپ طالبی (Salahi *et al.*, 2017)، میگو (Azizpour *et al.*, 2014) و ماهی کیلکا (Hassanzadeh *et al.*, 2019) مشاهده شده است. Thuwapanichayanan و همکاران (۲۰۱۱) اثر دمای خشک‌کردن را بر نفوذ رطوبت و ویژگی‌های کیفی برش‌های موز مورد مطالعه قرار



شکل ۴- تصاویر دیجیتال برخی نمونه‌های کف خامه شیر شتر خشک شده به روش کف‌پوشی: الف- ضخامت ۱ میلی متر و دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد، ب- ضخامت ۲ میلی‌متر و دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد، ج- ضخامت ۳ میلی‌متر و دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد، د- ضخامت ۱ میلی‌متر و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، ه- ضخامت ۳ میلی‌متر و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، و- ضخامت ۳ میلی‌متر و دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد.

Fig. 4. Digital images of samples of camel milk cream foam using foam mat drying: (A) thickness of 1 mm and temperature of 45°C; (B) thickness of 2 mm and temperature of 75°C; (C) thickness of 3 mm and temperature of 75°C; (D) thickness of 1 mm and temperature of 60°C; (E) thickness of 3 mm and temperature of 60°C; (F) thickness of 3 mm and temperature of 75°C.



شکل ۵- اثر ضخامت کف و دما بر شاخص قهوه‌ای شدن نمونه های کف خامه شیر شتر خشک شده

Fig. 5. The effect of temperature and thickness on the browning index of Dried camel milk cream foam samples

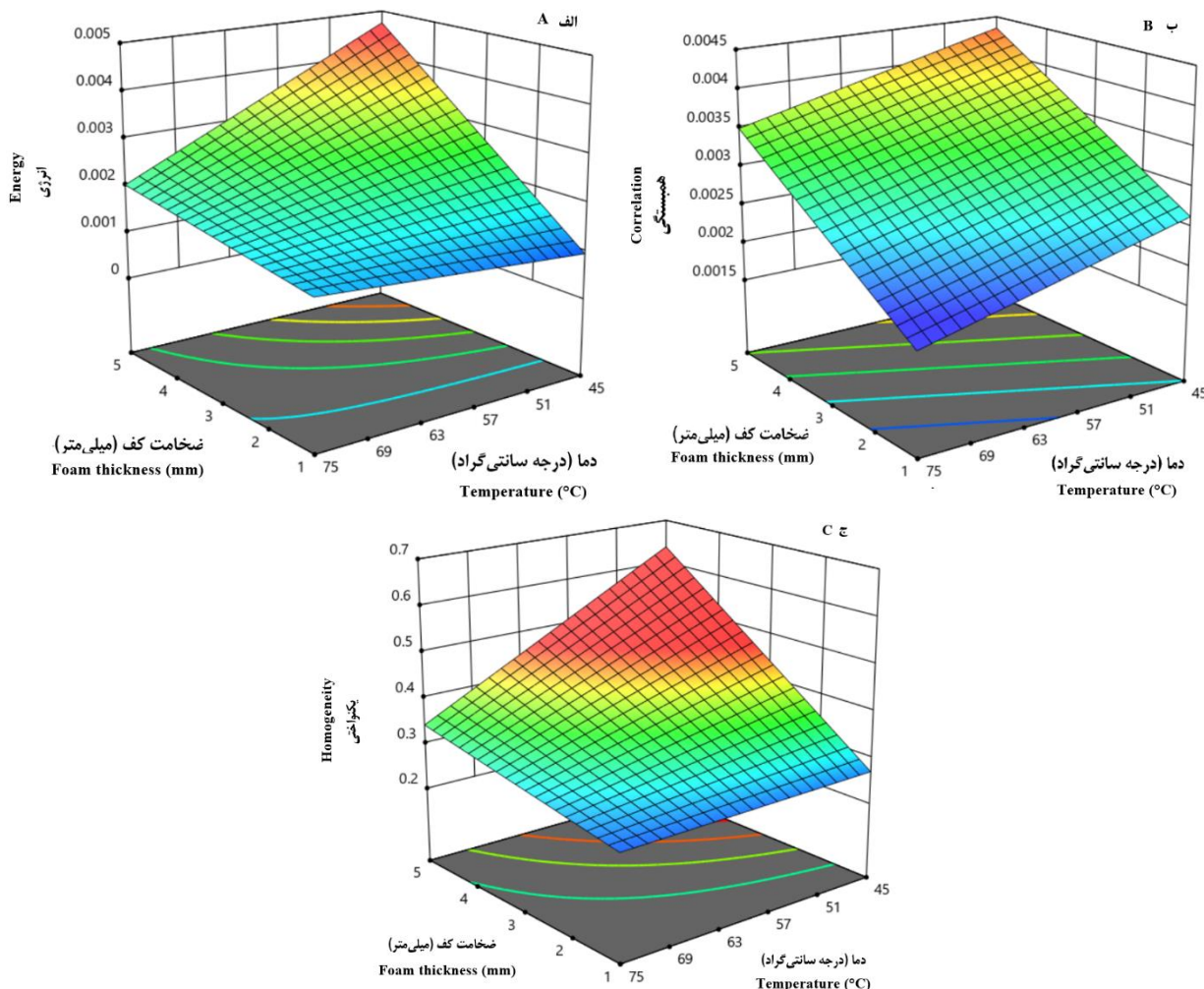
رنگ نمونه‌ها نسبت به دماهای پایین کمتر است. با افزایش ضخامت کف، سرعت خشک شدن کاهش یافته، در نتیجه مدت زمان خشک شدن افزایش می‌یابد و این شرایط زمینه را برای وقوع واکنش‌های قهوه‌ای شدن مناسب‌تر می‌سازد. تغییرات مشابهی برای تغییرات رنگی پودر پنیر تولید شده به روش کف‌پوشی (Izadi et al., 2020) مشاهده شد.

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود با افزایش دمای خشک شدن، شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌ها کاهش می‌یابد. افزایش ضخامت نیز در دماهای بالا منجر به کاهش شاخص قهوه‌ای شدن و در دماهای پایین منجر به افزایش شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌ها گردید. به نظر می‌رسد که در دماهای بالا به دلیل بالا بودن سرعت خشک شدن کف، زمان لازم برای انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن و در نتیجه تیره شدن

نشان داد که ضخامت و دما در سطح ۹۹ درصد بر انرژی، همبستگی و یکنواختی نمونه‌ها و اثر متقابل ضخامت-دما نیز در سطح ۹۵ درصد بر انرژی نمونه‌ها معنی دار بودند. شکل ۶ اثر ضخامت و دما بر انرژی (الف)، همبستگی (ب) و یکنواختی (ج) نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

ماتریس هم‌زمانی سطح خاکستری (GLCM)

نتایج این تحقیق نشان داد که انرژی، همبستگی و یکنواختی نمونه‌های مورد آزمون به ترتیب بین $10^{-4} \times 6/5$ تا $10^{-3} \times 4/5$ ، $0/002$ تا $0/004$ و $0/24$ تا $0/46$ متغیر بود. همچنین نتایج برر سی‌ها



شکل ۶- اثر ضخامت کف و دما بر انرژی (الف)، همبستگی (ب) و یکنواختی (ج) نمونه‌های کف خامه شیر شتر خشک شده

Fig. 6. The effect of temperature and thickness on the (A) energy (B) correlation and (C) homogeneity of Dried camel milk cream foam samples

یکنواختی با افزایش دما کاهش یافت که این امر می‌تواند ناشی از تخلخل بالاتر در کف‌های خشک شده به دلیل سرعت بالاتر خشک شدن باشد. همچنین با افزایش ضخامت کف، تخلخل نمونه‌ها کاهش پیدا کرده است که این امر نیز می‌تواند به دلیل طولانی شدن فرآیند خشک شدن و فروپاشی بیشتر ساختارهای کف باشد که در نهایت این تغییرات با افزایش یکنواختی بیشتر سطح کف خشک شده، منجر به افزایش انرژی، همبستگی و یکنواختی نمونه‌ها شده است.

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود روند تغییرات انرژی، همبستگی و یکنواختی با تغییرات دما و ضخامت تقریباً یکسان است، به طوری که افزایش دمای خشک شدن نمونه‌ها منجر به کاهش انرژی، همبستگی و یکنواختی نمونه‌ها گردید. افزایش ضخامت کف نیز منجر به افزایش انرژی، همبستگی و یکنواختی نمونه‌ها می‌شود. مشابه این نتایج برای خشک کردن کف‌پوشی پالپ طالبی گزارش شده است (Salehi et al., 2017). کاهش پارامترهای انرژی، همبستگی و

نتیجه‌گیری

نیز منجر به افزایش زمان خشک شدن، انرژی فعال‌سازی و همه پارامترهای ماتریس هم‌زمانی سطح خاکستری نمونه‌ها گردید. همچنین از میان ۸ مدلی که برای بررسی سینتیک خشک شدن کف بهینه مورد ارزیابی قرار گرفتند مدل‌های پیچ و مدیلی با مقدار R^2 و $Adj R^2$ بالای ۰/۹۹ دارای بهترین برازش با داده‌های آزمایشی بودند. بنابراین به‌طور کلی با بررسی و ارزیابی فرآیند سینتیک خشک کردن، ساختار و رنگ کف خامه شیر شتر خشک شده و درک درستی از مکانیسم‌ها و تغییرات در خواص کیفی نمونه‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که خشک کردن کف پوشی روش مناسبی برای تولید پودر خامه شیر شتر بوده است.

تشکر و قدردانی

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (طرح ۹۶۰۱۵۵۴۰) و معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد (طرح ۵۱۶۳۷) بابت حمایت مالی و تجهیزاتی این پروژه تشکر و قدردانی می‌شود.

با توجه به اینکه فرآیند خشک کردن خامه شیر شتر به روش کف پوشی از اهمیت بالایی برخوردار است و در صنعت خشک کردن، زمان انجام فرآیند، کیفیت محصول، بهینه‌سازی و طراحی تجهیزات مستقیماً تحت تاثیر سرعت خشک کردن مواد غذایی قرار دارند و مدل‌سازی سینتیک خشک کردن، روابط بین متغیرهای زمان و رطوبت را ارائه می‌دهد که می‌تواند راهکار مناسبی برای کنترل زمان و شرایط خشک کردن باشد لذا در این پژوهش فرآیند سینتیک خشک کردن، ساختار و رنگ کف خامه شیر شتر خشک شده در دمای ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد و ضخامت ۱، ۳ و ۵ میلی‌متر در یک خشک‌کن کابینتی غیرمداوم مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد که افزایش دما منجر به کاهش زمان خشک شدن و پارامترهای ماتریس هم‌زمانی سطح خاکستری (انرژی، همبستگی و یکنواختی) و افزایش ضریب نفوذ موثر و شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌ها شد که در این حالت ساختار حالت غیرمسطح و متخلخل‌تری نیز داشت. افزایش ضخامت نمونه‌ها

منابع

1. Akgun, N. A., & Doymaz, I. (2005). Modelling of olive cake thin-layer drying process. *Journal of food engineering*, 68(4), 455-461. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.06.023>
2. Akpınar, E. K. (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of food engineering*, 73(1), 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.007>
3. Al Kanhal, H. A. (2010). Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. *International Dairy Journal*, 20(12), 811-821. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2010.04.003>
4. Atarodi, M.R. (2014). Optimization of production conditions of Spirulina Platensis microalgae powder using floor drying method, Master Thesis, Ferdowsi University of Mashhad [In Persian].
5. Azizpour, M., Mohebbi, M., Hossein Haddad Khodaparast, M., & Varidi, M. (2014). Optimization of foaming parameters and investigating the effects of drying temperature on the foam-mat drying of shrimp (*Penaeus indicus*). *Drying Technology*, 32(4), 374-384. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.794829>
6. Babalis, S. J., Papanicolaou, E., Kyriakis, N., & Belessiotis, V. G. (2006). Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). *Journal of food engineering*, 75(2), 205-214. [10.1016/j.jfoodeng.2005.04.008](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.008)
7. Benmakhlouf, N., Azzouz, S., Monzó-Cabrera, J., Khdhira, H., & Elcafsi, A. (2017). Controlling mechanisms of moisture diffusion in convective drying of leather. *Heat and Mass Transfer*, 53(4): 1237-1245. <https://doi.org/10.1007/s00231-016-1900-8>
8. Brygidyr, A., Rzepecka, M., & McConnell, M. (1977). Characterization and drying of tomato paste foam by hot air and microwave energy. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 10(4), 313-319. [https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(77\)73553-9](https://doi.org/10.1016/S0315-5463(77)73553-9)
9. Carić, M. (1994). Concentrated and dried dairy products: VCH Publishers Inc.
10. Ceylan, İ., Aktaş, M., & Doğan, H. (2007). Mathematical modeling of drying characteristics of tropical fruits. *Applied Thermal Engineering*, 27(11-12), 1931-1936. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.12.020>
11. Chen, X. D., & Mujumdar, A. S. (2009). Drying technologies in food processing: John Wiley & Sons.
12. Codex stan 207-1999, Standard for cream powder, half cream powder and high fat milk powder.
13. Dehghannya, J., Pourahmad, M., Ghanbarzadeh, B., & Ghaffari, H. (2018). Influence of foam thickness on production of lime juice powder during foam-mat drying: Experimental and numerical investigation. *Powder technology*, 328, 470-484. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.01.034>
14. DeMan, J. M., Finley, J. W., Hurst, W. J., & Lee, C. Y. (1999). Principles of food chemistry: Springer.
15. Ertekin, C., & Yaldiz, O. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of food engineering*, 63(3), 349-359. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.08.007>

16. Falade, K. O., & Solademi, O. J. (2010). Modelling of air drying of fresh and blanched sweet potato slices. *International journal of food science & technology*, 45(2), 278-288. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02133.x>
17. Ghaboos, S. H. H., Ardabili, S. M. S., Kashaninejad, M., Asadi, G., & Aalami, M. (2016). Combined infrared-vacuum drying of pumpkin slices. *Journal of food science and technology*, 53(5), 2380-2388. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2212-1>
18. Guiné, R. (2018). The Drying of Foods and its Effect on the Physical-chemical, sensorial and Nutritional Properties. *International Journal of Food Engineering*, 2(4), 93-100. [doi: 10.18178/ijfe.4.2.93-100](https://doi.org/10.18178/ijfe.4.2.93-100)
19. Hall, C. W., & Hedrick, T. I. (1966). Drying milk and milk products. *Drying milk and milk products* .
20. Hassan, A., Hagrass, A., Soryal, K., & El-Shabrawy, S. (1987). Physico-chemical properties of camel milk during lactation period in Egypt. *Egyptian Journal of Food Science (Egypt)* .
21. Hassanzadeh, M., Shahidi, F., and Salahi, M. (2019). Investigation of process parameters and physical and chemical properties of kilka fish during floor drying. *Iranian Food Science and Technology Research*, 14 (4), 601-616 [In Persian].
22. Inyang, U. E., Oboh, I. O., & Etuk, B. R. (2018). Kinetic models for drying techniques—food materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 8(02), 27. DOI: [10.4236/aces.2018.82003](https://doi.org/10.4236/aces.2018.82003)
23. Izadi, Z., Mohebbi, M., Shahidi, F., Varidi, M., & Salahi, M. R. (2020). Cheese powder production and characterization: A foam-mat drying approach. *Food and Bioproducts Processing*, 123, 225-237. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.06.019>
24. Labelle, R. (1984). Principles of foam mat drying. *Journal of Food Technology*, 20, 89-91 .
25. Lemus-Mondaca, R., Betoret, N., Vega-Galvez, A., & Lara-Aravena, E. (2009). Dehydration characteristics of papaya (*Carica Pubescens*): determination of equilibrium moisture content and diffusion coefficient. *Journal of Food Process Engineering*, 32(5), 645-663. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00236.x>
26. Liu, X., Qiu, Z., Wang, L., Cheng, Y., Qu, H., & Chen, Y. (2009). Mathematical modeling for thin layer vacuum belt drying of Panax notoginseng extract. *Energy Conversion and Management*, 50(4), 928-932. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.12.032>
27. Lopez, A., Iguaz, A., Esnoz, A., & Virseda, P. (2000). Thin-layer drying behaviour of vegetable wastes from wholesale market. *Drying Technology*, 18(4-5), 995-100. <https://doi.org/10.1080/07373930008917749>
28. Menges, H. O., & Ertekin, C. (2006). Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. *Journal of food engineering*, 77(1), 119-125. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.049>
29. Mir Arab Razi, S. (2014). The effect of sodium caseinate proteins, whey concentrate, albumin and gelatin on the sensory and physicochemical properties of chocolate mousse, M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad [In Persian].
30. O'Callaghan, D., & Hogan, S. (2013). The physical nature of stickiness in the spray drying of dairy products—a review. *Dairy Science & Technology*, 93(4-5), 331-346. <https://doi.org/10.1007/s13594-013-0114-9>
31. Qing-Guo, H., Min, Z., Mujumdar, A. S., Wei-hua, D., & Jin-cai, S. (2006). Effects of different drying methods on the quality changes of granular edamame. *Drying Technology*, 24(8), 1025-1032 .
32. Rajkumar, P., Kailappan, R., Viswanathan, R., Raghavan, G., & Ratti, C. (2007). Foam mat drying of alphonso mango pulp. *Drying Technology*, 25(2), 357-365. <https://doi.org/10.1080/07373930600776217>
33. Sajadi, S. (2018). Drying cream flooring: optimizing foam production conditions and evaluating powder properties, M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad [In Persian].
34. Salahi, M. R., Mohebbi, M., & Taghizadeh, M. (2015). Foam-mat drying of cantaloupe (*cucumis melo*): optimization of foaming parameters and investigating drying characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1798-1808. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12414>
35. Salahi, M. R., Mohebbi, M., & Taghizadeh, M. (2017). Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) pulp powder using foam-mat drying method: Effects of drying conditions on microstructural of mat and physicochemical properties of powder. *Drying Technology*, 35(15), 1897-1908. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1291518>
36. Salehi, F., Kashaninejad, M., & Jafarianlari, A. (2017). Drying kinetics and characteristics of combined infrared-vacuum drying of button mushroom slices. *Heat and Mass Transfer*, 53(5), 1751-1759. <https://doi.org/10.1007/s00231-016-1931-1>
37. Sun, J., Hu, X., Zhao, G., Wu, J., Wang, Z., Chen, F., & Liao, X. (2007). Characteristics of thin-layer infrared drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. *Food science and technology international*, 13(2), 91-97. <https://doi.org/10.1177/1082013207078525>
38. Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., Kunwisawa, J., & Soponronnarit, S. (2011). Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. *LWT-Food Science and Technology*, 44(6), 1502-1510. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.01.003>

39. Tsotsas, E., Gnielinski, V., & Schlünder, E.-U. (2000). Drying of Solid Materials. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.
40. Vega-Gálvez, A., Lara, E., Flores, V., Di Scala, K., & Lemus-Mondaca, R. (2012). Effect of selected pretreatments on convective drying process of blueberries (var. O'neil). *Food and Bioprocess Technology*, 5(7), 2797-2804 . <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0656-x>
41. Xiao, H.-W., Lin, H., Yao, X.-D., Du, Z.-L., Lou, Z., & Gao, Z.-j. (2009). Effects of different pretreatments on drying kinetics and quality of sweet potato bars undergoing air impingement drying. *International Journal of Food Engineering*. 5 (5) .<https://doi.org/10.2202/1556-3758.1758>
42. Yaghoubi, M., Askari, B., Mokhtarian, M., Tavakolipour, H., Rad, A. E., Jafarpour, A., & Heidarian, S. (2013). Possibility of using neural networks for moisture ratio prediction in dried potatoes by means of different drying methods and evaluating physicochemical properties. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(4), 258-269 .
43. Zielinska, M., & Markowski, M. (2010). Air drying characteristics and moisture diffusivity of carrots. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49(2), 212-218 .<https://doi.org/10.1016/j.cep.2009.12.005>



Evaluation and comparison of ochratoxin a contamination and metallic elements lead and arsenic in commercial instant coffee powders

Sedigheh Yazdanpanah^{*1}, Shadi Jokar², Tahereh Zandilak¹, Maryam Haghighi¹

Received: 2020.11.13

Accepted: 2021.02.03

How to cite this article:

Yazdanpanah, Y., Jokar, S., Zandilak, T., Haghighi, M., (2022). Evaluation and comparison of ochratoxin a contamination and metallic elements lead and arsenic in commercial instant coffee powders. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18(1), 81-95.

Abstract

Introduction: Coffee is the second most profitable commercial products in the world and in addition to beverage consumption, it is widely used in food industry. Among natural sources, coffee has the highest amount of caffeine. The amount of caffeine in coffee varies depending on the variety of coffee and how it is brewed. Coffee beans contain other compounds such as phenol, magnesium, potassium and fiber. Plants are the most important route for the transfer of heavy metals to the human food chain and the natural cycle. Heavy metals in the body can cause everything from biochemical changes in low levels of contamination to effects on the nervous system and even death in high concentrations. They slow down the reaction with enzymes and even stop the body's essential physiological reactions and have the ability to be stored in the bones, which enter the bloodstream after being saturated in the bone. Heavy metals are important because they are non-degradable in the human body. Contamination with mycotoxins in coffee beans such as ochratoxin produced by *Aspergillus* and *Penicillium* occurs under the influence of environmental conditions such as temperature, humidity, water activity, transport conditions, storage until consumption. Therefore, the aim of this study was to investigate and compare the physicochemical properties, fungal contamination and metal elements in 4 samples of instant coffee powder Eagle Lux, Good Day, Nestle and Torabika.

Materials and Methods: In 4 samples of instant coffee powder fat, moisture, ash, pH, total sugar, caffeine (using HPLC), ochratoxin A contamination (using HPLC) and lead and arsenic metallic elements (using hydride atomic absorption spectroscopy) were determined. The results were reviewed and compared with national and international standards. All experiments were performed in a completely randomized design. Data analysis was performed using SPSS software. The means were compared using Duncan's test at 5% probability level.

Results and Discussion: Comparing the results obtained with the permissible limits of national and international WHO standards, all results are within the permitted standard range (pH 5 to 7, maximum moisture 4%, total sugar maximum 72%, ash 4%, fat in cappuccino powder maximum 30%, Caffeine was based on dry matter up to 2.8%, lead 0.5 mg/ kg, arsenic 1 mg/ kg, ochratoxin 10 ppb). The highest pH value (6.83 ± 0.05) was determined in Good Day sample. The low pH in the Nestle sample may be due to acid rain and low soil pH in the exporting countries. Minimum amount of ash ($2.38 \pm 0.05\%$), moisture ($1.41 \pm 0.05\%$), lead (0.026 ± 0.000 mg / kg) and arsenic (0.013 ± 0.000 mg / kg) was observed in Torabika sample. Lead level was similar in Good Day and Torabika samples. The highest amount of caffeine (0.23 ± 0.05 wt %) was obtained in Good day sample. Ochratoxin A was not detected in all samples. The lowest amount of total sugar (42.75 ± 0.05 g /100 g) was observed in Nestle sample. Therefore, it is the most suitable sample for diabetic patients. Torabika sample is recommended as the best sample due to the low amount of lead, arsenic, ash and fat, as well as low moisture content. With increasing moisture and sugar, the possibility of liquid steps forming between particles increases and this causes the degree of cohesion and agglomeration of the powder and the marketability of the powder disappears. Increased mineral consumption causes disease due to inhibition of the mechanism of control of absorption in

1. Department of Food Science and Technology, Kazeroun branch, Islamic Azad University, Kazeroun, Iran.

2. Department of Food Hygiene, School of Veterinary Medicine, Kazeroun branch, Islamic Azad University, Kazeroun, Iran.

(* Corresponding Author's Email: Yazdanpanah2004@gmail.com)

DOI: [10.22067/IFSTRJ.2021.67078.0](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.2021.67078.0)

the small intestine and accumulation in the body. Therefore, as the amount of total ash in coffee increases, its adverse effects on the body intensify. Torabika is the most suitable sample for people with cardiovascular disease due to the lower fat content.

Keywords: Food chain, Heavy metals, Instant coffee powder, Ochratoxin A

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی و مقایسه آلودگی اکراتوکسین A و عناصر فلزی سرب و آرسنیک در پودرهای تجاری قهوه فوری

صدیقه یزدان‌پناه^{۱*} - شادی جوکار^۲ - طاهره زندی لک^۱ - مریم حقیقی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵

چکیده

دانه قهوه دومین فرآورده سودآور تجاری در دنیا می‌باشد و علاوه بر مصرف نوشیدنی در صنایع غذایی کاربرد فراوانی دارد. در تهیه بستنی، شیرینی و شکلات استفاده می‌شود. گیاهان مهمترین مسیر انتقال فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان و چرخه طبیعت محسوب می‌شوند. فلزات سنگین به دلیل غیرابل تجزیه بودن، اثرات سوء آنها بر سلامتی موجودات زنده و انسان حائز اهمیت می‌باشد. لذا هدف از این تحقیق، بررسی و مقایسه خصوصیات فیزیکوشیمیایی، آلودگی اکراتوکسین A، عناصر فلزی سرب و آرسنیک در ۴ نمونه پودر قهوه فوری Eagle Lux، Good day، Torabika و Nestle می‌باشد. در مقایسه نتایج به دست آمده با حدود مجاز استانداردهای ملی و بین‌المللی WHO، همه نتایج در محدوده مجاز استاندارد (pH محلول ۱۰٪) ۵ تا ۷، رطوبت حداکثر ۴٪ (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک)، قند کل حداکثر ۷۲٪ (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک بدون چربی)، خاکستر ۴٪ (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک بدون چربی)، چربی در پودر کاپوچینو حداکثر ۳۰٪ (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک)، کافئین بر اساس ماده خشک حداکثر ۲/۸٪، سرب ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، آرسنیک ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، اکراتوکسین ۱۰ (ppb) قرار داشتند. بیشترین مقدار pH (۶/۸۳±۰/۰۵) در نمونه Good day و پایین‌ترین مقدار pH در نمونه Nestle تعیین گردید. کمترین مقدار خاکستر (۲/۳۸±۰/۰۵٪)، رطوبت (۱/۴۱±۰/۰۵٪)، سرب (۰/۰۲۶±۰/۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و آرسنیک (۰/۰۱۳±۰/۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه Torabika مشاهده شد. مقدار سرب در نمونه‌های Good day و Torabika مشابه تعیین گردید. بیشترین مقدار کافئین (۰/۲۳±۰/۰۵ درصد وزنی) در نمونه Good day حاصل شد. در تمام نمونه‌ها میزان اکراتوکسین A منفی بود. کمترین مقدار قند کل (۴۲/۷۵±۰/۰۵ گرم در صد گرم) در نمونه Nestle مشاهده شد. نمونه Torabika به دلیل ناچیز بودن مقدار سرب، آرسنیک، خاکستر و چربی موجود در آن، همچنین پایین بودن مقدار رطوبت به عنوان بهترین نمونه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پودر قهوه فوری، زنجیره غذایی، فلزات سنگین، اکراتوکسین A.

مقدمه

قهوه بالاترین میزان کافئین را دارا است. به‌طور متوسط یک فنجان قهوه ۹۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم کافئین دارد. میزان کافئین موجود در قهوه بسته به نوع قهوه و روش دم‌کردن آن متفاوت است و حاوی ترکیبات دیگری از جمله فنول، منیزیم، پتاسیم و فیبر است. کافئین در حدود ۲۰۰ میلی‌گرم می‌تواند سیستم عصبی مرکزی را تحریک، خستگی را کاهش و فعالیت ذهنی را افزایش دهد (Naidu, 2008). در مورد خصوصیات قهوه مطالعاتی انجام شده است. Bhumiratana و همکاران (۲۰۱۱) خصوصیات آرومایی قهوه را بررسی کردند، نتایج نشان داد که آماده‌سازی، میزان برشته کردن و ترکیبات شیمیایی مولد عطر و طعم باعث ایجاد آروما می‌باشند (Bhumiratana et al., 2011). Wirunthanakrit و Vittayaporn (۲۰۱۶) بر خصوصیات حسی پودر قهوه فوری ۳ در ۱ مطالعاتی انجام داده‌اند و گزارش کرده‌اند

قهوه، در گروه نوشیدنی‌های پرمصرف در سراسر جهان قرار دارد. قهوه و محصولات بر پایه قهوه ترکیباتی هستند، که در سرتاسر جهان در طعم، بافت و شکل‌های متنوعی تولید می‌شود. تاریخچه پیدایش قهوه نخستین بار به قرن یازدهم میلادی در اتیوپی و سپس عربستان، ترکیه، استانبول و اروپا برمی‌گردد. درخت قهوه، گیاهی از خانواده Rubiaceae می‌باشد. دانه‌های قهوه اندازه‌ای بین ۱۵ تا ۱۸ میلی‌متر دارند، که در آغاز سبز رنگ و پس از رسیدن، رنگ قهوه‌ای گیلاسی به خود می‌گیرد. مرغوبیت دانه‌های قهوه براساس مکان جغرافیایی و گونه گیاه قهوه دسته‌بندی می‌شود. بین گونه‌های مختلف قهوه به ترتیب سه گونه Coffea Arabica، Coffea Alibérica، و Coffea robusta از سایر گونه‌ها معروف‌تر می‌باشند و بیشتر کشت می‌شود. در میان منابع طبیعی،

* ایمیل نویسنده مسئول: yazdanpanah2004@gmail.com
DOI: 10.22067/IFSTRJ.2021.67078.0

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران.
۲- گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران.

در مقادیر کم آلودگی تا تاثیر بر روی سیستم عصبی و حتی مرگ در غلظت‌های بالا می‌باشد. سرب باعث کند کردن واکنش با آنزیم‌ها و حتی متوقف کردن واکنش‌های فیزیولوژی ضروری بدن می‌شود و توانایی ذخیره شدن در استخوان‌ها را نیز دارد که پس از اشباع استخوان از سرب، وارد خون می‌شود (Shiomi, 2015). Zazouli و همکاران (۲۰۱۰) میزان غلظت سرب و کادمیوم را در چندین نمونه چای سیاه تجاری مورد مطالعه قرار دادند و مشخص گردید که در صورت افزایش مدت زمان عمل‌آوری چای از ۱۵ دقیقه به ۳۰ دقیقه، غلظت کادمیوم و سرب در نمونه‌ها افزایش چشم‌گیری خواهد داشت. Kulhari و همکاران (۲۰۱۳) بر گیاهان دارویی پرکاربرد جمع‌آوری شده از بخش‌های مختلف شمال غربی هند میزان فلزات سنگین آهن، جیوه، روی، سرب، کادمیوم، کبالت، کروم، منگنز و نیکل را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که باید از کشت گیاهان دارویی و گیاهان پر مصرف در رژیم غذایی به منظور اجتناب از خطرات بهداشتی در نزدیکی محیط‌های آلوده به‌ویژه مناطق صنعتی جلوگیری به عمل آورد (Kulhari et al., 2013). آلودگی خاک‌ها و گیاهان با فلزات سنگین، یک مشکل جدی در حال گسترش است. لذا هدف از پژوهش حاضر مقایسه و بررسی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و تعیین غلظت فلزات سنگین سرب و آرسنیک در چهار نمونه پودر قهوه فوری تجاری است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های مختلف پودر قهوه فوری مورد استفاده در این پژوهش Good (Eagle Lux Adak East Trading Company، مالزی)، day (KAPAL API Company، مالزی)، Nestle (Anglo-Swiss)، Torabika و (Condens Milk Company، سوئیس) و (Company، اندونزی) بود که از فروشگاه مواد غذایی شیراز خریداری شد. دانه قهوه استفاده شده در پودرها مخلوطی از *Coffea Arabica* بود. ترکیبات تشکیل‌دهنده پودرها شامل شکر، طعم‌دهنده (وانیل)، شربت گلوکز، استابیلایزر (E331، E340)، امولسیفایر (E481)، پودر قهوه فوری، شکر پالم، روغن نارگیل هیدروژنه شده، مالتودکسترین، کازئینات سدیم، روغن نارگیل تصفیه شده، پودر خامه‌ای کننده لبنی، روغن هیدروژنه پالم، تنظیم‌کننده‌های اسیدیته (E340ii، E340iii، E452i)، آنتی‌کیکنگ (E170i)، پودر خامه‌ای کننده غیرلبنی، نمک، شیرین‌کننده مصنوعی، شیر خشک بدون چربی، پودر آب پنیر و پودر کاکائو بود. مواد شیمیایی شامل اسید نیتریک، اسید هیدروکلریک، کلرید منیزیم، نیترات منیزیم، بوروهیدرید سدیم، یدید پتاسیم، متانول، اکسید منیزیم، دی‌اتیل اتر، پترولیوم اتر، دی‌فنیل دی‌توبوکاربازن، کلروفرم، سیترات آمونیوم سه‌آبه، سیانور پتاسیم، اسید سولفوریک، اسید پرکلریک، هگزآ متافسفات سدیم، الکل اتیلیک، کلریدرات هیدرواکسیل آمین، آمونیاک، اسید کلریدریک، شناساگر آبی

که فوری‌بودن آن باعث گسترش استفاده از آن است (2016) [Vittavaporn and Wirunthanakrit](#)، [Ghirisan و Miclaus](#) در تولید قهوه دو روش خشک کردن پاششی و خشک کردن انجمادی در حفظ خصوصیات آنتی‌اکسیدانی را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که خصوصیات آنتی‌اکسیدانی قهوه درخشک‌کردن پاششی به میزان بالاتری حفظ شده است (2017) [Ghirisan & Miclaus](#).

اکراتوکسین A با فرمول شیمیایی $C_{20}H_{18}O_6NCl$ ، متیل استری است که در حلال‌های آلی قطبی به‌خوبی حل می‌شود. به دنبال رشد برخی قارچ‌ها از جنس پنی‌سیلیوم و آسپرژیلوس به‌عنوان متابولیت ثانویه تولید می‌شود. حضور اکراتوکسین A در طیف وسیعی از مواد غذایی شامل غلات، قهوه، میوه‌های خشک، آب انگور و فراورده‌های گوشتی عمل‌آوری و خشک شده گزارش شده است. در مناطق با آب و هوای سرد و مرطوب تولید می‌شود و نگهداری نامناسب منشأ آلودگی است. اکراتوکسین A مهمترین مایکوتوکسینی است که خاصیت ترانوتوکسیک، نوروکسیک، ژنوتوکسیک، ایمونوتوکسیک و نفروتوکسیک دارد. باعث فیروز کلیه‌ها و تومورهای مجاری ادراری مثانه است (2007) [Zinedine et al.](#).

امروزه مناطق وسیعی از دنیا تحت تاثیر آلودگی عناصر سنگین قرار گرفته‌اند که توسعه صنعتی در کشورها را می‌توان یکی از عوامل مهم این فرآیند برشمرد. فلزات سنگین موجود در منابع آب و خاک، یا بصورت طبیعی و یا در اثر آلودگی وارد این منابع می‌شوند. مقادیر بالای فلزات سنگین در آب بر سلامت انسان تاثیر سوء داشته و منجر به غیرقابل مصرف شدن آب می‌شود. این فلزات، زمانی که در مقادیر زیاد در خاک وجود داشته باشند به‌وسیله ریشه گیاهان جذب و به اندام‌های هوایی منتقل شده و موجب اختلال در سوخت و ساز گیاهان و کاهش رشد می‌شود. علاوه بر این وجود مقادیر زیاد فلزات سنگین در خاک یک تهدید جدی می‌باشد. معضل اصلی مربوط به فلزات سنگین آن است که این آلاینده‌های غیرآلی بر خلاف آلاینده‌های آلی تجزیه‌پذیر نمی‌باشند. این واقعیت فلزات سنگین را به یکی از خطرناکترین گروه آلاینده‌های زیست محیطی مبدل ساخته است. از میان فلزات سنگین، آرسنیک یک فلز سنگین بسیار خطرناک می‌باشد که به‌وسیله منابع طبیعی و مصنوعی وارد محیط زیست می‌شود این فلز با ایجاد انواع بیماری‌ها، سلامتی انسان را تهدید می‌کند. به‌طوری که در مسمومیت‌های حاد، حتی باعث مرگ افراد می‌شود. تعدادی از مردم جهان به دلیل استفاده از آب آلوده به آرسنیک، از بین رفته‌اند و میلیون‌ها نفر، از بیماری‌های پوستی و انواع مختلف سرطان ناشی از آلودگی رنج می‌برند (2002) [Mandal & Suzuki](#). سرب یک فلز سنگین است که می‌تواند در صورت بلع یا تنفس برای سلامتی انسان مضر باشد. آثار سرب بر روی بدن به میزان قرار گرفتن در معرض آلودگی بستگی دارد و به طور کلی اثرات شناخته شده سرب بر روی بدن از تغییرات بیوشیمیایی

شناسایی ترکیب با آشکارساز آرایه دیوید^۳ در طول موج ۲۷۲ نانومتر انجام شد. برای تهیه محلول‌های استاندارد ابتدا یک محلول اصلی به غلظت ۳۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر تهیه شد و سپس غلظت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر از محلول اصلی با رقیق سازی به دست آمد. با رسم غلظت‌های استاندارد در مقابل سطح زیر نمودار منحنی کالیبراسیون تهیه شد. مقدار کافئین (Wx) بر حسب ماده خشک به صورت عددی معادل گرم در ۱۰۰ گرم قهوه محاسبه شد (Moeenfarid et al., 2021).

اندازه‌گیری سرب

برای اندازه‌گیری سرب، ۱۰ گرم نمونه در ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل گردید. ۲/۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ به آن افزوده شد و مدت ۵ دقیقه بهم‌زده شد، دو بخش حاصل شد. همراه این عمل به نمونه پایینی حاوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر، ۲/۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک افزوده شد. ۵ تا ۶ قطره شناساگر آبی بروموتیمول به هر یک از دو نمونه آزمون و بخش پایینی افزوده شد و روی هر یک به وسیله یک بورت محلول آمونیاک قطره قطره اضافه شد تا به رنگ آبی درآید. سپس به هر یک ۱/۵ میلی‌لیتر آمونیاک و پس از آن ۱ میلی‌لیتر سیترات آمونیوم و ۱ میلی‌لیتر محلول سیانور پتاسیم اضافه گردید. محتویات آن به وسیله تکان دادن مخلوط گردید و به آن بین ۵ تا ۱۰ میلی‌لیتر محلول ویتیزن ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به طور افزایشی اضافه شد، تا لایه کلروفرمی زیرین از رنگ قرمز آجری دیتیزنات سرب به رنگ سبز، آبی یا ارغوانی در آید. به نمونه پایینی نیز محلول دیتیزن اضافه و مخلوط گردید. محلول کلروفرمی به قیف جداکننده دیگری منتقل و با ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک یک درصد مخلوط گردید و به شدت هم‌زده شد به نحوی که سرب به لایه آبی منتقل شد. در این صورت لایه کلروفرمی به رنگ سبز خالص درآمد. لایه کلروفرمی سبز شده دور ریخته شد. روی نمونه پایینی نیز عملیات فوق انجام گردید. روی هر یک از محلول‌های اسید نیتریکی به دست آمده از نمونه و نمونه پایینی ۰/۲ میلی‌لیتر محلول سیترات آمونیوم، ۵ قطره آمونیاک، ۰/۲ میلی‌لیتر محلول سیانور پتاسیم اضافه و مخلوط گردید و به قدر کافی محلول ۲۰ میلی‌گرم در لیتر دیتیزن به قیف حاوی نمونه اضافه گردید تا پس از بهم‌زدن رنگ قرمز آجری به رنگ سبز، آبی یا ارغوانی در آمد و محلول دیتیزن به قیف نمونه پایینی نیز اضافه گردید و بهم زده شد. محتویات قیف‌ها به لوله‌های نسلر منتقل گردید و به آهستگی در لوله حاوی نمونه پایینی محلول رقیق استاندارد سرب ضمن بهم زدن پیوسته اضافه گردید تا رنگ آن با رنگ لوله نسلر حاوی نمونه یکسان شود و محلول رقیق استاندارد سرب اضافه شده برای هم‌رنگ شدن لوله پایینی با لوله نمونه

بروموتیمول، نیترات سرب خالص آزمایشگاهی و کلریدرات هیدرواکسیل‌آمین خالص آزمایشگاهی (Merck، آلمان) جهت انجام آزمون‌ها تهیه شدند.

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی شیمیایی

مقدار چربی (بر اساس روش رزگاتلیب)، رطوبت (بر اساس روش آون‌گذاری در دمای ۲ ± ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد)، خاکستر (بر اساس روش کوره‌گذاری در دمای ۲۵ ± ۵۲۵ درجه سانتی‌گراد) و مقدار قند کل (بر اساس محلول فهلینگ) بر روی پودر قهوه فوری بر اساس استاندارد ملی ایران، به ترتیب به شماره ۱۱۱۳۷ و ۴۷۱۴ اندازه‌گیری شد (ISIRI, 2012, 11137; 2018, 4714).

اندازه‌گیری pH

۱۰ گرم نمونه پودر با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شده و کاملاً مخلوط شد. با استفاده از pH متر (JENWAY، انگلستان) که با محلول تامپون مناسب کالیبره شده بود (بافر ۴ و ۷)، اندازه‌گیری شد (ISIRI, 2012, 11137).

اندازه‌گیری کافئین

۵۰۰ میلی‌گرم پودر قهوه با ۵ میلی‌لیتر آب جوش مخلوط شد و سپس در دستگاه اولتراسوند (SONOPULS، HD-4200، آلمان) به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. ۲/۵ میلی‌لیتر از عصاره حاصل را برداشته و برای اندازه‌گیری کافئین با استفاده از محلول‌های کاریز I و II مورد آزمایش قرار داده شد. ۰/۱ میلی‌لیتر محلول‌های کاریز I (۱۰/۶ میلی‌گرم پتاسیم هگزاسیانوفرات سه آبه با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) و ۰/۱ میلی‌لیتر محلول‌های کاریز II (۲۱/۹ گرم استات روی با ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال مخلوط شد و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید) با ۲/۵ میلی‌لیتر نوشیدنی قهوه مخلوط شد، سپس به حجم ۵۰ میلی‌لیتر با محلول آب: متانول (۱۰:۹۰ حجمی / حجمی) رسانده شد. ۱۰ دقیقه بی‌حرکت گذاشته شد. فاز رویی برشته شد و به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ (ALC-4232، آمریکا) شد. جهت اندازه‌گیری مقدار کافئین، از دستگاه HPLC^۱ RP LiChroCART-18 به طول ۲۵ سانتی‌متر استفاده گردید. با کمک فیلترهای سرنگی از نوع PTFE^۲ (۰/۴۵ میکرومتر) محلول استاندارد با عصاره فیلتر شد و به مقدار ۱۰ میکرومتر به ستون کروماتوگرافی تزریق شد. فاز متحرک شامل متانول / محلول آبی اسید استیک با pH ۲/۸ (۳۵/۶۵ حجمی / حجمی) و سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر در دقیقه بود.

استفاده از فیلتر سرنگی PVDF ۱۳ میلی‌متر (با اندازه منافذ ۰/۴۵ میلی-متر) فیلتر شد. محلول حاصل به دستگاه HPLC تزریق شد. تزریق، جداسازی، تشخیص و تعیین مقدار با روش فاز معکوس کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (فاز متحرک: ۵۱ قسمت حجمی از آب با ۴۸ قسمت حجمی از استونیتریل و یک قسمت حجمی از اسید استیک گلاسیال مخلوط کرده و با استفاده از صافی با منافذ ۰/۲ میکرومتر، صاف شد. سرعت جریان فاز متحرک در ستون ۱ میلی‌لیتر در دقیقه) با استفاده از ستون (Monolithic RPC18) فاز معکوس (با ابعاد $4/6 \times 150$ میلی‌متر و اندازه ذرات ۵ میکرومتر)، مشتق‌ساز و دکتور فلوروسانس (شناسایی فلوروسانس با طول موج تحریک در ۳۳۳ نانومتر و طول موج نشر در ۴۶۰ نانومتر) و مقایسه سطح زیر منحنی استاندارد با نمونه مجهول و ضریب رقت میزان آلودگی برحسب نانوگرم بر گرم محاسبه شد. جهت تهیه منحنی‌های استاندارد کالیبراسیون، قبل از تزریق نمونه ابتدا غلظت‌های معین از محلول‌های استاندارد اکراتوکسین A مورد اندازه‌گیری به دستگاه HPLC (Waters، ALIANS 2695، USA) تزریق شد (Galarce-Bustos et al., 2014).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

کلیه آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با کمک آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

pH

در اندازه‌گیری pH (شکل ۱) بین نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد، ولی بین نمونه‌ها Nestle و Torabika اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p < 0/05$). بیشترین مقدار pH ($6/83 \pm 0/10$) در نمونه Good day و کمترین مقدار ($6/12 \pm 0/30$) در نمونه Nestle مشاهده شد. بر طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۱۳۷ میزان pH (محلول ۱۰ درصد) در محدوده بین (۷-۵) برای پودر در ۳، ۱، ۲ در ۱ و کاپوچینو گزارش شده است. کلیه نمونه‌ها از لحاظ pH در محدوده قابل قبول قرار داشته‌اند. پایین بودن pH در نمونه Nestle می‌تواند ناشی از بارش باران‌های اسیدی و pH پایین خاک در کشورهای تولیدکننده باشد (Hollier & Rutherglen, 2005). pH و اسیدیته قابل تیتراژ پارامتری هستند که کیفیت نوشیدنی‌های قهوه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. روش خشک کردن مقدار pH را تحت تاثیر قرار می‌دهد. دانه‌های قهوه حاوی اسید سیتریک، اسید مالیک، اسید کوئینیک، اسید کلروژنیک می‌باشند که مقدار pH را تحت تاثیر قرار می‌دهند. اسید استیک در طی

مقدار حجم از روی بورت خوانده شد و یادداشت گردید. مقدار سرب به میلی‌گرم در یک کیلوگرم نمونه طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود (Shah et al., 2013).

$$(۱) \quad 10 \text{ V/M} = \text{میلی‌گرم سرب در یک کیلوگرم نمونه که در آن:}$$

$V =$ تعداد میلی‌لیتر محلول رقیق استاندارد سرب که برای هم‌رنگ شدن با محلول نمونه مصرف شده است.
 $M =$ جرم اولیه نمونه بر حسب گرم

اندازه‌گیری آرسنیک

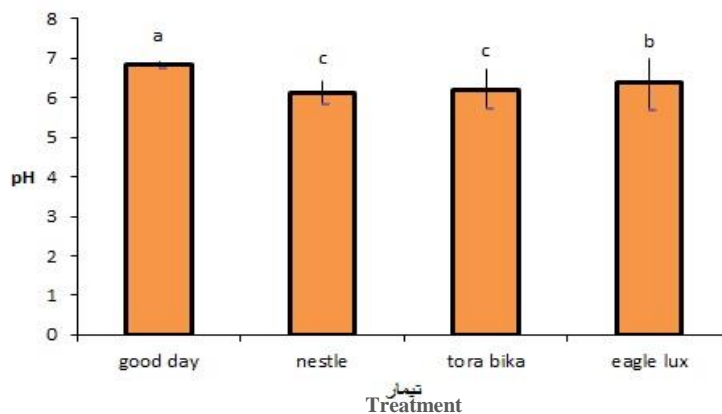
اندازه‌گیری آرسنیک با استفاده از طیف‌سنجی جذب اتمی هیدرید^۱ مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس این واقعیت که در دمای محیط، عناصری مانند آرسنیک و سلنیم با هیدروژن فعال تولید شده واکنش می‌دهند تا ترکیبات گازی هیدروژن تولید کنند، روش تولید هیدرید به عنوان تکنیکی برای اندازه‌گیری عناصری مانند آرسنیک و سلنیم با حساسیت بالا شناخته شده است. روش معمول مورد استفاده برای اسپکتروسکوپی جذب اتمی شامل ارسال گاز هیدروژن ترکیبی AsH_3 تولید شده در ژنراتور بخار هیدرید به یک سلول جذب کوارتز و اتمیزه کردن عناصر توسط تجزیه حرارتی است. سپس برای گرم کردن سلول جذبی از شعله یا گرمایش الکتریکی (کوره) استفاده می‌شود. گرمایش الکتریکی نیاز به تدارک گاز لازم برای روش شعله (استیلن و هوا) را نداشته و حساسیت حدود ۱/۵ برابر بیشتر نسبت به روش شعله برای اندازه‌گیری آرسنیک ارائه می‌دهد (Seenivasan et al., 2008).

اندازه‌گیری میزان اکراتوکسین

اکراتوکسین از ۵ گرم پودر قهوه با ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول ۱٪ سدیم هیدروژن کربنات ($NaHCO_3$) در pH ۷/۴ استخراج شد. محلول در مخلوط‌کنی که لرزش مداری (OS-20، Staufen, Boeco، Germany) داشت به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۸۰ دور در دقیقه مخلوط شد. سپس محلول با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴ (USA، NJ) فیلتر شد و با ۲۰ میلی‌لیتر PBS مخلوط شد. محلول حاصل با ۱۰ میلی‌لیتر PBS مخلوط شد و بر روی ستون ایمونوآفینیتی (که دارای آنتی‌بادی‌های اختصاصی است و با عبور عصاره رقیق شده از ستون، آنتی‌ژن موجود در عصاره به آنتی‌بادی‌های اختصاصی درون ستون متصل شد) بارگذاری شد. سپس ستون ایمونوآفینیتی با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر شستشو داده شد. در مرحله بعد اکراتوکسین با ۴ میلی‌لیتر متانول شستشو داده شد و در برابر جریانی از نیتروژن در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد ترکیباتی که برای شستشو استفاده شده بود تبخیر شد. قبل از کروماتوگرافی ترکیبات باقی مانده با ۵۰۰ میلی‌لیتر فاز متحرک و با

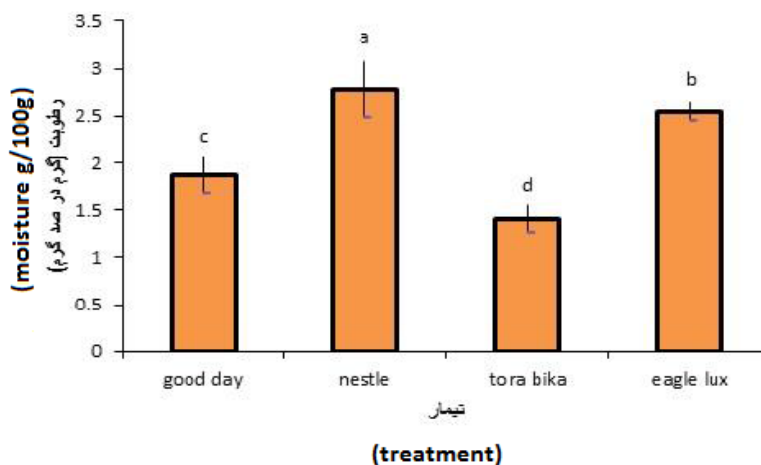
مقادیر گزارش شده و مشابه با پژوهش حاضر است. قهوه عربی دارای pH در محدوده ۴/۸۵ تا ۵/۱۵ است در حالی که قهوه ربوستا دارای pH در محدوده ۵/۲۵ تا ۵/۴۰ است که به علت حضور مقادیر متفاوت از اسیدهای آلی نامبره شده است (Vitzthum, 1975).

تخمیر دانه قهوه تولید می‌شود و باعث کاهش pH است. مقدار pH قهوه به واسطه منطقه جغرافیایی، میزان رسیدن، فرآیند پس از برداشت، نوع فرایند برشته‌کردن و دم‌کردن متغیر است (Salamanca et al., 2017). Leroy و همکاران (۲۰۰۶) مقدار pH در دانه‌های قهوه C. canephora از ۵/۲۷ تا ۶/۱۳ گزارش کردند (Leroy et al., 2006).



شکل ۱- نتایج pH در نمونه‌های Eagle Lux، Good day، Nestle و Torabika پودر قهوه فوری
حروف کوچک متفاوت، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ با یکدیگر دارند.

Fig. 1. PH results in Eagle Lux, Good day, Nestle and Torabika instant coffee powder samples
Different lowercase letters have a significant difference at the 5% level.



شکل ۲- نتایج رطوبت در نمونه‌های Eagle Lux، Good day، Nestle و Torabika پودر قهوه فوری
حروف کوچک متفاوت، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ با یکدیگر دارند.

Fig. 2. Moisture results in Eagle Lux, Good day, Nestle and Torabika instant coffee powder samples
Different lowercase letters have a significant difference at the 5% level.

در نحوه بسته‌بندی، شرایط و زمان نگهداری باشد (اندازه‌گیری رطوبت بر روی نمونه‌های انجام شد زیرا بر روی بسته‌بندی مقدار رطوبت درج نشده بود). مقدار رطوبت در تمامی نمونه‌ها در محدوده استاندارد قرار دارد. بر طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۱۳۷ میزان رطوبت در پودر ۳ در ۱، پودر ۲ در ۱ و کاپوچینو با بیشینه ۴ گرم در ۱۰۰ گرم گزارش

رطوبت

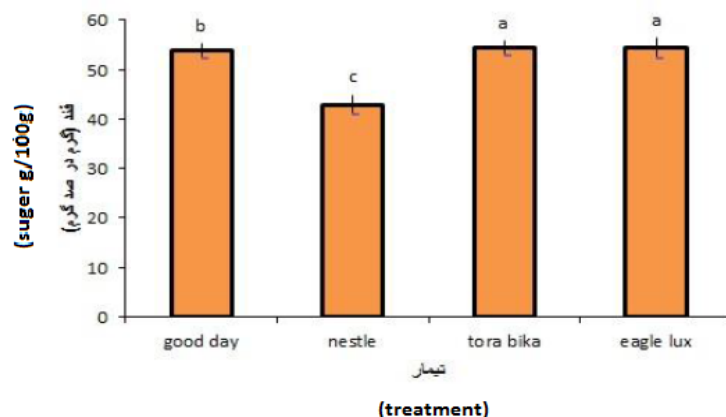
بین تمامی نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری در مقدار رطوبت وجود دارد ($p < 0.05$). بیشترین مقدار رطوبت 2.78 ± 0.30 گرم در صد گرم) در نمونه Nestle و کمترین مقدار 1.41 ± 0.15 گرم در صد گرم) در نمونه Torabika مشاهده شد (شکل ۲)، که ممکن است علت آن تنوع

Nestle مشاهده شد (شکل ۳). بین نمونه‌های Eagle lux و Torabika اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p < 0/05$). کلیه نمونه‌ها از لحاظ مقدار قند بر طبق استاندارد ملی ایران در محدوده قابل قبول قرار داشته‌اند. طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۱۳۷، مقدار قند کل (گرم در ۱۰۰ گرم) برای پودر ۳ در ۱، پودر ۲ در ۱ و کاپوچینو به ترتیب با بیشینه ۷۲، ۴۰ و ۷۲ گزارش شده است (ISIRI, 2012, 11137). از آنجایی که مصرف کمتر مواد قندی برای بیماران دیابتی، کنترل وزن و جلوگیری از خرابی دندان همواره توصیه می‌شود. بنابراین نمونه Nestle مناسب‌ترین نمونه برای بیماران دیابتی است. قندهای سوکروز، گلوکز، فروکتوز، مانوز، آرابینوز و گالاکتوز در واریته‌های گوناگون دانه‌های قهوه وجود دارد (Belitz et al., 2009). قندهای آمورف باعث چسبندگی موجود بین ذرات پودر (به دلیل قند بالا) تحت تأثیر گذار شیشه‌ای می‌شوند. در طی حل کردن پودر در آب، مولکول‌های آب باعث مرطوب شدن سطح ذرات پودر می‌شوند که نتیجه امکان نفوذ سریع‌تر آب به دلیل کاهش اتصال ذاتی داخلی ذرات است. افزایش مقدار قند پودر باعث افزایش رطوبت (افزایش پل‌های مایع بین ذرات جامد) افزایش کلوخه‌ای شدن و افزایش زمان خیس شدن پودر می‌شود (Fitzpatrick, 2013). Lawal و Shittu (۲۰۰۷) گزارش کردند که با اضافه نمودن ۳۵ درصد شکر و ۰/۵ درصد استویا در فرمولاسیون، پخش‌شوندگی و بازسازی پودر فوری کاکائو به‌طور معنی‌داری بهبود یافته بود.

شده است (ISIRI, 2012, 11137). جهت حفظ ماندگاری محصول و جلوگیری از افت کیفیت باید رطوبت در سطح بسیار پائینی حفظ شود. به دلیل جاذب‌الرطوبه بودن، پودرهای غذایی در برابر رطوبت نسبی محیط از حساسیت‌های متفاوتی برخوردار هستند. به‌عنوان مثال رطوبت نسبی بحرانی برای پودر چای، آب پنبه، شیر پس‌چرخ و آرد، به ترتیب ۳۳، ۳۳، ۴۴ و ۶۶ درصد می‌باشد که در این رطوبت، فرآیند کلوخه‌ای شدن آنها صورت می‌گیرد (Teunou et al., 1999). Shittu و Lawal (۲۰۰۷) بر روی ۱۰ نمونه از پودرهای تجاری کاکائو مطالعه کردند و میزان رطوبت نمونه‌ها را بین ۰/۸ تا ۳/۶ گزارش کردند. Sogi و Oberoi (۲۰۱۵) در پژوهش خود گزارش کردند که در تولید قهوه فوری با استفاده از مالتودکسترین به مقدار ۳ تا ۱۰ درصد، با افزایش غلظت مالتودکسترین، محصولی با رطوبت کمتر می‌توان تولید کرد. Vittayaporn و Wirunthanakrit (۲۰۱۸) مقدار رطوبت در پودر قهوه‌های فوری به‌دست آمده از دانه‌های قهوه خام عربی اینکسپوله شده با مالتودکسترین ۱۰ و ۱۵ درصد را به ترتیب 4.08 ± 0.04 و 3.69 ± 0.03 گزارش کردند. نتایج گزارش شده مشابه پژوهش حاضر است.

قند کل

بیشترین مقدار قند (54.32 ± 2.16 گرم در صد گرم) در نمونه Eagle lux و کمترین مقدار (42.75 ± 1.95 گرم در صد گرم) در نمونه



شکل ۳- نتایج قند کل در نمونه‌های Eagle Lux، Good day، Torabika و Nestle پودر قهوه فوری

حروف کوچک متفاوت، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ با یکدیگر دارند.

Fig. 3. Total sugar results in Eagle Lux, Good day, Nestle and Torabika instant coffee powder samples
Different lowercase letters have a significant difference at the 5% level.

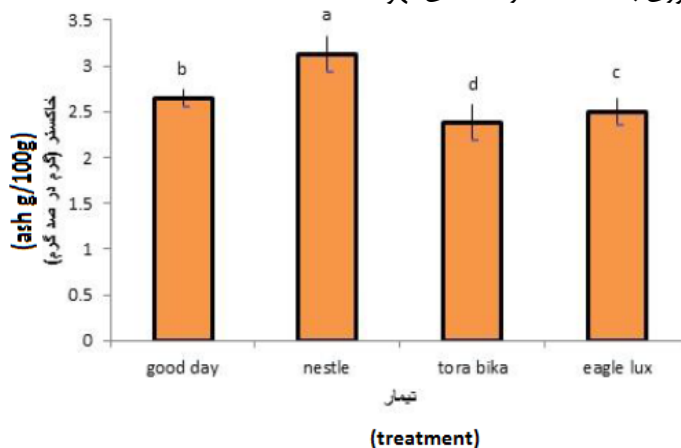
مقدار خاکستر بر طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۱۳۷ میزان خاکستر ۴ گرم در ۱۰۰ گرم (بیشینه) برای پودر ۳ در ۱، پودر ۲ در ۱ و کاپوچینو گزارش شده است (ISIRI, 2012, 11137). افزایش مصرف مواد معدنی به دلیل جلوگیری از مکانیسم کنترل جذب در روده کوچک و تجمع در بدن موجب بروز بیماری می‌گردد. بنابراین هرچه میزان

خاکستر

بیشترین مقدار خاکستر (3.12 ± 0.20 گرم در صد گرم) در نمونه Nestle و کمترین مقدار (2.38 ± 0.20 گرم در صد گرم) در نمونه Torabika مشاهده شد (شکل ۴). بین تمامی نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری در مقدار خاکستر وجود دارد ($p < 0/05$). کلیه نمونه‌ها از لحاظ

خام عربی اینکپسوله شده با مالتودکسترین ۱۰ و ۱۵ درصد به ترتیب [Wirunthanakrit, 2018](#) گزارش کردند $۳/۶ \pm ۰/۰۱$ و $۲/۳۸ \pm ۰/۰۱$ (and [Vittayaporn](#) نتیجه مشابهی در پژوهش حاضر گزارش شده است.

خاکستر کل موجود در قهوه افزایش یابد اثرات نامطلوب آن بر روی بدن تشدید می‌گردد ([Vauzour et al., 2010](#)). خاکستر در دانه‌های قهوه خام ربوستا و عربی به مقدار ۳ تا ۵/۴ درصد گزارش شده است ([Belitz et al., 2009](#)). [Vittayaporn](#) و [Wirunthanakrit](#) (۲۰۱۸) مقدار خاکستر در پودر قهوه های فوری به‌دست آمده از دانه های قهوه



شکل ۴- نتایج خاکستر در نمونه‌های Torabika و Nestle، Good day، Eagle Lux پودر قهوه فوری

حروف کوچک متفاوت، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ با یکدیگر دارند.

Fig. 4. Ash results in Eagle Lux, Good day, Nestle and Torabika instant coffee powder samples
Different lowercase letters have a significant difference at the 5% level.

ماده فعال فارماکولوژیکال اصلی در چای و قهوه به‌عنوان یکی از پرطرفدارترین نوشیدنی‌ها، کافئین است. کافئین یک محرک است و سیستم عصبی، قلب و ماهیچه‌های بدن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. میزان کافئین موجود در قهوه بسته به نوع قهوه و روش دم کردن آن متفاوت است و کنترل کیفی این‌گونه نوشیدنی‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد ([Crocq, 2003](#)). بیشترین مقدار کافئین ($۰/۲۳ \pm ۰/۰۲$ درصد وزنی) در نمونه Good day و کمترین مقدار ($۰/۲۰ \pm ۰/۰۲$ درصد وزنی) در نمونه Eagle lux مشاهده شد (شکل ۶). بین نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری در مقدار کافئین وجود ندارد ($p < ۰/۰۵$). بر طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۱۳۷ در پودر ۱، ۲، ۳ در ۱ و کاپوچینو به‌ترتیب کمینه $۰/۱۶$ ، $۰/۱۶$ و $۰/۱۴$ گرم در ۱۰۰ گرم گزارش شده است ([ISIRI, 2012, 11137](#)). کلیه نمونه‌ها از لحاظ مقدار کافئین در محدوده قابل قبول قرار داشته‌اند. [Beyene و Motora](#) (۲۰۱۷) بر روی میزان کافئین در دانه‌های قهوه خام و برشته شده مطالعه کردند و گزارش کردند که با افزایش زمان برشته‌کردن و کاهش میزان رطوبت، مقدار کافئین افزایش می‌یابد ([Motora and Beyene, 2017](#)). اگر نسبت مواد جامد به آب در تهیه نوشیدنی قهوه ثابت باشد ولی آسیاب کردن دانه‌های قهوه در حد زیادی انجام شود و نوشیدنی تا دمای جوش حرارت داده شود میزان کافئین در نوشیدنی افزایش می‌یابد ([Bell et al., 1996](#)). در دانه‌های خام قهوه عربی مقدار کافئین $۰/۸$ تا $۱/۴$

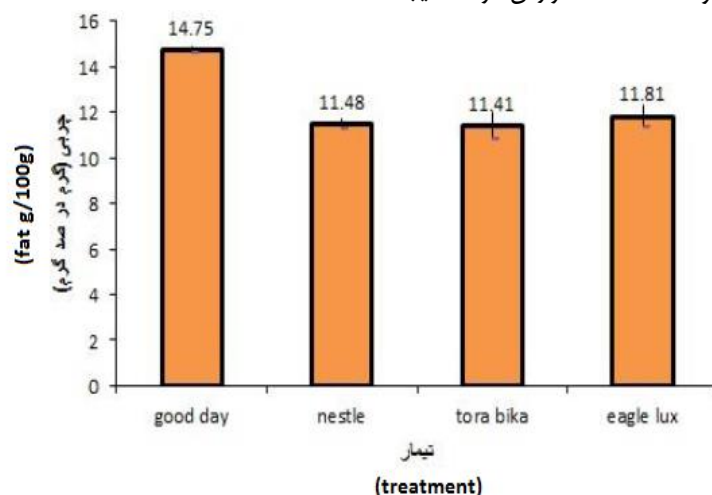
چربی

بیشترین مقدار چربی ($۱۴/۷۵ \pm ۰/۱۵$ گرم در صد گرم) در نمونه Good day و کمترین مقدار ($۱۱/۴۱ \pm ۰/۶۰$ گرم در صد گرم) در نمونه Torabika مشاهده شد (شکل ۵). بین نمونه‌های Nestle و Torabika اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p < ۰/۰۵$). کلیه نمونه‌ها از لحاظ مقدار چربی در محدوده قابل قبول قرار داشته‌اند. بر طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۱۳۷ در پودر ۳ در ۱ کم‌چرب و معمولی به‌ترتیب بیشینه ۱۳ گرم در ۱۰۰ گرم و ۳۰ گرم در ۱۰۰ گرم پودر ۲ در ۱ کم‌چرب و معمولی به‌ترتیب بیشینه ۱۴ گرم در ۱۰۰ گرم و ۳۰ گرم در ۱۰۰ گرم و پودر کاپوچینو بیشینه ۳۰ گرم در ۱۰۰ گرم گزارش شده است ([ISIRI, 2012, 11137](#)). از این رو نمونه Torabika مناسب‌ترین نمونه برای افراد مبتلا به بیماری‌های قلبی عروقی می‌باشد. چربی در دانه‌های قهوه خام ربوستا و عربی به‌ترتیب به مقدار ۸ تا ۱۲ درصد و ۱۵ تا ۱۸ درصد گزارش شده است ([Belitz et al., 2009](#)). نتیجه مشابهی در پژوهش حاضر گزارش شده است. حضور چربی و یا سطوح ذرات با چربی بالا زمان خیس شدن پودر را افزایش می‌دهد ([Schuck et al., 2012](#)).

کافئین

مشابهی در پژوهش حاضر گزارش شده است. [Cabrera](#) و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که در حین تخمیر و عملیات فرآوری، ترکیبات فنلی چای سبز و سیاه کاهش و کافئین افزایش می‌یابد ([Cabrera et al.](#), 2003).

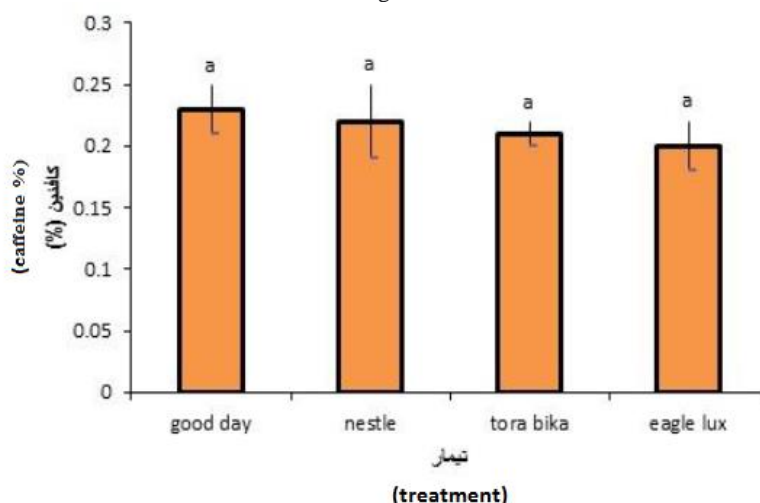
درصد وزنی/ وزنی و در وارسته ربوستا ۱/۷ تا ۴ درصد وزنی/ وزنی یافت شده است ([Belitz et al.](#), 2009). [Wirunthanakrit](#) و [Vittayaporn](#) (۲۰۱۸) مقدار کافئین در پودر قهوه‌های فوری به‌دست آمده از دانه‌های قهوه خام عربی اینکپسوله شده با مالتودکسترین ۱۰ و ۱۵ درصد به‌ترتیب 0.1 ± 0.01 و 0.17 ± 0.01 گزارش کردند. نتیجه



شکل ۵- نتایج چربی در نمونه‌های Eagle Lux، Good day، Nestle و Torabika پودر قهوه فوری

حروف کوچک متفاوت، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ با یکدیگر دارند.

Fig. 5. Fat results in Eagle Lux, Good day, Nestle and Torabika instant coffee powder samples
Different lowercase letters have a significant difference at the 5% level.



شکل ۶- نتایج کافئین در نمونه‌های Eagle Lux، Good day، Nestle و Torabika پودر قهوه فوری

حروف کوچک متفاوت، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ با یکدیگر دارند.

Fig. 6. Caffeine results in Eagle Lux, Good day, Nestle and Torabika instant coffee powder samples
Different lowercase letters have a significant difference at the 5% level.

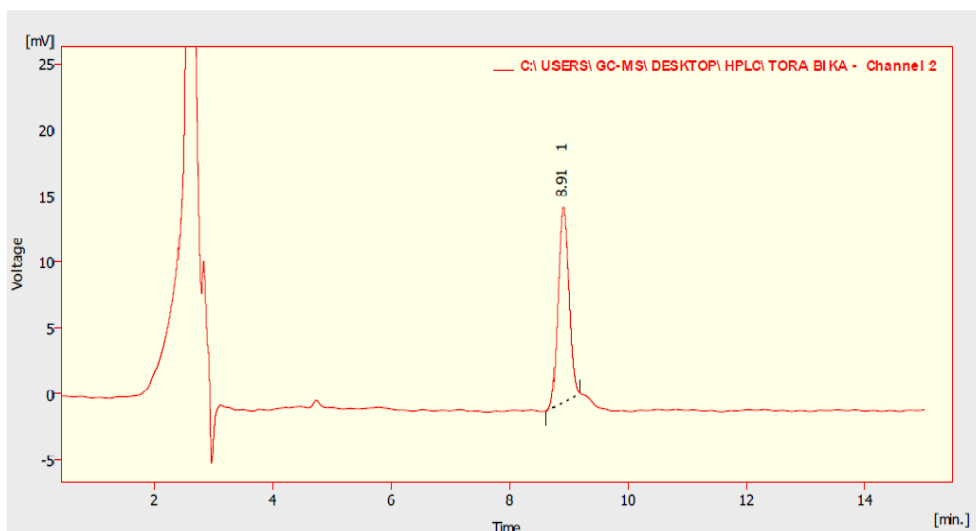
گرم بر کیلو گرم) در نمونه Eagle lux و کمترین مقدار (۰/۰۲۶±۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های Good day و Torabika مشاهده شد (شکل ۸). کلیه نمونه‌ها از لحاظ مقدار سرب در محدوده قابل قبول قرار داشته‌اند. بر طبق استاندارد ملی ایران شماره

سرب

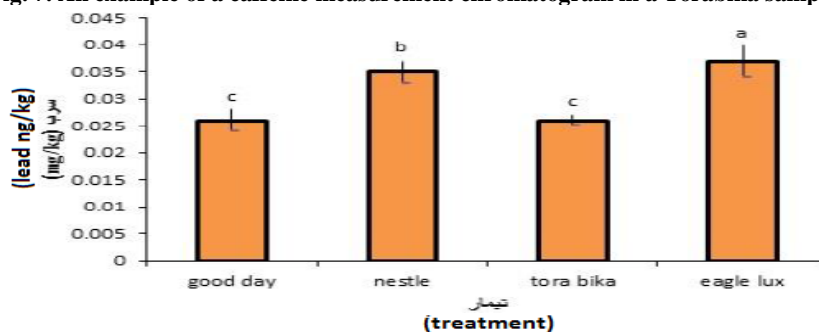
از نظر مقدار سرب بین نمونه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری وجود دارد ولی بین نمونه‌های Good day و Torabika اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p < 0.05$). بیشترین مقدار سرب (۰/۰۳۷±۰/۰۰۳ میلی

جذب و تجمع این فلز را دارا هستند (Senanayake *et al.*, 2013). **Nogaim** و همکاران (۲۰۱۴) بر روی آلودگی فلزات سنگین در دانه-های قهوه سبز یمنی مطالعه کردند و مقدار سرب را با میانگین ppm ۲/۰۷ گزارش کردند. مقدار گزارش شده در پژوهش حاضر پایین تر از مطالعه **Nogaim** و همکاران (۲۰۱۴) بود. **Lathan** و همکاران (۲۰۱۳) تاثیر تهیه عصاره‌های متفاوت از چای و قهوه را بر کاهش میزان سرب مورد مطالعه قرار دادند و نتایج آنها نشان داد که دم کردن (در دمای ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد و داخل یک فلاسک نگهداری شد) و تهیه عصاره آبی داغ (۹۰ تا ۹۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه) از آنها تاثیر زیادی بر کاهش میزان سرب دارد نسبت کاهش در روش‌های دم کردن و تهیه عصاره آبی داغ در قهوه فوری ۷۹:۹۵ درصد، چای ۸۸:۹۱ درصد، پودر قهوه (آسیاب شده) ۵۳:۶۲ درصد و دانه قهوه ۵۳:۵۹ درصد بود.

۱۱۱۳۷ بیشینه مقدار مجاز سرب ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (ISIRI, 2012, 11137). طبق توصیه سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقدار مجاز سرب ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (WHO, 2007). قرار گرفتن در معرض سرب با تعدادی از عوارض جانبی از جمله نورپاتی محیطی، کم‌خونی، آسیب کلیوی و اختلال شناختی همراه است. همچنین بین افزایش سطح سرب خون با کاهش تعداد گلبول‌های قرمز، هموگلوبین و هموتوکریت نیز ارتباط وجود دارد (Landsteiner *et al.*, 2016). به دلیل فرونشست سرب موجود در اتمسفر، استفاده از آفت کش‌های، کودهای فسفاته حاوی سرب، لجن فاضلاب و کودهای آلی آلوده به فلزات سنگین مانند سرب، شرایط رویشگاه به‌ویژه اسیدی بودن خاک که باعث افزایش انحلال عناصر می‌شود، مجاورت رویشگاه‌ها با مناطق صنعتی، تحرک و زیست‌فراهمی این عنصر برای گیاه می‌شود. معمولاً گیاهان، بدون تغییر بر عملکرد ظاهری‌شان، توانایی بالایی در



شکل ۷- نمونه‌ای از کروماتوگرام اندازه‌گیری کافئین در نمونه Torabika
 Fig. 7. An example of a caffeine measurement chromatogram in a Torabika sample

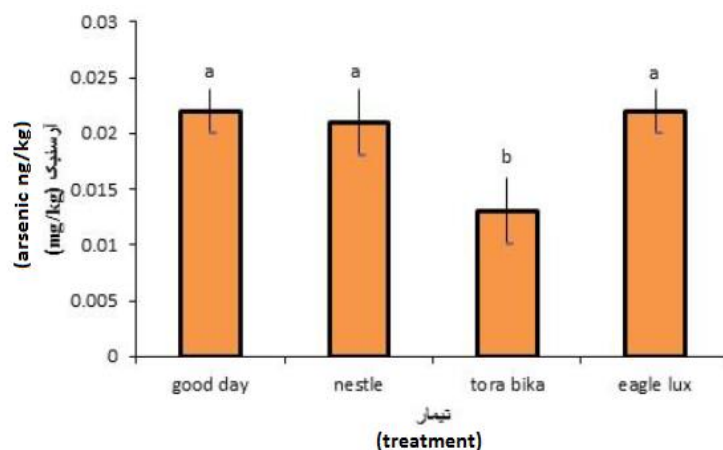


شکل ۸- نتایج میزان سرب در نمونه‌های Torabika, Nestle, Good day, Eagle Lux پودر قهوه فوری
 حروف کوچک متفاوت، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ با یکدیگر دارند.

Fig. 8. Results of lead content in Eagle Lux, Good day, Nestle and Torabika instant coffee powder samples
 Different lowercase letters have a significant difference at the 5% level.

در گیاه شود. آلودگی محیط زیست و مواد غذایی به فلز سمی آرسنیک یکی از مسائل مهمی است که موجب به خطر انداختن بهداشت عمومی و سلامت موجودات زنده می‌شود (WHO, 2007). فلزات سنگینی مانند آرسنیک در ریشه‌های گیاه قهوه ذخیره شده سپس به ساقه‌ها و دانه انتقال داده می‌شود ولی غلظت آرسنیک در دانه‌ها کمتر از سایر بافت‌های گیاه قهوه است. حضور آرسنیک در قهوه برشته شده، آسیاب شده و پودر شده متفاوت است (Matés et al., 2010). اندازه دانه قهوه، روش استخراج و نوع تولید محصولات قهوه که باعث کاهش مقدار رطوبت (کاهش آب) بر حضور فلزات سنگین مانند آرسنیک و افزایش غلظت آنها تاثیر دارد. فرآیند تزیق که برای تهیه قهوه استفاده می‌شود تاثیر زیادی بر غلظت فلزات دارد. غلظت کمتر فلز در تزیق به احتمال زیاد به دلیل آزاد شدن فلز به شکل یون ساده در ماتریکس قهوه است (Stelmach et al., 2013). Welna و همکاران (۲۰۱۳) میزان آرسنیک را در محصولات قهوه به روش 'HG-ICP-OES' مورد ارزیابی قرار دادند و میانگین غلظت آن را ۰/۱۱۴ تا ۰/۲۴۷ میکروگرم در گرم گزارش کردند. مقدار گزارش شده در پژوهش حاضر پایین‌تر از مطالعه Welna و همکاران (۲۰۱۳) بود.

بین نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما مقدار آرسنیک در نمونه Torabika تفاوت معنی‌داری با سه نمونه دیگر دارد ($p < 0.05$). بیشترین مقدار آرسنیک (0.022 ± 0.002 میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه Good day و Eagle lux و کمترین مقدار (0.013 ± 0.003 میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه Torabika مشاهده شد (شکل ۹). کلیه نمونه‌ها از لحاظ مقدار آرسنیک در محدوده قابل قبول قرار داشته‌اند. بر طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۱۳۷ بیشینه مقدار مجاز آرسنیک ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (ISIRI, 2012, 11137). سطح قابل قبول استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای حداکثر غلظت آرسنیک در آب آشامیدنی سالم ۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر و برای خاک ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. همچنین توصیه FAO حداکثر مقداری که ناشی از مصرف روزانه آرسنیک غیرآلی است، ۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن می‌باشد. آب‌های زیرزمینی در برخی مناطق به مقدار زیادی جهت آشامیدن، پخت و پز و آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی آلوده به آرسنیک جهت آبیاری مزارع کشاورزی باعث افزایش غلظت این آلاینده در خاک شده و انتقال آن به بخش‌های مختلف گیاه را افزایش می‌دهد که در نتیجه در برخی موارد، منجر به مختل شدن رشد طبیعی گیاه و یا تمرکز بالای آرسنیک



شکل ۹- نتایج میزان آرسنیک در نمونه‌های Torabika، Good day، Nestle و Eagle Lux پودر قهوه فوری

حروف کوچک متفاوت، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ با یکدیگر دارند.

Fig. 9. Results of arsenic in Eagle Lux, Good day, Nestle and Torabika instant coffee powder samples
Different lowercase letters have a significant difference at the 5% level.

تحت تاثیر شرایط محیطی شامل دما، رطوبت، فعالیت آبی، شرایط جابه‌جایی، انبارداری تا زمان مصرف، میزان حساسیت محصول در زمان کاشت، داشت، برداشت و فرآوری در برابر تهاجم قارچ دارد. روش‌های پس از برداشت مانند خشک کردن تحت شرایط نامطلوب و تماس دانه های قهوه با خاک باعث رشد قارچ و تولید اکراتوکسین است (Batista

اکراتوکسین A

در تمام نمونه‌ها میزان اکراتوکسین A منفی بود. طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۱۳۷ بیشینه مقدار مجاز اکراتوکسین ۱۰ ppb گزارش شده است (ISIRI, 2012, 11137). آلودگی به میکروتوکسین ها مانند اکراتوکسین که توسط اسپرژیلوس و پنی‌سیلیوم تولید می‌شود،

نتیجه گیری

بررسی نتایج به دست آمده در نمونه‌ها نشان داد که میزان تمامی پارامترهای بررسی شده در محدوده حد مجاز و قابل قبول قرار دارند. بهترین نمونه‌ها به لحاظ میزان اندک فلزات سنگین به ترتیب Torabika، Good day، Eagle lux و Nestle می‌باشد. نمونه Nestle به دلیل داشتن قند کمتر نسبت به سایر نمونه‌ها، مناسب‌ترین نمونه برای بیماران دیابتی و نمونه Torabika به دلیل داشتن چربی کمتر، مناسب‌ترین نمونه برای افراد مبتلا به بیماری‌های قلبی عروقی می‌باشد. همچنین نمونه Torabika با وجود رطوبت و خاکستر کمتر به دلیل قابلیت نگهداری بیشتر، از کیفیت بهتری برخوردار می‌باشد.

Mounjouenpou *et al.*, 2009) و همکاران (۲۰۱۳) آلودگی اکراتوکسین در قهوه خالص عربی، قهوه خالص ربوستا و قهوه میکس را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که میانگین آلودگی ۰/۶ تا ۱۸ میکروگرم در کیلوگرم بود. اگرچه حرارت دادن و برشته کردن باعث دناتور شدن اکراتوکسین می‌شود ولی بسیاری از قهوه‌های تجاری برشته شده دارای مقداری اکراتوکسین هستند (Mounjouenpou *et al.*, 2013). به دلیل حضور ترکیبات زیست فعال مهم در قهوه و حفظ کیفیت و ایمنی محصول و سلامت مصرف کننده، بیشترین آلودگی در دانه‌های قهوه برشته ۵ میکروگرم در کیلوگرم و در پودرهای قهوه فوری ۱۰ میکروگرم در کیلوگرم در بیان‌های توسط کمیته اروپا گزارش شده است (The Commission of the European Communities, EC) (No. 1881/2006).

منابع

- Batista, L. R., Chalfoun, S. M., Silva, C. F., Cirillo, M., Varga, E. A., Schwan, R. F. (2009). Ochratoxin A in coffee beans (*Coffea arabica* L.) processed by dry and wet methods. *Food Control*, 20: 784-790. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.10.003>
- Belitz, H. D., Grosch, W., Schieberle, P., Grosch, P. (2009). Coffee, tea, cocoa. In H. D. Schieberle (Eds.), *Food Chemistry*, Leipzig: Springer, 4: 938-951. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7_22
- Bell, L. N., Wetzel, C. R., Grand, A. N. (1996). Caffeine content in coffee as influenced by grinding and brewing techniques. *Food Research International*, 29(8): 785-789. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(97\)00002-1](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(97)00002-1)
- Bhumiratana, N., Adhidari, K., Chambers, E. (2011). Evolution of sensory aroma attributes from coffee beans to brew coffee. *LWT. Food Science and Technology*, 44(10): 2185-2192. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.001>
- Cabrera, C., Gimenez, R., Lopez, M. C. (2003). Determination of tea components with antioxidant activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51: 4427- 4435. <https://doi.org/10.1021/jf0300801>
- Crocq, M. A. 2003. Alcohol, nicotine, caffeine, and mental disorders. *Dialogues Clin Neurosci*, 5: 175-185. doi: [10.31887/DCNS.2003.5.2/macrocq](https://doi.org/10.31887/DCNS.2003.5.2/macrocq)
- Fitzpatrick, J., Bhandari, B., Bansal, N., Zhang Mand Schuck, P (Eds.). (2013). Powder properties in food production systems. In: Handbook of food powders Processes and properties. 1st ed. Wood head Publishing Limited. U. K, 299-322.
- Galarce-Bustos, O., Alvarado, M., Vega, M., Aranda, M. (2014). Occurrence of ochratoxin A in roasted and instant coffees in Chilean market. *Food Control*, 46: 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.014>
- Ghirisan, A., Miclaus, V. (2017). Comparative study of spray-drying and freeze-drying on the soluble coffee properties. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Chimia*, 4: 309-316. DOI: [10.24193/subbchem.2017.4.26](https://doi.org/10.24193/subbchem.2017.4.26)
- Hollier, C., M. R., Rutherglen. (2005). Acid soils. *Agricultural Notes*, AG :1182.
- Institute of standard and industrial research of Iran. (2012). *Coffee and coffee products- Instand coffee mix powder- Specifications and test methods*. No. 11137.
- Institute of standard and industrial research of Iran. (2018). *Instant beverage powder- Specifications and test methods*. No. 4714.
- Jong-Sup, J., Kim, H-T., Jeong, Il-H., Hong, S-R., Oh, M-S., Yoon, M-H., Shim, J-H., Jeong, J. H., El-Aty. A. M. A. (2019). Contents of chlorogenic acids and caffeine in various coffee-related products. *Journal of Advanced Research*, 17: 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.01.002>
- Kassi, Z., Greenough, A., Rafferty, G. F. (2009). Effect of caffeine on respiratory muscle strength and lung function in prematurely born, ventilated infants. *European Journal of Pediatrics*. Dec, 168(12): 1491-1495. <https://doi.org/10.1007/s00431-009-0961-9>
- Kulhari, A., Sheorayan, A., BajarS, Sarkar, S., Chaudhury, A., Kalia, R. K. (2013). Investigation of heavy metals in frequently utilized medicinal plants collected from environmentally diverse locations of north western India. *Springer Plus*, 2: 676-681. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-676>
- Landsteiner, A., Yendell, S., Lindgren, P., Olson, L., Williams, A. 2005 -2012- 2016. Adult blood lead levels in minnesota: rates and trends. *Minnesota Medicine*, 99(2): 47-50.

17. Lathan, N., Edwards, S., Thomas, C., Agwaramgbo, L. (2013). Comparative Study of Lead Removal by Extracts of Spinach, Coffee, and Tea. *Journal of Environmental Protection*, 4: 250-257. [DOI:10.4236/jep.2013.43029](https://doi.org/10.4236/jep.2013.43029)
18. Leroy, T., Ribeyre, F., Bertrand, B., Charmentant, P., Dufour, M., Montagnon, C., Marraccini, P., Pot, D. (2006). Genetics of coffee quality. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18:229-242.
19. Mandal, B.K., Suzuki, K.T. (2002). Arsenic round the world: a review. *Talanta*, 58(1): 201-235. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(02\)00268-0](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(02)00268-0)
20. Matés, J. M., Safe, J. A., Alonso, F. J. M. (2010). Roles of dioxins and heavy metals in cancer and neurological diseases using ROS-mediated mechanisms. *Free Radical Biology and Medicine*, 49(9):1328-1341. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.07.028>
21. Moeenfard, M., Khaloo Kermani, P., Jaldan, Sh., Sharif, A. (2021). Caffeine Determination in Various Types of Coffee Brews and Studying the Effect of QuEChERS Method on Its Extraction Compare to Conventional Approach. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 17(1): 173-186.
22. Motora, K. G., Beyene, T. T. (2017). Determination of Caffeine in Raw and Roasted Coffee Beans of ILU Abba Bora Zone, South West Ethiopia. *Indo American Journal Of Pharmaceutical Research*, 7: 463-470. DOI: [10.22067/ifstrj.v17i2.86410](https://doi.org/10.22067/ifstrj.v17i2.86410)
23. Mounjouenpou, P., Durand, N., Guiraud, J-P., Tetmoun, S. A. M., Gueule, D., Guyot, B. (2013). Assessment of exposure to ochratoxin – A (OTA) through ground roasted coffee in two Cameroonian cities: Yaounde and Douala. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 3(3): 35-39.
24. Naidu, M. M., Sulochanamma, G., Sampathu, S., Srinivas, P. (2008). Studies on extraction and antioxidant potential of green coffee. *Food Chemistry*, 107(1): 377-384. [DOI: 10.5923/j.food.20130303.03](https://doi.org/10.5923/j.food.20130303.03)
25. Nogaim, Q. A., Al-Dalali, S., Al-Badany, A., Farh, M. (2014). Determination of Some Heavy Metals in Yemeni Green Coffee. *Journal of Applied Chemistry*, 2 (4):13-18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.056>
26. Oberoi, D. P. S., Soji, D. S. (2015). Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering*, 165: 172-178. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.024>
27. Salamanca, C. A., Fiol, N., González, C., Saez, M., Villaescusa, I. (2017). Extraction of espresso coffee by using gradient of temperature. Effect on physicochemical and sensorial characteristics of espresso. *Food Chemistry*, 214: 622-630. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.120>
28. Schuck, P., Dolivet, A., Jeantet, R. (2012). Analytical methods for food and dairy powders. *Wiley- Blackwell*, Oxford, 145–154.
29. Seenivasan, S., Manikandan, N., Nair, M. (2008). Chromium contamination in black tea and its transfer into tea brew. *Food Chemistry*, 106(3): 1066-1069. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.027>
30. Senanayake, M. P., Perera, R., Liyanaarachchi, L. A. Dassanayake, M. P. (2013). Spices as a source of lead exposure: a market-basket survey in Sri Lanka. *Ceylon Medical Journal*, 58(4): 168-169.
31. Shah, A., Niaz, A., Ullah, N., Rehman, A., Akhlaq, M., Zakir, M. et al. (2013). Comparative study of heavy metals in soil and selected medicinal plants. *Journal of Chemistry*, 1-5.
32. Shiomi, N. (2015). An Assessment of the Causes of Lead Pollution and the Efficiency of Bioremediation by Plants and Microorganisms, in *Advances in Bioremediation of Waste water and Polluted Soil*: Intech.
33. Shittu, T. A., Lawal, M. O. (2007). Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. *Food Chemistry*, 100: 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.013>
34. Stelmach, E., Pohl, P., Szymczycha-Madeja, A. (2013). The suitability of the simplified method of the analysis of coffee infusions on the content of Ca, Cu, Fe, Mg, Mn and Zn and the study of the effect of preparation conditions on the leach ability of elements into the coffee brew. *Food Chemistry*, 141(3): 1956-1961. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.011>
35. Teunou, E., Fitzpatrick, J. J., Synnott, E. C. (1999). Characterization of food powder flowability, *Journal of Food Engineering*, 39: 31-37. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00140-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00140-X)
36. Vauzour, D., Rodriguez-Mateos, A., Corona, G., Oruna-Concha, M. J., Jeremy, P., Spencer, E. (2010). Polyphenols and human health: prevention of disease and mechanisms of action. *Nutrients*, 2: 1106-1131. <https://doi.org/10.3390/nu2111106>
37. Vittayaporn, V., Wirunthanakrit, W. (2016). Preference mapping of commercial instant coffee Mix in Thailand. *SDU Research, Journal Sciences and Technology*, 9(2): 177-191.
38. Vitzthum, O. G. 1975. *Chemie und Bearbeitung des Kaffees*. Berlin Springer.
39. Welna, M., Szymczycha-Madeja, A., Pohl, P. (2014). Improvement of Determination of Trace Amounts of Arsenic and Selenium in Slim Coffee Products by HG-ICP-OES. *Food Analytical Methods*, 7: 1016-1023. <https://doi.org/10.1007/s12161-013-9707-4>
40. WHO. 2007. *Cancer Control: Knowledge into Action*. Geneva: World Health Organization.

41. Zazouli, M. A, Mohseni Bandpei, A., Maleki, A., Saberian, M., Izanloo, H. (2010). Determination of cadmium and lead contents in black tea and tea liquor from Iran. *Asian Journal of Chemistry*, 22(2): 1387-1393.
42. Zinedine, A., Juna, C., Adrissi, L., Manes, j. (2007). Occurrence of ochratoxin A in bread consumed in Morocco. *Microchemical journal*, 87: 154-158. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2007.07.004>



Investigation of the *Coffea Arabica* substitution with roasted date seed on physicochemical and sensory properties of coffee brew

Farideh Mojrian Sharghi¹, Marzieh Moeenfar^{1*}, Reza Farhoosh¹, Hadi Mahdavian Mehr²

Received: 2021.02.02

Accepted: 2021.04.12

How to cite this article:

Mojrian Sharghi, F., Moeenfar, M., Farhoosh, R., Mahdavian Mehr, H., (2022). Investigation of the *Coffea Arabica* substitution with roasted date seed on physicochemical and sensory properties of coffee brew. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18(1), 96-112.

Abstract

Introduction: Date seeds (also known as pits and kernel) are among the most important wastes which are generated during direct consumption or from the date processing industries. Despite the presence of several nutrients and bioactive compounds and their subsequent beneficial health effects, these by-products are frequently discarded to use as soil fertilizer or as feed for livestock. Roasting opens a cost-effective way to include date seed in the human diet. The aqueous extract of roasted date seed represented a coffee-like beverage. Date seed coffee has a relatively low acceptance among consumers and is usually supplemented with a variety of additives to improve the taste. Therefore, due to rising the global coffee price, in the present study, we aimed to substitute Arabica beans with roasted date seeds in order to make a coffee beverage similar to *Coffea Arabica* boiled coffee brew.

Materials and Methods: *Coffea Arabica* and roasted date seeds were obtained from local markets and 10 grams of powder (100% Arabica coffee (A100), 100% date kernels (D100) or a mixture of Arabica coffee powder and date seeds in proportions of 10 (D10), 35 (D35), 50% (D50) of date seed) was brewed using 100 ml of boiling distilled water. The brewed coffees were examined in terms of lipid, protein, caffeine, acrylamide, total phenol and total flavonoids content. Other parameters including color, viscosity, pH, DPPH and FRAP assays followed by sensorial evaluation were evaluated, as well.

Results and Discussion: Substitution with roasted date seed resulted in lower lipids, protein and caffeine of coffee brews as the values were decreased from 330.67, 956.75, 76.51 mg/100 mL in *Coffea Arabica* (100%) to 192.61, 149.00, 45.59 mg/100 in date seed coffee (100%), respectively. Higher amounts of date seed also resulted in lower pH and acrylamide content. Accordingly, pH was decreased from 5.7 in D100 to 4.4 in A100. Acrylamide content was attenuated from 5.06 µg/100 mL in A100 to 1.71 µg/100 mL in D100. Reduction in viscosity was also observed from 0.93 (A100) to 0.86 mPa.s (D100). The mean value of the color parameter including L^* , a^* and b^* in the 100% *Coffea Arabica* brew was more than the 100% date seed coffee, which indicated that the coffees brewed from date seeds in different proportions were brighter and had higher red and yellow color parameters. Substitution with date seed had less effect on the total phenol content as TPC of coffees ranged from 28 to 42 mg/100 mL for 100% date seeds brew and *Coffea Arabica* brew, respectively. On the other hand, the flavonoid content (TFC) of coffees was significantly affected by the amount of date seeds (5 to 75 mg/100 mL for 100% date seeds and *Coffea Arabica* brew, respectively). All brews have high antioxidant activity. For DPPH the highest results (88/9 %) were obtained in the coffee brewed from 100% date seeds, while the FRAP value it was vice versa. The results of sensory evaluation indicated a high similarity among A100 and D10 coffees as parameters such as aroma, color and texture (concentration) of coffee were evaluated appropriate. The results also showed that substituting *Coffea Arabica* up to 35% with roasted date seeds can improve the overall acceptance of the coffee brews by reducing bitterness.

1. Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, PO-Box: 9177948944.

2. PhD in Food Chemistry, Part Sazan Coffee company (MultiCafé), Mashhad.

(* Corresponding Author's Email: moeenfar@um.ac.ir)

DOI: [10.22067/IFSTRJ.2021.68677.1017](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.2021.68677.1017)

Conclusion: In general, the ability to replace *Coffea Arabica* with date seeds up to 10 and 35% was reported acceptable in terms of sensory characteristics, as the color and aroma were similar to 100% *Coffea Arabica*. Besides that due to reduced bitterness, the overall acceptance were almost high.

Keywords: Coffee, Date seed, Antioxidant, Acrylamide, Sensory evaluation

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی تاثیر افزودن هسته خرما بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی و حسی قهوه حاصل از دانه عربیکا (*Coffea Arabica*)

فریده مجریان شرقی^۱ - مرضیه معین فرد^{۲*} - رضا فروش^۳ - هادی مهدویان مهر^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۳

چکیده

هسته خرما یکی از مهم‌ترین ضایعات صنایع فرآوری خرما است که حاوی مقادیر قابل توجهی کربوهیدرات، لیپید، پروتئین، ترکیبات پلی فنولی و مواد معدنی است. برشته کردن هسته و تولید قهوه هسته خرما یکی از ساده‌ترین روش‌ها جهت ایجاد ارزش افزوده بر این ضایعات است. لذا در این تحقیق امکان جایگزینی دانه قهوه عربیکا با هسته خرما برشته در سطوح ۱۰، ۳۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد جهت تهیه قهوه (brew coffee) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان چربی، پروتئین و کافئین در قهوه ۱۰۰ درصدی عربیکا به ترتیب از ۳۳۰/۶۷، ۹۵۶/۷۵، ۷۶/۵۱ mg/100 mL به ۱۹۲/۶۱، ۱۴۹/۰۰ mg/100 mL و کمتر از حد تشخیص (<LOD) در قهوه ۱۰۰ درصدی هسته خرما کاهش یافت. میزان آکریل آمید و ویسکوزیته نمونه‌ها نیز کاهش قابل توجهی نشان دادند. افزایش پودر هسته خرما باعث اسیدی شدن و رقیق‌تر شدن قهوه حاصله شد که نتایج آن در کاهش pH و ویسکوزیته مشاهده گردید. افزایش پارامترهای L^* ، b^* و a^* در نوشیدنی قهوه با افزایش میزان پودر هسته خرما مشاهده شد که بیان‌گر روشن‌تر شدن آن و افزایش پارامترهای رنگی قرمز و زرد بود. محتوای فلاونوئید و فنول کل در قهوه‌ها به شکل قابل توجهی تحت تاثیر میزان هسته خرما قرار گرفته و کاهش یافت. لازم به ذکر است که جایگزینی با هسته خرما بر محتوای فنول کل تاثیر کمتری داشت. قهوه‌های تهیه شده از خواص آنتی‌اکسیدانی قابل قبولی برخوردار بودند به نحوی که قهوه هسته خرما (۱۰۰ درصد) قدرت بیشتری در مهار رادیکال آزاد DPPH نشان داد. به صورت کلی، قابلیت جایگزینی دانه عربیکا با هسته خرما تا سطح ۱۰ و ۳۵ درصد از نظر حسی قابل قبول گزارش شد، به صورتی که رنگ و عطر این قهوه‌ها شباهت بالایی با قهوه ۱۰۰ درصدی عربیکا نشان دادند و از طرفی به دلیل کاهش تلخی، پذیرش کلی آن‌ها نیز بالا بود.

واژه‌های کلیدی: قهوه، هسته خرما، آنتی‌اکسیدان، آکریل آمید، ارزیابی حسی.

مقدمه

به‌عنوان ضایعات بخش‌های مختلف، اعم از تازه‌خوری یا ضایعات حاصل از صنایع فرآوری، تولید شده باشد. علاوه بر مشکلات زیست محیطی، این حجم از ضایعات نوعی هدر رفت منابع نیز به‌شمار می‌رود (Ambigaipalan and Shahidi, 2015; Fikry et al., 2019a).

ترکیب شیمیایی هسته خرما به شکل قابل توجهی تحت تاثیر وارسته، محل کشت، پیشینه ژنتیکی، میزان رسیدگی میوه و نیز روش مورد استفاده در استخراج ترکیبات قرار دارد (Khalid et al., 2017). به‌طور کلی، هسته خرما با رطوبتی بین ۳ الی ۱۰ درصد وزنی/ وزنی، عمدتاً از کربوهیدرات (۷۱-۸۷ درصد)، روغن (۵-۱۳ درصد) و پروتئین (۲-۶ درصد) تشکیل شده است و میزان خاکستر نیز در آن به ۰/۹-۱/۸ درصد می‌رسد (Al-Farsi and Lee, 2011). همچنین با داشتن ۳۱-۳۴ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم، منبع غنی از ترکیبات پلی فنولی به‌شمار می‌رود به نحوی که فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره هسته خرما معادل

خرما (*Phoenix dactylifera* L) گیاهی است متعلق به خانواده *Arecaceae* که در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری به ثمر می‌رسد و میوه آن به‌عنوان یک ماده غذایی سرشار از انرژی مصرف می‌شود. اگرچه بهره‌برداری و صنعتی شدن تولیدات آن نیز در سراسر جهان به‌طور گسترده‌ای رو به رشد است (Chandrasekaran and Bahkali, 2013). طبق آمار سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی (FAO)، در سال ۲۰۱۷ نزدیک به ۸/۳ میلیون تن خرما در دنیا تولید شده که در این میان، مصر، ایران و مراکش به ترتیب با ۱۹، ۱۴ و ۱۲ درصد، به‌عنوان مهم‌ترین تولیدکنندگان خرما به‌شمار می‌روند (FAO, 2017). با توجه به این که هسته (دانه) خرما حدود ۱۵-۱۰ درصد از وزن میوه کامل را تشکیل می‌دهد (Al-Farsi and Lee, 2008b)، تخمین زده می‌شود که در سال ۲۰۱۷، حداقل ۸۳۰ هزار تن هسته خرما

* ایمیل نویسنده مسئول: moeenfard@um.ac.ir

DOI: 10.22067/IFSTRJ.2021.68677.1017

5 Food and Agriculture Organization of the United Nations

6 Date seed, Date pit, Date stone, Date kernel

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۴- دکتری شیمی مواد غذایی، شرکت صنایع قهوه پارت سازان (مولتی کافه)، مشهد، مشهد، ایران.

مطالعه کرده و نشان دادند که بیشترین امتیاز عطر و طعم در قهوه خرما بواسطه برشته کردن هسته در 200°C در ۱۰ دقیقه، حاصل می‌شود (Fikry et al., 2019a). تحقیقات دیگری نیز در این زمینه صورت گرفته است ولی نتایج آن‌ها نشان داد که اگرچه ویژگی‌های حسی قهوه حاصل از هسته خرما در سطح قابل قبولی قرار دارد ولی در مقایسه با قهوه عربیکا، ضعیف‌تر عمل می‌کند و در اغلب موارد نیاز به افزودنی‌هایی مانند شیر، شکر، زنجبیل برای بهبود عطر و طعم پیشنهاد می‌شود (Ghnimi et al., 2015; Venkatachalam and Sengottian, 2016). منبعی که به عنوان جایگزین پودر قهوه مورد استفاده قرار می‌گیرد باید بعد از برشته کردن عطری تقریباً مشابه قهوه داشته باشد، روش‌های تهیه نوشیدنی قهوه برای آن نیز به کار رود، خواص سلامتی‌زایی داشته و متعاقباً حامل ترکیبات مضر نباشد و در نهایت استفاده از آن به لحاظ اجتماعی تعریف شده و از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد. از آنجاکه هسته خرما اغلب ویژگی‌های لازم برای جایگزینی در تهیه نوشیدنی قهوه را داراست، در این پژوهش سعی بر آن شد تا امکان جایگزینی قهوه، به صورت ترکیب آن با پودر هسته خرما برشته شده جهت تولید قهوه مورد مطالعه قرار گیرد. لذا، هدف پژوهش حاضر تولید محصولی ارزان‌تر با ویژگی‌های فیزیکی (از قبیل رنگ، عطر، طعم و ویسکوزیته) و شیمیایی (از قبیل چربی، پروتئین، ترکیبات با خواص آنتی‌اکسیدانی) مشابه قهوه حاصل از دانه برشته عربیکا بود.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌های قهوه

دانه قهوه عربیکا (دانه‌های برزلی و اتیوپی با برشته‌گی medium-dark) از شرکت معتبر داخلی و پودر هسته خرما برشته شده (medium-dark) از شرکت مولتی کافه مشهد تهیه گردید. به‌منظور تهیه قهوه جوشیده^۶، میزان ۱۰ گرم از پودر به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در حال جوش افزوده شده و به مدت ۲ دقیقه در حالت جوش نگهداری شد. بعد از یک دقیقه نگهداری در حالت سکون و دور از حرارت، ذرات پودر ته‌نشین شده و مایع رویی جهت انجام آزمون‌ها مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب پودر مورد استفاده جهت تهیه انواع قهوه به شرح زیر است: ۱۰۰ درصد دانه عربیکا (A100)، ۱۰۰ درصد هسته خرما (D100)، ۹۰ درصد دانه عربیکا- ۱۰ درصد هسته خرما (D10)، ۶۵ درصد دانه عربیکا- ۳۵ درصد هسته خرما (D35)، ۵۰ درصد دانه عربیکا- ۵۰ درصد هسته خرما (D50).

۹۲۹-۵۸۰ میکرومول ترولوکس^۱ در گرم، برآورد شده است (Al-Farsi and Lee, 2008a; Suresh et al., 2013). شواهد زیادی مبنی بر خواص سلامتی‌زایی هسته خرما وجود دارد که از آن جمله می‌توان به خواص ضدالتهابی (Bouhlali et al., 2020) و ضدسرطانی عصاره هسته خرما (Al-Sheddi, 2019; Habib et al., 2014; Thouri et al., 2019) در مطالعات سلولی^۲ اشاره کرد. همچنین کاهش سمیت کبد^۳ (Abdelaziz and Ali, 2014) و فیروز کبدی^۴ (Al-Rasheed et al., 2015) و خواص ضددیابتی (Hasan and Mohieldin, 2016) در مطالعات حیوانی به اثبات رسیده‌اند. تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که این خواص سلامتی‌زایی ارتباط تنگاتنگی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره هسته خرما دارد (Maqsood et al., 2019; Taleb et al., 2016).

علی‌رغم خواص فراوان هسته خرما، این بخش از این ضایعات غالباً بدون هیچ‌گونه فرآوری به مصرف خوراک دام می‌رسد. یکی از راهکارهای نسبتاً ارزان برای استفاده مجدد از این ضایعات، تهیه نوشیدنی بر پایه پودر هسته خرما برشته شده است که در بسیاری منابع از آن به نام "قهوه هسته خرما"^۵ یاد می‌شود. قهوه یک نوشیدنی محبوب با مصرف روزانه بیش از ۲/۵ میلیون فنجان در سراسر دنیا است که مصرف آن در ایران نیز به سرعت در حال افزایش است. عربیکاه^۶ و ربوستا^۷ دو وارسته مهم گیاه قهوه هستند که از لحاظ تجاری حائز اهمیت بوده و عمدتاً از لحاظ میزان کافئین، لیپید و محتوای اسیدهای کلوروژنیک^۸ با یکدیگر تفاوت دارند (Petraacco, 2005). برخلاف دانه‌های عربیکا یا ربوستا، هسته خرما برشته شده به دلیل عدم داشتن کافئین می‌تواند منبع مناسبی جهت تهیه قهوه برای افراد با نیازهای خاص به‌شمار آید (Venkatachalam and Sengottian, 2016). زیرا، اگرچه مصرف کافئین باعث کاهش خستگی، افزایش فعالیت ذهنی و افزایش هوشیاری می‌شود ولی بروز علائمی از قبیل سردرد، اضطراب و سرگیجه نیز محتمل است (Candeias et al., 2009). با وجود تولید صنعتی قهوه‌های بدون کافئین، ارزانی و در دسترس بودن هسته خرما، آن را به منبعی مناسب جهت تولید نوشیدنی‌ای با خواص سلامتی‌زا تبدیل کرده است.

بررسی تولید قهوه هسته خرما توسط برخی محققین مورد مطالعه قرار گرفته (Ghnimi et al., 2015) که جامع‌ترین مطالعات مربوط به تیم تحقیقاتی Fikry و همکاران (۲۰۱۹) است (Fikry et al., 2019a; Fikry et al., 2020). این تیم تحقیقاتی تاثیر فرآیند برشته کردن را بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و حسی قهوه هسته خرما

6 Coffea Arabica

7 Coffea Robusta

8 Chlorogenic acids

9 Boiled coffee

1 Trolox

2 in vitro studies

3 Hepatotoxicity

4 Liver fibrosis

5 Date seed coffee

اندازه‌گیری مقدار چربی

بدین منظور، ۵ میلی‌لیتر از نمونه قهوه با ۵ میلی‌لیتر هگزان و ۲۰۰ میکرولیتر متانول (به‌منظور شکستن امولسیون و بهبود فرآیند جداسازی) با استفاده از ورتکس (LD۸۸۰۹، پل ایده‌آل تجهیز، ایران) به‌خوبی مخلوط شده و بعد از سانتریفوژ (Heraeus، کره جنوبی)، فاز روئی جمع‌آوری شد. فاز آبی (همان فاز قهوه) ۳ بار دیگر تحت استخراج با هگزان قرار گرفت. استخراج چربی از ۵ گرم پودر دانه عربیکا یا هسته خرما به‌وسیله ۲۰۰ میلی‌لیتر هگزان نرمال با کمک سوکسله و طی ۵ ساعت انجام شد. حذف حلال در ابتدا با کمک تبخیرکننده تحت خلأ (BUCHI – R100، سوئیس) در فشار ۰/۶-۰/۵ بار و سپس در آون (Jeiotech، کره جنوبی) با دمای 30 ± 10 °C انجام گرفت (Moeenfarid *et al.*, 2015).

اندازه‌گیری مقدار پروتئین

محاسبه میزان پروتئین نمونه‌ها با روش کج‌دلال و طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۹۰۵۲ انجام گرفت. برای این منظور، هضم ۰/۵ گرم پودر (دانه عربیکا یا هسته خرما) و یا ۲ گرم از هر نوشیدنی قهوه با ۶ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ و یک عدد قرص کاتالیزور (محتوی سولفات پتاسیم، سولفات مس، اکسید سلنیم) در 300°C انجام شد. بعد از خنک شدن محلول، ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به هر لوله اضافه شده و تیتراسیون در دستگاه کج‌دلال (Tecator، آمریکا) و بر اساس فاکتور ۶/۲۵ انجام گرفت.

اندازه‌گیری مقدار کافئین

به ۲/۵ میلی‌لیتر از انواع قهوه، ۱۰۰ میکرولیتر از هر کدام از محلول‌های کاریز I^۱ (۲۱/۹ گرم استات‌روی به همراه ۳ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و رساندن به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر با آب مقطر) و کاریز II (۱۰/۶ گرم پتاسیم هگزاآسیانوفرات (II) و رساندن به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر توسط آب مقطر) اضافه شده و با استفاده از محلول آب-متانول با نسبت حجمی (۱۰:۹۰) به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. بعد از سکون به مدت ۱۰ دقیقه و سانتریفوژ (Heraeus، کره جنوبی)، مجدداً این فرآیند تکرار شد. مقدار ۲ میکرولیتر از فاز روئی بعد از فیلتر شدن به سل دستگاه طیف‌سنج تحرک یونی (IMS) ساخت دانشگاه صنعتی اصفهان، (دمای محفظه تزریق و سل به ترتیب 220°C و 200°C)، پلاریته مثبت، ولتاژ ۸۰۰۰) تزریق شد (Bahrami *et al.*, 2013). جهت آنالیز کمی، محلول‌های استاندارد کافئین در محدوده غلظتی ۵-۱۷/۵ mg/L تهیه شدند.

تعیین مقدار آکریل‌آمید

برای این منظور از روش Alves و همکاران (۲۰۱۰) استفاده شد. به‌صورت خلاصه، ۲/۵ میلی‌لیتر از انواع قهوه به همراه ۲۵ میکرولیتر استاندارد داخلی آکریل‌آمید^۲، با کمک ستون استخراج فاز جامد (SPE)^۳ تمیز شده و مشتق‌سازی با بروم انجام شد. آنالیز عصاره نهایی با کمک کروماتوگراف گازی Agilent (6890N، آمریکا)، مجهز به آشکارساز جرمی^۴ و ستون موبینه MDN-12 (طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر) صورت گرفت. شرایط دستگاه برای شناسایی آکریل‌آمید از قرار زیر بود: گاز حامل: هلیوم با سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر در دقیقه، حجم تزریق: ۱ میکرولیتر، دمای آون $230-85^{\circ}\text{C}$ با سرعت افزایش 15°C در دقیقه، نسبت جرم به بار (m/z) ^۵ برای آکریل‌آمید مشتق‌سازی شده: ۱۵۲، ۱۵۰، ۱۰۶، نسبت جرم به بار برای استاندارد داخلی مشتق‌سازی شده: ۱۵۵، ۱۵۳، ۱۱۰. اندازه‌گیری کمی نیز با کمک استاندارد اصلی و استاندارد داخلی به ترتیب در جرم به بار ۱۵۰ و ۱۵۵ انجام شد.

تعیین محتوای فنول کل

بدین منظور، ۲ میلی‌لیتر نمونه با ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین (رقیق شده) و ۶ میلی‌لیتر متانول مخلوط شده و بعد از ۳ دقیقه، ۵ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد (وزنی/حجمی) به مخلوط اضافه شد. ترکیب حاصل با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسیده و به مدت ۲ ساعت در جای تاریک قرار گرفت. میزان جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر با کمک اسپکتروفوتومتر UV-Vis (Unico، آمریکا) اندازه‌گیری شد (Capannesi *et al.*, 2000). برای اندازه‌گیری کمی، محلول‌های استاندارد اسید گالیک (۶۵-۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول) مورد استفاده قرار گرفت.

تعیین محتوای فلاونوئید کل

به ۰/۵ میلی‌لیتر از نمونه، ۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر، ۱۵۰ میکرولیتر نیتريت سدیم ۵ درصد (وزنی/حجمی) و ۱۵۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد (وزنی/حجمی) اضافه شد. بعد از گذشت ۶ دقیقه، ترکیب حاصل با یک میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۱ مولار ترکیب شده و با آب مقطر به حجم ۵ میلی‌لیتر رسید. جذب ترکیب حاصل بلافاصله در طول موج ۵۵۰ نانومتر و با استفاده از اسپکتروفوتومتر UV-Vis (Unico، آمریکا) خوانده شد. آنالیز کمی با محلول استاندارد کوئرستین (۳۰۰-۱۰ میکروگرم در میلی‌لیتر اتانول) انجام گرفت (Al-Farsi and Lee, 2008b).

4 Mass Detector

5 Mass-to-charge ratio (m/z)

1 Carrez solution

2 Ion mobility Spectroscopy (IMS)

3 Solid Phase Extraction (SPE)

قدرت مهار رادیکال آزاد DPPH

روش مهار رادیکال آزاد DPPH، نوعی آزمون ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر پایه انتقال الکترون یا اتم هیدروژن است. این روش غالباً در مطالعه پتانسیل اهدای هیدروژن توسط نمونه کاربرد دارد. رادیکال DPPH در دمای محیط و در تاریکی پایدار بوده و رنگ محلول متانولی آن بنفش تیره است. در حضور مولکول آنتی‌اکسیدان، این رادیکال احیا شده و دی‌فنیل پیکریل هیدرازین^۲ تولید می‌شود که نتیجه آن تغییر رنگ محلول از بنفش تیره به زرد است (Cerretani and Bendini, 2010). برای تعیین قدرت آنتی‌اکسیدانی عصاره، مقدار ۰/۴ میلی‌لیتر نمونه صاف شده با ۳/۶ میلی‌لیتر محلول متانولی DPPH (غلظت 6×10^{-5} مولار) ترکیب شد. جهت تهیه نمونه شاهد، ۰/۴ میلی‌لیتر متانول، جایگزین نمونه شد. بعد از ۳۰ دقیقه سکون در تاریکی، جذب محلول در ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis (Unico، آمریکا) اندازه‌گیری شد. درصد مهار رادیکال آزاد با استفاده از رابطه ۱، زیر محاسبه گردید (Babiker et al., 2020).

$$(1) \quad \text{درصد مهار رادیکال آزاد} = \left[\frac{\text{جذب نمونه} - \text{جذب شاهد}}{\text{جذب شاهد}} \right] \times 100$$

ارزیابی قدرت احیاکنندگی به روش FRAP^۳

هدف از این آزمون، بررسی توانایی انواع قهوه در احیای آهن سه ظرفیتی در کمپلکس بی رنگ TPTZ به آهن Fe^{3+} به آهن دو ظرفیتی در کمپلکس آبی رنگ تری‌پیریدیل تری‌آزین- Fe^{2+} بود. برای این منظور از روش Endeshaw و همکاران (۲۰۲۰) با کمی اصلاحات استفاده شد. به ۷۵ میکرولیتر قهوه صاف شده، ۲/۲۵ میلی‌لیتر محلول کار FRAP و ۰/۲۲۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه افزوده شد. بعد از نگهداری نمونه‌ها (۱۰ دقیقه، $37^{\circ}C$)، جذب در ۵۹۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis (Unico، آمریکا) اندازه‌گیری گردید. در تهیه محلول شاهد، به جای نمونه از ۷۵ میکرولیتر آب دیونیزه استفاده شد. آنالیز کمی با محلول استاندارد آهن II در محدوده غلظت ۳۰-۱۰۰۰ میکرومولار انجام گرفت.

اندازه‌گیری pH، ویسکوزیته و رنگ

به منظور سنجش pH نمونه‌های تازه تهیه شده از pH متر (Windaus، انگلیس) در دمای $3 \pm 20^{\circ}C$ ، استفاده شد. برای اندازه‌گیری ویسکوزیته، نمونه‌ها تا دمای $3 \pm 20^{\circ}C$ خنک شده و از ویسکومتر (بروکفیلد، کانادا، اسپیندل: ULA، متوسط سرعت چرخش: ۸/۸ rpm) برای این منظور استفاده شد. رنگ در نمونه‌های قهوه تازه تهیه شده و

خنک شده تا دمای $3 \pm 20^{\circ}C$ ، توسط دستگاه هاترلب (ColorFlex EZ، آلمان) و بر اساس تعیین سه فاکتور L^* ، a^* ، b^* اندازه‌گیری شد.

ارزیابی حسی

میزان پذیرش انواع قهوه بر اساس فاکتورهای رنگ، عطر، غلظت، شدت تلخی، شدت اسیدی بودن توسط ۱۰ نفر ارزیاب حسی آموزش دیده و آشنا با عطر و طعم قهوه و بر اساس آزمون ۵ نقطه‌ای هدونیک (۱: غیرقابل قبول، ۲: رضایت بخش، ۳: متوسط، ۴: خوب، ۵: عالی) انجام گرفت. نتایج آزمون حسی با روش تحلیل عملکرد و اهمیت^۵ (IPA) بررسی شدند. همچنین از روش تصمیم‌گیری سازشی^۶ (TOPSIS) برای بررسی کارایی و اثربخشی قهوه استفاده شد. روش‌های تصمیم‌گیری متعددی برای تجمیع نظر ارزیابان (افراد خبره و آموزش دیده) در رابطه با کارایی و اثربخشی یک محصول وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش تصمیم‌گیری سازشی است که مبنای آن ایجاد دو نمونه فرضی و سنجش فاصل هندسی هر نمونه واقعی از نمونه فرضی است. از جمله روش‌های سازشی میتوان به روش TOPSIS اشاره کرد که به دلایل متعدد برای این منظور انتخاب شده است مانند: سادگی و سرعت در محاسبات، طراحی پرسش‌نامه کوتاه، توسعه‌پذیری بالا. همچنین با توجه به این که از روش تحلیل IPA نیز برای آنالیز نتایج استفاده شده است، ترجیح بر این بود که تنها یک پرسش‌نامه در اختیار ارزیابان قرار گیرد و روش TOPSIS این ظرفیت را ایجاد نمود. با توجه به اینکه هدف تولید یک نوشیدنی با شباهت زیاد به قهوه عربیکا بود، پارامترهای رنگ، عطر و غلظت به‌عنوان پارامترهای تاثیرگذار در نظر گرفته شدند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

کلیه آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی در سه تکرار انجام شدند و نتایج تحت تجزیه و تحلیل واریانس قرار گرفتند. مقایسه میان میانگین داده‌های آزمایشی با آزمون دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد انجام شد. نتایج با نرم‌افزار SPSS 22 (۲۰۱۴) آنالیز شده و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

تاثیر افزودن هسته خرما بر محتوای چربی و پروتئین انواع قهوه

در جدول ۱، مقدار چربی و پروتئین انواع قهوه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پودر برشته دانه عربیکا از لحاظ میزان

5 Importanace-Performance Analysis (IPA)

6 Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

1 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl

2 Diphenylpicryl hydrazine

3 Ferric reducing-antioxidant power

4 Fe^{2+} -tripirydyltriazine

چربی (۱/۷۰ ± ۱۲/۳۰ درصد) و پروتئین (۰/۶۰ ± ۱۳/۰۰ درصد) بر هسته خرما برشته شده (۱/۳۳ ± ۱۰/۵۴ درصد چربی، ۸/۱۶ ± ۱/۲۵ درصد پروتئین) برتری دارد. سایر محققین نیز میزان چربی دانه عربیکای برشته شده را در حدود ۱۴-۱۵ درصد برآورد کردند (Araújo and Sandi, 2007). البته به مقادیر ۸-۱۲ درصد که در محدوده داده‌های این پژوهش قرار دارد نیز در منابع مختلف اشاره شده است (Saafi et al., 2008).

از لحاظ میزان پروتئین، انواع دانه‌های قهوه برشته شده تجاری در حدود ۱۴ درصد پروتئین دارند (Oliveira et al., 2006). در رابطه با هسته خرما نیز میزان چربی و پروتئین به ترتیب در محدوده‌ی ۸-۹ و ۸-۱۴ درصد (Babiker et al., 2020) و یا حتی مقادیر کمتر (۷/۹۵-۸/۳۳ درصد چربی، ۵/۳۱-۵/۸۵ درصد پروتئین) قرار دارد (Saafi et al., 2008).

جدول ۱- تاثیر استفاده از پودر هسته خرما بر محتوای چربی و پروتئین انواع قهوه

Table 1- The effect of using date seed powder on lipid and protein content of the coffee brews

| Powders پودرها | Protein* (g/100 g) پروتئین | Lipid *(g/100 g) چربی |
|--|---------------------------------|----------------------------|
| Roasted arabica coffee پودر قهوه عربیکای برشته | 13.00±0.60 ^A | 12.30±1.70 ^A |
| Roasted date seeds پودر هسته خرما برشته | 8.16±1.25 ^B | 10.97±1.33 ^B |
| The composition of the powder used to prepare the brews ترکیب انواع قهوه جوشیده | Protein* (mg/100 mL) پروتئین | Lipid *(mg/100 mL) چربی |
| 100% coffee arabica (A100) قهوه ۱۰۰ درصدی دانه عربیکا (A100) | 956.75±116.89 ^a | 330.67±44.96 ^a |
| 10% date seed (D10) قهوه ۱۰ درصدی هسته خرما (D10) | 820.67±84.72 ^b | 297.08±54.95 ^b |
| 35% date seed (D35) قهوه ۳۵ درصدی هسته خرما (D35) | 638.00±88.15 ^c | 272.11±43.54 ^c |
| 50% date seed (D50) قهوه ۵۰ درصدی هسته خرما (D50) | 545.50±70.24 ^d | 221.45±35.36 ^d |
| 100% date seed (D100) قهوه ۱۰۰ درصدی هسته خرما (D100) | 149.00±5.66 ^e | 192.61±31.05 ^e |

* حروف متفاوت در هر ستون بیانگر تفاوت معنی دار بین تیمارها در سطح ۹۵ درصد است ($p \leq 0.05$).

*Different upper and lowercase letters represents differences among powder and brews in the same column at a confidence level of 95%, respectively).

زده شد. در نتیجه به دلیل محتوای کمتر چربی و پروتئین در پودر برشته هسته خرما و نیز پایین تر بودن نرخ استخراج ترکیبات از هسته خرما، با افزایش میزان هسته خرما، میزان چربی و پروتئین در قهوه نهایی کاهش یافت.

تاثیر افزودن هسته خرما بر میزان کافئین انواع قهوه

آنالیز آماری بیانگر اختلاف معنادار میزان کافئین در بین تمامی قهوه‌های تولید شده بود ($p \leq 0.05$). اگرچه پیک کافئین در قهوه هسته خرما مشاهده شد، ولی به دلیل کوچک بودن پیک حاصله که بیانگر حضور مقادیر اندک این ترکیب در قهوه هسته خرما است، افزودن این ترکیب به قهوه عربیکا منجر به کاهش کافئین انواع قهوه شد (جدول ۲). بیشترین مقدار کافئین در A100 (۴/۳۳ mg/۱۰۰ mL) ± ۷۶/۵۱ مشاهده شد. درحالیکه مقدار کافئین در D100 کمتر از حد قابل تشخیص برآورد گردید. در نتیجه، قهوه حاصل از هسته خرما این

بررسی انواع نوشیدنی قهوه نیز نشان داد که افزایش درصد هسته خرما، کاهش سریع و قابل توجه ($p \leq 0.05$) میزان چربی و پروتئین را در نوشیدنی به دنبال داشت به نحوی که بیشترین میزان چربی و پروتئین در A100 و کمترین مقادیر در D100 مشاهده شد. این تفاوت در میزان چربی و پروتئین می‌تواند با نرخ استخراج ترکیبات از دو ساختار متفاوت نیز در ارتباط باشد. منظور از نرخ استخراج مقدار آنالیت یا ترکیب است که از مقدار مشخص و یکسان پودر دانه عربیکا، هسته خرما یا ترکیب آن‌ها طی فرایند دم کردن و تهیه قهوه استخراج شده است. نتایج بیانگر بالاتر بودن نرخ استخراج چربی از پودر دانه عربیکا به نوشیدنی قهوه (۳/۶۶ ± ۲۶/۸۸ درصد) در مقایسه با هسته خرما (۲/۸۳ ± ۱۷/۵۱ درصد) بود. در رابطه با پروتئین نیز وضعیت مشابهی را شاهد بودیم به نحوی که نرخ استخراج پروتئین در A100 معادل ۹/۰۰ ± ۷۳/۶۲ درصد و در D100 معادل ۱۸/۲۵ ± ۰/۶۹ درصد تخمین

آن‌ها میزان کافئین انواع قهوه را از ۸ تا ۱۶۶ میلی‌گرم در هر فنجان گزارش کردند (Jeon et al., 2019). در پژوهشی دیگر میزان کافئین قهوه جوشیده حاصل از مخلوط کردن ۷/۵ گرم دانه عربیکا با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب جوش، ۳/۰۳ mg/۱۰۰ mL ± ۴۵/۷ گزارش شد. بیشتر بودن میزان کافئین پژوهش حاضر با بیشتر بودن نسبت پودر به آب (۱۰ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) جهت تهیه نوشدنی قهوه، قابل توجیه است.

پتانسیل را دارد که امکان لذت بردن از عطر و طعم یک نوشیدنی سالم را برای افراد حساس به کافئین فراهم آورد. کافئین یک ترکیب شیمیایی محلول در آب است (۱۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در آب ۲۵°C) که در قهوه به مقدار زیاد یافت می‌شود (Angeloni et al., 2019). نتایج این پژوهش با یافته‌های تحقیق Jeon و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی داشت.

جدول ۲- تاثیر استفاده از پودر هسته خرما بر محتوای کافئین و آکرل‌امید انواع قهوه

Table 2- The effect of using date seed powder on acrylamide and caffeine content of the coffee brews

| The composition of the powder used to prepare the brews ترکیب انواع قهوه جوشیده | Acrylamide (µg/100 mL)* آکرل‌امید | Caffeine (mg/100 mL)* کافئین |
|--|--------------------------------------|---------------------------------|
| 100% coffee arabica (A100) قهوه ۱۰۰ درصدی دانه عربیکا (A100) | 5.06±0.48 ^a | 76.51±4.33 ^a |
| 10% date seed (D10) قهوه ۱۰ درصدی هسته خرما (D10) | 4.5±0.56 ^a | 65.06±1.82 ^b |
| 35% date seed (D35) قهوه ۳۵ درصدی هسته خرما (D35) | 3.74±0.32 ^b | 58.20±2.92 ^c |
| 50% date seed (D50) قهوه ۵۰ درصدی هسته خرما (D50) | 3.60±0.46 ^b | 45.59±2.68 ^d |
| 100% date seed (D100) قهوه ۱۰۰ درصدی هسته خرما (D100) | 1.71±0.33 ^c | ≤LOD |

* حروف متفاوت در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۹۵ درصد است ($p \leq 0.05$).

*Different lowercase letters represents differences among brews in the same column at a confidence level of 95%.

شود. در تحقیق Bagdonaite و همکاران (۲۰۰۸)، بیشترین میزان آکرل‌امید در دمای ۲۲۰°C و زمان ۵ دقیقه مشاهده شد. با شدت بخشیدن به فرآیند برشته کردن و افزایش زمان تا ۱۵ دقیقه، مقدار آکرل‌امید به شکل قابل توجهی کاهش یافت و در دمای بالای ۲۶۰°C، آکرل‌امید کاملاً تجزیه شد. علاوه بر این دمای بالا می‌تواند باعث تجزیه‌ی آسپارژین شود که خود دلیل دیگری بر کاهش تشکیل آکرل‌امید در دمای بالاست (Bagdonaite et al., 2008). بررسی پارامترهای رنگ پودر برشته دانه عربیکا و پودر برشته هسته خرما بیان‌گر بالاتر بودن درجه برشته‌گی پودر هسته خرما نسبت به پودر دانه برشته عربیکا بودند که می‌تواند دلیلی بر محتوای کمتر آکرل‌امید آن نیز باشد.

تاثیر افزودن هسته خرما بر محتوای فنول و فلاونوئید انواع

قهوه

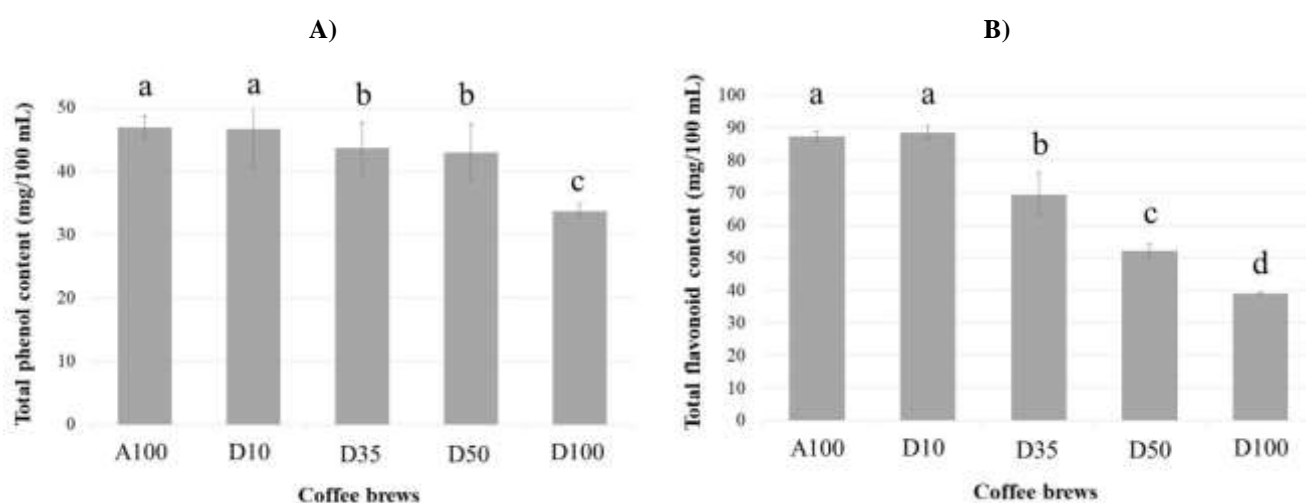
همان‌طور که در شکل ۱- A نشان داده شده است، اگرچه میزان فنول کل در A100 (۱/۸۲ mg/۱۰۰ mL ± ۴۶/۹۶) به‌طور معنی‌داری بیشتر از D100 (۱/۰۴ mg/۱۰۰ mL ± ۳۳/۷۵) بود ولی تفاوت معنی‌داری میان A100 و D10، مشاهده نشد. همچنین تفاوت میان D35 و D50 معنی‌دار گزارش نشد ($p > 0.05$). این نتایج بیانگر غنی

تاثیر افزودن هسته خرما بر میزان آکرل‌امید انواع قهوه

بر اساس داده‌های آزمایشی جدول ۲، افزودن پودر هسته خرما به پودر دانه‌های عربیکا می‌تواند باعث کاهش میزان آکرل‌امید در نوشیدنی نهایی شود. نتایج بیانگر حضور مقادیر کمتر آکرل‌امید در D100 (۱/۳۳ µg/۱۰۰ mL ± ۱/۷۱) نسبت به A100 (۵/۰۶ µg/۱۰۰ mL ± ۵/۰۶) بودند به‌طوری‌که با افزایش درصد هسته خرما در ترکیب با دانه‌های عربیکا، مقدار آکرل‌امید نیز با شیبی ملایم کاهش یافت. با این وجود، A100 و D10، تفاوت قابل توجهی از لحاظ میزان آکرل‌امید نشان ندادند. همچنین اختلاف میان D35 و D50 از لحاظ آماری معنادار گزارش نشد ($p > 0.05$). محتوای آکرل‌امید نمونه‌های پژوهش حاضر (۵/۰۶-۱/۷۱ میکروگرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) با مقالات همخوانی داشت به نحوی که مقادیر ۳/۶-۱/۱ µg/۱۰۰ mL، ۷-۸ و ۲/۸-۱/۰ در قهوه اسپرسو، آمریکایی و فیلتر شده (همگی حاصل از دانه قهوه) در مقالات گزارش شده است (Galuch et al., 2019). هیچ داده‌ای در رابطه با میزان آکرل‌امید در هسته خرما برشته شده در مقالات یافت نشد. آکرل‌امید طی برشته کردن دانه‌هایی مانند قهوه از واکنش میان قندهای کاهنده و آمینواسیدها، خصوصاً آسپارژین، به‌وجود می‌آید (Endeshaw and Belay, 2020). تحقیقات نشان داده است که افزایش زمان و دمای برشته کردن می‌تواند باعث تجزیه آکرل‌امید

(۲۰۱۹) مطابقت داشت که مقدار ۲۳/۴۳ mg/۱۰۰ mL فنول را برای قهوه حاصل از هسته برشته خرما گزارش کردند. در مطالعات مختلف، مقادیر بسیار متفاوتی برای محتوای فنول کل پودر هسته خرما گزارش شده است. به عنوان مثال مقادیر ۵/۸۵- ۵/۹۵ mg/g (Babiker et al., 2020)، ۸/۲۰ ± ۰/۱ mg/g (Ghnimi et al., 2015)، ۲۰ mg/g (Bijami et al., 2020) و ۳۸/۸ mg/g (Abdelaziz and Ali, 2014) در مقالات بیان شده‌اند که بعضاً از محتوای فنول کل دانه عربیکا کمتر هستند. اما تحقیقات در زمینه قهوه حاصل از پودر هسته خرما برشته شده اندک بوده است (Fikry et al., 2019b).

بودن هسته خرما از انواع ترکیبات فنولی است. به این ترتیب که با جایگزین کردن دانه برشته عربیکا با پودر برشته هسته خرما، محتوای فنولی نوشیدنی نهایی چندان دستخوش تغییر نخواهد شد، اگرچه تغییر در نوع ترکیبات فنولی محتمل است. محتوای پلی فنولی در قهوه جوشیده حاصل از دانه عربیکا ۳/۳۹ mg/۱۰۰ mL ± ۹۲/۴۴ گزارش شده است (Górecki and Hallmann, 2020). در تحقیقی دیگر، مقدار ۱/۱۴ mg/۱۰۰ mL ± ۴۴/۲۴ برای محتوای فنولی قهوه فرانسوی تهیه شده با دانه‌های عربیکا به دست آمد (Pérez-Hernández et al., 2012). نتایج ما با نتایج Fikry و همکاران



شکل ۱ - تاثیر استفاده از پودر هسته خرما بر (A) محتوای فنول کل و (B) فلاونوئید کل در ۱۰۰ میلی لیتر انواع قهوه

Fig. 1. The effect of using date seed powder on A) total phenol and B) total flavonoid content of the coffee brews

محتوای فنول آن (۳۸/۸ mg/g) بیشتر بود. یافته‌ها با نتایج Bijami و همکاران (۲۰۲۰) در تضاد بود. آن‌ها محتوای فلاونوئید کل را در هسته خرما ۵ mg/g گزارش کردند که به مراتب از میزان فنول کل (۲۰ mg/g) نمونه‌های مورد آزمایش کمتر بود.

تاثیر افزودن هسته خرما بر خواص آنتی‌اکسیدانی انواع قهوه

آزمون مهار رادیکال آزاد DPPH یکی از روش‌های سریع و در عین حال مناسب برای سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های گیاهی است (Cerretani and Bendini, 2010). قدرت انواع نوشیدنی قهوه در مهار رادیکال DPPH در محدوده ۸۸/۹۰- ۷۲/۷۰ درصد قرار داشت. بیشترین و کمترین درصد مهار رادیکال آزاد DPPH، به ترتیب در D100 و A100 گزارش شد. نتایج این بخش نشان داد اگرچه قهوه حاصل از هسته خرما محتوای فنول و فلاونوئید کمتری نسبت به قهوه حاصل از دانه عربیکا دارد، ولی قدرت آنتی‌اکسیدانی آن بالا است.

محتوای فلاونوئید D100 (۳۹/۱۵ ± ۰/۳۳ mg/۱۰۰ mL) تفاوت قابل توجهی با A100 (۸۷/۲۶ ± ۱/۵۰ mg/۱۰۰ mL) داشت. اگرچه اختلاف معنی‌داری بین A100 و D10 مشاهده نگردید ($p > 0.05$)، ولی جایگزینی پودر دانه‌ی عربیکا با پودر هسته خرما برشته باعث کاهش قابل توجه ترکیبات فلاونوئیدی نوشیدنی قهوه نهایی شد. نکته قابل ذکر این است که در پژوهش حاضر و با توجه به پارامترهای رنگ (جدول ۴) مشخص شد که درجه برشته کردن هسته خرما از دانه‌های قهوه عربیکا بیشتر بوده است. برشته کردن شدید می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر کاهش محتوای فنول و فلاونوئید کل داشته باشد. در پژوهش حاضر، نتایج بیانگر بیشتر بودن میزان فلاونوئید کل در مقایسه با فنول کل بودند. اگرچه داده‌ای در رابطه با قهوه هسته خرما و محتوای فلاونوئید کل آن یافت نشد ولی نتایج برخی محققین نیز نشانگر بالاتر بودن محتوای فلاونوئید پودر هسته خرما در مقایسه با فنول است. از این میان می‌توان به نتایج Abdelaziz و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد که در آن محتوای فلاونوئید پودر هسته خرما (۸۷/۸۶ mg/g) از

جدول ۳- تاثیر استفاده از پودر هسته خرما بر خواص آنتی‌اکسیدانی انواع قهوه
Table 3- The effect of using date seed powder on antioxidant properties of coffee brews

| The composition of the powder used to prepare the brews ترکیب انواع قهوه جوشیده | FRAP* (mmol Fe II/100 mL) | DPPH* (% of free radical scavenging) |
|--|------------------------------|---|
| 100% coffee arabica (A100) قهوه ۱۰۰ درصدی دانه عربیکا (A100) | 3.11±0.14 ^a | 72.70±0.49 ^d |
| 10% date seed (D10) قهوه ۱۰ درصدی هسته خرما (D10) | 1.74±0.10 ^{cd} | 75.33±0.12 ^c |
| 35% date seed (D35) قهوه ۳۵ درصدی هسته خرما (D35) | 2.07±0.13 ^b | 82.58±0.70 ^b |
| 50% date seed (D50) قهوه ۵۰ درصدی هسته خرما (D50) | 1.96±0.10 ^{bc} | 83.13±0.66 ^b |
| 100% date seed (D100) قهوه ۱۰۰ درصدی هسته خرما (D100) | 1.57±0.07 ^d | 88.90±0.29 ^a |

* حروف متفاوت در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۹۵ درصد است ($p \leq 0.05$).

*Different lowercase letters represents differences among brews in the same column at a confidence level of 95%

است که در رابطه با نقش فرایند برشته کردن و تاثیر آن بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی بین پژوهش‌های علمی اختلاف نظر وجود دارد. این اختلاف‌ها ناشی از پیچیدگی واکنش‌هایی است که طی فرایند برشته کردن دانه‌ها با ساختارهای شیمیایی مختلف روی می‌دهد ([Muñoz et al., 2020](#)).

در رابطه با آزمون FRAP، یافته‌ها نشان داد که قدرت نمونه A100 برای احیای آهن III تقریباً ۲/۵ برابر D100 بود. نتایج پژوهش حاضر با تحقیق [Ghnimi](#) و همکاران (۲۰۱۵) که قدرت احیاکنندگی قهوه حاصل از دانه‌ی عربیکا (۱۰۰g/۱۰۰g Tannic acid eq./۸/۷) را حدوداً ۳ برابر بیشتر از قهوه حاصل از هسته خرما (۱۰۰g/۲/۹۱ Tannic acid eq./۲/۹۱) گزارش کرده بودند، مطابقت داشت. در تحقیقی دیگر، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره آبی (۲ گرم در ۲۰ میلی‌لیتر) انواع قهوه حاصل از دانه‌ی عربیکا با درجه برشته‌گی متفاوت، ۳/۰-۴/۵ mmol Fe II/L گزارش شد ([Hečimović et al., 2011](#)). همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، این تفاوت بین خواص آنتی‌اکسیدانی می‌تواند به دلیل اختلاف در ترکیب شیمیایی دانه‌ها و شدت برشته‌گی آن‌ها باشد. لازم به ذکر است که قدرت احیاکنندگی آهن III و مهار رادیکال آزاد DPPH با هم همخوانی نداشتند. این تفاوت می‌تواند به تفاوت ماهیت این دو آزمون در بررسی خواص آنتی‌اکسیدانی مربوط باشد که خود تحت تاثیر ترکیب شیمیایی نمونه مورد مطالعه قرار دارد. مکانیسم قدرت آنتی‌اکسیدانی بر اساس احیای آهن III، بیش از انتقال اتم هیدروژن بر اساس انتقال الکترون است. این روش، ترکیبات با پتانسیل اکسایش ($< 700 \text{ mV}$) را شناسایی می‌کند. FRAP

نتایج ما با یافته‌های حاصل از سایر پژوهش‌ها همخوانی داشت. [Fikry](#) و همکاران (۲۰۱۹a) کمترین (۴۰/۵۶ درصد) و بیشترین (۸۱/۷۱ درصد) فعالیت مهارکنندگی را در قهوه حاصل از هسته خرما می‌برشته به ترتیب با درجه برشته‌گی پایین (160°C ، ۱۰ دقیقه) و برشته‌گی بالا (200°C ، ۳۰ دقیقه) گزارش کردند. قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH در دانه‌های برشته شده در 200°C به مدت ۲۰ دقیقه (تقریباً مشابه شرایط برشته کردن در پژوهش حاضر)، معادل ۸۰/۴۸ درصد گزارش شد ([Fikry et al., 2019a](#)). [Babiker](#) و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیشترین قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH یعنی ۴۷ درصد را در هسته‌های خرما با برشته‌گی زیاد ($200 \pm 220^\circ\text{C}$ دقیقه) مشاهده کردند. در تحقیقی دیگر قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH در انواع هسته خرما می‌برشته شده بین ۶۴/۹۰ تا ۷۱/۱۰ درصد و برای دانه برشته عربیکا ۷۳ درصد گزارش شد ([Ghnimi et al., 2015](#)). فعالیت آنتی‌اکسیدانی به ترکیبات موجود در ماده غذایی بستگی دارد. تحقیقات نشان داده‌اند که ترکیبات فنولی موجود در دانه سبز قهوه مانند اسیدهای کلوروژنیک عامل اصلی در بروز فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی هستند. با این وجود دانه‌های برشته قهوه نیز خواص آنتی‌اکسیدانی بالایی دارند که غالباً به حضور فرآورده‌های واکنش میلارد مانند ملانویئیدین‌ها و ترکیبات فرار هتروسیکلیک نسبت داده می‌شود.

([Budryn et al., 2009](#)). طبق نتایج [Fikry](#) و همکاران (۲۰۱۹a)، با افزایش درجه برشته کردن تا یک حد خاص و به تبع آن تولید بیشتر این ترکیبات، احتمال افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی وجود دارد. در پژوهش حاضر علی‌رغم کم‌تر بودن میزان ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی قهوه حاصل از هسته خرما می‌برشته نسبت به قهوه حاصل از دانه‌های عربیکا، بالا بودن قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH را می‌توان با بیشتر بودن درجه برشته‌گی هسته‌های خرما توجیه کرد. لازم به ذکر

تشخیص ترکیباتی که به روش فرو نشاندگی رادیکال^۱ (انتقال هیدروژن) عمل می‌کنند، به‌ویژه تیول‌ها و پروتئین‌ها، ناتوان است (Cerretani and Bendini, 2010).

تاثیر افزودن هسته خرما بر رنگ، ویسکوزیته و pH انواع قهوه

رنگ یکی از پارامتر بسیار مهم در کنترل فرایند برشته کردن قهوه به شمار می‌رود. پارامتر L^* معرف میزان سیاهی و سفیدی نمونه است. پارامتر a^* شدت رنگ سبز تا قرمز نمونه را نشان می‌دهد و پارامتر b^* نیز بیانگر شدت ظهور رنگ آبی یا زرد در نمونه است (Bicho et al., 2009).

داده‌های مربوط به رنگ انواع پودر و نوشیدنی قهوه در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که مقدار L^* در پودر دانه عربیکا (22.12 ± 0.38^A) به شکل قابل توجهی بیشتر از پودر هسته خرما (15.40 ± 0.02^B) است. این کاهش بیانگر بالاتر بودن درجه برشته‌گی هسته خرما نسبت به دانه عربیکا است. بر اساس منابع، مقادیر $35 \leq L^* \leq 25$ معرف قهوه با برشته‌گی کم، $25 \leq L^* \leq 35$ معرف قهوه با برشته‌گی زیاد است (Sacchetti et al., 2009). بنابراین هر دو نمونه مورد مطالعه برشته‌گی نسبتاً بالایی دارند اما درجه برشته‌گی در پودر هسته خرما بیشتر است.

جدول ۴- تاثیر استفاده از پودر هسته خرما بر پارامترهای رنگی، ویسکوزیته و pH در انواع قهوه

Table 4- The effect of using date seed powder on color parameters, viscosity and pH of coffee brews

| Color parameters | | | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| پارامترهای رنگ | | | | | |
| Powders | L^* | a^* | b^* | Viscosity (mPa.s) | pH |
| پودرها | | | | ویسکوزیته | |
| Roasted arabica coffee | 22.12 ± 0.38^A | 10.17 ± 0.48^A | 14.51 ± 1.91^A | | |
| پودر قهوه عربیکای برشته | | | | | |
| Roasted date seeds | 15.40 ± 0.02^B | 3.85 ± 0.05^B | 4.94 ± 0.03^B | | |
| پودر هسته خرما برشته | | | | | |
| The composition of the powder used to prepare the brews | L^* | a^* | b^* | Viscosity (mPa.s) | pH |
| ترکیب انواع قهوه جوشیده | | | | ویسکوزیته | |
| 100% coffee arabica (A100) | 2.22 ± 0.07^c | 2.90 ± 0.11^d | 2.45 ± 0.069^c | 0.93 ± 0.01^a | 5.70 ± 0.02^a |
| قهوه ۱۰۰ درصدی دانه عربیکا (A100) | | | | | |
| 10% date seed (D10) | 2.64 ± 0.03^c | 3.26 ± 0.01^c | 2.94 ± 0.04^c | 0.90 ± 0.02^b | 5.65 ± 0.02^a |
| قهوه ۱۰ درصدی هسته خرما (D10) | | | | | |
| 35% date seed (D35) | 4.19 ± 0.01^b | 4.62 ± 0.01^b | 4.93 ± 0.08^b | 0.90 ± 0.01^b | 5.41 ± 0.01^b |
| قهوه ۳۵ درصدی هسته خرما (D35) | | | | | |
| 50% date seed (D50) | 4.57 ± 0.04^b | 5.42 ± 0.11^b | 5.37 ± 0.02^b | 0.89 ± 0.02^b | 5.27 ± 0.01^b |
| قهوه ۵۰ درصدی هسته خرما (D50) | | | | | |
| 100% date seed (D100) | 10.35 ± 0.05^a | 10.62 ± 0.04^a | 12.05 ± 0.04^a | 0.86 ± 0.02^c | 4.45 ± 0.02^c |
| قهوه ۱۰۰ درصدی هسته خرما (D100) | | | | | |

** حروف متفاوت در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۹۵ درصد است ($p \leq 0.05$).

** Different upper and lowercase letters represents differences among powder and brews in the same column at a confidence level of 95%, respectively

در تحقیق Fikry و همکاران (۲۰۱۹b) میزان پارامتر L^* برای پودر هسته خرما با درجه برشته‌گی زیاد، ۲۲/۰۳ به‌دست آمد. مقادیر a^* و b^* به‌ترتیب ۲۰/۰۲ و ۲۴/۷۰ گزارش شدند که از داده‌های حاصل از تحقیق حاضر بیشتر بودند. با این حال، بعد از تهیه قهوه جوشیده، بیشترین میزان L^* یا به عبارتی روشن‌ترین نمونه، به D100 تعلق داشت و تیره‌ترین نوشیدنی قهوه نیز از A100 حاصل شد. این تفاوت در رنگ نوشیدنی در ارزیابی حسی نیز به وضوح قابل رؤیت بود. همچنین در

قهوه حاصل از هسته خرما برشته، پارامترهای a^* و b^* در مقایسه با پودر مورد استفاده جهت تهیه قهوه، افزایش یافتند. در حالیکه در قهوه حاصل از دانه‌های برشته عربیکا، پارامترهای a^* و b^* کاهش نشان دادند. این اختلاف در پارامترهای رنگ بین انواع نوشیدنی قهوه را می‌توان با در نظر گرفتن ماهیت متفاوت ترکیبات رنگی ایجاد شده و نیز تفاوت در نرخ استخراج آن‌ها از پودر قهوه/ هسته خرما قابل توجیه کرد.

وجود دارد: الف) استفاده از تکنیک‌های آماری و داده محور ب) استفاده از تکنیک‌های مدیریتی خبره محور.

استفاده از تکنیک‌های آماری ممکن است در مواقعی نتایج بهتری را ارائه دهد اما چند ضعف دارد، به عنوان مثال، وقت‌گیر و هزینه‌بر است، انتخاب یک نمونه آماری با جمعیت و قابلیت اطمینان بالا کار نسبتاً مشکلی است و احتمال وقوع خطا در انتخاب نمونه مناسب انسانی وجود دارد، حصول اطمینان کامل از روایی و پایایی داده‌ها با توجه به جهان پویای امروز مشکل است. در اینجا است که روش‌های خبره محور کاربرد خودشان را نشان می‌دهند، یکی از این روش‌ها روش IPA است، این روش یک روش کم هزینه و آسان و قابل فهم جهت سازماندهی اطلاعات درباره ویژگی‌های یک محصول است. IPA یک ابزار مدیریتی مشهور است که در سال‌های اخیر برای شناسایی نقاط قوت و ضعف محصولات در تجارت استفاده می‌شود. در این روش یک پرسشنامه به فرد خبره داده می‌شود که در آن شاخص‌های کیفی مؤثر بر محصول قرار دارد و از فرد خبره خواسته می‌شود که از ۱ تا ۵ به نسبت اهمیتی که آن شاخص دارد نمره دهد، سپس از فرد خبره خواسته می‌شود که محصول را تست کند و به عملکرد محصول در هر یک از شاخص‌ها یک عدد از ۱ تا ۵ بدهد به عبارتی وزن هر شاخص و عملکرد محصول در آن شاخص توسط خبرگان تعیین می‌شود. در مراحل بعد نظر خبرگان جمع شده و محاسبات لازم انجام می‌شود، و در نهایت نتایج محاسبات که بر مبنای نظر خبرگان به دست آمده منتهی به یک ماتریس می‌شود که اهمیت هر شاخص و عملکرد محصول در آن شاخص را نشان می‌دهد. همچنین این روش بسته به محل قرارگیری شاخص در صفحه ماتریس، استراتژی را در قبال آن شاخص، مشخص می‌کند. مثلاً اگر شاخص در سطر اول و ستون دوم قرار گیرد، یعنی آن شاخص اهمیت بالایی دارد ولی عملکرد محصول در آن شاخص پایین است و استراتژی پیشنهادی IPA در اینجا متمرکز است، به این معنا که باید روی این شاخص سرمایه‌گذاری بیشتری صورت گیرد. شایان توجه است که در این روش قیاسی بین محصولات صورت نمی‌گیرد، بلکه این روش برای پژوهشگر و یا صنعتگر مشخص می‌کند که باید روی کدام شاخص در محصول تمرکز کند تا بهینه‌ترین نتیجه را احصاء کند.

روش TOPSIS، یکی از مسائل مهم در تجارت و مدیریت تصمیم‌گیری و انتخاب مناسب‌ترین محصول برای مشتری است، که برای این کار غالباً خبرگان با یکدیگر نظرات یکسانی ندارند. در اینجا دانش ریاضیات و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای کاربرد پیدا می‌کند تا نظرات خبرگان را جمع کند و بهترین محصول را انتخاب کند، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای روش TOPSIS است. منطبق این روش به این صورت است که در ابتدای امر دو محصول

طبق یافته‌های این پژوهش، میزان ویسکوزیته با افزایش میزان درصد هسته خرما به تدریج کاهش یافت. A100 با ویسکوزیته ۰/۹۳ mPa.s بیشترین ویسکوزیته را به خود اختصاص داد. نتایج ما تا حدی با یافته‌های Parenti و همکاران (۲۰۱۴) که ویسکوزیته انواع قهوه اسپرسو را ۱/۳۳-۴/۴۴ mPa.s گزارش کردند، همخوانی داشت. ویسکوزیته قهوه فیرزه^۱ که یکی از انواع قهوه‌های تهیه شده تحت فشار بالا است نیز در محدوده ۱/۴۰-۱/۷۲ mPa.s گزارش شده است. بیشتر بودن ویسکوزیته در قهوه اسپرسو نسبت به سایر انواع قهوه قابل توجیه است چراکه اسپرسو در حجم کم (غلظت بالای ترکیبات در واحد حجم) و تحت فشار استخراج می‌شود (Orecchio et al., 2019). ویسکوزیته بالا با خاصیت خامه‌ای^۲ قهوه در ارتباط است. معمولاً با افزایش ترکیبات جامد خصوصاً چربی، ویسکوزیته قهوه نیز افزایش می‌یابد (Parenti et al., 2014). در پژوهش حاضر، کاهش تدریجی ویسکوزیته همگام با افزایش درصد هسته خرما را می‌توان به کمتر بودن نرخ استخراج ترکیبات از هسته خرما نسبت داد.

همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، نتایج بیانگر تفاوت قابل توجه قهوه عربیکا و هسته خرما از لحاظ pH بودند ($p \leq 0/05$)، به نحوی که با افزایش مقدار پودر هسته خرما، میزان pH قهوه تهیه شده به شکل تدریجی کاهش یافت. نتایج Ghnimi و همکاران (۲۰۱۵) نیز مقدار pH را در نمونه‌های قهوه تهیه شده از هسته خرما می‌برشته ۴/۸-۴/۶ گزارش کردند. در تحقیق Fikry و همکاران (۲۰۲۰)، میزان pH انواع قهوه تهیه شده از هسته خرما می‌برشته، در حدود ۴/۹۷ گزارش شد که با افزایش زمان ماندگاری، روند کاهشی به خود گرفت. در تحقیق دیگر Fikry و همکاران (۲۰۱۹b)، میزان pH قهوه هسته خرما بسته به درجه برشته شدن بین ۴/۹۰ الی ۵/۶۷ در نوسان بود. آن‌ها pH پایین انواع قهوه را با حضور اسیدهای آلی و سایر فرآورده‌های اسیدی ناشی از واکنش میلارد توجیه کردند. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های سایر محققین که میزان pH قهوه جوشیده و اسپرسو را به ترتیب در محدوده ۵/۷۹-۵/۶۱ (Moon et al., 2009) و ۵/۳۲-۵/۰۵ (Parenti et al., 2014) گزارش کردند، مطابقت داشت.

ارزیابی حسی انواع قهوه

نظریه‌پردازان آمریکایی در دانش مدیریت چهار ویژگی را اصل و اساس مدیریت مطلوب می‌دانند که یکی از آن‌ها پذیرفتن ادراکات و انتظارات مشتری به عنوان اصلی‌ترین عامل تعیین‌کننده کیفیت است و مشتریان محصول را با مقایسه ادراک خود از محصول و انتظار خود از آن محصول ارزیابی می‌کنند بنابراین یکی از مهم‌ترین اصول برای ساخت یک محصول خوراکی مناسب استفاده استخراج ادراکات و انتظارات مشتری از آن محصول است برای انجام این کار دو مسیر کلی

از آن دو محصول سنجیده می‌شود، هرچه یک محصول از بدترین محصول مجازی دورتر باشد و به بهترین محصول در صفحه مختصات نزدیک‌تر باشد بر طبق محاسبات این روش امتیاز بیشتری را کسب می‌کند.

مجازی و خیالی را در نظر می‌گیرد که محصول اول در تمام شاخص‌ها بهترین امتیاز کسب کرده و محصول دوم در تمام شاخص‌ها بدترین امتیاز را کسب کرده سپس با توجه به امتیازات این دو محصول در شاخص‌های مختلف، این دو محصول در یک صفحه مختصات چند بعدی قرار می‌گیرند و در مراحل بعد، فاصله ریاضی محصولات واقعی

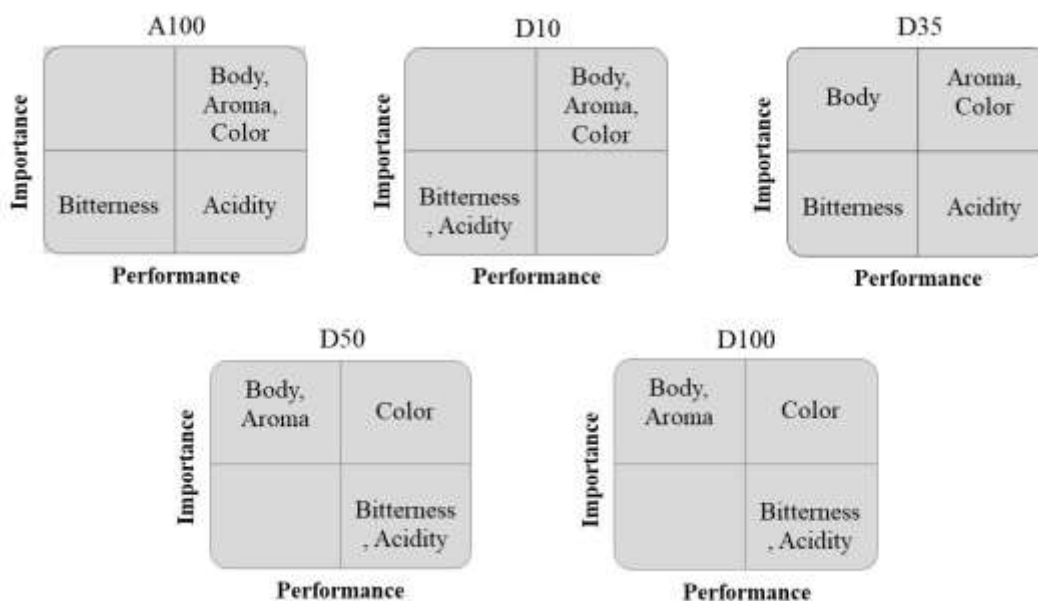
جدول ۵- رتبه‌بندی انواع قهوه بر اساس روش Topsis

Table 5- Ranking of coffee brews by TOPSIS method

| Sample نمونه | Rank رتبه | $(d-)/(d+)+(d-)=C_i^*$ | $(d+)+(d-)$ | Distance from (d-)* فاصله از d- | Distance from (d+)* فاصله از d+ |
|-----------------|--------------|------------------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|
| A100 | 2 | 0.906 | 0.181 | 0.164 | 0.016 |
| D10 | 1 | 0.966 | 0.169 | 0.163 | 0.005 |
| D35 | 3 | 0.740 | 0.170 | 0.126 | 0.044 |
| D50 | 4 | 0.405 | 0.169 | 0.068 | 0.100 |
| D100 | 5 | 0.0 | 0.167 | 0.0 | 0.167 |

*d+ بیانگر بهترین قهوه فرضی بر اساس شاخص‌ها؛ d- بهترین قهوه فرضی بر اساس شاخص‌ها؛ C_i: اندازه نزدیکی نسبی نمونه‌ها به جواب ایده‌آل

(d+) represent the best hypothetical coffee brew according to selected indicators; (d-) represent the worse hypothetical coffee brew according to selected indicators; (C_i) The relative proximity of the samples to the ideal coffee brew



شکل ۲- ماتریس تحلیل عملکرد-اهمیت (IPA)

Fig. 2. Importance performance analysis (IPA)

عطر و غلظت مطلوب نبوده و باید بهبود یابد. [Fikry](#) و همکاران (۲۰۱۹) کاهش شدت عطر در قهوه ۱۰۰ درصدی هسته خرما را با کاهش pH (افزایش شدت اسیدی بودن) مرتبط دانسته و ارتباط منفی این دو را نشان دادند. قهوه حاوی اسیدهای کلوروژنیک و مشتقات آن و همچنین مقادیر بالای کافئین است که روی شدت تلخی تاثیرگذار هستند.

نتایج ارزیابی حسی این پژوهش در [شکل ۲](#) و [جدول ۵](#) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود قهوه‌های A100 و D10 شباهت زیادی با هم دارند و پارامترهای مهم مانند عطر، رنگ و غلظت قهوه در محدوده مطلوبی ارزیابی شدند. قهوه D35، عطر و رنگ مطلوبی دارد ولی باید برای بهبود غلظت (بافت) راهکارهایی اندیشید. در مقابل نمونه‌های D50 و D100، فقط رنگ قابل قبولی دارند اما

هسته خرما کمتر از دانه عربیکا ارزیابی شد. در نتیجه با افزایش هسته خرما، محتوای چربی و پروتئین در قهوه تهیه شده کاهش یافت. کافئین در D100 بسیار ناچیز و کمتر از حد تشخیص گزارش شد. میزان آکریل‌آمید قهوه تهیه شده نیز به شکل قابل توجهی با افزایش درصد هسته خرما کاهش یافت. با این وجود تاثیر جایگزینی بر محتوای فنول کل کمتر بوده و خواص آنتی‌اکسیدانی نیز کمتر دستخوش تغییر شدند. ارزیابی حسی نیز نشان داد جایگزینی دانه عربیکا تا سطح حداکثر ۳۵ درصد می‌تواند با کاهش تلخی، پذیرش کلی قهوه را بهبود ببخشد. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که هسته خرما به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ضایعات صنعت خرما که بومی کشور ایران است، می‌تواند به شکل قابل قبولی تا سطح حداکثر ۳۵ درصد جایگزین دانه عربیکا شود. جایگزینی تا این سطح منجر به تولید قهوه با مقادیر مناسبی از چربی، پروتئین و خواص آنتی‌اکسیدانی شده و علیرغم داشتن مقادیر متعادلی از کافئین برای دوستداران این ترکیب شیمایی، می‌تواند با کاهش تلخی، پذیرش آن را برای جامعه هدف بهبود ببخشد.

تشکر و قدردانی

تحقیق نویسنده مسئول از حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد (۳/۴۸۹۸۸) برخوردار بوده است.

بر اساس شکل ۲، در قهوه تهیه شده از هسته خرما برشته، شدت تلخی به مراتب کمتر از قهوه عربیکا ارزیابی شد. به‌نحوی که در هنگام تهیه قهوه، افزایش هسته خرما تا سطح ۳۵ درصد باعث شد تا نوشیدنی نهایی از نظر شدت تلخی بسیار مورد پسند قرار گیرد. نتایج شکل ۲ همچنین نشان داد که A100 و D10 عملکرد پائینی از لحاظ تلخی داشته‌اند و امتیاز کمی دریافت کرده‌اند اما با افزایش میزان هسته خرما نمرات مربوط به تلخی بهبود یافته و از نظر ارزیابان مطلوب ارزیابی شده است. به‌طور کلی رتبه‌بندی نمونه‌ها بر اساس شاخص‌های مشخص شده و اهمیت آن‌ها نشان داد که بهترین نمونه از نظر ارزیابان، قهوه D10 بوده است. بعد از آن به‌ترتیب نمونه‌های A100 و D35 در رتبه‌های بعدی قرار داشتند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش امکان جایگزینی پودر دانه‌های برشته عربیکا با پودر هسته خرما برشته شده جهت تهیه قهوه مورد بررسی قرار گرفت. قهوه‌های تولید شده با ۱۰، ۳۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد هسته خرما با قهوه‌های تولید شده با ۱۰۰ درصد دانه عربیکا مقایسه شدند. نتایج نشان داد که جایگزینی قهوه عربیکا با هسته خرما بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قهوه تهیه شده تاثیرگذار بود. اگرچه هسته خرما منبع قابل توجهی از چربی و پروتئین بود ولی درصد استخراج این ترکیبات از

منابع

- Abdelaziz, D.H.A. and Ali, S.A., (2014). The protective effect of Phoenix dactylifera L. seeds against CCl4-induced hepatotoxicity in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 155(1): 736-743. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.06.026>
- Al-Farsi, M.A. and Lee, C.Y., (2008a). Nutritional and Functional Properties of Dates: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(10): 877-887. <https://doi.org/10.1080/10408390701724264>
- Al-Farsi, M.A. and Lee, C.Y., (2008b). Optimization of phenolics and dietary fibre extraction from date seeds. *Food Chemistry*, 108: 977-985. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.009>
- Al-Farsi, M.A. and Lee, C.Y., 2011. Chapter 53 - Usage of Date (*Phoenix dactylifera* L.) Seeds in Human Health and Animal Feed. In: V.R. Preedy, R.R. Watson and V.B. Patel (Editors), *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*. Academic Press, San Diego, pp. 447-452. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10053-2>
- Al-Rasheed, N.M. et al., (2015). Aqueous date flesh or pits extract attenuates liver fibrosis via suppression of hepatic stellate cell activation and reduction of inflammatory cytokines, transforming growth factor-B1 and angiogenic markers in carbon tetrachloride-intoxicated rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015: 19. <https://doi.org/10.1155/2015/247357>
- Al-Sheddi, E., (2019). Anticancer potential of seed extract and pure compound from Phoenix dactylifera on human cancer cell lines. *Pharmacognosy Magazine*, 15(63): 494-499.
- Alves, R.C., Soares, C., Casal, S., Fernandes, J.O. and Oliveira, M.B.P.P., (2010). Acrylamide in espresso coffee: Influence of species, roast degree and brew length. *Food Chemistry*, 119(3): 929-934. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.051>
- Ambigaipalan, P. and Shahidi, F., (2015). Date seed flour and hydrolysates affect physicochemical properties of muffin. *Food Bioscience*, 12: 54-60. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.06.001>
- Angeloni, G. et al., (2019). What kind of coffee do you drink? An investigation on effects of eight different extraction methods. *Food Research International*, 116: 1327-1335. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.022>
- Araújo, J.M.A. and Sandi, D., (2007). Extraction of coffee diterpenes and coffee oil using supercritical carbon dioxide. *Food Chemistry*, 101(3): 1087-1094. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.008>

11. Babiker, E.E. et al., (2020). Bioactive compounds, minerals, fatty acids, color, and sensory profile of roasted date (*Phoenix dactylifera* L.) seed. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(7): e14495. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14495>
12. Bagdonaite, K., Derler, K. and Murkovic, M., 2008. Determination of Acrylamide during Roasting of Coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15): 6081-6086. <https://doi.org/10.1021/jf073051p>
13. Bahrami, H., Tabrizchi, M. and Farrokhpour, H., (2013). Protonation of caffeine: A theoretical and experimental study. *Chemical Physics*, 415: 222-227. <https://doi.org/10.1016/j.chemphys.2013.01.022>
14. Bicho, N.C., Leitão, A.E., Ramalho, J.C. and Lidon, F.C., (2012). Use of colour parameters for roasted coffee assessment. *Food Science and Technology*, 32: 436-442.
15. Bijami, A., Rezanejad, F., Oloumi, H. and Mozafari, H., (2020). Minerals, antioxidant compounds and phenolic profile regarding date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seed development. *Scientia Horticulturae*, 262: 109017. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109017>
16. Bouhlali, E.d.T., A. Hmidani, B. Bourkhis, T. Khouya, M. Ramchoun, Y. Filali-Zegzouti, and C. Alem. (2020). Phenolic profile and anti-inflammatory activity of four Moroccan date (*Phoenix dactylifera* L.) seed varieties. *Heliyon*, 6(2): e03436. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03436>
17. Budryn, G., E. Nebesny, A. Podsedek, D. Żyżelewicz, M. Materska, S. Jankowski, and B. Janda., (2009). Effect of different extraction methods on the recovery of chlorogenic acids, caffeine and Maillard reaction products in coffee beans. *European Food Research and Technology*, 228(6): 913-922. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-1004-x>
18. Candeias, S.X., Gallardo, E. and Matos, A.C., (2009). Caffeine Content of Retail Market Coffee in Portugal. *Food Analytical Methods*, 2(4): 251-256. <https://doi.org/10.1007/s12161-008-9058-8>
19. Capannesi, C., Palchetti, I., Mascini, M. and Parenti, A., (2000). Electrochemical sensor and biosensor for polyphenols detection in olive oils. *Food Chemistry*, 71(4): 553-562. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00211-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00211-9)
20. Cerretani, L. and Bendini, A., 2010. Chapter 67 - Rapid Assays to Evaluate the Antioxidant Capacity of Phenols in Virgin Olive Oil. In: V.R. Preedy and R.R. Watson (Editors), *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention*. Academic Press, San Diego, pp. 625-635. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374420-3.00067-X>
21. Chandrasekaran, M. and Bahkali, A.H., (2013). Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit processing by-products and wastes using bioprocess technology – Review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(2): 105-120. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.12.004>
22. Dong, W., Hu, R., Chu, Z., Zhao, J. and Tan, L., (2017). Effect of different drying techniques on bioactive components, fatty acid composition, and volatile profile of robusta coffee beans. *Food Chemistry*, 234: 121-130. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.156>
23. Endeshaw, H. and Belay, A., (2020). Optimization of the roasting conditions to lower acrylamide content and improve the nutrient composition and antioxidant properties of *Coffea arabica*. *PLoS One*, 15(8): e0237265. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237265>
24. FAO, F., (2017). Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAOSTAT “<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>”
25. Fikry, M., Y.A. Yusof, A.M. Al-Awaadh, R. Abdul Rahman, N.L. Chin, and H. Mohd Ghazali., (2019a). Antioxidative and Quality Properties of Full-Fat Date Seeds Brew as Influenced by the Roasting Conditions. *Antioxidants*, 8. <https://doi.org/10.3390/antiox8070226>
26. Fikry, M M., Y.A. Yusof, A.M. Al-Awaadh, R. Abdul Rahman, N.L. Chin, E. Mousa, and L.S. Chang., (2019b). Effect of the Roasting Conditions on the Physicochemical, Quality and Sensory Attributes of Coffee-Like Powder and Brew from Defatted Palm Date Seeds. *Foods*, 8(61). <https://doi.org/10.3390/foods8020061>
27. Fikry, M., Yusof, Y.A., Al-Awaadh, A.M., Rahman, R.A. and Chin, N.L., (2020). Prediction of the shelf-life of date seeds brew by integration of acceptability and quality indices. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(3): 1158-1171. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00365-4>
28. Galuch, M.B., T.F.S. Magon, R. Silveira, A.E. Nicacio, J.S. Pizzo, E.G. Bonafe, L. Maldaner, O.O. Santos, and J.V. Visentainer., (2019). Determination of acrylamide in brewed coffee by dispersive liquid-liquid microextraction (DLLME) and ultra-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS). *Food Chemistry*, 282: 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.114>
29. Ghnimi, S., Almansoori, R., Jobe, B., Hassan, M. and Kamal, E., (2015). Quality Evaluation of Coffee-Like Beverage from Date Seeds (*Phoenix dactylifera*, L.). *Journal of Food Processing & Technology*, 6(12). DOI: [10.4172/2157-7110.1000525](https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000525)
30. Górecki, M. and Hallmann, E., (2020). The Antioxidant Content of Coffee and Its In Vitro Activity as an Effect of Its Production Method and Roasting and Brewing Time. *Antioxidants (Basel)*, 9(4): 308. <https://doi.org/10.3390/antiox9040308>

31. Habib, H., Platat, C., AlMaqbali, F. and Ibrahim, W., (2014). Date seed (*Phoenix dactylifera*) extract reduces the proliferation of pancreatic cancer cells, DNA damage and superoxide-dependent iron release from ferritin in vitro (829.20). *The FASEB Journal*, 28(1_supplement): 829.20. https://doi.org/10.1096/fasebj.28.1_supplement.829.20
32. Hasan, M. and Mohieldein, A., (2016). In vivo evaluation of anti diabetic, hypolipidemic, antioxidative activities of saudi date seed extract on streptozotocin induced diabetic rats. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 10(3): FF06-FF12. doi: [10.7860/JCDR/2016/16879.7419](https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/16879.7419)
33. Hečimović, I., Belscak-Cvitanovic, A., Horzic, D. and Komes, D., (2011). Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. *Food Chemistry*, 129(3): 991-1000. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.059>
34. Jeon, J.-S., H.-T. Kim, I.-H. Jeong, S.-R. Hong, M.-S. Oh, M.-H. Yoon, J.-H. Shim, J.H. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.01.002>
35. Khalid, S., Khalid, N., Khan, R.S., Ahmed, H. and Ahmad, A., (2017). A review on chemistry and pharmacology of Ajwa date fruit and pit. *Trends in Food Science & Technology*, 63: 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.009>
36. Maqsood, S., Adiamo, O., Ahmad, M. and Mudgil, P., (2019). Bioactive compounds from date fruit and seed as potential nutraceutical and functional food ingredients. *Food Chemistry*: 125522. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125522>
37. Moeenfard, M., Silva, J., Borges, N., Santos, A. and Alves, A., (2015). Diterpenes in espresso coffee: impact of preparation parameters. *European Food Research and Technology*, 240: 763-773. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2381-y>
38. Moon, J.K., Yoo, H.S. and Shibamoto, T., (2009). Role of roasting conditions in the level of chlorogenic acid content in coffee beans: correlation with coffee acidity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(12): 5365-5369. <https://doi.org/10.1021/jf900012b>
39. Muñoz, A.E., Hernández, S.S., Tolosa, A.R., Burillo, S.P. and Olalla Herrera, M., (2020). Evaluation of differences in the antioxidant capacity and phenolic compounds of green and roasted coffee and their relationship with sensory properties. *LWT*, 128: 109457. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109457>
40. Oliveira, L.S., Franca, A.S., Mendonça, J.C.F. and Barros-Júnior, M.C., (2006). Proximate composition and fatty acids profile of green and roasted defective coffee beans. *LWT - Food Science and Technology*, 39(3): 235-239. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.01.011>
41. Orecchio, S., Amorello, D. and Barreca, S., (2019). 7 - Analysis of Contaminants in Beverages. In: A.M. Grumezescu and A.M. Holban (Editors), *Quality Control in the Beverage Industry*. Academic Press, pp. 225-258. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816681-9.00007-2>
42. Parenti, A. Guerrini, P. Masella, S. Spinelli, L. Calamai, and P. Spugnoli., (2014). Comparison of espresso coffee brewing techniques. *Journal of Food Engineering*, 121: 112-117. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.031>
43. Pérez-Hernández, L.M., Chávez-Quiroz, K., Medina-Juárez, L.Á. and Gámez Meza, N., (2012). Phenolic Characterization, Melanoidins, and Antioxidant Activity of Some Commercial Coffees from *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 56: 430-435.
44. Petracco, M., (2005). Our Everyday Cup of Coffee: The Chemistry behind Its Magic. *Journal of Chemical Education*, 82(8): 1161. <https://doi.org/10.1021/ed082p1161>
45. Saafi, E.B., Trigui, M., Thabet, R., Hammami, M. and Achour, L., (2008). Common date palm in Tunisia: chemical composition of pulp and pits. *International Journal of Food Science and Technology*. 43, 2033-2037. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01817.x>
46. Sacchetti, G., Di Mattia, C., Pittia, P. and Mastrocola, D., (2009). Effect of roasting degree, equivalent thermal effect and coffee type on the radical scavenging activity of coffee brews and their phenolic fraction. *Journal of Food Engineering*, 90(1): 74-80. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.005>
47. Suresh, S. N. Guizani, M. Al-Ruzeiki, A. Al-Hadhrami, H. Al-Dohani, I. Al-Kindi, and M.S. Rahman., (2013). Thermal characteristics, chemical composition and polyphenol contents of date-pits powder. *Journal of Food Engineering*, 119(3): 668-679. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.026>
48. Taleb, H., Maddocks, S.E., Morris, R.K. and Kanekanian, A.D., (2016). Chemical characterisation and the anti-inflammatory, anti-angiogenic and antibacterial properties of date fruit (*Phoenix dactylifera* L.). *Journal of Ethnopharmacology*, 194: 457-468. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.10.032>
49. Thouri, A. et al., (2019). Antiproliferative and apoptosis-inducing effect of common Tunisian date seed (var. Korkobbi and Arehti) phytochemical-rich methanolic extract. *Environmental science and pollution research international*, 26(36): 36264-36273. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06606-9>
50. Venkatachalam, C.D. and Sengottian, M., (2016). Study on Roasted Date Seed Non Caffeinated Coffee Powder as a Promising Alternative. *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities*. 6(6): 1387-1394. [DOI:10.5958/2249-7315.2016.00292.6](https://doi.org/10.5958/2249-7315.2016.00292.6)



Photo-Modification of starch-oleic acid by TiO₂: investigation of food packaging properties

Rahmatollah Pourata¹, Hamid Jahangir-Esfahani², Iman Shahabi-Ghahfarrokhi^{2*}

Received: 2020.10.07

Accepted: 2020.12.24

How to cite this article:

Pourata, R., Jahangir-Esfahani, H., Farhoosh, R., Shahabi-Ghahfarrokhi, I., (2022). Photo-Modification of starch-oleic acid by TiO₂: investigation of food packaging properties. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18(1), 113-127.

Abstract

Introduction: Among the bio-based materials which used in the food packaging, starch is interested as an ecofriendly material. This interest is mainly due to its acceptable film forming properties, easy access, renewability and low cost. Nevertheless, high hydrophilic and weak mechanical properties have been limited its utilization as a commercial packaging material. Many researches have been done to reduce hydrophilic properties of starch using chemical modification, irradiation, and composition with nanoparticles and other biopolymers. Most of the methods are based on blocking the hydroxyl groups of starch chains with hydrophobic agents, formation of emulsions and blocking of the pores. Fatty acids, such as oleic acid (OA) are lipid derivatives that can potentially improve the moisture barrier properties of hydrophilic films. OA is a yellow liquid at room temperature and miscible with biopolymer without further heating treatment. Due to the polar nature of biopolymers, OA needs to surfactant to get homogenous distribution in the matrix of biopolymers. On the other hand, OA is not very sensitive to oxidation which increases its safety in food packaging applications. Titanium dioxide (TiO₂) is an inert, cheap and nontoxic material with broad application as a food pigment and potential activity against a wide variety of microorganism due to its photocatalytic activity. TiO₂ is the most commonly used semiconductor, photocatalyst which activated by UV ray. The main purpose of the current study was modification of starch hydrophilicity using OA, nano-titanium dioxide and UV ray. In this study OA and TiO₂ added at the optimized condition and the solution was irradiated by UV ray.

Materials and Methods: A starch solution 5 (wt. %) in distilled water was prepared. This solution was mixed and heated (85 °C for 15 min) until the starch gelatinized. Thus, plasticizer (glycerol, 40 wt. % of dry base) was incorporated into the solution to achieve more-flexible films. OA 1(wt. % of dry base) mixed with Tween 80 as emulsifier (10 wt. % of the OA). This solution was mixed and heated (50 °C for 10 min). Then, 10 ml of distilled water was added to the solution, and homogenized by ultrasonic homogenizer (Dr. Hielscher, Teltow, Germany) for 7 min. The suspension of TiO₂ nanoparticles in water was prepared so that the final TiO₂ content in film specimens was 2 (wt % of dry base). The suspensions were stirred for 10 min, and homogenized by ultrasonic homogenizer for 60 min. The TiO₂ suspension was added to starch solution gradually and mixed for 10 min. Afterward, OA- Tween 80 solution was added to starch solution gradually and mixed for 10 min.

The starch solution containing TiO₂ and OA was homogenized by ultrasonic homogenizer for 7 min. Film forming solution placed under three UV-C lamps (8w, Phillips, Holland) at a distance of 5 cm. The solutions were stirred simultaneously with UV irradiation. After 0, 30, 60 and 90 min of UV exposure, the air bubbles were removed and the solutions were casted into flat, leveled, non-stick disposable 15 cm-Petri dishes. Each of the dishes were contain 43 g which dried for 48 hours at room temperature. All the film specimens were conditioned at 50-55% relative humidity and room temperature for 48 hours before subjected to further analysis.

Moisture content (MC), moisture absorption (MA), solubility in water (SW), water vapor permeability (WVP), surface properties, visual properties and mechanical properties of the film specimens were measured. The chemical structure of the films was investigated by FTIR spectroscopy.

1. Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2. Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

(* Corresponding Author's Email: i.shahabi@znu.ac.ir)

DOI: [10.22067/IFSTRJ.2021.40178.0](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.2021.40178.0)

Results and Discussion: The results shown that water contact angle of the starch film was increased by adding OA and TiO₂. But it was decreased after UV exposure of the starch-OA-TiO₂ solution. WVP of the starch based films was decreased by its composition with OA and TiO₂. But no change was observed after UV exposure of the starch-OA-TiO₂ compositions. MC of the starch-OA-TiO₂ film had no change, simultaneously.

However, the tensile strength and Young's modulus were decreased by adding OA-TiO₂. Elongation at break and tensile energy to break were increased, simultaneously. However, the mechanical properties of the starch-OA-TiO₂ nanocomposites were changed by UV exposure but these changes did not follow a specific trend.

Although, whiteness index (WI) and total color difference (ΔE) were not changed by OA-TiO₂ composition. But yellowness index (YI) was changed, simultaneously. After UV irradiation ΔE and YI were increased and WI was decreased. The results, demonstrated that the virgin starch-OA-TiO₂ composition was the best modification method to decrease the sensibility of starch based films to moisture as a packaging material. UV irradiation at short time (30 min) was the optimum condition to modify sensibility of the films to moisture and mechanical properties among the UV cured films.

Keywords: Hydrophobicity, Oleic acid, Starch, nano TiO₂, Ultraviolet ray;

مقاله علمی-پژوهشی

اصلاح کامپوزیت نشاسته-اسید اولئیک با استفاده از روش اصلاح نوری تشدید یافته به کمک نانو دی اکسید تیتانیوم: بررسی خصوصیات کاربردی در بسته‌بندی مواد غذایی

رحمت اله پورعطا^۱ - حمید جهانگیر اصفهانی^۲ - ایمان شهابی قهفرخی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۴

چکیده

در میان پلیمرهای زیست تخریب پذیر، استفاده از نشاسته به علت قیمت ارزان و دسترسی آسان از اهمیت به‌سزایی برخوردار است، اما به علت مقاومت کم و آبدوستی زیاد در این بیوپلیمر، هنوز استفاده از آن در صنعت بسته‌بندی عملیاتی نشده است. هدف از این پژوهش، اصلاح ویژگی‌های آبدوستی و مکانیکی فیلم نشاسته با استفاده هم‌زمان از اسید اولئیک، نانو دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) و پرتو فرابنفش (UV-C) بود. در این پژوهش، محلول نشاسته-اسید اولئیک- TiO_2 تهیه؛ و به منظور بهبود خصوصیات کاربردی آن، این محلول در بازه‌های زمانی (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) توسط پرتو UV-C اصلاح گردید، سپس فیلم آن به روش قالب‌گیری محلول تهیه شد. جهت بررسی خصوصیات کاربردی فیلم در بسته‌بندی مواد غذایی ضخامت، مقاومت مکانیکی، زاویه تماس، نفوذپذیری نسبت به بخار آب، جذب رطوبت، محتوای رطوبت و حلالیت فیلم‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. آزمون‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا، و نتایج آن به روش دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان دادند، که با افزودن اسید اولئیک و TiO_2 به محلول نشاسته، زاویه تماس به‌طور قابل ملاحظه‌ای از ۷۲/۲۶ به ۹۰/۳۴ درجه افزایش و نفوذپذیری نسبت به بخار آب و جذب رطوبت فیلم‌های نشاسته‌ای کاهش می‌یابد. در مطالعه خواص مکانیکی نیز مشاهده شد که با افزودن اسید اولئیک و TiO_2 ، مقاومت کششی و الاستیسیته کاهش و کشش‌پذیری و انرژی کششی تا لحظه پاره شدن افزایش یافته است. با اعمال پرتو دهی در بازه زمانی کوتاه مدت (۳۰ دقیقه)، تمامی پارامترهای مربوط به خواص مکانیکی افزایش، و حلالیت به آب و جذب رطوبت فیلم‌های نشاسته‌ای کاهش یافتند. به نظر می‌رسد، استفاده هم‌زمان از UV-C و TiO_2 باعث بهبود اثر پرتو UV-C جهت ایجاد اتصالات عرضی در ماتریس بیوپلیمر به صورت نشاسته-نشاسته و اسید اولئیک شود؛ با این حال، استفاده از TiO_2 باعث تشدید اثر پرتوی UV-C و تسریع تغییرات آن در بازه زمانی کوتاه‌تری (۳۰ دقیقه) شد. به‌طور کلی به‌منظور بهبود خاصیت آبرگریزی و خواص مکانیکی فیلم نشاسته، استفاده از اسید اولئیک و TiO_2 به‌صورت توأم بهترین نتایج این پژوهش را در برداشته است. از این رو یک گام رو به جلو برای استفاده صنعتی از نشاسته در بسته‌بندی مواد غذایی به حساب می‌آید.

واژه‌های کلیدی: آب‌گریزی، اسید اولئیک، نشاسته، نانو TiO_2 ، UV

مقدمه

است، که در میان این بیوپلیمرها، استفاده از ماده‌ای که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه و دسترسی به آن آسانتر باشد، از اهمیت بالاتری برخوردار است. (Ozdemir et al., 2004). نشاسته یکی از ارزان‌ترین و در دسترس‌ترین مواد موجود در طبیعت است، که به وفور یافت می‌شود. نشاسته به دلیل قابلیت تشکیل فیلم، زیست تخریب‌پذیری و قابلیت تجدیدپذیری در طبیعت، از اهمیت خاصی برخوردار است (Jahangir-Esfahani et al., 2018)، اما به علت ماهیت آبدوستی بالا و مقاومت مکانیکی ضعیف، کمتر در بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. (Linthorst., 2015; Jamal Abadi et al., 2015).

امروزه استفاده از پلاستیک‌های سنتتیک در صنعت بسته‌بندی مشکلات زیادی از جمله: آلودگی محیط زیست، عدم تجزیه سریع و مصرف آن‌ها توسط جانداران مختلف را به دنبال داشته است. از این رو، صنعت بسته‌بندی به دنبال راهکارهای مؤثری جهت جایگزین کردن پلیمرهای طبیعی و زیست تخریب‌پذیر به جای پلیمرهای نفتی است (Ghanbarzadeh et al., 2008). در تحقیقات گسترده‌ای از بیوپلیمرهایی همچون: کیتوزان (Vargas et al., 2010)، پروتئین سویا (Gennadios et al., 1998)، پروتئین آب پنیر (Hassannia et al., 2015) و کربوکسی متیل سلولز (Ghanbarzadeh et al., 2009) در تهیه پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر استفاده شده است. قابل ذکر

* ایمیل نویسنده مسئول: i.shahabi@znu.ac.ir

DOI: [10.22067/IFSTRJ.2021.40178.0](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.2021.40178.0)

۱- استادیار، گروه شیمی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، فناوری مواد غذایی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

و به‌طور همزمان، تأثیر به‌سزایی در اصلاح ویژگی آب‌دوستی بیوپلیمر نشاسته داشته باشد. در این پژوهش سعی شد تا تأثیر استفاده از TiO_2 ، پرتو فرابنفش و اسید اولئیک به‌طور همزمان، در اصلاح ساختار نشاسته و بهبود ویژگی آب‌دوستی آن مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

نشاسته ذرت (۱۳-۱۱ درصد رطوبت) از شرکت زرین ذرت شاهرود تهیه شد. اسید اولئیک، امولسیفایر توئین ۸۰، نیترات منیزیم و گلیسرول از شرکت مرک (آلمان) و TiO_2 از شرکت نانوشیل (آمریکا) خریداری شد. کلرید سدیم و کلرید کلسیم نیز از شرکت دکتر مجلی (ایران) تهیه شد. برای واکنش‌های پلیمریزاسیون نوری از لامپ فرابنفش ساخت شرکت فیلیس (هلند) و در محدوده فرابنفش نوع C با توان ۸ وات استفاده شد.

تهیه فیلم نشاسته

سوسپانسیون ۵ درصد وزنی-وزنی نشاسته ذرت در آب مقطر تهیه شد. این محلول طی مخلوط شدن توسط همزن مغناطیسی به مدت ۱۵ دقیقه در دمای $85^{\circ}C$ تحت حرارت قرار گرفت. پس از ژلاتینه شدن نشاسته، جهت خروج حباب‌های هوا و سرد شدن آن، سوسپانسیون نشاسته در حالت سکون قرار گرفت. سپس مقدار ۴۰ درصد (وزنی-وزنی) بر پایه وزن خشک نشاسته) گلیسرول به‌عنوان نرم‌کننده به سوسپانسیون ژلاتینه افزوده شد. جهت پخش کامل نرم‌کننده، محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه تحت فرآیند هم‌زدن قرار گرفت (Goudarzi et al., 2018).

آماده‌سازی امولسیون اسید اولئیک

اسید اولئیک به میزان ۱٪ نسبت به وزن خشک نشاسته و توئین ۸۰ (امولسیفایر) به میزان ۱۰٪ نسبت به وزن اسید اولئیک با یکدیگر مخلوط شدند (Ghanbarzadeh et al., 2008). جهت اتصال امولسیفایر با اسید چرب، ترکیب حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دمای $50^{\circ}C$ توسط همزن مغناطیسی همگن شد. چون اسیدچرب غیرقطبی و محلول نشاسته قطبی می‌باشد، امتزاج اسید چرب با این محلول دشوار است. به‌منظور تشکیل امولسیون نشاسته-اسید اولئیک، مقدار ۱۰ گرم آب مقطر به مخلوط اسید اولئیک-امولسیفایر افزوده شد و ترکیب حاصل به مدت ۷ دقیقه توسط هم‌زنایزر اولتراسونیک (Probe Ultrasonic processor- Dr Hielscher) یکنواخت گردید (Jahangir-Esfahani et al., 2018).

روغن‌ها و اسیدهای چرب به دلیل ماهیت آب‌گریزی بالا، موجب افزایش ماهیت آب‌گریزی فیلم‌های نشاسته‌ای می‌شوند (Ghanbarzadeh et al., 2011). در این روش، امولسیون نشاسته با اسید چرب ساخته می‌شود. به این ترتیب اسید چرب در ماتریس پلیمر قرار گرفته و با ایجاد اتصالات عرضی، نفوذپذیری نسبت به بخار آب در پلیمر کاهش می‌یابد (Slavutsky et al., 2015).

پرتو UV-C، به علت طول موج کوتاه و بسامد زیاد، پرا انرژی‌ترین نوع پرتو فرابنفش محسوب می‌شود و قدرت تخریبی آن بالاتر است (Kovacs et al., 2014). با تابش این پرتو به محلول نشاسته، به علت ایجاد رادیکال‌های آزاد و تغییر پیوندها، ویژگی‌های پیکری زنجیره نشاسته تغییر می‌کند که در نتیجه این تغییرات، خواص فیزیکی و شیمیایی فیلم نشاسته تا حدودی بهبود می‌یابد (Goudarzi et al., 2012; Campos et al., 2017).

دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2)، نوعی اکسید فلزی خنثی و نیمه‌هادی است، که به دلیل سمیت کم، پایداری بالا، سازگاری زیستی فوق‌العاده و واکنش‌پذیری نوری، جایگاه ویژه‌ای در صنعت شیمی و پلیمر پیدا کرده است (Li et al., 2013). TiO_2 معمولاً در مقیاس نانومتری استفاده می‌شود. این ویژگی TiO_2 سبب شده تا با افزایش نسبت سطح به حجم، میزان فصل مشترک بین سطح نانوذره و ماتریس پلیمر افزایش یابد، به‌این‌ترتیب تخلخل و فضای خالی بین پلیمری، با نانو ذرات پر می‌شود و مسیری غیرمستقیم برای عبور مولکول‌های آب ایجاد می‌شود (Li et al., 2007). TiO_2 دارای دو باند ظرفیت (پر از الکترون) و هدایت (خالی از الکترون) است. بین این دو باند فاصله خاصی قرار دارد، که تحت تابش پرتو UV-C با طول موج کمتر از ۳۸۷ نانومتر، الکترون‌های موجود در لایه ظرفیت TiO_2 برانگیخته‌شده و به لایه هدایت منتقل می‌شوند؛ این حالت بسیار ناپایدار و فعال برای TiO_2 محسوب می‌شود (Linsebigler, 1995). طی برانگیخته شدن الکترون‌ها، در لایه ظرفیت حفره‌های خالی ایجاد شده که پس از واکنش با آب، موجب تولید رادیکال‌های آزاد می‌شوند، به این ترتیب اگر ترکیبی در مجاورت TiO_2 باشد، امکان بروز واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء در آن ترکیب فراهم می‌گردد (Li et al., 2011). اخیراً پژوهش‌های متعددی در مورد اصلاح نشاسته انجام شده است (Goudarzi et al., 2018; Almasi et al., 2009; Kim et al., 2018; Shahabi Ghahfarrokhi, 2018). آنچه که باعث جلب توجه بیشتر به این روش‌های اصلاحی می‌شود، سهل‌الوصول بودن، اقتصادی بودن و سرعت بالای این روش‌ها در کنار کارایی مطلوب آن‌ها است. اگرچه قبلاً تأثیر پرتوی فرابنفش (Goudarzi et al., 2017)، اسید اولئیک (Jahangir-Esfahani et al., 2020) و TiO_2 (Li et al., 2013) به‌صورت جداگانه و در اصلاح بیوپلیمرهای مشابه مورد بررسی قرار گرفته است، ولی به‌نظر می‌رسد، استفاده از چند روش مؤثر

زمانی صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه تحت پرتوی UV-C و در فاصله پنج سانتی‌متری از لامپ‌ها قرار گرفت. سپس مقدار ۴۳ گرم از هر محلول در پتری‌دیش‌های پلاستیکی با قطر ۱۵ سانتی‌متر ریخته شد. سرانجام نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط خشک شدند. پس از جدا کردن فیلم‌ها از پلیت و قبل از انجام تمامی آزمون‌ها، فیلم‌ها با استفاده از محلول اشیاع نیترات منیزیم در رطوبت نسبی ۵۵-۵۰ درصد و در دمای محیط به مدت حداقل ۴۸ ساعت درون دسیکاتور مشروط شدند (Jahangir-Esfahani et al., 2018; Goudarzi et al., 2017).

اندازه‌گیری ضخامت فیلم‌ها

ضخامت فیلم‌ها به وسیله یک میکرومتر دستی با دقت 0.1 mm در ۵ نقطه تصادفی اندازه‌گیری شدند و میانگین اعداد به دست آمده در محاسبات برخی آزمون‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

آزمون طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)

برای ارزیابی تغییرات ایجاد شده در استخلاف‌های شیمیایی فیلم‌ها، از دستگاه طیف‌سنجی مادون قرمز در دمای اتاق استفاده شد. بدین ترتیب فیلم‌های پودر شده با پودر KBr به صورت قرص درآمده و در محدوده عدد موج 4000 cm^{-1} تا 400 cm^{-1} و وضوح 4 cm^{-1} مورد ارزیابی قرار گرفتند (Jahangir-Esfahani et al., 2018).

آماده‌سازی سوسپانسیون نانو دی‌اکسید تیتانیوم

مقدار ۲٪ از پودر TiO_2 (نسبت به ماده خشک نشاسته) به ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد. جهت پخش کامل نانو ذرات، سوسپانسیون حاصل به مدت ۶۰ دقیقه توسط هموژنایزر اولتراسونیک یکنواخت گردید (Goudarzi et al., 2018).

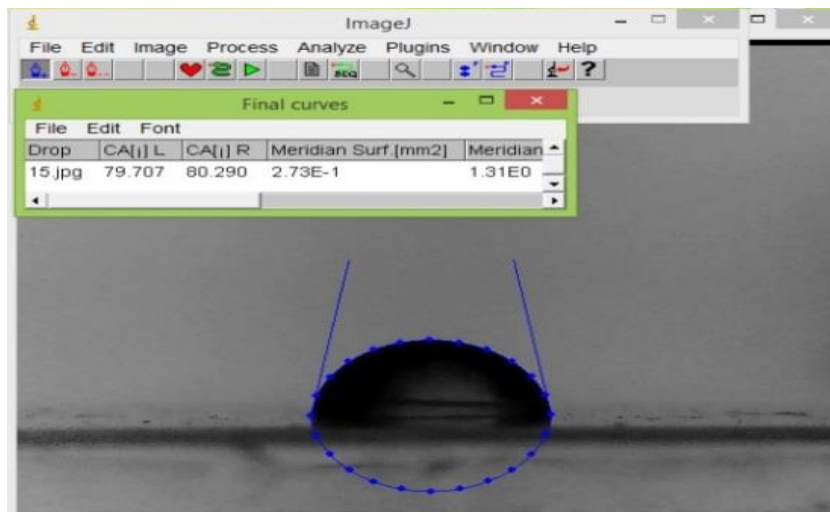
تهیه بیونانو کامپوزیت نشاسته-اسید اولئیک-نانو دی‌اکسید

تیتانیوم

برای تولید این بیونانو کامپوزیت پس از ژلاتینه شدن نشاسته و افزودن نرم‌کننده، ابتدا دوغاب همگن شده TiO_2 به آرامی به محلول ژلاتینه نشاسته اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه توسط همزن مغناطیسی همزده شد؛ سپس امولسیون اسید اولئیک به این مخلوط اضافه گردید. جهت پخش یکنواخت اسید اولئیک و TiO_2 در محلول نانو کامپوزیت و جلوگیری از توده‌ای شدن آن‌ها، محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه نیز همزده شد سپس محلول مورد نظر به مدت ۵ دقیقه تحت فرآیند اولتراسونیک قرار گرفت (Goudarzi et al., Oleyaei et al., 2015, 2018).

اصلاح نوری محلول فیلم‌سازی

پس از تهیه محلول فیلم‌سازی نانو کامپوزیت نشاسته بر پایه امولسیون اسید اولئیک و نانو دی‌اکسید تیتانیوم، این محلول در بازه



شکل ۱- نحوه اندازه‌گیری زاویه تماس فیلم‌ها با استفاده از نرم‌افزار Image j
Fig. 1 Contact angle measurement of the films by Image j software.

مقطر با حجم ۵ میکرو لیتر، بر روی سطح پلیمر قرار داده شد. بلافاصله با استفاده از یک دوربین با بزرگنمایی ۲۰ تا ۲۰۰ برابر و قدرت تفکیک 480×640 پیکسل (Dino-Light- AM 2111، تایوان) و هم‌زمان با

اندازه‌گیری زاویه تماس^۱

به منظور اندازه‌گیری زاویه تماس فیلم‌ها، از روش قطره چسبنده^۲ استفاده شد. در این روش با استفاده از یک میکروسرنگ، یک قطره آب

آزمون جذب رطوبت^۳

آزمون اندازه‌گیری جذب رطوبت بر اساس اختلاف وزن نمونه‌ها قبل و بعد از مشروط سازی در رطوبت نسبی ۵۵-۵۰ درصد تعیین شد. برای انجام این آزمون قطعات $2 \times 2 \text{ cm}^2$ از فیلم‌ها در دسیکاتور حاوی کلرور کلسیم (رطوبت صفر درصد) تا رسیدن به وزن ثابت (m_1) خشک شدند. برای جذب رطوبت، فیلم‌های خشک شده، در دسیکاتور حاوی محلول اشباع نیترات منیزیم جهت فراهم کردن رطوبت (۵۵-۵۰ درصد) تا رسیدن به وزن ثابت (m_2)، نگهداری شدند. با توجه به اختلاف وزن فیلم‌ها، میزان جذب آب نمونه‌ها (MA) به کمک رابطه ۳ محاسبه شد (Almasi et al. 2009).

$$MA = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

اندازه‌گیری محتوای رطوبت^۴

محتوای رطوبت (MC) نمونه‌ها در سه تکرار و بر اساس مقدار افت وزن نمونه مشخصی از فیلم طی خشک کردن در آون آزمایشگاهی (K.M-85، پارس آزما، ایران) در دمای 105°C به کمک رابطه ۴ اندازه‌گیری شد.

$$MC = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (4)$$

که در این رابطه W_1 وزن اولیه نمونه و W_2 وزن نمونه بعد از خشک کردن است.

اندازه‌گیری حلالیت فیلم‌ها

قطعات $2 \times 2 \text{ cm}^2$ از هر فیلم در دمای 105°C تا رسیدن به وزن ثابت (m_3) خشک شدند. فیلم‌های خشک شده در ۵۰ ml آب مقطر غوطه‌ور و به مدت ۶ ساعت در دمای 25°C به آرامی هم زده شدند. سپس باقیمانده فیلم‌ها در دمای 105°C تا رسیدن به وزن ثابت (m_4) خشک شدند. در نهایت مقدار حلالیت فیلم در آب (SW) با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد.

$$SW = \frac{m_3 - m_4}{m_3} \times 100 \quad (5)$$

تعیین خواص مکانیکی فیلم‌ها

ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های تهیه شده از طریق آزمون‌های کششی با استفاده از یک دستگاه ارزیابی مکانیکی (STM-5، ستام، ایران) و بر اساس استاندارد ASTM D882 اندازه‌گیری شدند. به این

تابش نور مستقیم از سمت مقابل دوربین به قطره آب، تصویر قطره آب تهیه شد (Shahabi-Ghahfarrokhi, et al., 2018). همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است؛ زاویه بین سطح پلیمر و قطره آب توسط نرم‌افزار Image J (Java 1.6.0_05) اندازه‌گیری شد (Goudarzi et al., 2017). در صورتیکه زاویه تماس بین سطح جامد و قطره آب کمتر از 90° درجه باشد، آن سطح آب‌دوست است و در صورتیکه این زاویه بیشتر از 90° درجه باشد، آن سطح آب‌گریز می‌باشد؛ زیرا هرچه زاویه تماس بین مایع و سطح جامد بیشتر شود، تمایل گروه‌های آب‌دوست پلیمر به برقراری پیوند با آب کاهش می‌یابد (Jahangir-Esfahani et al., 2018).

آزمون نفوذپذیری نسبت به بخار آب (WVP)^۱

برای محاسبه میزان تبادل مولکول‌های آب از دو سطح پلیمر، از آزمون WVP مطابق روش ASTM E96-95 استفاده شد. برای انجام این آزمون، از فنجانک‌هایی با قطر دهانه ۱۳ mm و ارتفاع ۴۵ mm استفاده شد. درون فنجانک‌ها کلرید کلسیم خشک (جهت ایجاد رطوبت نسبی صفر درصد) ریخته شد. فیلم‌ها به اندازه دهانه فنجانک‌ها به صورت گرد بریده شده و در قسمت درپوش فنجانک‌ها به وسیله چسب دوطرفه چسبانده شدند. فنجانک‌ها با تمام محتویاتشان به وسیله ترازوی دیجیتال با دقت 0.0001 گرم (Precise Gravimetric - Precise AG - سوئیس) توزین شده، سپس درون دسیکاتور حاوی محلول اشباع کلرور سدیم (ایجاد رطوبت ۷۵٪ در دمای 25°C) قرار گرفتند. بدین ترتیب اختلاف فشار بخار آب $1753/55$ پاسکال در دو سمت فیلم ایجاد شد (Hassannia et al., 2015). طی دو روز و در بازه‌های زمانی خاص، فنجانک‌ها توسط ترازو با دقت 0.0001 g توزین شدند. آنگاه نمودار افزایش وزن آن‌ها نسبت به زمان رسم شد. با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ به ترتیب آهنگ عبور بخار آب (WVTR^۲) و نفوذپذیری به بخار آب (WVP) محاسبه شدند (Goudarzi et al., 2017).

$$WVTR = \frac{S}{A} \quad (1)$$

$$WVP = \frac{WVTR \times X}{\Delta P} \quad (2)$$

که در اینجا S بیانگر شیب افزایش وزن فنجانک‌ها در برابر زمان، A نشان‌دهنده مساحت سطح دهانه فنجانک، X نشان‌دهنده ضخامت فیلم و ΔP بیانگر اختلاف فشار در دو طرف فنجانک که معادل $1753/55$ پاسکال است.

3 Moisture absorption

4 Moisture content

1 Water vapor permeability (WVP)

2 Water Vapor Transfer Rate (WVTR)

a^* , b^* استفاده شد. آنگاه اختلاف رنگ کلی (ΔE) اندیس زردی و اندیس سفیدی (WI^*) نیز با استفاده از رابط ۱۰ تا ۱۲ محاسبه شدند.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L)^2 + (a^* - a)^2 + (b^* - b)^2} \quad (10)$$

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2} \quad (11)$$

$$YI = \frac{142.86 b}{L} \quad (12)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش، آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام شد. تمامی آزمون‌ها با حداقل سه تکرار انجام شد. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. آنگاه به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش ANOVA یک طرفه در قالب طرح کاملاً تصادفی و به منظور مقایسه میانگین داده‌ها، از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۹۵٪ استفاده شد.

نتایج و بحث

آزمون طیف‌سنجی مادون قرمز FTIR

آزمون FTIR روشی کارآمد برای تشخیص پیوندهای شیمیایی موجود در مواد است، که در این مطالعه برای تشخیص پیوندهای موجود در فیلم نشاسته-اسید اولئیک-دی‌اکسید تیتانیوم مورد استفاده قرار گرفته است. جذب امواج مادون قرمز توسط یک مولکول، باعث ایجاد حرکات ارتعاشی در پیوندهای آن می‌شود که اساس و مبنای طیف‌سنجی مادون قرمز را تشکیل می‌دهد (Oleyaei et al., 2015). هر ماده‌ای مانند اثر انگشت، طیف مادون قرمز مخصوص به خود را دارد. تقریباً تمامی ترکیباتی که پیوند کووالانسی دارند، فرکانس‌های متفاوتی از پرتو الکترومغناطیس ناحیه مادون قرمز را جذب می‌کنند (Jahangir-[Esfahani et al., 2018](#)). شکل ۲ طیف‌های FTIR مربوط به فیلم نشاسته، نشاسته-اسید اولئیک-TiO₂ و نشاسته-اسید اولئیک-TiO₂ اصلاح شده با ۹۰ دقیقه UV-C را نشان می‌دهد. پیک ظاهر شده در عدد موجی ۳۴۲۰ cm⁻¹ مربوط به کشش گروه O-H در نشاسته و TiO₂ است، در حالی که در عدد موجی ۲۹۲۰ cm⁻¹ کشش C-H مشاهده شد که مربوط به زنجیره هیدروکربنی در نشاسته و اسید اولئیک می‌باشد (Shahabi-Ghahfarrokhi et al., 2018). پیک ظاهر شده در عدد موجی ۱۶۴۰ cm⁻¹ نیز مربوط به گروه‌های O-H در ماتریس پلیمر می‌باشد و پیک مشاهده شده در عدد موجی ۱۱۵۳ cm⁻¹ نیز مربوط به

منظور هریک از فیلم‌ها به ابعاد ۱۰۰ mm طول و ۱۰ mm عرض برش داده شدند. نمونه‌ها در دسیکاتور حاوی محلول اشباع نیترات منیزیم با رطوبت نسبی ۵۵-۵۰ درصد به مدت حداقل ۴۸ ساعت مشروط شدند. فاصله بین دو فک دستگاه ۵۰ mm و سرعت حرکت فک‌ها ۱۰ mm/min انتخاب شدند.

فاکتورهای شامل مقاومت کششی (TS)^۱، درصد ازدیاد طول (EB)^۲، مدول یانگ (YM)^۳ و انرژی کششی تا لحظه پاره شدن (TEB)^۴ با استفاده از روابط ۶ تا ۹ تا Error! Reference source not found. به دست آمدند.

$$TS = \frac{F_{Max}}{A_{Min}} \quad (6)$$

$$EB = \frac{L_{Max}}{L_0} \times 100 \quad (7)$$

$$YM = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} \quad (8)$$

$$TEB = A_{\text{Stress-Strain}} \quad (9)$$

در این روابط، F_{Max} حداکثر نیروی اعمال شده قبل از پاره شدن، A_{Min} حداقل سطح مقطع نمونه، L_{Max} طول نمونه در لحظه پاره شدن، L_0 طول اولیه نمونه، Stress مقدار تنش اعمال شده در محدوده خطی، Strain مقدار کرنش در محدوده خطی و $A_{\text{Stress-Strain}}$ مساحت سطح زیر نمودار تنش به کرنش است.

طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)

برای ارزیابی تغییرات ایجاد شده در استخلاف‌های شیمیایی فیلم‌ها از دستگاه طیف‌سنجی FTIR در دمای اتاق استفاده شد. بدین ترتیب فیلم‌های پودر شده با پودر KBr به صورت قرص درآمده و در محدوده عدد موج ۴۰۰۰ cm⁻¹ تا ۴۰۰ cm⁻¹ و وضوح ۴ cm⁻¹ مورد ارزیابی قرار گرفتند.

ارزیابی رنگ فیلم‌های تولیدشده

به منظور تعیین پارمترهای رنگی (L, a, b) از یک دستگاه رنگ‌سنج دیجیتال (RGB-1002, Lutron Electronic Enterprise (Co.Taiwan) استفاده شد. پس از کالیبره کردن دستگاه از پس‌زمینه سفید استاندارد به عنوان پس‌زمینه با پارامترهای رنگی استاندارد (L*,

4 Tensile energy to break (TEB)

5 Yellowness index

6 Whiteness index

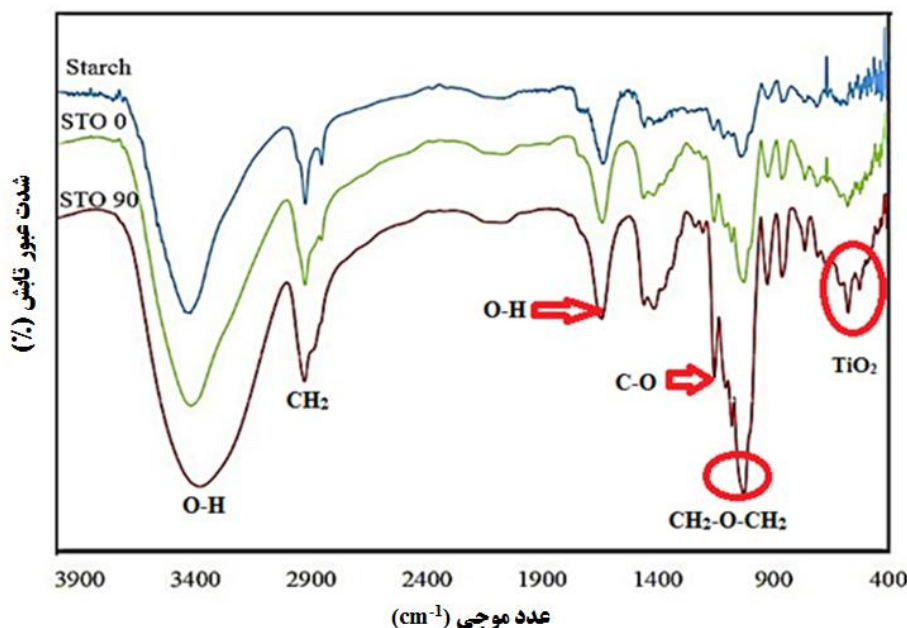
1 Tensile strength (TS)

2 Elongation at break (EB)

3 Young's modulus (YM)

نتیجه‌گیری می‌شود که، با افزودن همزمان اسید اولئیک و TiO_2 به نشاسته، به علت درصدهای کم اسید اولئیک (۱٪ نسبت به وزن خشک نشاسته) و نانو دی‌اکسید تیتانیوم (۲٪ نسبت به وزن خشک نشاسته)، اگرچه تغییراتی جزئی در پیک‌های TiO_2 (بازه 520 تا 570 cm^{-1}) ملاحظه شد ولی به دلیل همپوشانی این پیک‌ها به وسیله پیک‌های دیگر تغییرات چشمگیری در سایر پیک‌ها مشاهده نشد (Goudarzi *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2016; Lv *et al.*, 2010).

گروه عاملی C-O است (Goudarzi *et al.*, 2017); از طرفی پیک‌های بلندی که در عدد موجی 1025 cm^{-1} مشاهده می‌شود شامل گروه‌های CH_2-O-CH_2 است. پیک‌های ظاهر شده در بازه 520 تا 570 cm^{-1} مربوط به نانو ذره TiO_2 می‌باشد (Oleyaei *et al.*, 2015). در فیلم نشاسته با افزودن TiO_2 پیک‌های بلندتر و با اعمال پرتودهی نیز تغییرات چشمگیری مشاهده شد. به نظر می‌رسد نانو ذره TiO_2 تغییرات جزئی در ساختار بیوپلیمر نشاسته ایجاد کرده باشد. به‌طور کلی



شکل ۲- مقایسه FTIR در فیلم‌های نشاسته (Starch)، نشاسته-اسید اولئیک- TiO_2 (STO 0) و نشاسته-اسید اولئیک-دی‌اکسید تیتانیوم اصلاح شده با پرتو فرانشی به مدت ۹۰ دقیقه (STO 90)

Fig. 2. FTIR spectrum of starch films, starch-oleic acid- TiO_2 films (STO 0) and modified starch-oleic acid- TiO_2 films for 90 min (STO 90).

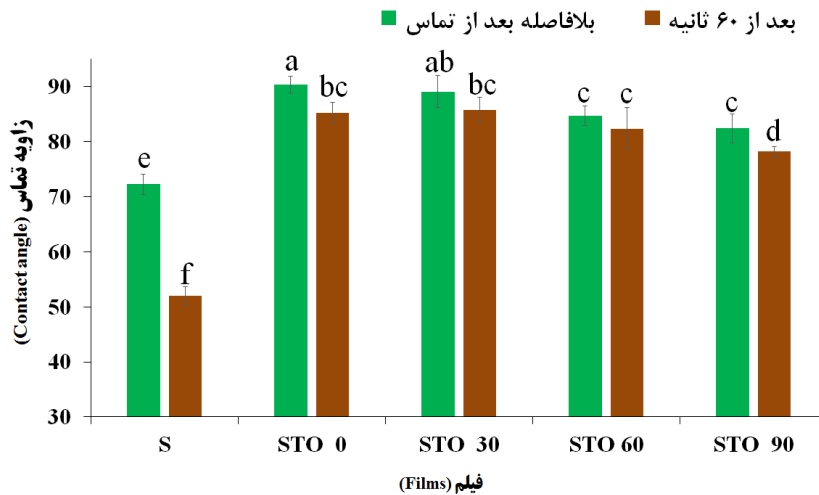
۱ مشاهده می‌شود، زاویه تماس فیلم نشاسته خالص در زمان اولیه $72/26$ است و پس از 60 ثانیه به $51/98$ رسیده است. در نانو کامپوزیت‌های تولید شده این اختلاف زاویه کمتر مشاهده شد به طوری که در گروه STO 0 زاویه تماس اولیه $90/34$ درجه و پس از 60 ثانیه $85/15$ درجه بود. به نظر می‌رسد، کاهش اختلاف زاویه تماس در زمان اولیه و زمان 60 ثانیه می‌تواند دلیل خوبی برای افزایش خاصیت آب‌گریزی فیلم نشاسته باشد (Jahangir-Esfahani *et al.*, 2018). این امر را می‌توان به ماهیت آب‌گریزی اسید اولئیک و همچنین تشکیل پیوند هیدروژنی بین نشاسته و TiO_2 نسبت داد. نتایج مشابهی نیز در مورد تأثیر اسید اولئیک برافزایش زاویه تماس فیلم کیتوزان نیز گزارش شده است (Vargas *et al.*, 2009). Ghanbarzadeh و همکاران (۲۰۱۲)، نیز نتایج مشابهی را در آزمون تأثیر اسید اولئیک بر آب‌گریزی فیلم کربوکسی متیل سلولز گزارش کردند.

زاویه تماس

تعیین خصوصیات سطحی از طریق اندازه‌گیری زاویه تماس می‌تواند یک معیار مناسب جهت تعیین میزان حساسیت به رطوبت باشد. سطوح آبدوست معمولاً زاویه تماس کمتر از 90 درجه دارند و باعث پهن‌شدگی قطره آب روی سطح پلیمر می‌شوند. افزایش زاویه تماس، نشان‌دهنده افزایش خصوصیات آب‌گریزی سطح فیلم و افزایش قابلیت کاربرد آن در صنعت بسته‌بندی می‌باشد (Sionkowska *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2007); به این منظور آزمون زاویه تماس انجام شد و نتایج حاصل در شکل ۲ نشان داده شده است.

با افزودن TiO_2 و اسید اولئیک (STO 0)، میزان زاویه تماس فیلم نشاسته افزایش قابل‌توجهی داشته است. به طوری که این مقدار از $72/26$ درجه در فیلم نشاسته خالص به $90/34$ درجه برای فیلم نشاسته-اسید اولئیک- TiO_2 افزایش یافته است. همان‌طور که در شکل

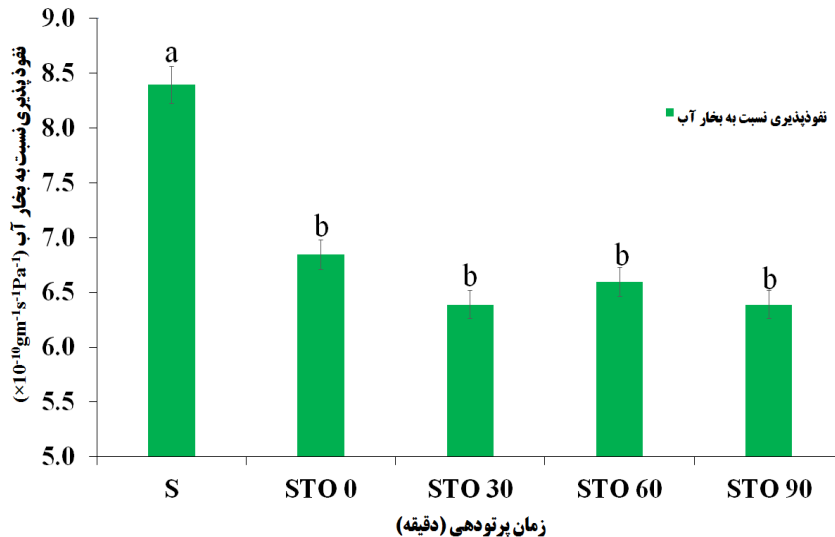
با اعمال پرتو دهی بر امولسیون نشاسته-اسید اولئیک- TiO_2 ، ساختار نشاسته طی افزایش زمان پرتو دهی تخریب، و منوسا کاریدها و دی ساکاریدهایی که ماهیت آب دوستی زیادی دارند، تولید شده باشد. به صورت تدریجی زاویه تماس کاهش یافته است. به نظر می رسد، که



شکل ۳- زاویه تماس فیلم های نشاسته (S) و نشاسته-اسید اولئیک- TiO_2 (STO 0) همراه با تأثیر زمان های مختلف (۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) پرتو دهی با UV-C. حروف متفاوت نمایش داده شده بر روی نمودار بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن است ($p < 0.05$).
Fig. 3. Contact angle starch films and modified starch-oleic acid- TiO_2 films (STO) by UV-C at different exposer times (0, 30, 60 and 90 min). Mean values with different letter are significantly different ($P < 0.05$)

به بخار آب در مواد بسته بندی شده باید تا حد ممکن کم باشد (Zhou *et al.*, 2009). شکل ۳ مقادیر نفوذ پذیری نسبت به بخار آب را در فیلم های نشاسته و تیمارهای آن نشان می دهد.

نفوذ پذیری نسبت به بخار آب از مهم ترین اهداف بسته بندی مواد غذایی، می توان به افزایش مقاومت نسبت به انتقال بخار آب اشاره کرد؛ بنابراین نفوذ پذیری نسبت



شکل ۴- نفوذ پذیری نسبت به بخار آب (WVP) فیلم های نشاسته (S) و نشاسته اسید اولئیک- TiO_2 (STO) همراه با تأثیر زمان های مختلف (۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) پرتو دهی با UV-C. حروف متفاوت نمایش داده شده بر روی نمودار بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن است ($p < 0.05$).

Fig. 4. Water vapor permeability of starch films (S) and modified starch-oleic acid- TiO_2 films (STO) by UV-C at different exposer times (0, 30, 60 and 90 min). Mean values with different letter are significantly different ($P < 0.05$).

فیلم نشاسته کاهش یافته است. این کاهش می‌تواند به دلیل پراکنش TiO_2 در ماتریس فیلم باشد که به صورت یک سد فیزیکی عمل نموده و از انتشار مولکول‌های آب در کامپوزیت جلوگیری می‌کند. اما، با اعمال پرتودهی و افزایش زمان تابش، کاهش بیشتری در جذب رطوبت فیلم‌ها مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد، این تغییرات مربوط به توزیع گلبول‌های اسید اولئیک در ماتریس پلیمر بوده است، همچنین نانوذره TiO_2 به‌عنوان یک ماده پرکننده ایفای نقش می‌نماید به این ترتیب حجم و فضاهای خالی ساختار فیلم کاهش می‌یابد ([Ghanbarzadeh et al., 2009](#)). نتایج حاصل از این آزمون تطابق خوبی با نتایج پیشین دارد. [Ghasemlou](#) و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که افزودن اسید اولئیک در غلظت‌های بالا موجب کاهش جذب رطوبت فیلم کفیران شده است. در تحقیقات پیش‌ازین نیز، استفاده از پرتوهای یونیزه‌کننده را به‌عنوان عامل مناسبی جهت کاهش جذب رطوبت گزارش کرده‌اند ([Kim et al., 2008](#)).

حلالیت در آب

میزان حلالیت در آب از خواص مهم در تعیین ویژگی‌های فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر می‌باشد. لذا ترکیبات مورد استفاده در صنعت بسته بندی مواد غذایی به‌منظور بازداری فساد باید از مقاومت نسبتاً خوبی در برابر حلالیت برخوردار باشند ([Li et al., 2013](#); [Tang et al., 2008](#)). با توجه به نتایج ارائه شده در [شکل ۴](#)، با افزودن نانوذره TiO_2 و اسید اولئیک به محلول نشاسته، میزان حلالیت در آب کاهش یافت اما این کاهش معنی‌دار نبود، سپس با اعمال پرتودهی تا زمان ۳۰ دقیقه توسط UV-C، میزان حلالیت نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌نظر می‌رسد پرتودهی در زمان‌های کوتاه‌مدت، موجب توزیع بهتر گلبول‌های اسید اولئیک و TiO_2 در ماتریس نشاسته شده است؛ بدین ترتیب گروه‌های هیدروکسیل نشاسته تا حدودی مهارشده و آب‌گریزی نشاسته افزایش می‌یابد. با افزایش زمان پرتودهی حلالیت در آب نیز افزایش یافته است. این افزایش به‌دلیل تخریب مناطق آمورف نشاسته و تولید مونومر و دی‌ساکاریدها تحت تابش UV-C در زمان‌های طولانی‌تر در ساختار پلیمر می‌باشد ([Shahabi-Ghahfarrokhi et al., 2015](#)). نتایج مشابه با این مطالعه، توسط [Goudarzi](#) و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی اثر تابش فرابنفش بر محلول نشاسته گزارش شده است. آن‌ها دریافتند که تابش فرابنفش تا ۱ ساعت موجب کاهش حلالیت و در بازه‌های زمانی بالاتر موجب افزایش حلالیت فیلم‌های نشاسته‌ای شده است. با این حال [Díaz](#) و همکاران (۲۰۱۶) برخلاف نتایج این مطالعه مشاهده کردند که تابش فرابنفش در دوزهای بالا باعث کاهش حلالیت فیلم‌های پروتئین آب‌پنیر می‌شود. آنان تشکیل پیوندهای دی‌سولفید در ساختار فیلم را دلیل کاهش حلالیت گزارش

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزودن اسید اولئیک و نانوذره TiO_2 به محلول نشاسته، مقدار WVP به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است. به‌نظر می‌رسد برقراری پیوندهای هیدروژنی بین نشاسته و TiO_2 همچنین توزیع گلبول‌های اسید اولئیک در ماتریس نشاسته عامل اصلی کاهش WVP بوده است ([Ghasemlou et al., 2011](#)). به‌طور کلی نفوذپذیری نسبت به بخار آب به ویژگی آب‌دوستی مواد و همچنین وجود حفرات و فضاهای خالی در بین زنجیره‌های آن بستگی دارد. پیوندهای بین نشاسته و اسید اولئیک تا حدودی گروه‌های هیدروکسیل نشاسته را مهار می‌کند. نانو ذرات TiO_2 نیز علاوه بر تشکیل پیوند با گروه‌های هیدروکسیل نشاسته، به‌عنوان یک پرکننده، فضاهای خالی و حفرات موجود در ساختار نشاسته را اشغال می‌کند، به این ترتیب با ایجاد حالت زیگزاگی و مسیر پرپیچ‌وخم، مسیر عبور مولکول‌های آب از دو طرف فیلم نشاسته دچار مشکل می‌شود ([Almasi et al., 2009](#)). همان‌طور که در [شکل ۳](#) نشان داده شده است، با افزایش مدت زمان پرتودهی، مقدار WVP تغییر معنی‌داری نداشته است. به‌نظر می‌رسد، افزایش زمان پرتودهی محلول نشاسته - اسید اولئیک - TiO_2 تا ۹۰ دقیقه، در کاهش WVP فیلم نشاسته نقش مؤثری نداشته است.

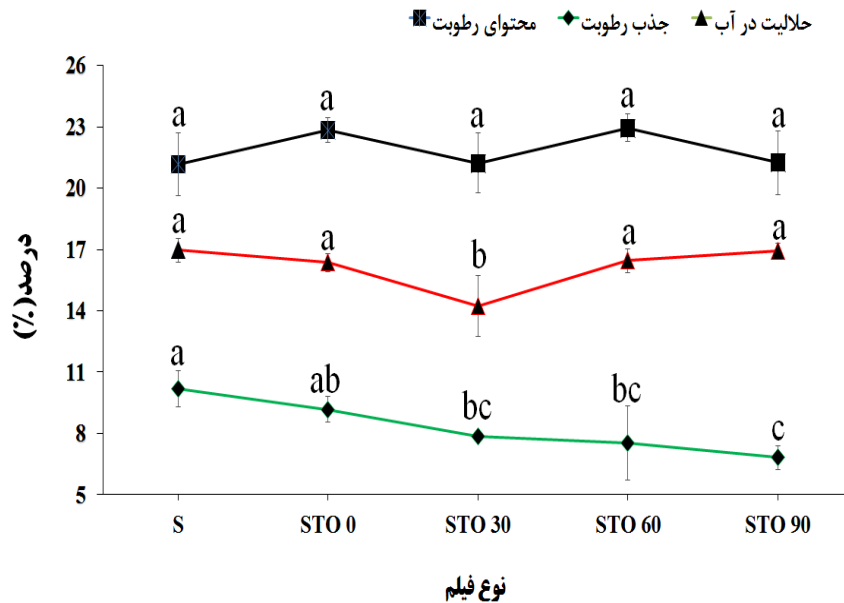
محتوای رطوبت

همان‌طور که در [شکل ۴](#) مشاهده می‌شود با افزودن اسید اولئیک و نانو دی‌اکسید تیتانیوم به محلول فیلم‌ساز نشاسته تغییرات معنی‌داری در محتوای رطوبت فیلم نشاسته ایجاد نشده است. به‌نظر می‌رسد عدم تفاوت معنی‌دار در کاهش محتوای رطوبت، مربوط به خاصیت روان‌کنندگی اسید اولئیک، همچنین حضور امولسیفایر توئین ۸۰ است ([Fei et al., 2013](#)). با اعمال پرتودهی توسط UV-C و افزایش زمان آن نیز، محتوای رطوبت تغییر معنی‌داری نداشته است. به‌نظر می‌رسد، زمان‌های کوتاه پرتودهی تغییری در محتوای رطوبت موجود در ساختار شبکه‌ای ایجاد نکرده باشد. [Babaei](#) و [Shahabi-Ghahfarrokhi](#) (۲۰۱۸)، تأثیر زمان‌های مختلف پرتودهی توسط UV-C را بر روی فیلم نشاسته - کفیران - دی‌اکسید روی (ZnO) بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که زمان UV-C تا بازه ۱ ساعت تغییر محسوسی در میزان محتوای رطوبت نمونه‌ها نداشته ولی در بازه زمانی ۶ ساعت و بیشتر از آن محتوای رطوبت فیلم‌ها کاهش یافته است.

جذب رطوبت

یکی از مشکلات اساسی در استفاده از بیوپلیمرها، تمایل بالای آن‌ها نسبت به جذب رطوبت است. بنابراین ایجاد راهکار برای افزایش مقاومت بیوپلیمرها نسبت به آب فاکتور مهمی می‌باشد ([Tang et al., 2008](#)). همان‌طور که در [شکل ۴](#) مشاهده می‌شود با افزودن اسید اولئیک و نانوذره TiO_2 به محلول نشاسته، میزان جذب رطوبت

کردند. به نظر می‌رسد این عدم همخوانی به دلیل تفاوت در نوع بیوپلیمر مورد استفاده باشد.



شکل ۵- حلالیت در آب، جذب رطوبت و محتوای رطوبت، فیلم‌های نشاسته (S) و نشاسته-اسید اولئیک - TiO₂ (STO) همراه با تأثیر زمان‌های مختلف (+، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) پرتودهی با UV-C. حروف متفاوت نمایش داده شده بر روی نمودار بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن انجام شده است (p < ۰/۰۵).

Fig. 5. Solubility in water, moisture absorption and moisture content of starch films and modified starch-oleic acid-TiO₂ films (STO 0) by UV-C at different exposer times (0, 30, 60 and 90 min). Mean values with different letter are significantly different (P<0.05).

جدول ۱- خصوصیات مکانیکی فیلم نشاسته و نشاسته-اسید اولئیک-TiO₂ همراه با تأثیر زمان‌های مختلف (+، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) پرتودهی با UV-C (p < ۰/۰۵)

Table 1- Physical properties of starch films and modified starch-oleic acid-TiO₂ films by UV-C at different exposer times (0, 30, 60 and 90 min)

| انرژی کششی در نقطه پاره شدن Tensile energy to break(MJ) | مدول یانگ Young's modulus (MPa) | درصد افزایش طول Elongation at break (%) | مقاومت کششی Tensile strength(Mpa) | نوع فیلم (Films) |
|---|---------------------------------|---|-----------------------------------|--|
| 1.44± 0.51 ^b | 206.12 ± 26.25 ^{ab} | 26.35 ± 7.96 ^c | 6.90 ± 0.54 ^a | نشاسته Starch |
| 2.62 ± 0.41 ^{ab} | 174.35 ± 3.83 ^b | 62.30 ± 1.59 ^{ab} | 5.69 ± 0.34 ^b | نشاسته-اسید اولئیک-دی اکسید تیتانیوم ۰ دقیقه (STO 0) |
| 3.66 ± 0.59 ^a | 220.14 ± 26.37 ^a | 68.83 ± 5.95 ^a | 6.25 ± 0.34 ^{ab} | نشاسته-اسید اولئیک-دی اکسید تیتانیوم ۳۰ دقیقه (STO 30) |
| 2.65 ± 0.53 ^{ab} | 217.58 ± 5.85 ^a | 55.86 ± 1.78 ^b | 5.55 ± 0.80 ^b | نشاسته-اسید اولئیک-دی اکسید تیتانیوم ۶۰ دقیقه (STO 60) |
| 1.93 ± 1.02 ^b | 234.17 ± 24.20 ^a | 32.00 ± 3.95 ^c | 5.38 ± 0.37 ^b | نشاسته-اسید اولئیک-دی اکسید تیتانیوم ۹۰ دقیقه (STO 90) |

* در هر ستون، مقادیر با حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ اختلاف معنادار با هم دارند (p < ۰/۰۵). ‡ میانگین داده‌ها ± انحراف معیار

*Means within each column with the same letters are not significantly different (P<0.05)

‡ Data are means ± SD

خواص مکانیکی

محتوی مواد غذایی از زمان بسته‌بندی تا مصرف تحت حفاظت مکانیکی بسته‌بندی قرار دارد. از این رو انتخاب مواد بسته‌بندی که دارای خواص مکانیکی مناسب باشند، از اهمیت خاصی برخوردار است. خواص مکانیکی فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر به نیروهای بین‌مولکولی زنجیره‌های پلیمری سازنده آن‌ها، نسبت ترکیبات سازنده، افزودنی‌های اضافه شده و شرایط محیطی بستگی دارد (Li et al., 2011; Kim et al., 2008). همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، با افزودن اسید اولئیک و TiO_2 به نشاسته، مقاومت کششی از ۶/۹۰ MPa به ۵/۶۹ MPa و مدول یانگ از ۲۰۶/۱۲ به ۱۷۴/۳۵ MPa کاهش یافته و ازدیاد طول از ۲۶/۳۵٪ به ۶۲/۳۰٪ و انرژی کششی در لحظه پاره شدن از ۱/۴۴ به ۲/۶۲ MJ افزایش یافته است. به نظر می‌رسد، افزودن اسید اولئیک به‌عنوان روان‌کننده و TiO_2 به‌عنوان پرکننده موجب

افزایش تحرک زنجیره‌های نشاسته شده است. نتایج مشابه این آزمون توسط Zhou و همکاران (۲۰۰۹) و Li و همکاران (۲۰۱۱)، درباره اثرات TiO_2 بر خواص مکانیکی بیوپلیمر حاصل از پروتئین آب‌پنیر مشابهت زیادی دارد. با اعمال پرتودهی در بازه زمانی کوتاه (۳۰ دقیقه)، تمامی پارامترهای مربوط به خواص مکانیکی نسبت به STO 0 افزایش یافته است و با افزایش زمان پرتودهی، کشش‌پذیری و انرژی کششی در لحظه پاره شدن کاهش قابل توجهی داشتند. به نظر می‌رسد، پرتودهی در بازه‌های زمانی کوتاه (۳۰ دقیقه)، موجب اتصالات عرضی و پیوندهای قوی بین اسید اولئیک و نشاسته همچنین نشاسته و TiO_2 می‌شود. در بازه‌های زمانی بالاتر به علت تخریب ساختار نشاسته و اثرات روان‌کنندگی محصولات تخریب شده در نشاسته، خواص مکانیکی کاهش بیشتری داشته است (Goudarzi et al., 2017).

جدول ۲- پارامترهای رنگ سنجی (L, a, b)، اختلاف رنگ (ΔE)، اندیس سفیدی (WI) و اندیس زردی (YI) فیلم نشاسته و نشاسته-اسید اولئیک- TiO_2 همراه با تأثیر زمان‌های مختلف (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) پرتودهی با UV-C ($p < 0.05$)

Table 2- Hunter color values (L, a, and b), total color difference (ΔE), whiteness index (WI), yellowness index (YI) of starch films and modified starch-oleic acid- TiO_2 films (STO 0) by UV-C at different exposer times (0, 30, 60 and 90 min)

| YI | WI | ΔE | b | a | L | نوع فیلم Films |
|----------------------|--------------------|-------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--|
| -2.13 ± 0.10^c | 94.67 ± 0.19^a | 5.33 ± 0.18^b | -1.42 ± 0.06^c | 2.15 ± 0.19^a | 95.34 ± 0.18^a | نشاسته Starch |
| 5.63 ± 0.75^{ab} | 94.00 ± 0.61^a | 5.99 ± 0.61^b | 3.75 ± 0.49^{ab} | -0.09 ± 0.26^b | 95.33 ± 0.44^a | نشاسته-اسید اولئیک-دی‌اکسید تیتانیوم + دقیقه STO 0 |
| 6.09 ± 0.44^a | 93.42 ± 0.59^a | 6.57 ± 0.59^b | 4.04 ± 0.28^a | -0.31 ± 0.09^b | 94.83 ± 0.61^a | نشاسته-اسید اولئیک-دی‌اکسید تیتانیوم ۳۰ دقیقه STO 30 |
| 4.85 ± 1.41^{ab} | 91.17 ± 1.03^b | 8.83 ± 1.03^a | 3.13 ± 0.95^{ab} | 1.16 ± 1.35^a | 91.97 ± 1.38^b | نشاسته-اسید اولئیک-دی‌اکسید تیتانیوم ۶۰ دقیقه STO 60 |
| 4.23 ± 0.83^b | 91.42 ± 0.76^b | 8.58 ± 0.76^a | 2.73 ± 0.55^b | 2.07 ± 0.20^a | 92.16 ± 0.91^b | نشاسته-اسید اولئیک-دی‌اکسید تیتانیوم ۹۰ دقیقه STO 90 |

* در هر ستون، مقادیر با حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ اختلاف معنادار با هم دارند ($p < 0.05$). † میانگین داده‌ها \pm انحراف معیار

*Means within each column with the same letters are not significantly different ($P < 0.05$)

† Data are means \pm SD

رنگ‌سنجی

معمولاً فیلم‌های تهیه شده از نشاسته از شفافیت کمی برخوردارند (Shahabi, Goudarzi et al., 2017; Oleyaei et al., 2015; Ghahfarrokhi et al., 2018). از این رو در بسته‌بندی‌های بر پایه نشاسته به دلیل کدورت و ایجاد محدودیت در مشاهده محتویات داخل بسته، این نوع مواد بسته‌بندی از مقبولیت کمی برخوردار هستند. جدول

۲ پارامترهای رنگی L (روشنایی - سفیدی)، a (قرمز - سبز) و b (زرد - آبی)، اختلاف رنگی ΔE ، اندیس زردی YI و اندیس سفیدی WI بیونانو کامپوزیت نشاسته-اسید اولئیک- TiO_2 و تأثیر پرتو فرابنفش در تغییر این معیارهای رنگی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در مشاهده می‌شود، با افزودن اسید اولئیک و TiO_2 تفاوت معنی‌داری در میزان پارامتر L ایجاد نشد؛ ولی با اعمال پرتودهی و افزایش زمان تابش،

ملاحظه‌ای افزایش یافته، اما نفوذپذیری نسبت به بخار آب و جذب رطوبت فیلم‌های نشاسته‌ای کاهش می‌یابد که این نتایج نشان‌دهنده افزایش میزان آبگریزی در فیلم‌های تهیه شده می‌باشد. با اعمال پرتودهی توسط UV-C در بازه زمانی ۳۰ دقیقه، ابتدا حلالیت در آب فیلم‌های نشاسته کاهش یافت و سپس با افزایش زمان پرتودهی به بیش از ۳۰ دقیقه، تنها جذب رطوبت فیلم‌ها کاهش قابل ملاحظه‌ای داشت و سایر آزمون‌های آبگریزی نه تنها تغییرات چشمگیری نداشتند بلکه در بعضی موارد مانند آزمون زاویه تماس، کاهش آبگریزی فیلم‌های نشاسته مشاهده شد. با مطالعه خواص مکانیکی در این فیلم، مشاهده شد که با افزودن اسید اولئیک و نانو دی‌اکسید تیتانیوم به فیلم نشاسته، مقاومت کششی و الاستیسیته کاهش و کشش‌پذیری و انرژی کششی تا لحظه پاره شدن افزایش یافته است. با اعمال پرتودهی در بازه زمانی کوتاه مدت (۳۰ دقیقه)، تمامی پارامترهای مربوط به خواص مکانیکی افزایش یافت. دلیل این تغییرات، ایجاد اتصالات عرضی در حضور پرتو UV-C بیان شد. با افزایش زمان پرتودهی به بیش از ۳۰ دقیقه، خواص مکانیکی این فیلم کاهش یافت که دلیل آن به تخریب ساختار و پیوندهای نشاسته در زمان‌های طولانی مدت پرتودهی گزارش شد. با توجه به نتایج حاصل، اگرچه فرآیند پرتودهی در بازه زمانی ۳۰ دقیقه، نقش قابل توجهی روی بهبود خصوصیات مکانیکی، جذب رطوبت و حلالیت در آب فیلم‌های نشاسته‌ای داشته است، ولی حضور اسید اولئیک و نانو دی‌اکسید تیتانیوم به تنهایی و بدون اعمال پرتودهی نقش موثرتری در بهبود زاویه تماس، نفوذپذیری نسبت به بخار آب و محتوای رطوبت فیلم‌های نشاسته‌ای داشته است. به‌طور کلی به‌منظور تشدید خاصیت آبگریزی و بهبود خواص مکانیکی فیلم نشاسته، استفاده از اسید اولئیک و نانو دی‌اکسید تیتانیوم به‌صورت توأم، و در صورت استفاده از پرتو UV-C، بازه‌های زمانی کوتاه مدت (صفر - ۳۰ دقیقه) پیشنهاد می‌شود. از سوی دیگر با توجه به احتمال باقی ماندن رادیکال‌های آزاد تولید شده به‌صورت دست نخورده در بیوپلیمرهای پرتودهی شده، اگرچه این بیوپلیمر زیست تخریب‌پذیر است، ولی به‌نظر می‌رسد، کیفیت مناسب خوراکی را نداشته باشد.

پارامتر L کاهش یافت با افزودن اسید اولئیک و TiO_2 پارامتر a کاهش و b افزایش یافت. علت این پدیده مربوط به رنگ زرد اسید اولئیک می‌باشد. با اعمال فرآیند پرتودهی به مدت ۳۰ دقیقه، پارامتر a از ۰/۰۹ - ۰/۳۱ - کاهش یافت ولی افزایش زمان پرتودهی تا ۹۰ دقیقه موجب افزایش معنی دار پارامتر a تا ۲/۰۷ شد. پارامتر b نیز با اعمال پرتودهی به مدت ۳۰ دقیقه از ۳/۷۵ به ۴/۰۴ افزایش یافت و با افزایش زمان پرتودهی تا ۹۰ دقیقه موجب کاهش معنی دار پارامتر b تا ۲/۷۳ شد. اختلاف رنگی ΔE نیز با افزایش زمان پرتودهی افزایش و در مقابل WI کاهش یافت. اندیس زردی نیز با افزودن اسید اولئیک و TiO_2 افزایش و با افزایش زمان پرتودهی کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد، افزایش زمان پرتودهی موجب شکسته شدن ساختار نشاسته - اسید اولئیک - TiO_2 و در نتیجه تولید مونو و دی‌ساکاریدهایی در ماتریس پلیمر شده که در نتیجه کاهش رنگ زرد پلیمر را در پی داشته است. به نظر می‌رسد، افزایش زمان پرتودهی عامل مناسبی برای حذف رنگ زرد اسید اولئیک می‌باشد. [Goudarzi](#) و همکاران (۲۰۱۸) نیز نتایج مشابه با این تحقیق ارائه نمودند. برخلاف نتایج این مطالعه، [Oleyaei](#) و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که با افزایش غلظت TiO_2 پارامترهای L افزایش و a و b کاهش یافته است. به‌نظر می‌رسد عدم هماهنگی نتایج به دلیل استفاده اسید اولئیک و پرتو فرابنفش علاوه بر TiO_2 همچنین غلظت مصرفی TiO_2 می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، خاصیت آبدوستی نشاسته به‌واسطه اسید اولئیک و نانو دی‌اکسید تیتانیوم اصلاح شد و از آن فیلم‌های مقاوم به رطوبت تهیه گردید. اسید اولئیک با غلظت ثابت (۱٪)، دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ثابت (۲٪) و زمان پرتو فرابنفش به‌عنوان عامل متغیر، در چهار بازه زمانی (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان دادند که با افزودن اسید اولئیک و نانو دی‌اکسید تیتانیوم به محلول نشاسته، زاویه تماس به‌طور قابل

منابع

- Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., & Pezeshki, N. A. (2009). Improving the physical properties of starch and starch-carboxymethyl cellulose composite biodegradable films. *Iranian Journal of Food Science And Technology*, 6(3), 1-11.
- Hassannia-Kolae, M. Khodaiyan F. Pourahmad, R & Shahabi-Ghahfarokhi, I. (2015). Functional Properties of Composite Edible Film Based Made with Whey Protein-Pullulan. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 16(3), 45-56
- Jahangir-Esfahani, H, Shahabi-Ghahfarokhi, I & Pourata, R. (2020) Modification of hydrophilic properties of starch film by simultaneous use of oleic acid and UV ray. *Food Research*, 29 (4), 125-138

4. Jahangir Esfahani, H., Shahabi-Ghahfarrokhi, I. (2018). A Review of the Methods for Modification of Hydrophilic Properties of Starch Based Biopolymers as a Biodegradable Food Packaging Material. *9(34)*, 32-45
5. Jahangir-Esfahani, H., Shahabi-Ghahfarrokhi, I & Pourata, R. (2020). Photochemical Modification of Starch-Oleic Acid Composite as a Biodegradable Film in Food Packaging. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, *51(3)*, 643-654
6. Ashton, H., & Fletcher, D. (1962). Development and use of color standards for egg yolks. *Poultry science*, *41(6)*, 1903-1909. <https://doi.org/10.3382/ps.0411903>
7. Campos, A. d., Marconcini, J., Martins-Franchetti, S., & Mattoso, L. (2012). The influence of UV-C irradiation on the properties of thermoplastic starch and polycaprolactone biocomposite with sisal bleached fibers. *Polymer degradation and stability*, *97(10)*, 1948-1955. <https://doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2011.11.010>
8. Díaz, O., Candia, D., & Cobos, Á. (2016). Effects of ultraviolet radiation on properties of films from whey protein concentrate treated before or after film formation. *Food Hydrocolloids*, *55*, 189-199. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.019>
9. Fei, P., Shi, Y., Zhou, M., Cai, J., Tang, S., & Xiong, H. (2013). Effects of nano-TiO₂ on the properties and structures of starch/poly (ϵ -caprolactone) composites. *Journal of Applied Polymer Science*, *130(6)*, 4129-4136. <https://doi.org/10.1002/app.39695>
10. Gennadios, A., Rhim, J., Handa, A., Weller, C., & Hanna, M. (1998). Ultraviolet radiation affects physical and molecular properties of soy protein films. *Journal of food science*, *63(2)*, 225-228. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15714.x>
11. Ghanbarzadeh, B., & Almasi, H. (2011). Physical properties of edible emulsified films based on carboxymethyl cellulose and oleic acid. *International journal of biological macromolecules*, *48(1)*, 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2010.09.014>
12. Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., Oromiehie, A., & Yarmand, M. S. (2011). Characterization of edible emulsified films with low affinity to water based on kefir and oleic acid. *International journal of biological macromolecules*, *49(3)*, 378-384. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.05.013>
13. Goudarzi, V., & Shahabi-Ghahfarrokhi, I. (2017). Photo-producible and photo-degradable starch/TiO₂ bionanocomposite as a food packaging material: Development and characterization. *International journal of biological macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.058>
14. Goudarzi, V., Shahabi-Ghahfarrokhi, I., & Babaei-Ghazvini, A. (2017). Preparation of ecofriendly UV-protective food packaging material by starch/TiO₂ bio-nanocomposite: Characterization. *International journal of biological macromolecules*, *95*, 306-313. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.065>
15. Goudarzi, V., & Shahabi-Ghahfarrokhi, I. (2017). Production of starch film by photochemical reactions: Physicochemical characterization. *Food Research*, *26(3)*, 519-530.
16. Jamal Abadi, M., & Sarem Nejad, S. (2015). Investigation on the Physicochemical Properties of Ultrasound Treated Wheat Starch. *Food Science and Technology*, *13(53)*, 127-136.
17. Kim, J. K., Jo, C., Park, H. J., & Byun, M. W. (2008). Effect of gamma irradiation on the physicochemical properties of a starch-based film. *Food Hydrocolloids*, *22(2)*, 248-254. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.11.010>
18. Kovács, V., Gondor, O. K., Szalai, G., Majláth, I., Janda, T., & Pál, M. (2014). UV-B radiation modifies the acclimation processes to drought or cadmium in wheat. *Environmental and experimental botany*, *100*, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.019>
19. Li, X.-M., Reinhoudt, D., & Crego-Calama, M. (2007). What do we need for a superhydrophobic surface? A review on the recent progress in the preparation of superhydrophobic surfaces. *Chemical Society Reviews*, *36(8)*, 1350-1368. DOI:<https://doi.org/10.1039/B602486F>
20. Oleyaei, S. A., Ghanbarzadeh, B., Moayed, A. A., Poursani, P., & Khatamian, M. (2015). Preparation and Characterization of Nanostructural and Physicochemical Properties of Starch-TiO₂ Biocomposite Films. *Innovative Food Technologies*. *2(4)*, 87-101
21. Li, Y., Jiang, Y., Liu, F., Ren, F., Zhao, G., & Leng, X. (2011). Fabrication and characterization of TiO₂/whey protein isolate nanocomposite film. *Food Hydrocolloids*, *25(5)*, 1098-1104. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.10.006>
22. Li, Z., Mi, L., Wang, P.-N., & Chen, J.-Y. (2011). Study on the visible-light-induced photokilling effect of nitrogen-doped TiO₂ nanoparticles on cancer cells. *Nanoscale research letters*, *6(1)*, 356. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-6-356>
23. Li, Z., Pan, X., Wang, T., Wang, P.-N., Chen, J.-Y., & Mi, L. (2013). Comparison of the killing effects between nitrogen-doped and pure TiO₂ on HeLa cells with visible light irradiation. *Nanoscale research letters*, *8(1)*, 96. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-8-96>
24. Linsebigler, A. L., Lu, G., & Yates Jr, J. T. (1995). Photocatalysis on TiO₂ surfaces: principles, mechanisms, and selected results. *Chemical reviews*, *95(3)*, 735-758. <https://doi.org/10.1021/cr00035a013>

25. Linthorst, J. (2010). An overview: origins and development of green chemistry. *Foundations of chemistry*, 12(1), 55-68. <https://doi.org/10.1007/s10698-009-9079-4>
26. Lv, J., Shen, Y., Peng, L., Guo, X., & Ding, W. (2010). Exclusively selective oxidation of toluene to benzaldehyde on ceria nanocubes by molecular oxygen. *Chemical communications*, 46(32), 5909-5911. <https://doi.org/10.1039/C0CC00777C>
27. Mohanty, A., Misra, M., & Hinrichsen, G. (2000). Biofibers, biodegradable polymers and biocomposites: an overview. *Macromolecular materials and Engineering*, 276(1), 1-24. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1439-2054\(20000301\)276:1<::AID-MAME1>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1439-2054(20000301)276:1<::AID-MAME1>3.0.CO;2-W)
28. Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., & Hosseini, S. M. H. (2010). Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. *Food Chemistry*, 122(1), 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.033>
29. Ozdemir, M., & Floros, J. D. (2004). Active food packaging technologies. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(3), 185-193. <https://doi.org/10.1080/10408690490441578>
30. Shahabi-Ghahfarrokhi, I., & Babaei-Ghazvini, A. (2018). Using photo-modification to compatibilize nano-ZnO in development of starch-kefir-ZnO green nanocomposite as food packaging material. *International journal of biological macromolecules*, 124, 922-930. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.241>
31. Shahabi-Ghahfarrokhi, I., Khodaiyan, F., Mousavi, M., & Yousefi, H. (2015). Effect of γ -irradiation on the physical and mechanical properties of kefir biopolymer film. *International journal of biological macromolecules*, 74, 343-350. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.11.038>
32. Singh, J., Kaur, L., & McCarthy, O. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. *Food Hydrocolloids*, 21(1), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.02.006>
33. Sionkowska, A., Skopinska-Wisniewska, J., Planecka, A., & Kozłowska, J. (2010). The influence of UV irradiation on the properties of chitosan films containing keratin. *Polymer degradation and stability*, 95(12), 2486-2491. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.08.002>
34. Slavutsky, A. M., & Bertuzzi, M. A. (2015). Formulation and characterization of nanolaminated starch based film. *LWT Food Science and Technology*, 61(2), 407-413. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.034>
35. Tang, S., Zou, P., Xiong, H., & Tang, H. (2008). Effect of nano-SiO₂ on the performance of starch/polyvinyl alcohol blend films. *Carbohydrate Polymers*, 72(3), 521-526. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.09.019>
36. Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2009). Characterization of chitosan-oleic acid composite films. *Food Hydrocolloids*, 23(2), 536-547. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.02.009>
37. Wang, X.-Y., Mertz, D., Blanco-Andujar, C., Bora, A., Ménard, M., Meyer, F., Bégin-Colin, S. (2016). Optimizing the silanization of thermally-decomposed iron oxide nanoparticles for efficient aqueous phase transfer and MRI applications. *RSC Advances*, 6(96), 93784-93793. DOI: [10.1039/C6RA18360C](https://doi.org/10.1039/C6RA18360C)
38. Zhou, J., Wang, S., & Gunasekaran, S. (2009). Preparation and characterization of whey protein film incorporated with TiO₂ nanoparticles. *Journal of food science*, 74(7), N50-N56. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01270.x>



Full Research Paper

Aflatoxin contaminated cocoa beans classification using near-infrared spectroscopy

Ali Saeidan¹, Mehdi Khojastehpour^{1*} , Mahmood Reza Golzarian¹, Marzieh Moeinfard² 

Received: 2021.01.27

Accepted: 2021.02.23

How to cite this article:

Saeidan, A., Khojastehpour, M., Golzarian, M. R., Moeinfard, M., (2022). Aflatoxin contaminated cocoa beans classification using near-infrared spectroscopy. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18(1), 129-138.

Abstract

Introduction: Due to the fact that the presence of high doses of aflatoxin in agricultural products such as cocoa beans is unacceptable in terms of national and international standards, appropriate quality control tests should prevent such products to entering in the process of processing cocoa beans. Conventional methods of detecting aflatoxins such as ELISA and HPLC are very time consuming, expensive and require expertise, so replacing these tests with non-destructive and rapid methods such as near-infrared spectroscopy can increase the detection efficiency. Brado et al. ([Berardo et al., 2005](#)) used infrared spectroscopy to evaluate and diagnose *Fusarium verticillium*, which produces fumonisin toxin in maize. Manvar et al. (Mohammadi Manvar, 2015) used transmission and reflection Infrared spectroscopy to detect aflatoxin levels in Iranian pistachios. Singh et al. (2012) used hyperspectral imaging in the range of 700-1100 nm to detect fungal contamination of *Penicillium SPP*, *Aspergillus Glaucus*, and *Aspergillus Niger* in wheat. Kandpal et al. ([Kandpal et al., 2015](#)) in a research work using hyperspectral imaging in the range of 700-1100nm classified grains of maize contaminated with aflatoxin toxin using PLS-DA into five groups. In current study, an attempt was made to detect the amount of aflatoxin in cocoa beans using infrared spectroscopy and to classify healthy and infected beans into groups.

Materials and Methods: In this research, 180 cocoa beans, each weighing 1 gram, were selected to do analyses. One mg of aflatoxin B1 powder (*A. flavus*, A 6636, Sigma-Aldrich, St. Louis, Mo USA) was prepared from Sigma Aldrich representative in Iran and by dissolving this powder in absolute ethanol and concentrations of 20µg/kg, 500µg/kg was obtained as mentioned. For cocoa bean spectroscopy, a near infrared spectrometer in Shiraz University Central Laboratory (NIRS XDS Rapid Content Analysis) was used, which has the ability to spectroscopy in the range of 400-2500 nm. PLS-DA method was used to classify aflatoxin-infected samples from healthy samples. All 180 experimental samples were divided into two groups of training (120 samples) and test (60 samples) and the constructed model was first calibrated with training values and then evaluated with test data. Due to the fact that some noise is always stored in the spectral data and in order to remove this noise, a series of mathematical pretreatment, including: first and second derivatives was used ([Chen et al., 2013](#); [Nicolai et al., 2007](#)).

Results and Discussion: Comparing the average amount of infrared reflection spectrum, it is revealed that healthy grains have less reflection intensity than infected grains. Also, there are a number of local maximums and minimums where the difference in reflective intensity is more pronounced than elsewhere, and this phenomenon is due to the different concentrations of toxins in cocoa beans. After applying the second Savitzie Golay derivative pretreatment and performing PLS-DA classification using two latent variables, the distinction between classes can be clearly seen. The separation rate of the samples on the second LV is more specific, however, the second and first class samples in this LV have a closer score to each other. The peaks observed at 1440 nm and 1482 nm according to the first Everton O-H bond can be related to fungal contamination ([Berardo et al., 2005](#); [Sirisomboon et al., 2013](#)). Also, the peak at 1838 nm is related to the tensile C-H bond, which can be related to the CH₂ groups. According to the results obtained from the calibration, cross-validation and testing sections, it is determined that the degree of calibration error (ER) and the degree of error-free calibration

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Iran.

2. Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, PO-Box: 9177948944.

(* Corresponding Author's Email: mkhpour@um.ac.ir)

DOI: [10.22067/IFSTRJ.2021.68475.1016](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.2021.68475.1016)

(NER) in the pretreatment mode with the second-order derivative of Savitz Golay are the lowest and highest values, respectively. Also, in this pretreatment for the calibration model and testing, the specificity index for the first-, second- and third-class samples are equal to 1.00, which means that all classes are correctly classified. In the cross-validation model, the value of the specificity index for the third class (samples with 500 ppb contamination) is equal to 97%. This indicates that 97% of infected seeds are correctly classified in the third group and only 3% in the other groups are incorrectly classified.

Conclusion: The present study demonstrates the feasibility of near-infrared spectroscopy to identify and classify cocoa beans contaminated with aflatoxin. The results showed that the coefficients of independent variables (spectral wavelengths including 1440, 1482 and 1838 nm) decreased according to increasing in the concentration of toxin. Finally, it can be said that the method of detecting aflatoxin contamination using infrared spectroscopy is an efficient, non-destructive and fast method.

Keywords: Aflatoxin, Cocoa bean, Spectroscopy, PLS_DA.

مقاله علمی-پژوهشی

درجه‌بندی دانه‌های کاکائو آلوده به آفلاتوکسین با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک

علی سعیدان^۱ - مهدی خجسته‌پور^{۲*} - محمودرضا گلزاریان^۳ - مرضیه معین‌فرد^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۵

چکیده

آفلاتوکسین یک ترکیب شیمیایی سمی است که توسط قارچ‌های *آسپرژیلوس فلاووس* و *آسپرژیلوس پارازیتیکوس* تولید می‌شود. این سموم قارچی می‌تواند باعث آلودگی گسترده محصولات کشاورزی شوند که به‌صورت بالقوه دارای خطرات زیادی برای سلامتی انسان و حیوان هستند. لذا تشخیص سریع و صحیح دانه‌های آلوده به آفلاتوکسین به لحاظ اقتصادی و ایمنی، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق از طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک به‌عنوان روشی غیرتخریبی و سریع، برای تشخیص دانه‌های کاکائو آلوده به آفلاتوکسین استفاده شد. دانه‌های کاکائو با دو غلظت سم (۲۰ و ۵۰۰ ppb) به‌صورت مصنوعی آلوده شدند و دانه‌های بدون آلودگی نیز به‌صورت سطحی با اتانول پاکسازی شدند. هر دو دسته دانه‌های آلوده و سالم با دستگاه طیف‌سنج و در دامنه ۴۰۰ الی ۲۵۰۰ نانومتر مورد ارزیابی قرار گرفتند. مدل تجزیه و تحلیل تمایزی حداقل مربعات جزئی برای دسته‌بندی دانه‌های آلوده و غیرآلوده مورد استفاده قرار گرفت و پیش از آنالیز داده‌های طیفی، این طیف‌ها با مشتق مرتبه اول و دوم ساویتری گولی مورد پیش‌تیمار قرار گرفتند. نتایج درجه‌بندی نشان داد که کمترین میزان خطای درجه‌بندی در حالتی بود که از مشتق مرتبه دوم به‌عنوان پیش‌تیمار استفاده شده بود و این مقادیر برای داده‌های کالیبراسیون، اعتبارسنجی متقابل و تست به‌ترتیب برابر ۰/۰۲ و ۰/۰۰ گزارش شد. همچنین نتایج بررسی نمودار ضرایب تاثیر در هر دسته نشان داد که با افزایش غلظت سم در دانه‌های کاکائو از ۲۰ به ۵۰۰ ppb، مقادیر ضرایب تاثیر کاهش پیدا کرد. در نهایت می‌توان گفت که روش تشخیص آلودگی آفلاتوکسین با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز روشی کارا، غیرمخرب و سریع می‌باشد که می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی شود.

واژه‌های کلیدی: آفلاتوکسین، دانه کاکائو، طیف‌سنجی مادون قرمز، PLS_DA.

مقدمه

اما چهار نوع آن یعنی B1، B2، G1 و G2 به‌لحاظ سلامتی برای انسان و حیوانات خطرناک‌تر هستند چرا که در اغلب محصولات کشاورزی مورد استفاده توسط این گروه‌ها، یافت می‌شوند. با وجود اینکه در منابع متعدد، وجود آلودگی قارچی در دانه کاکائو مشاهده شده ولی خوشبختانه میزان آفلاتوکسین در این موارد کم گزارش شده است. با این حال باید در نظر گرفت که مصرف دانه‌های آلوده به آفلاتوکسین حتی در مقادیر پایین آن نیز در دراز مدت باعث ایجاد سرطان، مسمومیت کبدی، جهش و اختلالات ژنتیکی برای انسان و حیوان می‌شود (Ardhana & Fleet, 2003; Mounjouenpou et al., 2008; Ribeiro et al., 1986; Sánchez-Hervás et al., 2008). بررسی منابع Copetti و همکاران در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۲ بیانگر وجود آفلاتوکسین به میزان ۱۷mg/kg در ۲ نمونه از ۹ نمونه دانه کاکائو مورد آزمایش بود. همچنین با در نظر گرفتن احتمال وجود آفلاتوکسین در محصولات به‌دست آمده از دانه کاکائو مانند شکلات، در کشور آلمان پروژه‌ای انجام شد و نتایج

دانه کاکائو در اصل میوه درخت تئوروبوما است و در آمریکای مرکزی و جنوبی و نیز قسمت‌هایی از آسیا و آفریقا کشت می‌شود. مجموع تولید جهانی دانه کاکائو حدود ۳/۹۸ میلیون تن در سال است و این محصول کشاورزی یکی از افزودنی‌های مهم در تولید مواد غذایی همچون کیک، بیسکویت، غذای کودکان، بستنی، شکلات و شیرینی جات به‌شمار می‌رود (Magan & Aldred, 2005). به علت عدم رعایت استانداردهای بهداشتی در مراحل مختلف فرآوری دانه کاکائو و نیز حمل و نقل و انبار کردن ناصحیح آن احتمال آلوده شدن دانه‌ها به انواع سموم قارچی از جمله آفلاتوکسین وجود دارد (Broadent & Oyeneran, 1968; Roelofsen, 1958).

آفلاتوکسین نوعی متابولیت ثانویه است که توسط برخی قارچ‌ها مانند *آسپرژیلوس فلاووس* و *آسپرژیلوس پارازیتیکوس* تولید می‌شود. انواع مختلفی از آفلاتوکسین در طبیعت وجود دارد (بیش از ۱۴ نوع)،

(mkhpour@um.ac.ir

*) ایمیل نویسنده مسئول:

DOI: [10.22067/IFSTRJ.2021.68475.1016](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.2021.68475.1016)

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۴- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

این تحقیق نشان داد که ۷۳/۵ درصد از ۳۳۴ محصول مورد آزمایش قرار گرفته، رد پای از آفلاتوکسین را دارا می‌باشند.

امواج مادون قرمز نزدیک (NIR) ^۱ محدوده‌ای از امواج الکترومغناطیسی است با طول موج حدود ۷۰۰ الی ۲۵۰۰ نانومتر. در طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک، جذب تابش توسط ماده منجر به انتقال الکترونی در ترازهای ارتعاشی مولکول‌ها می‌شود. این روش به عنوان روشی کارا و توسعه یافته برای تعیین ساختار و اندازه‌گیری گونه های شیمیایی در اختیار شیمی‌دانان قرار دارد. کاربرد طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک به عنوان روشی سریع و غیرمخرب به منظور شناسایی و اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی در بسیاری از محصولات به اثبات رسیده است. مزیت‌های اصلی طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک عبارتند از: الف) عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه، از آنجائیکه باندها در مادون قرمز نزدیک به طور عمده لایه‌های فرعی و ترکیبات نمونه می‌باشند، لذا شدت کمتری از باندهای ناحیه میانه مادون قرمز را دارا می‌باشند. به این دلیل نمونه‌ها را می‌توان به طور مستقیم بدون هیچ‌گونه رقیق‌سازی و تهیه محلول اندازه‌گیری نمود. ب) عدم اتلاف و ضایعات نمونه: از آنجائیکه نمونه به طور مستقیم اندازه‌گیری و حفظ می‌شود، روش‌های طیف‌سنجی ایده‌آل می‌باشند. بنابراین، در این روش‌ها هیچ‌گونه آماده‌سازی خسته‌کننده نمونه و هیچ‌گونه مواد مضر مانند حلال‌های سمی وجود ندارد (Khadabakhshian et al., 2016). این روش، سریع، دقیق و غیرمخرب است و برخلاف روش‌های کروماتوگرافی به مهارت بسیار بالایی کاربر نیاز ندارد. این روش برای آنالیز میزان پروتئین در برنج (Zhang et al., 2007). میزان قند در میوه‌ها (Camps & Sirisomboon, 2009) میزان پکتین در هلوهای ژاپنی (Christen, 2009) و شناسایی میکروارگانیزم‌ها در آمیوه (Al-Holy et al., 2006) مورد استفاده قرار گرفته است. این روش به صورت موفقیت آمیزی برای تشخیص مایکوتوکسین‌ها و آلودگی‌های ناشی از سموم قارچی در تعدادی از محصولات کشاورزی استفاده شده است. برخی از این تحقیقات عبارتند از: بررسی محتویات دی‌اکسی نیوانول در دانه‌های گندم (Pettersson & Åberg, 2003) تشخیص آفلاتوکسین و آکراتوکسین A در پاپریکای قرمز (Hernández-Hierro et al., 2008) و همچنین شناسایی آفلاتوکسین B1 در ذرت و جو (Fernández-Ibañez et al., 2009). Berardo و همکاران (۲۰۰۵) طیف‌سنجی مادون قرمز را برای ارزیابی و تشخیص فوساریوم ورتیسیلیوم را که در ذرت باعث تولید سم فومونیسین می‌شود به کار بردند. Mohammadi Monavar و همکاران (2016) با استفاده از طیف‌سنجی عبوری و بازتابی مادون قرمز توانستند میزان آفلاتوکسین را در پسته‌های ایرانی تشخیص دهند. آن‌ها در کار خود از روش HPLC به عنوان روش مرجع برای ارزیابی آلودگی آفلاتوکسین استفاده نمودند

و در تجزیه و تحلیل داده‌های طیف از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و همچنین رگرسیون حداقل مربعات جزئی استفاده کردند. نتایج بررسی های آن‌ها نشان داد که بیشتر از ۹۵ درصد نمونه‌های دارای آلودگی به درستی درجه‌بندی شدند. Singh و همکاران (۲۰۱۲) از تصویربرداری ابرطیفی ^۲ در دامنه ۷۰۰-۱۱۰۰ نانومتر استفاده کردند تا آلودگی‌های قارچی *Aspergillus Penicillium SPP Aspergillus Glaucus* را در گندم شناسایی کنند. Kandpal و همکاران (۲۰۱۵) در یک کار تحقیقی با استفاده از تصویربرداری ابرطیفی در دامنه ۷۰۰-۱۱۰۰ نانومتر دانه‌های آلوده ذرت به سم آفلاتوکسین را با استفاده از کلاس بند PLS-DA به پنج گروه ۱۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ppb و گروه کنترل (بدون آلودگی) تقسیم‌بندی کردند. نتایج نشان داد که کلاس‌بند پیشنهادی با دقت ۹۶/۹ درصد توانست دانه‌ها را در گروه‌های صحیح خود طبقه‌بندی کند.

با توجه به اینکه وجود دوزهای بالای سم آفلاتوکسین در محصولات کشاورزی مانند دانه کاکائو که به عنوان مواد اولیه کارخانجات صنایع غذایی به شمار می‌آیند از نظر استانداردهای ملی و بین‌المللی غیرقابل قبول می‌باشد باید با انجام آزمایشات کنترل کیفی مناسب مانع ورود چنین محصولاتی در مراحل فرآوری دانه کاکائو شد. روش‌های مرسوم و سنتی تشخیص آفلاتوکسین مانند تست الیزا و آنالیز به روش HPLC بسیار زمانبر، پرهزینه و نیازمند نیروی متخصص می‌باشند به همین جهت جایگزینی این آزمایشات با روش‌هایی غیرمخرب و سریع مانند استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک می‌تواند بازده تشخیص را افزایش دهد. با بررسی منابعی که در مقدمه به آن‌ها اشاره گردید مشخص شد که کاربرد طیف‌سنجی مادون قرمز برای تشخیص آفلاتوکسین در تعدادی از محصولات کشاورزی به کار رفته است ولی موردی گزارش نشده است که از این روش برای تشخیص و درجه‌بندی دانه‌های کاکائو آلوده به آفلاتوکسین استفاده شده باشد. به همین علت در این تحقیق سعی شد تا با استفاده از روش طیف‌سنجی مادون قرمز میزان آفلاتوکسین در دانه‌های کاکائو تشخیص و نیز دانه های سالم و آلوده در گروه‌هایی جداگانه درجه‌بندی شوند.

مواد و روش‌ها

آماده کردن نمونه‌ها

در حدود یک کیلوگرم دانه کاکائو تخمیر شده و بدون عیوب ظاهری از یک کارخانه فرآوری دانه کاکائو در تبریز-ایران خریداری شد و پس از وزن کردن دقیق، ۱۸۰ عدد دانه که وزن هرکدامشان به طور میانگین یک گرم بود برای آزمایش انتخاب گردید. یک میلی‌گرم پودر آفلاتوکسین B1 (A.flavus, A 6636, Sigma-Aldrich, st.Luis, Mo USA) از نمایندگی سیگما آلدريج در ایران تهیه گردید و با حل

$$Q = \frac{W}{m} \quad (2)$$

W = وزن سم در یک دانه کاکائو بر حسب میکروگرم

$A = 100$ = میکرولیتر (ضریب ثابت)

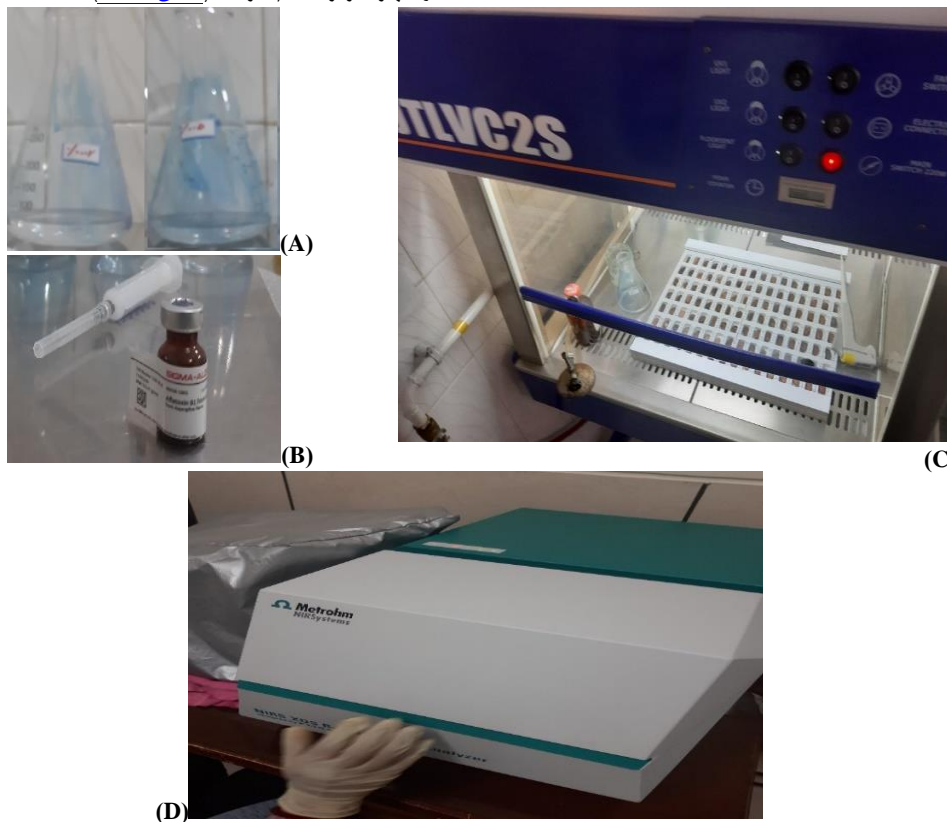
q = غلظت محلول استوکس بر حسب میکروگرم بر میکرولیتر

m = وزن یک دانه کاکائو بر حسب گرم

برای تهیه غلظت $20 \mu\text{g/kg}$ ، دو میلی‌لیتر از محلول به‌دست آمده را با چهل و هشت میلی‌لیتر اتانول خالص حل نموده تا غلظت سم برابر با $20 \mu\text{g/kg}$ (20ppb) به‌دست آید. برای جلوگیری از خطرات ناشی از سم آفلاتوکسین، کلیه عملیات آلوده‌سازی مصنوعی نمونه‌های دانه کاکائو در زیر هود آزمایشگاهی و در یک آزمایشگاه تخصصی میکروبی در شهر تبریز انجام گرفت (شکل ۱- C).

کردن این پودر در اتانول 100 درصد غلظت‌های 20 و $500 \mu\text{g/kg}$ به صورتی که ذکر می‌شود به‌دست آمد (شکل ۱- A و B). یک میلی‌گرم پودر آفلاتوکسین A6636 را در یک میلی‌لیتر اتانول 100 درصد حل گردید (غلظت برابر $1 \mu\text{g}/\mu\text{l}$). سپس یک میلی‌لیتر از محلول به‌دست آمده را با 199 میلی‌لیتر اتانول خالص حل نموده و با استفاده از رابطه 1 غلظت محلول استوک $0.005 \mu\text{g}/\mu\text{l}$ به‌دست آید. با اضافه کردن 100 میکرولیتر از این محلول به هر کدام از 60 دانه کاکائو گروه اول طبق رابطه 2 میزان سم را در هر دانه به مقدار $500 \mu\text{g/kg}$ (500ppb) به‌دست آمد.

$$W = A \times q \quad (1)$$



شکل ۱- مراحل مختلف آلوده کردن مصنوعی نمونه‌ها به سم آفلاتوکسین و سپس طیف‌سنجی از نمونه‌ها: (A) - آماده‌سازی محلول سم در دو غلظت 20ppb و 500ppb . (B) - پودر آفلاتوکسین A6636 شرکت سیگما (C) - آلوده‌سازی نمونه‌ها زیر هود آزمایشگاهی (D) - دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز نزدیک

Fig. 1. Different stages of artificial contamination of samples with aflatoxin and then spectroscopy of the samples. (A) Preparation of toxin solution at two concentrations of 20 and 500 ppb. (B) Aflatoxin A6636 powder from Sigma Company. (C) Contamination of samples under fume hood. (D) Near infrared spectrometer.

(Analysis) که مجهز به پراب فیبر نوری است و قابلیت طیف‌سنجی در محدوده $2500-400$ نانومتر را دارد، استفاده گردید. یک منبع نوری از نوع هالوژن تنگستن به‌عنوان منبع نوری به‌کار گرفته شد و از هر نمونه دانه کاکائو دو طیف از دو طرف سطح دانه ثبت شده و برای انجام

طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR)

همانطور که در شکل (D-1) مشاهده می‌شود برای طیف‌سنجی دانه کاکائو از یک دستگاه طیف‌سنج مرئی- مادون قرمز نزدیک در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شیراز (NIRS XDS Rapid Content)

دقت طیف‌ها استفاده می‌شود. مشتق مرتبه اول با محاسبه شیب بر هر نقطه طیف اکتسابی، علاوه بر یکنواخت کردن اثرات جابه‌جایی نقطه شروع طیف‌ها را نیز برطرف می‌کند. با استفاده از پیش پردازش مشتق دوم علاوه بر از بین رفتن اثرات جابه‌جایی نقطه شروع و یکنواخت شدن طیف‌ها، تغییر فرم‌های ایجاد شده در ظاهر طیف (ناشی از تغییر فاصله آشکارساز با نمونه) از بین رفته و علاوه بر آن پیک‌های ضعیف موجود در طیف به‌صورت واضح‌تر و برجسته‌تر نشان داده می‌شوند ([Chen et al., 2013](#); [Nicolai et al., 2007](#)).

ارزیابی دقت درجه‌بندی

برای ارزیابی مدل DA-PLS به‌دست آمده، از معیارهای ضریب حساسیت^۴، ضریب تعیین^۵، خطا در طبقه‌بندی^۶ و درجه‌بندی بدون خطا^۷ استفاده گردید. این معیارها بصورت روابط ۴ تا ۷ نشان داده شده‌اند ([Mobli et al., 2020](#)).

$$\text{ضریب حساسیت} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (۴)$$

$$\text{ضریب تعیین} = \frac{TN}{TN+FN} \quad (۵)$$

$$\text{خطا} = 1 - \left(\frac{\text{ضریب حساسیت} + \text{ضریب تعیین}}{2} \right) \quad (۶)$$

$$\text{درجه بندی بدون خطا} = \left(\frac{\text{ضریب حساسیت} + \text{ضریب تعیین}}{2} \right) \quad (۷)$$

TP: تعداد رکوردهایی که روش طبقه‌بندی آنها را به درستی به دسته‌ای که به آن تعلق دارند، تشخیص داده است.
 TN: تعداد رکوردهایی که روش طبقه‌بندی آنها را به درستی به دسته‌ای که به آن تعلق ندارند، تشخیص داده است.
 FP: تعداد رکوردهایی که روش طبقه‌بندی آنها را به نادرستی به دسته‌ای که به آن تعلق دارند، تشخیص داده است.
 FN: تعداد رکوردهایی که روش طبقه‌بندی آنها را به نادرستی به دسته‌ای که به آن تعلق ندارند، تشخیص داده است.

نتایج و بحث

در شرایط طبیعی و در مواردی که میزان رطوبت دانه کاکائو از حدی بیشتر باشد کپک‌های قارچی شروع به رشد و تکثیر می‌کنند که در نتیجه در صورت مهیا شدن شرایط ویژه از قبیل میزان معین نور و

مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق از روش بازتابی استفاده شد

در این تحقیق از روش تجزیه و تحلیل تمایزی حداقل مربعات جزئی برای جداسازی نمونه‌های آلوده به آفاتوکسین از نمونه‌های سالم استفاده شد. در حقیقت، PLS-DA یک روش برای طبقه‌بندی خطی بازشناسی الگوی نظارت شده است که بر اساس رگرسیون کمترین مربعات جزئی بنا نهاده شده است. این روش به‌دنبال متغیرهای پنهانی است که بیشترین کوواریانس را با متغیرهایی دارند که عضویت نمونه‌ها در گروه‌های مختلف (گروه کنترل و گروه‌های آلوده با غلظت مختلف آفاتوکسین) را نشان می‌دهد به‌علاوه این روش قادر به تحلیل مسائل چند متغیره به‌خصوص مسائلی که مقادیر زیادی اطلاعات طیفی را دارند به‌صورت کمی و کیفی می‌باشد. در این روش، متغیر پاسخ (Y) دسته ای از متغیرهای دوتایی^۱ است که به دسته نمونه‌ها مربوط می‌شود. این روش معمولاً به‌صورت رابطه ۳ بیان می‌شود.

$$Y = X \times b + E \quad (۳)$$

که در آن X یک ماتریس n × p است و مقادیر طیفی هر دسته را در خود نگه داشته است، $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)^T$ ضرایب رگرسیونی می‌باشد. حرف T نشانگر ماتریس ترانپوز و E بیانگر مقادیر خطا می‌باشد. در این تحقیق برای ساختن مدل PLS-DA اطلاعات طیفی در ماتریس Y قرار گرفت و ماتریس Y که بیانگر دسته نمونه‌های آلوده به آفاتوکسین و نمونه‌های سالم بود به‌صورت زیر مرتب گردید.

$$Y = \begin{Bmatrix} 0 & \text{دانه کاکائو بدون آلودگی} \\ 1 & \text{دانه کاکائو دارای آلودگی } 20 \text{ ppb} \\ 2 & \text{دانه کاکائو دارای آلودگی } 500 \text{ ppb} \end{Bmatrix}$$

تمام ۱۸۰ نمونه آزمایش به دو گروه آموزش (۱۲۰ نمونه) و تست (۶۰ نمونه) تقسیم شدند و مدل ساخته شده ابتدا با مقادیر آموزش کالیبره گردید و سپس با داده‌های تست مورد ارزیابی قرار گرفت ([Kandpal et al., 2015](#); [Mobli et al., 2020](#)).

پیش تیمار طیفی

با توجه به اینکه همواره مقداری اختلال (Noise) در داده‌های طیفی توسط طیف‌سنج ذخیره می‌شود به‌منظور حذف این نویزها از یک سری روش‌های ریاضی پیش تیمار طیف که شامل: هموارسازی سائوینزی گولی^۲، مشتق اول و دوم^۳ استفاده گردید. مشتق‌گیری که شامل مشتق اول و دوم است برای از بین بردن پس‌زمینه و افزایش

5 Specificity

6 Error Rate

7 Not Error Rate

1 Binary

2 Savitzky Goly Smoothing

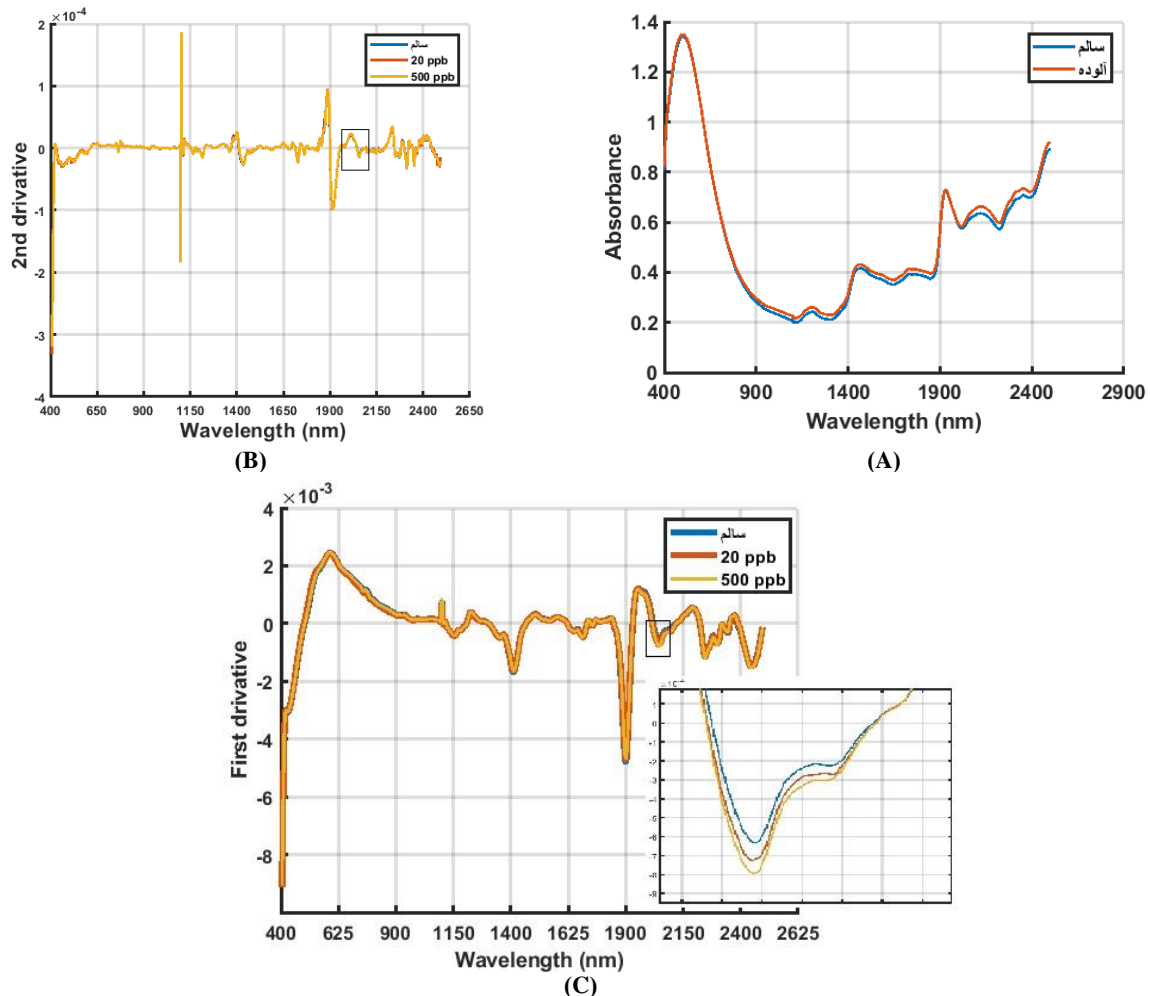
3 Derivative

4 Sensitivity

تیمار مشتق اول و دوم ساویتزی گولی در شکل ۲- A، B و C به ترتیب نشان داده شده است. با مقایسه میزان متوسط طیف انعکاسی مادون قرمز مشاهده می‌شود که دانه‌های سالم دارای شدت انعکاس کمتری نسبت به دانه‌های آلوده هستند. همچنین از نمودار شکل ۲- B و ۳- C تعدادی حداکثر و حداقل محلی مشخص می‌شود که در این نقاط اختلاف شدت انعکاسی بارزتر از جاهای دیگر است و این پدیده به علت متفاوت بودن غلظت سم در دانه‌های کاکائو است.

دما و وقوع برخی فعل و انفعالات شیمیایی این کپک‌های قارچی سم آفلاتوکسین تولید می‌کنند (Copetti et al., 2013) اما در مورد تحقیقی حاضر با توجه به اینکه سم آماده آفلاتوکسین مستقیماً بر روی دانه‌ها ریخته شده است لذا هیچ‌گونه تولید و تکثیر کپک قارچی وجود نداشته است و صرفاً وجود سم و میزان آن مورد بررسی و دسته‌بندی قرار گرفته است.

مقدار متوسط طیف خام مربوط به دانه‌های کاکائو سالم و دانه‌های کاکائو آلوده به آفلاتوکسین و نیز مقادیر این طیف‌ها بعد از اعمال پیش



شکل ۲- (A) نمودار میانگین طیف مادون قرمز برای دانه‌های کاکائو آلوده به آفلاتوکسین و دانه‌های غیرآلوده (B) نمودار طیف پیش تیمار شده با استفاده از مشتق دوم ساویتزی-گولی (C) نمودار طیف پیش تیمار شده با استفاده از مشتق اول ساویتزی-گولی

Fig. 2. (A) Graph of mean infrared spectrum for aflatoxin-contaminated cocoa beans and non-contaminated beans. (B) Graphs of pretreated spectra using the Savitzky-Golay second derivative. (C) Graphs of pretreated spectra using the Savitzky-Golay first derivative.

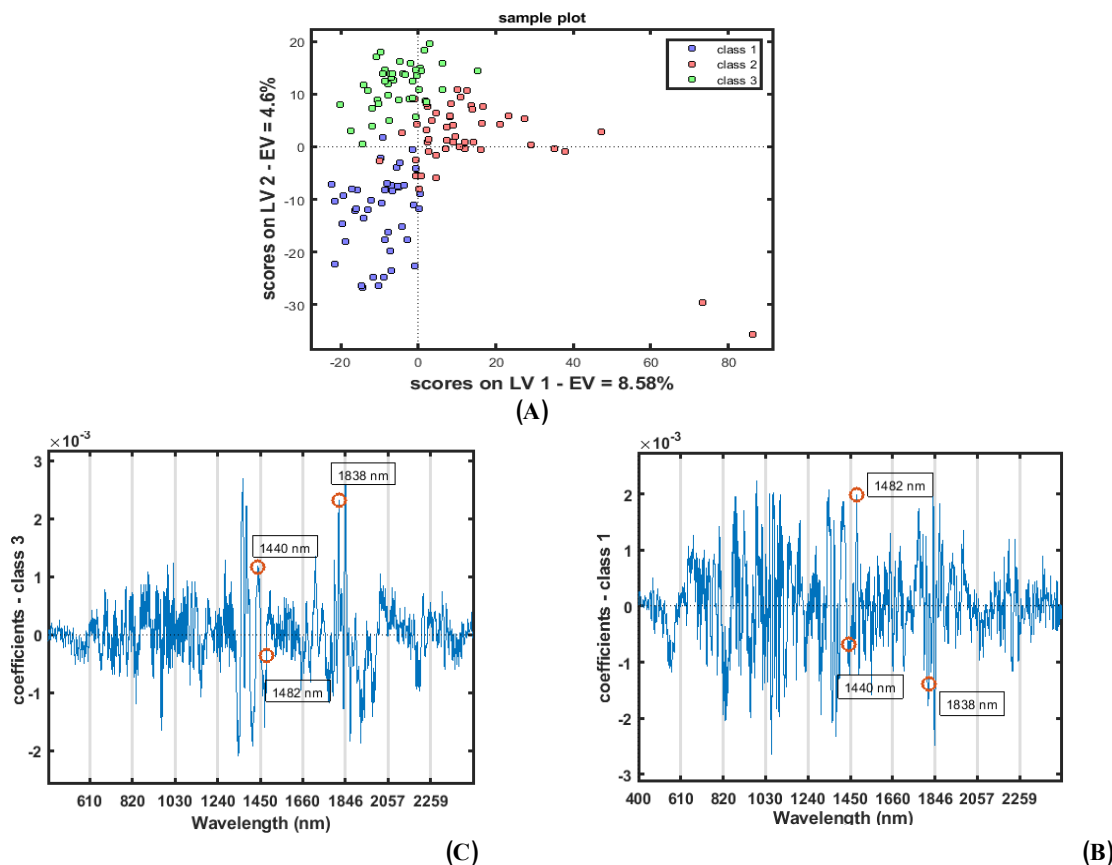
همانطور که از شکل ۳- A مشخص است پس از اعمال پیش تیمار مشتق دوم ساویتزی گولی و انجام کلاس‌بندی PLS-DA با به کار بردن دو متغیر پنهان اولیه (Latent Variable) تمایز بین دسته‌ها به خوبی قابل رویت است. با نگاه کردن به نمودار امتیازات در شکل ۳-

۳- A می‌توان الگوی جالبی را در پراکنش نمونه‌ها مشاهده کرد. همانطور که از نتایج درجه‌بندی مشخص است مقداری هم‌پوشانی بین نمونه‌های دسته سوم با دسته دوم وجود دارد ولی مقدار آن خیلی کم است. همچنین میزان هم‌پوشانی بین دسته سوم و اول تقریباً وجود ندارد و

شکل ۳-B و C نمایش داده شده است. در این نمودار طول موج‌های کلیدی که در آن‌ها اختلاف بین دانه‌های آلوده به آفلاتوکسین و دانه‌های سالم به بیشترین میزان رسیده نشان داده شده‌اند. پیک‌های مشاهده شده در طول موج‌های ۱۴۴۰ نانومتر و ۱۴۸۲ نانومتر مطابق با اورتون اول پیوند O-H کششی است که می‌تواند به آلودگی قارچی ربط داده شود (Berardo et al., 2005; Sirisomboon et al., 2013). همچنین پیک موجود در ۱۸۳۸ نانومتر مربوط به پیوند C-H کششی است که می‌تواند به گروه‌های CH₂ مربوط باشد.

بین کلاس دوم و اول نیز به میزان ناچیز است. نمونه‌های کلاس سوم و اول روی LV اول امتیاز منفی دارند ولی نمونه‌های کلاس دوم روی LV اول امتیاز مثبت دارند. میزان جدایش نمونه‌ها بر روی LV دوم مشخص‌تر است با این وجود نمونه‌های دسته دوم و اول در این LV امتیاز نزدیک‌تری به هم دارند.

به‌منظور توضیح بیشتر نتایج، نمودار ضرایب تاثیر طول موج‌ها برای داده‌های کالیبراسیون دسته اول (نمونه‌های بدون آلودگی آفلاتوکسین) و دسته سوم (نمونه‌های دارای آلودگی ۵۰۰ ppb در



شکل ۳- (A) - نمودار امتیاز بر روی متغیرهای پنهان (Score on latent variables) برای داده‌های کالیبراسیون (B) - نمودار ضرایب رگرسیونی برای کلاس ۱ (نمونه‌های بدون آلودگی آفلاتوکسین). (C) - نمودار ضرایب رگرسیونی برای کلاس ۳ (نمونه‌های دارای آلودگی آفلاتوکسین به میزان ۵۰۰ ppb)

Fig. 3. (A) Score on latent variables for calibration data. (B) Regression coefficients for class 1 (samples without any infections). (C) Regression coefficients for class 3 (samples infected with 500ppb aflatoxin poison) (c).

مقدار را دارا می‌باشد. همچنین در این پیش‌تیمار برای مدل کالیبراسیون و تست میزان ضریب تعیین برای نمونه‌های دسته اول، دوم و سوم برابر ۱/۰۰ می‌باشد و این بدین معنی است که همه دسته‌ها به‌صورت صحیح درجه‌بندی شده‌اند.

در جدول ۱، پارامترهای دسته‌بندی براساس مدل PLS-DA جمع‌بندی شده است. با بررسی نتایج به‌دست آمده از قسمت کالیبراسیون، اعتبارسنجی متقابل و تست مشخص می‌گردد که میزان خطای درجه بندی (ER) و نیز میزان درجه‌بندی بدون خطا (NER) در حالت پیش‌تیمار با مشتق مرتبه دوم ساویتزی گولی به‌ترتیب کمترین و بیشترین

جدول ۱- نتایج طبقه‌بندی داده‌های آفلاتوکسین دانه کاکائو با استفاده از PLS-DA
Table 1- The result of infected and healthy cocoa bean classification using PLS-DA

| | | دسته ۱ | | دسته ۲ | | دسته ۳ | | Not assigned | | |
|-------------------|------------------|-------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------|------------------|------------------|
| | | NE R | ER | Specifi- city | Sensiti- vity | Specifi- city | Sensiti- vity | | Specifi- city | Sensiti- vity |
| Raw Data | Calibration | 0.99 | 0.01 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0.01 |
| | Cross validation | 0.94 | 0.06 | 0.97 | 0.95 | 0.96 | 0.90 | 0.98 | 0.97 | 0.11 |
| | Test set | 0.97 | 0.03 | 1.00 | 1.00 | 0.95 | 1.00 | 1.00 | 0.92 | 0.15 |
| First derivative | Calibration | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.01 |
| | Cross validation | 0.98 | 0.02 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.95 | 0.97 | 0.98 | 0.06 |
| | Test set | 0.92 | 0.08 | 1.00 | 1.00 | 0.95 | 0.90 | 0.96 | 0.86 | 0.12 |
| Second derivative | Calibration | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 |
| | Cross validation | 0.98 | 0.02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.95 | 0.97 | 1.00 | 0.08 |
| | Test set | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.09 |

به سم آفلاتوکسین است. در این تحقیق غلظت های بالا (۵۰ ppb) و پایین (۲۰ ppb) سم آفلاتوکسین توسط روش طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک مورد آزمایش قرار گرفت. این روش با به کار بردن پیش تیمار مشتق مرتبه دوم ساویتری گولی و مدل PLS-DA توانست با موفقیت دانه‌های کاکائو را به گروه‌های آلوده به آفلاتوکسین و گروه بدون آلودگی دسته‌بندی نماید. نتایج بررسی نمودار ضرایب تاثیر متغیرهای مستقل (طول موج‌های طیفی از جمله ۱۴۴۰، ۱۴۸۲ و ۱۸۳۸ نانومتر نشان داد که با افزایش غلظت سم، مقدار ضریب تاثیر متغیرهای مستقل در هر دسته کاهش می‌یابد. در نهایت می‌توان گفت که روش تشخیص آلودگی آفلاتوکسین با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز روشی کارا، غیرمخرب و سریع می‌باشد که می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های دستی و سنتی باشد. همچنین با درجه‌بندی و تشخیص دقیق سم آفلاتوکسین می‌توان روش‌هایی اتخاذ نمود تا در مراحل بعدی دانه‌های آلوده با انواع روش‌های سم‌زدایی (دتوکسیفای) رفع آلودگی گردند.

در مدل اعتبارسنجی متقابل مقدار ضریب تعیین برای دسته سوم (نمونه‌های دارای آلودگی ۵۰۰ ppb) برابر ۹۷ درصد است. و بیانگر این نکته است که ۹۷ درصد دانه‌های آلوده بصورت صحیح در دسته سوم درجه‌بندی شده‌اند و تنها ۳ درصد در سایر گروه‌ها به اشتباه درجه‌بندی شده‌اند (Ballabio & Consonni, 2013). همچنین در پیش تیمار طیفی با روش مشتق دوم عدد ۱/۰۰ برای پارامتر ضریب حساسیت دسته سوم در سه گروه داده: کالیبراسیون، Cross Validation و تست بیانگر این است که هیچ کدام از نمونه‌های دسته سوم به صورت غلط در سایر دسته‌ها طبقه‌بندی نشدند. به همین ترتیب می‌توان گفت عدد ۰/۹۵ برای پارامتر ضریب حساسیت دسته دوم در سه گروه داده ذکر شده بیانگر این است که تنها ۰/۰۵ نمونه‌های مربوط به دسته دوم به صورت غلط در دو دسته دیگر طبقه‌بندی شده‌اند.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نشان‌دهنده قابلیت استفاده از روش طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک برای شناسایی و دسته‌بندی دانه‌های کاکائو آلوده

منابع

- Al-Holy, M. A., Lin, M., Cavinato, A. G., & Rasco, B. A. (2006). The use of Fourier transform infrared spectroscopy to differentiate Escherichia coli O157: H7 from other bacteria inoculated into apple juice. *Food microbiology*, 23(2), 162-168. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2005.01.017>
- Ardhana, M. M & Fleet, G. H. (2003). The microbial ecology of cocoa bean fermentations in Indonesia. *International journal of food microbiology*, 86(1-2), 87-99. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00081-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00081-3)
- Ballabio, D., & Consonni, V. (2013). Classification tools in chemistry. Part 1: linear models. PLS-DA. *Analytical Methods*, 5(16), 3790-3798. <https://doi.org/10.1039/C3AY40582F>
- Berardo, N., Pisacane, V., Battilani, P., Scandolaro, A., Pietri, A., & Marocco, A. (2005). Rapid detection of kernel rots and mycotoxins in maize by near-infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(21), 8128-8134. <https://doi.org/10.1021/jf0512297>
- Broadent, J., & Oyenan, J. (1968). *A new look at mouldy cocoa*. Paper presented at the Proceeding 1st International Biodeterioration Symposium.
- Camps, C., & Christen, D. (2009). Non-destructive assessment of apricot fruit quality by portable visible-near infrared spectroscopy. *LWT-Food Science and Technology*, 42(6), 1125-1131. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.01.015>

7. Chen, H., Song, Q., Tang, G., Feng, Q., & Lin, L. (2013). The combined optimization of Savitzky-Golay smoothing and multiplicative scatter correction for FT-NIR PLS models. *International Scholarly Research Notices*, 2013. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/642190>
8. Copetti, M. V., Iamanaka, B. T., Pereira, J. L., Lemes, D. P., Nakano, F., & Taniwaki, M. H. (2012). Determination of aflatoxins in by-products of industrial processing of cocoa beans. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29(6), 972-978. <https://doi.org/10.1080/19440049.2012.660657>
9. Copetti, M. V., Iamanaka, B. T., & Taniwaki, M. H. (2013). Fungi and mycotoxin occurrence in cocoa *Chocolate in Health and Nutrition* (pp. 61-71): Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-803-0_5
10. Fernández-Ibañez, V., Soldado, A., Martínez-Fernández, A., & De la Roza-Delgado, B. (2009). Application of near infrared spectroscopy for rapid detection of aflatoxin B1 in maize and barley as analytical quality assessment. *Food Chemistry*, 113(2), 629-634. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.049>
11. Hernández-Hierro, J., García-Villanova, R & ,González-Martín, I. (2008). Potential of near infrared spectroscopy for the analysis of mycotoxins applied to naturally contaminated red paprika found in the Spanish market. *Analytica chimica acta*, 622(1-2), 189-194. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.05.049>
12. Kandpal, L. M., Lee, S., Kim, M. S ,Bae, H., & Cho, B.-K. (2015). Short wave infrared (SWIR) hyperspectral imaging technique for examination of aflatoxin B1 (AFB1) on corn kernels. *Food Control*, 51, 171-176. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.11.020>
13. Khodabakhshian, R., Emadi, B., Khojastehpour, M., Golzarian, M.R. 2016. Determination of pomegranate ripeness and internal defects using VIS-NIR multispectral imaging. *PhD dissertation, Ferdowsi University of Mashhad*.
14. Magan, N., & Aldred, D. (2005). Conditions of formation of ochratoxin A in drying, transport and in different commodities. *Food Additives and Contaminants*, 22(s1), 10-16. <https://doi.org/10.1080/02652030500412154>
15. Mobli, H., Jamshidi, B., Azizi, A., & Sharifi, M. (2020). Microbial Contamination Assessment of Lettuce using NIR Hyperspectral Imaging: Case Study on Escherichia coli. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 51(3), 599-610
16. Mohammadi Monavar, H., Mirzaee, S., Sepehr, B. 2016. Grading of aflatoxin contamination of pistachios by non-destructive near infrared spectroscopy NIR. *Secound International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges Focusing on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism, Tabriz*
17. Mounjouenpou, P., Gueule, D., Fontana-Tachon, A., Guyot, B., Tondje, P. R., & Guiraud, J.-P. (2008). Filamentous fungi producing ochratoxin A during cocoa processing in Cameroon. *International Journal of Food Microbiology*, 121(2), 234-241. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.11.017>
18. Nicolai, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I., et al. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest biology and technology*, 46(2), 99-118. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.024>
19. Pettersson, H., & Åberg, L. (2003). Near infrared spectroscopy for determination of mycotoxins in cereals. *Food Control*, 14(4), 229-232. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(03\)00011-2](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(03)00011-2)
20. Ribeiro, N. d. A., Bezerra, J., & Lopez, A. (1986). Micobiota na fermentação do cacau no estado da Bahia, Brasil. *Revista Theobroma (Brasil) v. 16 (1) p. 47-55*
21. Roelofsen, P. (1958). Fermentation, drying, and storage of cacao beans *Advances in food research* (Vol. 8, pp. 225-296): Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60021-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60021-X)
22. Sánchez-Hervás, M., Gil, J., Bisbal, F., Ramón, D & ,Martínez-Culebras, P. (2008). Mycobiota and mycotoxin producing fungi from cocoa beans. *International journal of food microbiology*, 125(3), 336-340. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.04.021>
23. Singh, C., Jayas, D., Paliwal, J., & White, N. (2012). Fungal damage detection in wheat using short-wave near-infrared hyperspectral and digital colour imaging. *International Journal of Food Properties*, 15(1), 11-24. <https://doi.org/10.1080/10942911003687223>
24. Sirisomboon, C. D., Putthang, R., & Sirisomboon, P. (2013). Application of near infrared spectroscopy to detect aflatoxigenic fungal contamination in rice. *Food Control*, 33(1), 207-214. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.02.034>
25. Sirisomboon, P., Tanaka, M., Fujita, S., & Kojima, T. (2007). Evaluation of pectin constituents of Japanese pear by near infrared spectroscopy. *Journal of food engineering*, 78(2), 701-707. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.009>
26. Zhang, H.-J., Wu, J.-H., Li-jun, Y. L., Hua, Y., YU, X.-q., WANG, X.-s., et al. (2007). Comparison of near infrared spectroscopy models for determining protein and amylose contents between calibration samples of recombinant inbred lines and conventional varieties of rice. *Agricultural Sciences in China*, 6(8), 941-948 [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(07\)60132-1](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60132-1)



Comparison of the performance of ascorbic acid and α -tocopherol in combination with whey protein to increase the oxidative stability of Vanami shrimp fillet (*Litopenaeus vannamei*)

Soheyl Reyhani Poul¹, Sakineh Yeganeh^{2*}

Received: 2021.01.02

Accepted: 2021.03.13

How to cite this article:

Reyhani Poul, S., Yeganeh, S., (2022). Comparison of the performance of ascorbic acid and α -tocopherol in combination with whey protein to increase the oxidative stability of Vanami shrimp fillet (*Litopenaeus vannamei*). *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18(1), 140-150.

Abstract

Introduction: Shrimps are highly sensitive to oxidation at refrigerator temperature. On the other hand, storage of shrimp in freezing conditions leads to a decrease in product quality after thawing. It should be noted that shrimp oxidation also occurs in freezing conditions, but the oxidation rate in these conditions is much slower than storage in refrigerated conditions. Therefore, it seems necessary to use a method that can control the oxidation of shrimp in both freezing and refrigerating conditions. The aim of this study was to evaluate the feasibility of controlling shrimp oxidation (at refrigerator temperature) using whey protein coating containing ascorbic acid or α -tocopherol, and to compare the efficacy of these antioxidants (in combination with whey protein).

Materials and Methods: In order to advance the purpose of the research, shrimp fillets were stored in four treatments, including treatments No. 1 (control), 2 (shrimp fillet coated by whey protein), 3 (shrimp fillet coated by whey protein + ascorbic acid) and 4 (shrimp fillet coated by whey protein+ α -tocopherol) at refrigerator temperature for 9 days. In order to evaluate the oxidation intensity and also the stability of the treatments against oxidative damage, peroxide indices, free fatty acids, anisidine and thiobarbituric acid of the treatments were determined on days 0, 3, 6 and 9. This study was implemented in form of completely randomized design and data were analyzed by one-way ANOVA. Significant differences among means were tested by Duncan's test at 95 confidence level.

Results and Discussion: The results showed that whey protein alone (treatment 2) as shrimp coating can partially control the oxidation process of fillet fats compared to control. But when whey protein was combined with ascorbic acid (treatment 3) and α -tocopherol (treatment 4), the coatings' strength against oxidative deterioration significantly increased ($p < 0.05$). According to our findings, during the storage period, the lowest amount of peroxide, free fatty acids, anisidine and thiobarbituric acid indices were related to treatment 3 ($p < 0.05$). During the storage period, all the mentioned indicators (in all treatments) had an increasing trend, but the slope of this trend was different and the lowest slope was related to treatment 3. Comparison of fresh shrimp fillet fatty acid profile with fatty acid profile of treatments at day 9 showed that the whey protein coating combined with ascorbic acid (treatment 3) had the most protective effect on the structure of fatty acids. Overall, according to the results of the present study, it can be claimed that whey protein- ascorbic acid coating is more effective than whey protein- α -tocopherol coating to increase the oxidative stability of shrimp fillet. Therefore, the ascorbic acid is more efficacious than α -tocopherol (in combination with whey protein) in controlling the oxidation of shrimp fillets.

Keywords: Shrimp, Whey protein, Ascorbic acid, α -tocopherol.

1. Ph.D. Student, Department of Processing of Fishery Products, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 09113964324, P. O. Box :46511-66289.

2. Professor, Department of Fisheries, Faculty of Animal Science and Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, 01133687574, P. O. Box: 4818166996.

(* Corresponding Author's Email: skveganeh@gmail.com)

DOI: [10.22067/IFSTRJ.2021.67977.1003](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.2021.67977.1003)

مقاله علمی-پژوهشی

مقایسه کارایی آسکوربیک اسید و آلفاتوکوفرول در ترکیب با پروتئین آب پنیر جهت افزایش پایداری اکسایشی میگوی وانامی (*Litopenaeus vannamei*)

سهیل ریحانی پول^۱ - سکینه یگانه^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳

چکیده

هدف از مطالعه حاضر مقایسه کارایی آسکوربیک اسید و آلفاتوکوفرول در ترکیب با پروتئین آب پنیر جهت افزایش پایداری اکسایشی میگوی ذخیره شده در دمای یخچال است. به همین منظور نمونه‌های بافت میگو در قالب چهار تیمار شامل تیمار ۱ (شاهد)، ۲ (بافت میگو با پوشش پروتئین آب پنیر)، ۳ (بافت میگو با پوشش پروتئین آب پنیر و آسکوربیک اسید) و ۴ (بافت میگو با پوشش پروتئین آب پنیر و آلفاتوکوفرول) در دمای یخچال به مدت ۹ روز ذخیره شدند. به منظور بررسی شدت اکسایش و همچنین پایداری تیمارها در برابر فساد اکسیداتیو، شاخص‌های پراکسید، اسیدهای چرب آزاد، آنیسیدین و تیوباریتوریک اسید تیمارها در روزهای صفر، ۳، ۶ و ۹ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد پروتئین آب پنیر به تنهایی (تیمار ۲) به عنوان پوشش میگو می‌تواند تا حدی روند اکسیداسیون چربی‌های میگو را نسبت به شاهد کنترل کند. اما وقتی پروتئین آب پنیر با آسکوربیک اسید (تیمار ۳) و آلفاتوکوفرول (تیمار ۴) غنی شد، قدرت پوشش‌ها در برابر فساد اکسیداتیو به صورت معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$). مطابق یافته‌ها، در طول دوره نگهداری کمترین میزان عدد پراکسید، اسیدهای چرب آزاد، اندیس آنیسیدین و تیوباریتوریک اسید مربوط به تیمار ۳ بود ($p < 0.05$). مقایسه پروفیل اسیدهای چرب میگوی تازه و پروفیل اسیدهای چرب تیمارها در روز نهم نشان داد که پوشش پروتئین آب پنیر حاوی آسکوربیک اسید (تیمار ۳) بیشترین نقش حفاظتی را از ساختار اسیدهای چرب داشته است. بنابر نتایج تحقیق حاضر می‌توان ادعا کرد که پوشش پروتئین آب پنیر - آسکوربیک اسید نسبت به پوشش پروتئین آب پنیر - آلفاتوکوفرول از کارایی بیشتری جهت افزایش پایداری اکسایشی میگو برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: میگو، پروتئین آب پنیر، آسکوربیک اسید، آلفاتوکوفرول

مقدمه

دیگر از ویژگی‌هایی که استفاده از پروتئین آب پنیر را در صنایع غذایی توجیه می‌کند، دسترسی راحت و ارزان بودن این محصول است. اگرچه قابلیت مقاومت پوشش‌های پروتئین آب پنیر در برابر رطوبت به دلیل ماهیت آب‌دوستی آن‌ها کم است، اما موانع مناسبی در برابر عبور گازهایی مانند اکسیژن، دی‌اکسید کربن، ترکیبات معطر و فرار و همچنین چربی‌ها هستند (Seydim & Sarikus, 2007). از این رو این فیلم‌ها توانایی افزایش زمان ماندگاری فرآورده‌های غذایی را دارند (Ozdemir & Floros, 2008). از آنجا که فیلم پروتئین آب پنیر مقاومت مکانیکی بالایی دارد، پوشش مواد غذایی با این فیلم، فرم ظاهری و خواص مکانیکی فرآورده را بهبود می‌دهد (Seydim & Sarikus, 2007).

به دلیل اینکه خاصیت نگهدارندگی پوشش پروتئین آب پنیر صرفاً به ممانعت از عبور رطوبت، لپیدها، گازهای مختلف، مواد معطر و فرار

یکی از راه‌های افزایش ماندگاری و مقاومت مواد غذایی در برابر فساد اکسیداتیو و میکروبی، استفاده از پوشش‌های خوراکی در قالب فیلم است. این پوشش‌ها که در دو نوع شیمیایی و طبیعی برای نگهداری مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، غالباً از جنس پروتئین، پلی‌ساکارید و لیپید هستند. یکی از پوشش‌های پروتئینی، پروتئین آب پنیر می‌باشد که طی دهه اخیر به دلیل خواص تغذیه‌ای (ضریب هضم بالا، داشتن آمینواسیدهای سیستئین و سیستین که پیش‌ساز گلوتاتیون هستند) و نگهدارندگی (ممانعت از اکسیداسیون و فعالیت آنزیم‌ها، حفظ خصوصیات کیفی فرآورده مانند عطر، طعم، رنگ و مزه، حفظ ویتامین‌ها و آمینواسیدهای ضروری در محصول) در صنایع غذایی مورد توجه قرار گرفته است (Gounga et al., 2007; Ahvenainen, 2003). یکی

* ایمیل نویسنده مسئول: skyegeaneh@gmail.com
DOI: [10.22067/IFSTRJ.2021.67977.1003](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.2021.67977.1003)

۱- دانشجوی دکتری، گروه آموزشی فراوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۲- استاد، گروه آموزشی شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

تحقیقات متعددی در زمینه پوشش مواد غذایی به‌وسیله پروتئین آب‌پنیر و ترکیبات فعال صورت گرفته است. [Khezri](#) و همکاران (۲۰۱۲) اثر پوشش پروتئین آب‌پنیر غنی‌شده با آسکوربیک اسید را بر نگهداری فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بررسی و گزارش کردند که استفاده از این پوشش طی مدت نگهداری فیله در دمای یخچال نرخ افزایش pH، بازهای از ته فرار، بار باکتریایی کل و سرمادوست را نسبت به شاهد کاهش داد. نتایج مطالعه [Sayyad](#) و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که پوشش فیله ماهی کپور نقره‌ای^۱ با پروتئین آب‌پنیر حاوی اسانس شوید موجب کنترل روند افزایشی شاخص‌های اکسایشی و میکروبی تیمار نسبت به شاهد می‌شود. طی تحقیقی مشخص شد پوشش پروتئین آب‌پنیر- گلیسرول قادر به افزایش پایداری اکسایشی مغز گردو است ([Hoseini & Milani, 2016](#)). در مطالعه [Mottalebi](#) و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شد که پوشش خوراکی ماهی کیکلا با پروتئین آب‌پنیر طی مدت نگهداری در سردخانه منجر به بهبود کیفیت رطوبت و رنگ می‌شود. [Sayyad](#) و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند پوشش فیش فینگر کپور نقره‌ای با پروتئین آب‌پنیر و مونوگلیسرید می‌تواند منجر به کاهش اکسیداسیون و متعاقباً افزایش زمان نگهداری فرآورده شود. در پژوهشی دیگر، پوشش پروتئین آب‌پنیر- عصاره سیاه‌دانه توانست ماندگاری ماهی سوف را در شرایط یخچالی افزایش دهد.

با توجه به مطالعات انجام‌شده و ضرورت نیاز به ماندگاری بیشتر میگو در زمان نگهداری سرد (یخچال)، هدف از مطالعه حاضر امکان سنجی کنترل نرخ اکسایش میگو با استفاده از پوشش پروتئین آب‌پنیر غنی‌شده با آنتی‌اکسیدان‌های آسکوربیک اسید و آلفاتوکوفرول در دمای یخچال (4 ± 1 درجه سانتی‌گراد) و همچنین مقایسه کارایی این دو آنتی-اکسیدان (در ترکیب با پروتئین آب‌پنیر) است.

مواد و روش‌ها

میگوهای وانامی^۲ با وزن تقریبی ۱۸ گرم از سایت گمیشان واقع در استان گلستان صید و در ظروف حاوی یخ پس از گذشت ۳ ساعت به آزمایشگاه (پایلوت فرآوری محصولات شیلاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری) منتقل و پس از سرزنی، پوست‌گیری و شستشو در شرایط مناسب (انجماد) ذخیره شدند. به‌منظور تهیه پوشش پروتئینی بر پایه آب‌پنیر از کنسانتره آب‌پنیر ۸۰ درصد (سیمین فرآور)، آسکوربیک‌اسید (مرک) و آلفاتوکوفرول (سیگما) استفاده شد.

تهیه تیمارها، ایجاد پوشش و آزمون‌ها

محلول ۱۰ درصد وزنی- حجمی پروتئین آب‌پنیر در آب مقطر تهیه و به‌طور کامل هموژن شد. گلیسرول با نسبت ۱:۱ (برابر با مقدار پودر پروتئینی) به عنوان پلاستی‌سایزر به محلول اضافه و سپس محلول

بر می‌گردد، استفاده از ترکیبات فعال در این نوع پوشش با هدف کاهش نرخ اکسایش ماده غذایی، بر کارایی و قدرت نگهدارندگی این پوشش‌ها می‌افزاید. با استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های مختلف می‌توان پوشش پروتئین آب‌پنیر را غنی کرد. اما به دلیل ماهیت طبیعی این پروتئین‌ها و همچنین حفظ سلامت مصرف‌کننده و کاهش نگرانی آن‌ها به جهت مضرات نگهدارنده‌های شیمیایی، بهتر است از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی استفاده شود.

میگو به دلیل دارابودن اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه طی نگهداری در دمای یخچال به شدت در معرض فساد اکسیداتیو قرار دارد. این آیزی در حالت انجماد نیز به همین دلیل (البته با شدت کمتر) به اکسیداسیون حساس است ([Pazos et al., 2005](#))؛ ضمن اینکه به طور کلی نگهداری محصولات و فرآورده‌های شیلاتی در حالت انجماد منجر به افت خصوصیات کیفی مانند کاهش وزن، آب‌جک، تغییر ماهیت پروتئین، رنگ و طعم می‌شود ([Boonsumrej, Bhohe & Pai, 1986](#); [Hui et al., 2007](#); [Gonçalves, & Ribeiro, 2008](#)). بنابراین استفاده از تکنیکی که بتواند هم در شرایط انجماد و هم شرایط یخچالی سرعت اکسیداسیون اسیدهای چرب میگو را کاهش و متعاقباً به افزایش ماندگاری، حفظ ارزش غذایی و کیفیت محصول کمک کند، ضروری به‌نظر می‌رسد. یکی از این تکنیک‌ها استفاده از فیلم‌های خوراکی بر پایه پروتئین آب‌پنیر است. با توجه به اینکه حساسیت میگو به اکسیداسیون زیاد است، استفاده از پوشش پروتئین آب‌پنیر خالص برای افزایش ماندگاری آن در شرایط سرد (یخچالی) کافی نیست و این پوشش نمی‌تواند اثر زیادی بر کنترل شدت اکسایش داشته باشد ([Farshidi et al., 2017](#)). به همین دلیل لازم است پوشش پروتئین آب‌پنیر با آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی غنی شود تا کارایی این پوشش جهت نگهداری میگو افزایش یابد. اما انتخاب نوع آنتی‌اکسیدان به‌واسطه قدرت عمل و اثرگذاری در شرایط ترکیبی با پروتئین آب‌پنیر بسیار مهم است. چرا که آنتی‌اکسیدان‌ها از نظر قدرت و عملکرد (به خصوص در ترکیب با یک ماکرومولکول دیگر مانند پروتئین) می‌توانند متفاوت باشند. آسکوربیک‌اسید (ویتامین C) و آلفاتوکوفرول (ویتامین E) دو آنتی‌اکسیدان طبیعی هستند که علاوه بر خواص نگهدارندگی (آنتی‌اکسیدانی) دارای ارزش غذایی و اثرات سودمندی بر سلامت هستند ([Han et al., 2004](#)). در مطالعات مختلفی استفاده از آسکوربیک‌اسید ([Abdel, 2001](#); [Aubourg et al., 2004](#); [Pourashouri et al., 2009](#)) و از آلفاتوکوفرول ([Zuta et al., 2007](#)) جهت افزایش پایداری اکسایشی فرآورده‌های گوشتی و پروتئینی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مثبتی گزارش گردیده است.

خشک شوند. سپس میگوها به یخچال با دمای 4 ± 1 درجه سانتی‌گراد منتقل و به مدت ۹ روز ذخیره شدند. به منظور بررسی خصوصیات کیفی نمونه‌ها و شدت فرآیند اکسایش چربی، شاخص‌های پراکسید، اسیدهای چرب آزاد، اندیس آنیسیدین و تیوباربیتوریک اسید برای تیمارها در فواصل روزهای صفر، ۳، ۶ و ۹ اندازه‌گیری شد. همچنین به منظور بررسی تغییرات محتوای اسیدهای چرب بافت میگو در طول نگهداری، پروفیل اسیدهای چرب میگوی تازه و تیمارها بعد از ۹ روز ارزیابی و با یکدیگر مقایسه شدند. **جدول ۱** ترکیب تیمارها را نشان می‌دهد.

حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از اینکه این محلول سرد شد، آنتی‌اکسیدان‌های مورد نظر (آسکوربیک اسید و آلفاتوکوفرول به مقدار ۲ درصد وزنی / حجمی) به آن اضافه و این ترکیب به مدت یک ساعت هموزن شد ([Khezri](#)) (Min & Krochta, 2007; et al., 2012). به منظور ایجاد پوشش از روش غوطه‌وری استفاده گردید. به این صورت که تیمارها دو بار با فاصله ۵ دقیقه و به مدت دو دقیقه در محلول‌های تهیه‌شده قرار گرفتند. پس از غوطه‌وری بار دوم، به نمونه‌ها اجازه داده شد تا در دمای اتاق

جدول ۱- تیمارهای تحقیق

Table 1- Research treatments

| Treatments تیمارها | Composition ترکیب تیمارها |
|-----------------------|--|
| 1 | Control (Shrimp texture) شاهد (بافت میگو) |
| 2 | Shrimp texture + whey protein بافت میگو + پروتئین آب پنیر |
| 3 | Shrimp texture + whey protein + ascorbic acid بافت میگو + پروتئین آب پنیر + آسکوربیک اسید |
| 4 | Shrimp texture + whey protein + alpha-tocopherol بافت میگو + پروتئین آب پنیر + آلفاتوکوفرول |

$$PV=100 \times V \times N/M$$

(۱)

اسیدهای چرب آزاد

۲ تا ۳ قطره معرف فنل‌فتالین به یک ارلن حاوی ۲۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۶٪ اضافه شد. این محلول با افزودن ۱ تا ۲ قطره هیدروکسید سدیم، خنثی و رنگ آن به رنگ پوست پیاز تغییر کرد. محلول حاصل به ارلن حاوی چربی اضافه و روی هیتر قرار گرفت. پس از اولین جوش، محلول از هیتر جدا و ۲ تا ۳ قطره فنل‌فتالین به آن افزوده و سپس با سود تیترا شد. در نهایت اسیدهای چرب آزاد از طریق رابطه ۲ محاسبه و بر حسب درصد اولئیک اسید گزارش شد ([Egan & Sawyer, 1997](#)).
$$FFA = 2.82 N (V_2 - V_1) / W$$
 (۲)

در این رابطه N، نرمالیتته سود، V_2 ، میلی‌لیتر سود مصرفی برای هر نمونه، V_1 ، میلی‌لیتر سود مصرفی برای هر نمونه شاهد و W، گرم چربی است.

اندیس آنیسیدین

جهت سنجش عدد آنیسیدین چربی تیمارها، در ابتدا ۲ گرم چربی در ۲۵ سی‌سی ایزواکتان حل و جذب این محلول با دستگاه اسپکتروفوتومتر (UV-Vis، CE 7200) در طول موج ۳۵۰ نانومتر قرائت شد. در مرحله بعد، ۵ میلی‌لیتر از این مخلوط با ۱ میلی‌لیتر آنیسیدین ۲۵ درصد در اسید استیک مخلوط شد. بعد از گذشت زمان ده دقیقه،

استخراج چربی

به منظور استخراج چربی موجود در بافت، ابتدا میگوها توسط مولینکس چرخ و حلالی متشکل از کلروفرم-متانول و آب با نسبت ۱:۱:۲ به خمیر حاصل اضافه شد. پس از هموزن کردن این ترکیب، لایه کلروفرمی جدا و روغن موجود موجود در حلال با تبخیرکننده در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد (تحت شرایط خلا) تبخیر و جداسازی شد ([Bligh](#)) ([Dyer, 1959](#)).

عدد پراکسید

به منظور اندازه‌گیری عدد پراکسید، ۶۰ سی‌سی کلروفرم و ۶۰ سی‌سی متانول به دکانتور حاوی ۱۵ گرم بافت میگو اضافه گردید. بعد از ۲۴ ساعت با افزودن ۳۶ سی‌سی آب مقطر به دکانتور اجازه داده شد تا سه فاز تشکیل شود. ۲۰ میلی‌لیتر از فاز زیرین به یک ارلن منتقل و با ۲۵ سی‌سی کلروفرم و استیک اسید (با نسبت ۳ به ۲) ترکیب شد. در مرحله بعد ۰/۵ سی‌سی یدور پتاسیم و ۳۰ سی‌سی آب مقطر به ترکیب حاصل اضافه گردید. سپس ۰/۵ سی‌سی معرف نشاسته ۱٪ وارد ارلن و درب آن بسته شد. بعد از تکان دادن ارلن، ید آزاد شده رنگ محلول را تغییر داد. در انتها محلول حاصل با تیوسولفات ۰/۰۱ نرمال تیترا و عدد پراکسید از رابطه ۱ بر حسب میلی‌اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم چربی محاسبه شد. در این فرمول زیر V حجم تیوسولفات مصرفی، N نرمالیتته و M وزن نمونه بر حسب کیلوگرم است ([Egan & Sawyer, 1997](#)).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تحقیق حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا و به منظور آنالیز آماری از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. داده‌ها از طریق آزمون آنالیز واریانس یکطرفه آنالیز و معنی‌داری تفاوت بین میانگین‌ها به وسیله آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد ارزیابی شد.

جذب این محلول نیز در همان طول موج ثبت شد. در انتها عدد آنیسیدین با استفاده از فرمول ۳ محاسبه و گزارش گردید. در این فرمول A_s جذب محلول چربی بعد از واکنش با آنیسیدین، A_b جذب محلول چربی و M گرم چربی است (Parvaneh, 2019).

$$AnV=25(1.2 A_s - A_b)/M \quad (3)$$

نتایج و بحث

عدد پراکسید

عدد پراکسید شاخصی است که میزان محصولات اولیه اکسیداسیون چربی‌ها یا همان هیدروپراکسیدها را می‌سنجد. از آنجا که هیدروپراکسیدها ممکن است به ترکیبات ثانویه فرار و غیرفرار تبدیل و متعاقباً کیفیت فرآورده را دستخوش تغییرات منفی کنند (تندشدن اکسیداسیونی)، اندازه‌گیری آن‌ها حائز اهمیت است. اعداد مختلفی برای میزان استاندارد این شاخص عنوان شده است که از یک (Naturland, 2002) و دو (Kanner, 2007) تا پنج میلی‌اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم چربی (UNECE, 2002) متغیر است.

جدول ۲ عدد پراکسید تیمارها را در طول دوره نگهداری نشان می‌دهد. مطابق جدول، در روز صفر همه تیمارها تقریباً عدد پراکسید برابری ارائه کردند ($p>0.05$). در روز سوم نگهداری، کمترین و بیشترین عدد پراکسید به ترتیب مربوط به تیمار ۳ و ۱ بود ($p<0.05$). ضمن اینکه در این روز عدد پراکسید تیمارهای ۲ و ۴ اختلاف معنی داری نداشتند ($p>0.05$). در روزهای ششم و نهم اعداد پراکسید همه تیمارها متفاوت و کمترین مقدار آن در تیمار ۳ ثبت شد ($p<0.05$). در هر کدام از تیمارها با افزایش زمان نگهداری، روند عدد پراکسید صعودی بود. گرچه اختلاف عدد پراکسید در تیمار ۳ بین روزهای سوم و ششم معنی‌دار نبود ($p>0.05$).

جدول ۲- عدد پراکسید تیمارها در طول دوره نگهداری (میلی گرم اکسیژن در کیلوگرم)

Table 2- Peroxide value of treatments during storage (mg O₂/Kg)

| Storage time (day) زمان نگهداری (روز) | Treatment 1 (Control) تیمار ۱ (شاهد) | Treatment 2 تیمار ۲ | Treatment 3 تیمار ۳ | Treatment 4 تیمار ۴ |
|--|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0 | 1.85±0.11 ^{Aa} | 1.81±0.45 ^{Aa} | 1.79±0.07 ^{Aa} | 1.79±0.1 ^{Aa} |
| 3 | 4.68±0.12 ^{Bc} | 3.12±0.42 ^{Bb} | 2.21±0.01 ^{Ba} | 3.06±0.05 ^{Bb} |
| 6 | 7.51±0.68 ^{Cd} | 6.01±0.12 ^{Cc} | 2.24±0.42 ^{Ba} | 4.57±0.14 ^{Cb} |
| 9 | 14.35±1.29 ^{Dd} | 9.32±0.15 ^{Dc} | 3.91±0.09 ^{Ca} | 6.85±0.08 ^{Db} |

حروف کوچک و بزرگ متفاوت به ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنادار بین داده‌های هر سطر و ستون است ($p<0.05$).

The lowercase and uppercase letters indicate a significant difference between the data in each row and column, respectively ($p<0.05$).

این تغییر در تیمار پوشش‌داده‌شده با پروتئین آب پنیر از 0.45 ± 0.11 تا 0.15 ± 0.32 میلی‌اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم لیپید بود. این به این معناست که پوشش پروتئین آب پنیر خالص تا حدی می‌تواند نرخ اکسیداسیون و تولید محصولات اولیه آن را کاهش دهد، اما از آنجا که

شاخص تیوباریتوریک اسید

به منظور اندازه‌گیری شاخص تیوباریتوریک اسید در ابتدا دستگاه تقطیر با مخلوط کردن ۱۰ گرم بافت هموژن‌شده، ۹۷/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲/۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک (۴ نرمال) در یک ارلن تشکیل شد. در مرحله بعد ۴ میلی‌لیتر معرف TBA به ۵ میلی‌لیتر از مایع حاصل از تقطیر اضافه شد و ظرف حاوی این ترکیب ۳۵ دقیقه در حمام آب (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. پس از سرد شدن میزان جذب مایع صورتی حاصل در طول موج ۵۳۸ نانومتر قرائت گردید. شاخص تیوباریتوریک اسید از حاصل ضرب عدد جذب در ثابت ۷/۸ محاسبه و به صورت میلی‌گرم مالون‌دی‌آلدهید در کیلوگرم نمونه گزارش شد (Tarladgis et al., 1960).

بررسی پروفیل اسیدهای چرب

به منظور بررسی پروفیل اسیدهای چرب روغن میگو، ۰/۵ گرم چربی استخراج‌شده با نسبت‌های مشخص از متانول، بنزن و اسیدسولفوریک ترکیب و در نهایت متیله شد. یک میکرولیتر از نمونه آماده‌شده به دستگاه کروماتوگراف گازی (Hewlett-Packard، ۶۸۹۰ با ستون BPX و دمای ۱۹۸ درجه سانتی‌گراد و ردیاب دتکتور شعله‌ای با دمای ۳۲۰ درجه سانتی‌گراد) تزریق شد. کلیات مقادیر اسیدهای چرب به صورت گرم در ۱۰۰ گرم چربی ارائه شد (Murphy, 1993).

در تحقیق حاضر پوشش پروتئین آب پنیر خالص نسبت به شاهد توانست روند افزایشی عدد پراکسید را کنترل کند. به گونه‌ای که در تیمار شاهد عدد پراکسید از 0.11 ± 0.14 در روز صفر به 0.35 ± 0.14 میلی‌اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم لیپید در روز نهم رسید، اما دامنه

نرخ تولید پراکسید در مقایسه با شاهد می‌شود. استفاده از پروتئین آب پنیر حاوی اسانس شوید در نگهداری فیله کپور نقره‌ای تا حد زیادی توانست روند افزایشی پراکسید و به‌طور کلی شاخص‌های اکسایش را نسبت به شاهد کنترل کند (Sayyad et al., 2016). عدد پراکسید در چربی ماهی قزل‌الای رنگین کمان با پوشش کیتوزان و آلفاتوکوفرول طی نگهداری در دمای یخچال بسیار کمتر از تیمار شاهد بود (طلوعی و همکاران، ۱۳۹۱). در تحقیق Zuta و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شد محصولات اولیه اکسایش در روغن ماهی ماکرل در حضور غلظت پائین آلفاتوکوفرول کاهش می‌یابد.

اسیدهای چرب آزاد

اسیدهای چرب آزاد که تولید آن‌ها به‌عنوان پیشرفت اکسیداسیون مطرح است، حاصل آبکافت آنزیمی تری‌گلیسریدها در حضور کاتالیزورهایی نظیر گرما و رطوبت هستند. این اسیدها طی اتواکسیداسیون ترکیباتی را تولید می‌کنند که ویژگی‌های حسی (طعم، بو، مزه و آروما) و کیفی فرآورده (زمان ماندگاری) را تحت تاثیر قرار می‌دهند. جدول ۳ میزان اسیدهای چرب آزاد را در تیمارها نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، در روز صفر اختلاف شاخص مذکور بین تیمارها معنی‌دار نیست ($p > 0.05$). در روزهای سوم، ششم و نهم کمترین میزان اسیدهای چرب آزاد در تیمار ۳ ثبت شد ($p < 0.05$). در روز سوم میزان اسیدهای چرب آزاد در شاهد و تیمار ۲ اختلاف قابل ملاحظه‌ای نداشت ($p > 0.05$). تولید اسیدهای چرب آزاد در همه تیمارها با افزایش زمان نگهداری به صورت معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$) اما شیب این روند در تیمارها متفاوت و کمترین شیب مربوط به تیمار ۳ بود.

میگو بسیار مستعد فساد است، در این تحقیق به پوشش خالص پروتئین آب‌پنیر بسنده نشد و این پوشش با آسکوربیک اسید و آلفاتوکوفرول غنی شد. نتایج نشان داد که افزودن این دو آنتی‌اکسیدان به پوشش پروتئین آب‌پنیر به‌صورت معنی‌داری به کارایی این پوشش در مقابله با تولید محصولات اولیه اکسیداسیون کمک می‌کند ($p < 0.05$). به‌طور کلی طی روزهای نگهداری عدد پراکسید تیمار ۳ به‌صورت معنی‌داری کمتر از تیمار ۴ بود. این موضوع نشان می‌دهد که آسکوربیک اسید نسبت به آلفاتوکوفرول در ترکیب با پروتئین آب‌پنیر به صورت معنی‌داری قابلیت بیشتری برای کاهش و کنترل نرخ اکسیداسیون دارد. این ترکیب جهت کنترل اکسایش آنقدر کاراست که مقادیر عدد پراکسید در تیمار مربوطه در روزهای سوم و ششم تقریباً برابر است. به این معنی که این پوشش موجب شد تا با گذشت سه روز تغییر معنی‌داری در عدد پراکسید تیمار ۳ ثبت نشود. شیب عدد پراکسید در همه تیمارها با گذشت زمان نگهداری صعودی، اما میزان این شیب در تیمارها متفاوت بود. در واقع استفاده از پوشش‌ها موجب شد تا شیب افزایش عدد پراکسید در تیمارهای دارای پوشش نسبت به شاهد کمتر باشد. اگر در خوشبینانه‌ترین حالت حداکثر میزان استاندارد عدد پراکسید را ۵ میلی‌اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم چربی در نظر بگیریم، بعد از گذشت ۹ روز تنها تیمار ۳ قابلیت مصرف دارد. با این حد استاندارد، تیمار شاهد و ۲ تا روز سوم برای مصرف انسانی مناسب بودند. اما استفاده از پوشش پروتئین آب‌پنیر و آلفاتوکوفرول این زمان را تا روز ششم ارتقا داد (تیمار ۴).

در مطالعه Paktermani و همکاران (۲۰۱۷) از آلفاتوکوفرول در ترکیب با آلزینات سدیم به‌منظور حفظ خصوصیات کیفی گوشت ماهی استفاده شد و نتایج نشان داد استفاده از این آنتی‌اکسیدان موجب کاهش

جدول ۳- میزان اسیدهای چرب آزاد تیمارها در طول دوره نگهداری (درصد اولئیک اسید)

Table 3- Amount of free fatty acids in the treatments during storage (%Oleic acid)

| Storage time (day) (زمان نگهداری (روز)) | Treatment 1 (Control) تیمار ۱ (شاهد) | Treatment 2 تیمار ۲ | Treatment 3 تیمار ۳ | Treatment 4 تیمار ۴ |
|--|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0 | 0.25±0.1 ^{Aa} | 0.26±0.05 ^{Aa} | 0.24±0.02 ^{Aa} | 0.25±0.09 ^{Aa} |
| 3 | 1.81±0.11 ^{Bc} | 1.75±0.1 ^{Bc} | 0.77±0.01 ^{Ba} | 1.04±0.05 ^{Bb} |
| 6 | 2.93±0.08 ^{Cd} | 2.11±0.02 ^{Cc} | 1.16±0.04 ^{Ca} | 1.62±0.01 ^{Cb} |
| 9 | 4.75±0.24 ^{Dd} | 3.62±0.15 ^{Dc} | 1.98±0.01 ^{Da} | 2.73±0.04 ^{Db} |

حروف کوچک و بزرگ متفاوت به ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنادار بین داده‌های هر سطر و ستون است ($p < 0.05$).

The lowercase and uppercase letters indicate a significant difference between the data in each row and column, respectively ($p < 0.05$)

نظر شاخص مذکور) اما در روزهای ششم و نهم قابلیت خود را نشان داد و به صورت معنی‌داری مقادیر کمتری از اسیدهای چرب آزاد را نسبت به شاهد نشان داد ($p < 0.05$). غنی‌سازی پروتئین آب‌پنیر با آسکوربیک اسید (تیمار ۳) و آلفاتوکوفرول (تیمار ۴) موجب شد تا پوشش حاصل نسبت به شاهد و تیمار ۲ به صورت شدیدتری در مقابل

در این پژوهش شاخص اسیدهای چرب آزاد در تیمار شاهد با شیب زیادی در طول دوره نگهداری افزایش یافت و از 0.25 ± 0.1 در روز صفر به 4.75 ± 0.24 درصد اولئیک اسید در روز نهم رسید. استفاده از پوشش پروتئین آب‌پنیر خالص (تیمار ۲) اگرچه تا روز سوم نسبت به شاهد کارایی نداشت (عدم وجود اختلاف معنی‌دار در روز صفر و سوم از

نگهداری نسبت به شاهد کنترل کند. در تحقیق [Toluei](#) و همکاران (۲۰۱۱) استفاده از آلفاتوکوفرول در ترکیب با کیتوزان تا حد زیادی روند تولید اسیدهای چرب را در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (دمای یخچال) نسبت به شاهد کنترل کرد.

شاخص آنیسیدین

آنیسیدین اندیسی جهت ارزیابی محصولات ثانویه اکسیداسیون اسیدهای چرب است و در واقع معیاری از مقدار آلدئیدهایی (۲ آلکانال‌ها و ۲ و ۴ آلدی‌ان‌ها) می‌باشد که در اثر شکستن محصولات اولیه اکسایش (هیدروپراکسیدها) تولید می‌شوند ([Shahin et al., 2014](#)). اگر عدد آنیسیدین چربی میگوی پوشش‌دهی شده با گذشت زمان نسبت به شاهد کمتر باشد، این امر بیانگر موثر بودن پوشش‌ها در ممانعت از اکسیداسیون چربی بافت است.

جدول ۴ شاخص آنیسیدین نمونه‌های دارای پوشش و شاهد را نشان می‌دهد. مطابق جدول در روز صفر شاخص مذکور در تیمارها با هم برابر است ($p > 0.05$)، در روز سوم مقادیر شاخص آنیسیدین در تیمارهای ۲ و ۴ اختلاف قابل ملاحظه‌ای ارائه نکردند ($p > 0.05$)؛ ضمن اینکه کمترین این شاخص در تیمار ۳ ثبت شد ($p < 0.05$). در روزهای ششم و نهم هر چهار تیمار از نظر شاخص آنیسیدین اختلاف معنی‌داری داشتند که حداقل این شاخص باز هم مربوط به تیمار ۳ بود ($p < 0.05$). در همه تیمارها با افزایش دوره نگهداری، روند شاخص آنیسیدین به صورت معنی‌داری افزایشی بود ($p < 0.05$).

اکسیداسیون چربی‌های بافت مقاومت کند. به‌طور کلی در همه روزهای نگهداری به غیر از روز صفر، تیمار ۳ نسبت به تیمار ۴، به شکل معنی‌داری قابلیت بیشتری از خود در برابر اکسیداسیون نشان داد و کمترین مقادیر اسیدهای چرب آزاد مربوط به همین تیمار بود. این امر بدان معناست که بین دو آنتی‌اکسیدان طبیعی آسکوربیک اسید و آلفاتوکوفرول، آسکوربیک اسید کارایی بیشتری برای افزایش پایداری بافت میگو (در ترکیب با پروتئین آب‌پنیر) دارد. اینکه کمترین شیب افزایشی تولید اسیدهای چرب آزاد در بین تیمارها باز هم مربوط به تیمار ۳ است، دقیقاً به همین موضوع اشاره دارد. با توجه به اینکه حداکثر میزان مجاز اسیدهای چرب آزاد برای مصارف انسانی ۵ درصد اولئیک اسید گزارش شده است ([Kirk & Sawyer, 1991](#)) می‌توان ادعا کرد که همه تیمارها تا پایان دوره نگهداری از نظر میزان اسیدهای چرب آزاد در حد استاندارد قرار دارند؛ گرچه تیمار شاهد در روز انتهایی (نهم) به مرز قابل قبول این شاخص نزدیک شد.

نتایج پژوهشی که به‌منظور افزایش پایداری اکسایشی مغز گردو از پوشش پروتئین آب‌پنیر استفاده کرد، مانند پژوهش حاضر نشان داد این پوشش توانایی بالقوه‌ای در کاهش نرخ تولید اسیدهای چرب آزاد در مغز گردو دارد ([Hoseini & Milani, 2016](#)).

همچنین در تحقیق [Mottalebi و Seyfzadeh](#) (۲۰۱۱) که از پوشش ترکیبی پروتئین آب‌پنیر و آلژینات سدیم جهت حفظ خصوصیات کیفی ماهی کیلکا^۱ در شرایط انجماد استفاده شد، این پوشش توانست روند افزایش اسیدهای چرب آزاد را در طول دوره

جدول ۴- عدد آنیسیدین تیمارها در طول دوره نگهداری

Table 4- Anisidine value of treatments during storage

| Storage time (day) زمان نگهداری (روز) | Treatment 1 (Control) تیمار ۱ (شاهد) | Treatment 2 تیمار ۲ | Treatment 3 تیمار ۳ | Treatment 4 تیمار ۴ |
|--|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0 | 1.06±0.06 ^{Aa} | 1.04±0.02 ^{Aa} | 1.04±0.01 ^{Aa} | 1.05±0.05 ^{Aa} |
| 3 | 4.02±0.03 ^{Bc} | 2.81±0.09 ^{Bb} | 1.72±0.01 ^{Ba} | 2.78±0.1 ^{Bb} |
| 6 | 7.81±0.43 ^{Cd} | 5.99±0.05 ^{Cc} | 3.14±0.05 ^{Ca} | 4.89±0.02 ^{Cb} |
| 9 | 12.87±0.11 ^{Dd} | 9.52±0.19 ^{Dc} | 4.22±0.09 ^{Da} | 6.23±0.46 ^{Db} |

حروف کوچک و بزرگ متفاوت به ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنادار بین داده‌های هر سطر و ستون است ($p < 0.05$).

The lowercase and uppercase letters indicate a significant difference between the data in each row and column, respectively

سوم موجب افزایش کارایی پوشش نسبت به پوشش پروتئین آب‌پنیر خالص نشد (عدم وجود اختلاف معنی‌دار از نظر شاخص آنیسیدین)، اما در روزهای ششم و نهم وجود آلفاتوکوفرول در پوشش قابلیت خود را نشان داد و مقادیر کمتری از اندیس آنیسیدین در پوشش پروتئین آب‌پنیر-آلفاتوکوفرول نسبت به پوشش آب‌پنیر خالص ثبت شد ($p < 0.05$). غنی‌سازی پروتئین آب‌پنیر با آسکوربیک‌اسید موجب شد که این پوشش نسبت به سایر تیمارها، هم مقادیر کم‌تری از اندیس آنیسیدین را ارائه

شاخص آنیسیدین در تیمار دارای پوشش پروتئین آب‌پنیر خالص (تیمار ۲) نسبت به شاهد با شیب آرام‌تری در طول دوره نگهداری افزایش یافت و به‌غیر از روز صفر، مقادیر این شاخص در این تیمار نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کمتر بود ($p < 0.05$). این موضوع تا حدی نشان‌دهنده کارایی پوشش پروتئین آب‌پنیر در جلوگیری از ورود گازها به بافت و متعاقب اکسیداسیون چربی است. استفاده از آلفاتوکوفرول در ترکیب با پروتئین آب‌پنیر اگرچه در روزهای صفر و

اکسیداسیون چربی‌ها قابلیت واکنش با سایر ترکیبات بافت (پروتئین‌ها، فسفولیپیدها و نوکلوتیدها) را دارد که در این صورت تیوباریتوریک اسید ممکن است نتواند شاخص دقیقی برای ارزیابی اکسیداسیون ثانویه چربی‌ها باشد (Aubourg, 1993). جدول ۵ شاخص تیوباریتوریک اسید تیمارها را در طول روزهای ذخیره نشان می‌دهد. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، در روز صفر شاخص تیوباریتوریک اسید تیمارها تقریباً با هم برابر است ($p > 0.05$). در روز سوم نیز شاخص مذکور در تیمارهای ۲ و ۴ تقریباً مشابه می‌باشد ($p > 0.05$) ضمن اینکه در این روز کمترین مقدار شاخص تیوباریتوریک اسید مربوط به تیمار ۳ بود ($p < 0.05$). در روزهای ششم و نهم تفاوت بین همه تیمارها از نظر شاخص تیوباریتوریک اسید معنی‌دار و حداقل این شاخص در تیمار ۳ ثبت شد. در همه تیمارها با افزایش روزهای نگهداری، روند شاخص تیوباریتوریک اسید صعودی بود؛ گرچه اختلاف این شاخص در تیمار ۳ در روزهای صفر و سوم معنی‌دار نبود ($p > 0.05$).

کند و هم شیب افزایش این شاخص در این تیمار بسیار کندتر از بقیه تیمارها باشد. به گونه‌ای که مقدار شاخص مذکور در این تیمار از 0.1 ± 0.04 در روز صفر به 0.98 ± 0.01 در روز آخر رسید. طی پژوهشی استفاده از آلفاتوکوفرول در ترکیب با کیتوزان جهت افزایش پایداری اکسایشی چربی موجود در قزل‌آلای رنگین کمان پرورشی نگهداری شده در دمای یخچال مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد این پوشش در کنترل شاخص آیسیدین موثر است (Toluei et al., 2011).

شاخص تیوباریتوریک اسید

شاخص تیوباریتوریک اسید نشان‌دهنده محصولات ثانویه اکسیداسیون چربی‌ها (به‌ویژه آلدئیدها که از شکستن هیدروپراکسیدها تولید می‌شوند) می‌باشد (Lin & Lin, 2005). در بین شاخص‌های مختلفی که جهت سنجش پیشرفت اکسیداسیون چربی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص تیوباریتوریک اسید شاید از دقت و قابلیت استناد کمتری برخوردار باشد. به دلیل اینکه مالون دی‌آلدئید ایجادشده در اثر

جدول ۵- مقادیر تیوباریتوریک اسید تیمارها در طول دوره نگهداری (میلی گرم مالون‌دی‌آلدئید در کیلوگرم)

Table 5- TBA value of treatments during storage (mgMDA/Kg)

| Storage time (day) زمان نگهداری (روز) | Treatment 1 (Control) تیمار ۱ (شاهد) | Treatment 2 تیمار ۲ | Treatment 3 تیمار ۳ | Treatment 4 تیمار ۴ |
|--|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0 | 0.39±0.1 ^{Aa} | 0.39±0.06 ^{Aa} | 0.39±0.09 ^{Aa} | 0.37±0.04 ^{Aa} |
| 3 | 1.57±0.04 ^{Bc} | 0.99±0.01 ^{Bb} | 0.42±0.1 ^{Aa} | 0.98±0.01 ^{Bb} |
| 6 | 2.88±0.05 ^{Cd} | 2.05±0.02 ^{Cc} | 0.89±0.02 ^{Ba} | 1.41±0.02 ^{Cb} |
| 9 | 4.11±0.31 ^{Dd} | 3.01±0.03 ^{Dc} | 1.42±0.01 ^{Ca} | 2.16±0.09 ^{Db} |

حروف کوچک و بزرگ متفاوت به ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنادار بین داده‌های هر سطر و ستون است ($p < 0.05$).

The lowercase and uppercase letters indicate a significant difference between the data in each row and column, respectively ($p < 0.05$).

پنیر- آلفاتوکوفرول در برابر پوشش پروتئین آب‌پنیر خالص جهت کنترل تیوباریتوریک اسید تا روز سوم نمایان نشد، اما در روزهای ششم و نهم به وضوح این مورد تأیید شد. در تحقیق Paktermani و همکاران (۲۰۱۷) کارایی آلفاتوکوفرول در کنترل تیوباریتوریک اسید گوشت ماهی قزل‌آلای رنگین کمان ثابت شد. نتایج شاخص تیوباریتوریک اسید هم نشان داد که آسکوربیک اسید نسبت به آلفاتوکوفرول در ترکیب با پروتئین آب‌پنیر برای مهار اکسیداسیون چربی‌ها کارا تر است به گونه‌ای که در طول روزهای نگهداری (غیر صفر) همواره شاخص مذکور در تیمار ۳ از تیمار ۴ کمتر بود. پوشش پروتئین آب‌پنیر- آسکوربیک اسید به حدی برای کنترل نرخ شاخص تیوباریتوریک اسید موثر بود که در تیمار ۳ از روز صفر تا روز سه، افزایش معنی‌داری در این شاخص ثبت نشد. با توجه به اینکه حد قابل قبول شاخص تیوباریتوریک اسید برای آبزیان در محدوده ۱ تا ۲ میلی گرم مالون‌دی-آلدئید در کیلوگرم قرار دارد (Lakshmanan, 2000)، می‌توان ادعا کرد که تیمارهای ۳ و ۴ تا پایان روز نگهداری از نظر کیفیت در حد

استفاده از پروتئین آب‌پنیر خالص برای پوشش میگو تا حد زیادی نسبت به شاهد توانست روند افزایشی تیوباریتوریک اسید را مهار کند. به گونه‌ای که نرخ این شاخص در تیمار شاهد از 0.1 ± 0.039 در روز صفر به 0.98 ± 0.01 میلی گرم مالون‌دی‌آلدئید بر کیلوگرم در روز نهم رسید، اما این رقم برای تیمار ۲ در همین بازه از 0.6 ± 0.039 تا 0.3 ± 0.03 میلی گرم مالون‌دی‌آلدئید بر کیلوگرم متغیر بود. در پژوهش Sayyad و همکاران (۲۰۱۶) نیز استفاده از پوشش پروتئین آب‌پنیر توانست مانع از افزایش نرخ شاخص تیوباریتوریک اسید به مانند نمونه شاهد شود. اما بر خلاف پژوهش حاضر، در تحقیق Farshidi و همکاران (۲۰۱۷) پوشش میگو با پروتئین آب‌پنیر خالص اثر قابل توجهی بر کنترل و مهار تیوباریتوریک اسید تیمار نسبت به شاهد نداشت. در پژوهشی دیگر که ران مرغ با استفاده از پروتئین آب‌پنیر پوشش داده شده بود، گزارش شد این تیمار نسبت به شاهد تفاوت قابل ملاحظه‌ای در میزان شاخص تیوباریتوریک اسید ندارد (Wolfson et al., 1994). اگرچه قدرت بیشتر پوشش پروتئین آب

چربی میگوی تازه و تیمار ۳ در روز نهم نسبت به این اختلاف در سایر تیمارها بسیار کمتر است که این موضوع نشان‌دهنده کارایی پوشش پروتئین آب‌پنیر- آسکوربیک اسید در حفاظت از اسیدهای چرب در برابر اکسایش می‌باشد. کاهش مقادیر EPA، DHA، امگا ۳ و امگا ۶ در تیمار دارای پوشش پروتئین آب‌پنیر- آسکوربیک اسید در روز نهم نسبت به این مقادیر در میگوی تازه ناچیز است که این موضوع باز هم دلالت بر خاصیت ضد اکسایشی و حفاظتی پوشش مذکور دارد. پوشش پروتئین آب‌پنیر- آلفاتوکوفرول و پوشش پروتئین آب‌پنیر خالص نیز از نظر این کارایی نسبت به شاهد بسیار فعال عمل کردند، اما نسبت به پوشش پروتئین آب‌پنیر- آسکوربیک اسید به ترتیب در رده‌های بعدی جای داشتند. نتایج پروفیل اسیدهای چرب در پژوهشی که به منظور حفظ چربی‌های ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان طی مدت نگهداری در دمای یخچال از پوشش کیتوزان- آلفاتوکوفرول استفاده شد، نشان داد که این پوشش به صورت قابل ملاحظه‌ای از کاهش EPA، DHA، امگا ۳، مجموع EPA و DHA و همچنین نسبت DHA به پالمیتیک اسید (شاخص‌های پیشرفت اکسایش) جلوگیری می‌کنند (Toluei et al., 2011).

مطلوبی قرار دارند. مقدار شاخص تیوباریتوریک اسید تیمار ۲ در روز ششم از این حد خارج شد و به دلیل ایجاد بوی نامطبوع برای مصارف انسانی مناسب نیست. تیمار شاهد نهایتاً تا روز سوم در بازه استاندارد از نظر شاخص تیوباریتوریک اسید قرار داشت.

ارزیابی پروفیل اسیدچرب تیمارها

در جدول ۶ کلیات پروفیل اسیدهای چرب میگوی تازه و همینطور پروفیل اسیدهای چرب تیمارها در روز نهم ارائه شده است. همانطور که در این جدول رویت می‌شود، کمترین کاهش EPA، DHA، امگا ۳، امگا ۶، مجموع EPA و DHA و همچنین نسبت DHA به پالمیتیک اسید در روز نهم نسبت به میگوی تازه در تیمار ۳ ثبت شد. تیمار ۴، ۲ و شاهد به ترتیب در مراتب بعدی جای گرفتند.

بررسی پروفیل اسیدهای چرب در تیمارها نشان داد که پوشش‌های مورد استفاده در این تحقیق و در راس آن‌ها پوشش پروتئین آب‌پنیر- آسکوربیک اسید نقش حفاظتی مناسبی از محتوی اسیدهای چرب بافت میگو و اکسیداسیون آن‌ها دارند. مجموع EPA و DHA و همچنین نسبت DHA به پالمیتیک اسید دو شاخص مهم پیشرفت اکسایش هستند (Siskos et al., 2007). اختلاف این دو شاخص در

جدول ۶- مقایسه پروفیل اسیدچرب تیمارها در روز نهم و میگوی تازه (گرم در ۱۰۰ گرم چربی)

Table 6- Comparison of fatty acid profiles of treatments in ninth day and fresh shrimp (g/100g lipid)

| Fatty acids اسیدهای چرب | Fresh shrimp میگو تازه | Treatment 1 (Control) تیمار ۱ (شاهد) | Treatment 2 تیمار ۲ | Treatment 3 تیمار ۳ | Treatment 4 تیمار ۴ |
|----------------------------|---------------------------|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| EPA | 11.31±0.03 ^e | 2.53±0.06 ^a | 5.11±0.01 ^b | 8.97±0.07 ^d | 6.85±0.08 ^c |
| DHA | 8.56±0.09 ^e | 1.14±0.02 ^a | 3.91±0.01 ^b | 6.16±0.04 ^d | 5.33±0.02 ^c |
| ∑ (n-3) | 24.63±0.46 ^e | 5.54±0.03 ^a | 12.63±0.05 ^b | 19.38±0.41 ^d | 15.96±0.21 ^c |
| ∑ (n-6) | 9.15±0.28 ^e | 2.25±0.04 ^a | 4.19±0.01 ^b | 6.41±0.06 ^d | 5.27±0.01 ^c |
| EPA + DHA | 19.87±0.02 ^e | 3.67±0.16 ^a | 9.02±0.04 ^b | 15.13±0.23 ^d | 12.18±0.15 ^c |
| DHA/Palmitic | 0.59±0.02 ^e | 0.12±0.03 ^a | 0.24±0.02 ^b | 0.46±0.01 ^d | 0.35±0.01 ^c |

حروف متفاوت در هر ردیف، نشان‌دهنده وجود اختلاف معنادار بین داده‌های آن ردیف است (p<0.05).

Different letters in each row indicate a significant difference between the data in that row (p<0.05).

در مقابله با فساد اکسیداتیو می‌افزاید. مطابق نتایج می‌توان ادعا کرد پوشش پروتئین آب‌پنیر- آسکوربیک اسید نسبت به پوشش پروتئین آب‌پنیر- آلفاتوکوفرول از کارایی بیشتری برای حفاظت از چربی‌های بافت در برابر اکسایش برخوردار است. بنابراین آسکوربیک اسید نسبت به آلفاتوکوفرول (در ترکیب با پروتئین آب‌پنیر) جهت کنترل نرخ اکسیداسیون میگوی ذخیره شده در دمای یخچال کارا تر است.

نتیجه‌گیری

پوشش میگوی وانامی با استفاده از پروتئین آب‌پنیر می‌تواند تا حدی روند اکسایش چربی‌های بافت را در دمای یخچال نسبت به شاهد کنترل کند. همچنین غنی‌سازی این نوع پوشش با استفاده از آسکوربیک اسید و آلفاتوکوفرول به صورت معنی‌داری بر قدرت پوشش

منابع

- Abdel-Aal, H. A. (2001). Using antioxidants for extending the shelf life of frozen Nile karmout (*Claries lazera*) fish mince. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 10(4), 87-99. https://doi.org/10.1300/J030v10n04_08

- Omega 3
- Omega 6

- Eicosapentaenoic acid
- Docosahexaenoic acid

2. Ahvenainen, R. (Ed.). (2003). Novel food packaging techniques. Elsevier. CRC Pub. 590pp.
3. Aubourg, S. P. (1993). Interaction of malondialdehyde with biological molecules—new trends about reactivity and significance. *International journal of food science & technology*, 28(4), 323-335. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb01278.x>
4. Aubourg, S. P., Pérez-Alonso, F., & Gallardo, J. M. (2004). Studies on rancidity inhibition in frozen horse mackerel (*Trachurus trachurus*) by citric and ascorbic acids. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106(4), 232-240. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200400937>
5. Bhobe, A. M., & Pai, J. S. (1986). Study of the properties of frozen shrimps. *Journal of food science and technology*, 23(3), 143-147.
6. Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 37(8), 911-917.
7. Boonsumrej, S., Chaiwanichsiri, S., Tantratian, S., Suzuki, T., & Takai, R. (2007). Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing. *Journal of Food Engineering*, 80(1), 292-299. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.059>
8. Egan, H., & Sawyer, R. (1997). Pearson's chemical Analysis of food. 9th. Edition, Edinburgh, Scotland, Churchill. Livingstone, UK, 609-634.
9. Farshidi, M., Ehsani, A., Ebrahimi, B., Bahar Banafshe, M., & Nazari, GH. (2017). Evaluation of whey protein coating efficacy on shrimp fillet quality under cold conditions. *Journal of Food Processing and production*, 7 (3), 37-45
10. Georgantelis, D., Ambrosiadis, I., Katikou, P., Blekas, G., & Georgakis, S. A. (2007). Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocopherol on microbiological parameters and lipid oxidation of fresh pork sausages stored at 4 C. *Meat science*, 76(1), 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.10.026>
11. Gonçalves, A. A., & Ribeiro, J. L. D. (2008). Optimization of the freezing process of red shrimp (*Pleoticus muelleri*) previously treated with phosphates. *International Journal of Refrigeration*, 31(7), 1134-1144. <https://doi.org/10.1016/j.jirefrig.2008.03.005>
12. Gounga, M. E., Xu, S. Y., & Wang, Z. (2007). Whey protein isolate-based edible films as affected by protein concentration, glycerol ratio and pullulan addition in film formation. *Journal of Food Engineering*, 83(4), 521-530. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.008>
13. Han, C., Zhao, Y., Leonard, S. W., & Traber, M. G. (2004). Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biology and Technology*, 33(1), 67-78. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.01.008>
14. Hoseini, M. & Milani, J. (2016). Increasing oxidative stability of walnut kernel by whey protein isolate coating. *Journal of Food Industry Research*, 27 (3), 91-102
15. Hui, Y. H., Legarretta, I. G., Lim, M. H., Murrell, K. D., & Nip, W. K. (Eds.). (2004). *Handbook of frozen foods* (Vol. 133). CRC Press.
16. Kanner, J. (2007). Dietary advanced lipid oxidation endproducts are risk factors to human health. *Molecular Nutrition and Food research*, 51(9), 1094-1101. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200600303>
17. Khezri, M., Rezaei, M., & Ojagh, M. (2012). The effect of ascorbic acid combined with whey protein coating on the shelf-life of rainbow trout stored at refrigerator temperature: Microbial and chemical analyzes. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 7 (3), 69-78
18. Khosravi, M., Matini, S., & Jalilzadeh, A. (2019). The effect of edible coating based on whey protein containing black seed extract on the shelf life of perch fillet in refrigerated conditions. The 3rd International Congress and the 26th National Congress of Food Science and Technology of Iran, Tehran.
19. Kirk, R.S. & Sawyer, R. (1991). Pearsons chemical analysis of foods. (9th Ed.) Longman Scientific and Technical. Harlow, Essex, UK.
20. Lakshmanan, P. T. (2000). Fish spoilage and quality assessment. In T. S. G. Iyer, M. K. Kandoran, Mary Thomas, & P. T. Mathew (Eds.), *Quality assurance in seafood processing*, pp. 26– 40. Cochin: Society Fisher Techno (India).
21. Lin, C. C., & Lin, C. S. (2005). Enhancement of the storage quality of frozen bonito fillets by glazing with tea extracts. *Food control*, 16(2), 169-175. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.01.007>
22. Mielnik, M. B., Aaby, K., & Skrede, G. (2003). Commercial antioxidants control lipid oxidation in mechanically deboned turkey meat. *Meat science*, 65(3), 1147-1155. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00345-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00345-5)
23. Min, S., & Krochta, J. M. (2007). Ascorbic acid-containing whey protein film coatings for control of oxidation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(8), 2964-2969. <https://doi.org/10.1021/jf062698r>
24. Mottalebi, A., Hasanzati, A., Khanipour, A., & Soltani, M. (2012). Effect of whey protein edible coating on moisture and sensory characteristics of empty stomach kilka. *Journal of Food Science and Nutrition*, 9 (4), 39-47
25. Murphy, R. C. (1993). Mass spectrometry of lipids. Plenum press. 290 p.
26. Naturland E.V. (2002). Organic farming in the tropics and subtropics exemplary description of 20 crops: cashew nuts. 1st ed., Germany.

27. Ozdemir, M., & Floros, J. D. (2008). Optimization of edible whey protein films containing preservatives for mechanical and optical properties. *Journal of Food Engineering*, 84(1), 116-123. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.09.028>
28. Paktermani, M., Ehsani, E., & Ghajarbeygi, P. (2017). Investigating -Increase the shelf life of fish with Edible Alginate sodium-Based Film containing α -tocopherol. *Food Science and Technology*, 61(13), 17-24.
29. P-Anisidine Value. Cd 18-90: AOCS (Official Methods and Recommended Practices of the AOCS).
30. Parvaneh, v. (2019). Quality control and food chemical testing. University of Tehran Press, 335p
31. Pazos, M., Gallardo, J. M., Torres, J. L., & Medina, I. (2005). Activity of grape polyphenols as inhibitors of the oxidation of fish lipids and frozen fish muscle. *Food Chemistry*, 92(3), 547-557. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.036>
32. Pourashouri, P., Shabanpour, B., Aubourg, S. P., Rohi, J. D., & Shabani, A. (2009). An investigation of rancidity inhibition during frozen storage of Wels catfish (*Silurus glanis*) fillets by previous ascorbic and citric acid treatment. *International journal of food science & technology*, 44(8), 1503-1509. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01660.x>
33. Sayyad, M., Alizadeh, E., & Zakipour, E. (2017). Effect of edible Whey protein-monoglyceride coating on the quality of *Hypophthalmichthys molitrix* fish finger during refrigerated storage. *Journal of Food Science and Technology*, 64(14), 93-102
34. Sayyad, M., Nourzaei, Kh., & Alizadeh, E. (2016). Effects of edible whey protein coating and essential oil of Anethum graveolens on the quality of *Hypophthalmichthys molitrix* fillet during refrigerated storage. *Scientific - Research Journal*, 5(2), 85-94
35. Seydim, A. C., & Sarikus, G. (2006). Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. *Food Research International*, 39(5), 639-644. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.01.013>
36. Seyfzadeh, M. & Mottalebi, A. (2011). The effect of using a combination coating of whey protein and sodium alginate on quality changes of tilapia fish during cold storage. *Journal of Aquatics and Fisheries*, 2(8), 39-51
37. Shahin, R., Nayebzadeh, K., Alizadeh, L., & Mohammadi, A. (2014). Antioxidant effect of tocopherol and TBHQ on oil oxidation over the shelf life of mayonnaise. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 8(4), 227-236
38. Siskos, I., Zotos, A., Melidou, S., & Tsikritzi, R. (2007). The effect of liquid smoking of fillets of trout (*Salmo gairdnerii*) on sensory, microbiological and chemical changes during chilled storage. *Food Chemistry*, 101(2), 458-464. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.002>
39. Tarladgis, B. G., Watts, B. M., Younathan, M. T., & Dugan Jr, L. (1960). A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 37(1), 44-48. <https://doi.org/10.1007/BF02630824>
40. Toluie, H., Mohtadi Niya, J., Arefhosseini, S., & Asghari, M. (2012). The effect of chitosan coating that enriched with α -tocopherol on lipid oxidation in farmed trout (*Oncorhynchus mykiss*) during refrigerated storage. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 1(3), 153-164
41. UNECEF Standard, (2002). Concerning the marketing and commercial quality control of cashew kernels, Ddp-17, 2002 ed., United Nations, New York And Geneva.
42. Whang, K., Aberle, E. D., Judge, M. D., & Peng, I. C. (1986). Antioxidative activity of α -tocopherol in cooked and uncooked ground pork. *Meat Science*, 17(4), 235-249. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(86\)90043-4](https://doi.org/10.1016/0309-1740(86)90043-4)
43. Wolfson, L.M., Sumner, S.S. & Froning, G.W. (1994). Inhibition of *Salmonella typhimurium* on poultry by the lactoperoxidase system. *Food Safety*, 14(1), 53-62. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.1994.tb00583.x>
44. Zuta, P. C., Simpson, B. K., Zhao, X., & Leclerc, L. (2007). The effect of α -tocopherol on the oxidation of mackerel oil. *Food Chemistry*, 100(2), 800-807. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.003>



Full Research Paper

Green synthesis of silver nanoparticles using *Callistemon citrinus* leaf extract and evaluation of its antibacterial activity

Zohreh Sosani Gharibvand¹, Behrooz Alizadeh Behbahani^{2*}, Mohammad Noshad³, Hossein Jooyandeh⁴

Received: 2021.01.09

Accepted: 2021.04.20

How to cite this article:

Sosani Gharibvand, Z., Alizadeh Behbahani, B., Noshad, M., Jooyandeh, H., (2022). Green synthesis of silver nanoparticles using *Callistemon citrinus* leaf extract and evaluation of its antibacterial activity. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18(1), 151-163.

Abstract

Introduction: Nowadays, production and utilization of Nano materials have increased due to their unique and interesting properties. So far, different physical and chemical methods have been used to synthesize silver nanoparticles. Chemical synthesis is not compatible due to the hazardous chemicals residues on the surface of the nanoparticles (NP) as well as production of by products with high impact on the environment. Physical routes for synthesis of NPs have some drawbacks, too. These methods require high energy and space, and are expensive. Therefore, biological methods for the synthesis of silver nanoparticles are considered emerging technologies as economic choices in the green chemistry field. Among these methods, plant-mediated synthesis of AgNPs is a rapid, simple, non-toxic and eco-friendly technique. Silver nanoparticles exhibit high bactericidal activity at their utilized concentrations with no toxic effect on human cells, and they also strongly enhance the antibacterial activity of conventional antibiotics even against multi-resistant bacteria through their synergistic effects. *Callistemon citrinus* belongs to the family Myrtaceae and includes more than 30 species. The plant is widespread in wet tropics, notably Australia, South America and tropical Asia, but presently can be found all over the world. *Callistemon citrinus* is a potential medicinal plant used to treat gastrointestinal distress, pain, and infectious diseases caused by bacteria, fungi, viruses, and parasites. In this study *Callistemon citrinus* aqueous extract was used to reduce silver ions in silver nitrate solution. In the following, the antimicrobial activity of nanoparticles synthesized by various qualitative and quantitative methods on *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi* and *Listeria innocua* was investigated.

Materials and Methods: For the synthesis of silver nanoparticles, 25 mL of silver nitrate solution was added to 5 mL of leaf extract with a concentration of 100 mg/mL and maintained for 24 h at 20 °C. Change the color of the solution to Red represents the production of silver nanoparticles in the solution. To stabilize the presence of silver nanoparticles, the absorption spectrum of silver nanoparticles produced by spectrophotometer was prepared. Antimicrobial activity of silver nanoparticles synthesized using *Callistemon citrinus* leaf aqueous extract was examined by disc diffusion agar, well diffusion agar, minimum inhibitory concentration (microdilution broth) and minimum bactericidal concentration on *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi* and *Listeria innocua*.

Results and Discussion: The results showed that in disc diffusion agar method, the diameter inhibition zone increased with increasing the concentration of silver nanoparticles. The maximum effect of silver nanoparticles synthesized using *Callistemon citrinus* leaf aqueous extract at a concentration of 150 mg / ml was observed for *Pseudomonas aeruginosa*. An inhibition zone was observed for all examined pathogenic microorganisms at all concentrations. The results showed that in the well diffusion agar method, nanosilver particles at a concentration of 18.75 mg/ml did not show any inhibitory effect on all the pathogenic microorganisms. The results of statistical analysis showed that there was no significant difference between all the concentrations of silver nanoparticles synthesized for *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* and *Staphylococcus aureus* ($P < 0.05$). The MIC for *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*,

1, 2, 3 and 4. MSc. Student, Assistant Professor, Associate Professor and 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 E-mail: B.alizadeh@asnrukh.ac.ir)

DOI: [10.22067/IFSTRJ.2021.68173.1008](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.2021.68173.1008)

Salmonella typhimurium and *Listeria innocua* was 128, 256, 256, 256 and 512 mg/mm, respectively. The MBC for all the pathogenic strains was 512 mg/mm. The results of this study showed that the *Callistemon citrinus* leaf extract has a good ability to synthesize silver nanoparticles. Nanoparticles synthesized from *Callistemon citrinus* leaf extract had good antimicrobial activity against examined pathogenic bacteria, especially Gram-negative bacteria. Green-synthesized nanoparticles can be used as antimicrobial agent to fight infectious diseases caused by various microbial strains, although more research is needed in vitro, animal models and in vivo.

Keywords: Aqueous extract, *Callistemon citrinus* leaf, Silver nanoparticles, Gram-positive and Gram-negative bacteria.

مقاله علمی-پژوهشی

سنتز سبز نانو ذرات نقره با استفاده از عصاره آبی برگ گیاه شیشه‌شور (*Callistemon citrinus*) و ارزیابی فعالیت ضدباکتریایی آن

زهره سوسنی غریبوند^۱ - بهروز علیزاده بهبهانی^{۲*} - محمد نوشاد^۳ - حسین جوینده^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۳۱

چکیده

امروزه تمایل به تولید و استفاده از مواد با ابعاد نانومتری با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد و جالب این مواد روز به روز در حال افزایش است. تاکنون روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی جهت سنتز نانو ذرات نقره مورد استفاده قرار گرفته است اما استفاده از گیاهان جهت سنتز نانو ذرات نقره بسیار سریع، ساده، غیرسمی و سازگار با محیط زیست است. در این پژوهش، عصاره آبی برگ گیاه شیشه‌شور جهت سنتز زیستی نانو ذرات نقره مورد استفاده قرار گرفت. رنگ محلول نیترات نقره پس از افزودن عصاره به رنگ مایل به قرمز تغییر رنگ داد. فعالیت ضد میکروبی نانو ذرات نقره علیه باکتری‌های گرم مثبت *استافیلوکوکوس اورئوس* و *لیستریا اینوکوا* و باکتری‌های گرم منفی *اشرشیاکلی*، *سودوموناس آئروژینوزا* و *سالمونلا تیفی* با روش‌های انتشار در دیسک، چاهک آگار، حداقل غلظت مهارکنندگی و حداقل غلظت کشندگی مورد بررسی قرار گرفت. حداقل غلظت مهارکنندگی برای باکتری‌های *اشرشیاکلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس*، *سودوموناس آئروژینوزا*، *سالمونلا تیفی*، *لیستریا اینوکوا* به ترتیب ۱۲۸، ۲۵۶، ۲۵۶، ۲۵۶ و ۵۱۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود و حداقل غلظت کشندگی نانو ذرات نقره برای تمامی باکتری‌ها بزرگتر از ۵۱۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود. قطر هاله عدم رشد برای باکتری *سودوموناس آئروژینوزا* (حساس‌ترین سویه) در روش‌های انتشار در دیسک و چاهک آگار در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به ترتیب ۱۳ و ۷/۷۵ میلی‌متر بود. در حالی که قطر هاله عدم رشد برای باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* (مقاوم‌ترین سویه) در روش‌های انتشار در دیسک و چاهک آگار در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به ترتیب ۸ و ۶/۷۵ میلی‌متر بود. نتایج این پژوهش نشان داد که عصاره برگ گیاه شیشه‌شور قادر به سنتز نانو ذرات نقره می‌باشد و نانو ذرات سنتزی فعالیت ضد میکروبی مناسبی بر سویه‌های بیماری‌زا در شرایط برون‌تنی از خود نشان داد.

واژه‌های کلیدی: عصاره آبی، برگ شیشه‌شور، نانو ذرات نقره، باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی.

مقدمه

امروزه فناوری نانو با طیف گسترده‌ای از کاربردهای خود در جنبه‌های مختلفی از زندگی مدرن امروزی مانند زیست‌پزشکی، کشاورزی، مواد غذایی و الکترونیک مورد استفاده قرار گرفته است (Ahluwalia et al., 2018). علم نانو، عمدتاً بر پایه نانو ذرات استوار است. نانو ذرات، موادی با اندازه ۱ تا ۱۰۰ نانومتر و ساختار سه‌بعدی می‌باشند که از اشکال و اندازه مختلفی مانند بلوری، کروی، سوزنی، بی‌شکل و ... برخوردار می‌باشند (Nikbakht; Emrani et al., 2018 and Pourali., 2015). نانو ذرات نقره^۵ در میان تمام نانو ذرات فلزی به دلیل داشتن ویژگی‌های خاص مانند هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، خواص نوری و الکتریکی، فعالیت کاتالیزوری بالا، پایداری شیمیایی و خواص ضد میکروبی مورد توجه بسیاری قرار گرفته‌اند (Rafique et

al., 2019; Rasheed et al., 2017). نانو ذرات نقره دارای خواص ضد میکروبی، ضد قارچی، ضد سرطانی و آنتی‌اکسیدانی می‌باشند (Singh et al., 2015; Dousti et al., 2019). نانو ذرات نقره فعالیت ضد میکروبی بالایی را در غلظت‌هایی که هیچ‌گونه سمیتی برای سلول‌های انسانی ندارد، از خود نشان می‌دهند. از طرفی می‌توانند فعالیت ضد میکروبی آنتی‌بیوتیک‌های معمولی را از طریق اثرات هم افزایی در برابر باکتری‌های مقاوم افزایش دهند (Panacek et al., 2018). از خاصیت ضد میکروبی نانو ذرات نقره در ساخت نسل جدیدی از داروهای ضد میکروبی و بالابردن ایمنی در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود. همچنین از نانو ذرات نقره به همراه آنتی‌بیوتیک جهت جلوگیری از عفونت استفاده می‌شود (Dehghan Nayeri et al., 2018; Pirtarighat et al., 2019).

* ایمیل نویسنده مسئول: (B.alizadeh@asnrukh.ac.ir)

DOI: 10.22067/IFSTRJ.2021.68173.1008

5 Silver nano particles

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار، دانشیار و استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

مواد و روش‌ها

تهیه عصاره آبی برگ گیاه شیشه‌شور

برگ‌های تازه گیاه شیشه‌شور در خرداد ماه ۱۳۹۸ از محوطه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان جمع‌آوری شد. تایید اسم علمی گیاه توسط مرکز هرباریوم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (کد هرباریوم KHAU302) انجام پذیرفت. عصاره آبی برگ شیشه‌شور مطابق با مطالعه سوسنی غریبوند و همکاران (۱۳۹۹)، تهیه شد.

تهیه مواد مصرفی

در این پژوهش نیترا نقره^۴ و محیط‌های کشت مولر هینتون آگار^۵ و مولر هینتون براث^۶ از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. دیسک بلانک (پادتن طب)، توئین ۸۰ (مرک آلمان)، دی‌متیل سولفوکساید^۷ (مرک آلمان) و تری‌فنیل تترازولیوم کلراید^۸ (سیگما-آلدردیج) با درجه آزمایشگاهی تهیه شدند.

تهیه سویه‌های میکروبی

جهت بررسی فعالیت ضد میکروبی نانو ذرات نقره که توسط عصاره برگ گیاه شیشه‌شور سنتز شدند از پنج سویه باکتری بیماری‌زا *Escherichia coli* ATCC 25923، *Staphylococcus aureus* ATCC 25992، *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 و *Salmonella typhi* PTCC و *Listeria innocua* ATCC 33090 استفاده شد.

تهیه استاندارد نیم مک فارلند

ابتدا تمامی سویه‌های میکروبی در محیط کشت مولر هینتون آگار و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت کشت داده شد و سپس سوسپانسیون باکتریایی برابر با کدورت ۰/۵ مک فارلند از آن‌ها تهیه شد (CFU/ml $10^8 \times 1/5$) (Dolatabadi et al., 2017; Sureshjani et al., 2014; Alizadeh Behbahani et al., 2015a,b; Alghooneh et al., 2015).

بیوسنتز سبز نانو ذرات نقره از عصاره برگ گیاه شیشه‌شور

جهت سنتز نانو ذرات نقره، ۲۵ میلی‌لیتر محلول نیترا نقره (مرک، آلمان) را با غلظت ۱ میلی‌مولار به ۵ میلی‌لیتر عصاره برگ با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر افزوده و جهت انجام واکنش به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه نگهداری شد (Karamian et al., 2019).

تاکنون روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی جهت سنتز نانو ذرات نقره مورد استفاده قرار گرفته است (Abbasi et al., 2016). سنتز شیمیایی، به دلیل باقی ماندن مواد شیمیایی خطرناک بر سطح نانو ذرات و نیز تولید فرآورده‌های جانبی با محیط زیست سازگار نمی‌باشد. روش فیزیکی جهت سنتز نانو ذرات نقره نیز دارای اشکالاتی می‌باشد که از آن‌ها می‌توان به نیاز به انرژی، فضا و هزینه بالا اشاره کرد (Pirtarighat et al., 2019). از این رو، روش‌های بیولوژیکی جهت سنتز نانو ذرات نقره به‌عنوان گزینه‌ای اقتصادی و مقرون به صرفه در زمینه شیمی سبز در حال ظهور است (Rolim et al., 2019). در این میان، سنتز نانو ذرات نقره توسط گیاهان بسیار سریع، ساده، قابل اعتماد، غیرسمی و سازگار با محیط زیست است (Rajeshkumar et al., 2017). مزیت استفاده از عصاره گیاهان جهت سنتز نانو ذرات، حضور مولکول‌های زیستی مختلف مانند فلاونوئید^۱، تریپنئوئید^۲، ساپونین^۳ و ... در آن‌ها می‌باشد که می‌توانند به‌عنوان حامل‌های زیست محیطی عمل کنند و به‌طور موثری جهت درمان بیماری‌های مختلف انسان به‌کار برده شوند (Mahadevan et al., 2017; Ahluwalia et al., 2018).

گیاه شیشه‌شور با نام علمی *Callistemon citrinus* متعلق به خانواده Myrtaceae می‌باشد و شامل بیش از ۳۰ گونه است (Balasundaram et al., 2016). این گیاه در مناطق گرمسیری مرطوب به‌ویژه استرالیا، آمریکای جنوبی و نواحی گرمسیری آسیا به‌طور وسیع گسترش یافته اما امروزه در سراسر جهان یافت می‌شود (Mabhiza et al., 2016). گیاه شیشه‌شور، گیاه دارویی بالقوه‌ای می‌باشد که جهت معالجه بیماری‌های دستگاه گوارش و درد و بیماری‌های عفونی ناشی از باکتری، قارچ، ویروس و انگل مورد استفاده قرار می‌گیرد. از عصاره این گیاه جهت درمان برونشیت و مشکلات تنفسی مانند سرفه استفاده می‌شود. گزارش‌ها نشان می‌دهد این گیاه دارای فعالیت ضد میکروبی می‌باشد (Larayetan et al., 2019).

از آنجایی که گیاهان به‌عنوان منابع مناسبی جهت سنتز نانو ذرات نقره محسوب می‌شوند بنابراین در این پژوهش، از عصاره آبی برگ گیاه شیشه‌شور جهت احیای یون‌های نقره موجود در محلول نیترا نقره، استفاده گردید، در ادامه فعالیت ضد میکروبی نانو ذرات سنتز شده به روش‌های متنوع کیفی و کمی بر باکتری‌های *اشرشیاکلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس*، *سودوموناس آئروژینوزا*، *سالمونلا تیفی*، *لیستریا اینوکوا* مورد بررسی قرار گرفت.

5 Mueller hinton agar

6 Mueller hinton broth

7 Dimethyl sulfoxide

8 Triphenyltetrazolium chloride

1 Flavonoids

2 Terpenoid

3 Saponin

4 Silver nitrate

۲۵۶، ۵۱۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)، تهیه شد و سپس از هر غلظت به میزان ۱۰۰ میکرولیتر به داخل خانه‌های میکروپلیت ریخته و پس از آن ۲۰ میکرولیتر سوسپانسیون میکروبی معادل نیم مک فارلند به هر خانه میکروپلیت اضافه شد. محیط کشت بدون تلقیح باکتری به‌عنوان شاهد منفی و محیط کشت همراه با باکتری و بدون تلقیح نانو ذرات به‌عنوان شاهد مثبت در نظر گرفته شد. در ادامه میکروپلیت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انکوبه شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت از گرمخانه‌گذاری ۱۰ میکرولیتر از محلول تری‌فنیل تترازولیوم کلراید با غلظت ۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به خانه‌های میکروپلیت افزوده شد. اولین چاهکی که هیچ‌گونه رشد باکتری در آن مشاهده نشد (تغییر رنگ قرمز یا ارغوانی مشاهده نشد) به‌عنوان حداقل غلظت مهارکنندگی در نظر گرفته شد ([Kiarsi et al., 2020](#); [Haji Rostamloo et al., 2019](#)); [Emrani et al., 2018](#); [Yeganegi et al., 2018](#)).

حداقل غلظت کشندگی نانو ذرات نقره با توجه به نتایج به‌دست آمده از حداقل غلظت مهارکنندگی از رشد در آزمون قبل تعیین شد. ۱۰۰ میکرولیتر از رقت حداقل غلظت مهارکنندگی (چاهک‌هایی که باکتری در آن رشد نکرده بود) و غلظت‌های بیشتر از حداقل غلظت مهارکنندگی درون محیط کشت مولر هیتون آگار کشت داده شد و سپس پتری دیش‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انکوبه شدند. اولین غلظتی از نانوذره که مانع از رشد ۹۹/۹ درصد باکتری‌ها شد به‌عنوان حداقل غلظت کشندگی در نظر گرفته شد ([Dousti et al., 2019](#); [Nayak et al., 2016](#)).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ جهت آنالیز نتایج استفاده گردید. نتایج به‌صورت انحراف معیار \pm میانگین سه تکرار گزارش شدند و از آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی دانکن برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. سطح معنی‌داری در آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

بررسی بیوستتز نانو ذرات نقره و طیف سنجی مرئی-فرابنفش

احیای یون‌های نقره به نانو ذرات نقره با تغییر رنگ محلول و طیف‌سنجی انجام شد. رنگ محلول پس از اضافه شدن محلول نیترات نقره به عصاره گیاهی به رنگ مایل به قرمز تغییر نمود. این تغییر رنگ نشان‌دهنده احیای نیترات نقره و تشکیل نانو ذرات نقره در محلول می‌باشد. **شکل ۱**، تایید سنتز نانو ذرات نقره با تغییر رنگ محلول را نشان داده است. در این مطالعه احیای زیستی یون نقره به نانو ذرات نقره توسط طیف‌سنجی مرئی-فرابنفش و پس از رقت‌سازی نمونه با

تغییر رنگ محلول به رنگ مایل به قرمز نشان‌دهنده تولید نانو ذرات نقره در محلول می‌باشد ([Emrani et al., 2018](#)).

آنالیز طیف‌سنجی مرئی-فرابنفش

جهت تثبیت وجود نانو ذرات نقره، طیف جذبی نانو ذرات نقره تولید شده توسط دستگاه اسپکتوفتومتر تهیه شد. جهت انجام این کار، در زمان‌های مختلف نمونه‌گیری انجام شد و قبل از خشک شدن نمونه در محدوده ۴۲۰ تا ۴۵۰ نانومتر جذب نمونه قرائت شد. این محدوده طول موج مربوط به عنصر نقره است و بسته به شکل و اندازه نانو ذرات در طیف وسیعی نوسان مشاهده شد ([Karamian et al., 2019](#)).

ارزیابی فعالیت ضد میکروبی نانو ذرات نقره

انتشار در آگار به کمک دیسک

جهت انجام این آزمون ابتدا ۱۰۰ میکرولیتر سوسپانسیون میکروبی روی سطح محیط کشت مولر هیتون آگار تهیه شده از قبل، کشت داده شد. دیسک‌های کاغذی با غلظت‌های ۱۸/۷۵، ۳۷/۵، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نانو ذرات نقره آغشته شد و با فواصل معینی در سطح محیط کشت قرار داده شدند. در نهایت پلیت‌های تلقیح شده در انکوباتور با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از گذشت مدت زمان ۲۴ ساعت قطر هاله عدم رشد در اطراف دیسک‌ها برحسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد ([Dehghan Nayeri et al., 2018](#)); [Rasheed et al., 2017](#); [Alizadeh Behbahani et al., 2013](#)).

انتشار در آگار به کمک چاهک

در روش چاهک آگار، ابتدا چاهک‌هایی به عمق ۶ میلی‌متر روی سطح محیط کشت مولر هیتون آگار ایجاد شد. سوسپانسیون میکروبی معادل نیم مک فارلند روی سطح محیط کشت به‌صورت متراکم پخش شد. ۵۰ میکرولیتر از نانو ذرات سنتز شده با غلظت‌های ۱۸/۷۵، ۳۷/۵، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر درون چاهک‌ها ریخته شد. در نهایت پتری‌دیش‌ها به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور با دمای ۳۷ درجه قرار داده شد و پس از ۲۴ ساعت قطر هاله عدم رشد در اطراف چاهک‌ها با خط‌کش بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد ([Alizadeh Behbahani et al., 2019](#); [Gomathi et al., 2017](#)).

تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی (MIC^۱) و حداقل غلظت

باکتری‌کش (MBC^۲) نانو ذرات نقره

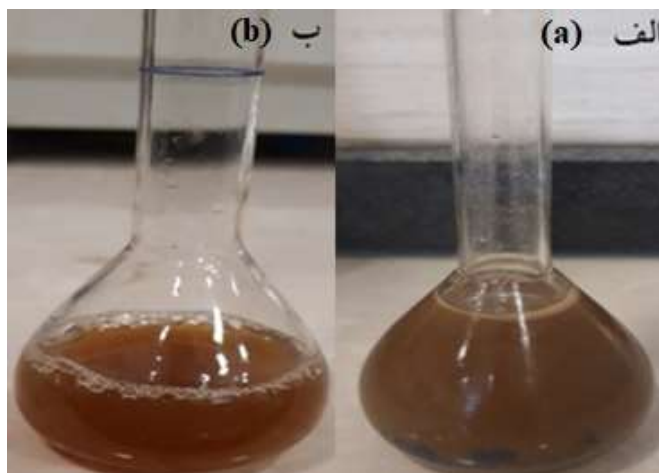
جهت تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی از پلیت ۹۶ خانه استریل و روش میکرودايلوشن برات استفاده شد. جهت انجام این آزمون ابتدا غلظت‌های سریالی از نانو ذرات نقره (۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴، ۱۲۸،

2 Minimum bactericidal concentration

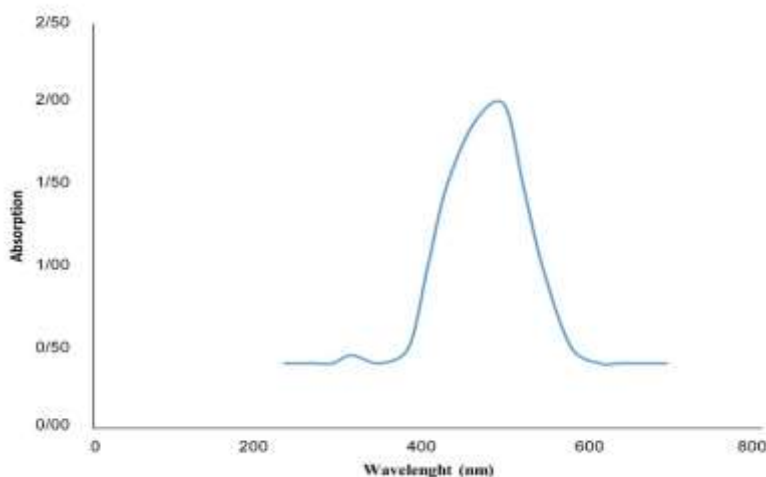
1 Minimum inhibitory concentration

تغییر می‌کند. طیف مرئی- فرابنفش نانو ذرات سنتز شده در شکل ۲، نشان داده شده است.

آب دیونیزه کنترل شد. پیک جذب نانو ذرات نقره حدوداً در طول موج ۴۳۰ نانومتر می‌باشد که بسته به شرایط و سایز ذرات، محل پیک جذبی



شکل ۱- تایید نانو ذرات سنتز شده از عصاره برگ گیاه شیشه‌شور (الف) عصاره برگ (ب) عصاره تیمار شده با نیترات نقره.
Fig. 1. Confirmation of nanoparticles synthesized from Callistemon citrinus leaf extract a) Leaf extract b) Extract treated with silver nitrate.



شکل ۲- طیف سنجی UV-vis نانو ذرات سنتز شده از عصاره برگ گیاه شیشه‌شور در محدوده طول موج ۲۰۰-۶۰۰ نانومتر.
Fig. 2. UV-vis spectrum of nanoparticles synthesized from the Callistemon citrinus leaf extract in the wavelength range of 200-600nm.

در تمامی غلظت‌های مورد بررسی هاله بازدارندگی برای تمامی سویه‌های بیماری‌زا مشاهده شد. مقایسه آماری دوتایی میان غلظت‌های مختلف نانو ذرات سنتزی برای باکتری *اشرشیاکلی* نشان داد که غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر با سایر غلظت‌ها (۱۸/۷۵، ۳۷/۵ و ۷۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارد اما میان غلظت‌های ۳۷/۵ و ۷۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و همچنین غلظت‌های ۱۸/۷۵ و ۳۵/۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج نشان داد میان غلظت‌های ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و

بررسی فعالیت ضد میکروبی نانو ذرات نقره بیوسنتز شده توسط عصاره برگ گیاه شیشه‌شور

نتایج بررسی فعالیت ضد میکروبی نانو ذرات سنتز شده از عصاره برگ گیاه شیشه‌شور به روش انتشار در دیسک بر باکتری‌های بیماری‌زا در جدول ۱، آورده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانو ذرات نقره قطر هاله عدم رشد افزایش پیدا کرد. بیشترین تاثیر نانو ذرات نقره سنتز شده با استفاده از عصاره آبی برگ شیشه‌شور در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر برای باکتری *سودوموناس اثرورینوزا* مشاهده شد.

غلظت‌های ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و همچنین ۱۸/۷۵ و ۳۷/۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر برای باکتری گرم مثبت *استافیلوکوکوس اورئوس* اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد اما میان غلظت‌های ۳۷/۵ و ۷۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در سطح آماری ۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. برای باکتری گرم مثبت *لیستریا اینوکوا* در تمامی غلظت‌ها به جز غلظت‌های ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر اختلاف معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد مشاهده نشد.

همچنین ۳۷/۵ و ۷۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نانو ذرات نقره بیوسنتزی برای باکتری *سودوموناس آئروژینوزا* اختلاف معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد وجود داشت در حالی که میان غلظت‌های ۱۸/۷۵ و ۳۷/۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج نشان داد که برای باکتری گرم منفی *سالمونلا تیفی* در سطح آماری ۵ درصد میان غلظت‌های ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر اختلاف معنی‌داری وجود دارد در حالی که میان غلظت‌های ۱۸/۷۵ و ۳۷/۵ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. براساس آنالیز آماری مشخص گردید میان

جدول ۱- میانگین قطر هاله عدم رشد (میلی‌متر) نانو ذرات نقره بیوسنتز شده توسط عصاره برگ شیشه‌شور به روش انتشار در دیسک باکتری‌های بیماری‌زا

Table 1- Mean inhibition zone diameters (mm) silver nanoparticles biosynthesized by *Callistemon citrinus* leaf extract by disk diffusion method of pathogenic bacteria

| Concentration(mg/ml) | | | | Bacteria |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 150 | 75 | 37/5 | 18/75 | |
| 8/75±0/25 ^{Ba} | 7/50±0/50 ^{Cb} | 7/25±0/75 ^{Bb} | 6/75±0/25 ^{BCb} | <i>Escherichia coli</i> |
| 13/00±0/05 ^{Aa} | 11/00±1/00 ^{Ab} | 8/50±0/50 ^{Ac} | 7/50±0/50 ^{Ac} | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> |
| 12/00±1/00 ^{Aa} | 9/00±1/00 ^{Bb} | 7/50±0/50 ^{Bc} | 7/50±0/50 ^{ABc} | <i>Salmonella typhi</i> |
| 8/05±0/05 ^{Ba} | 8/00±0/50 ^{BCa} | 6/75±0/25 ^{Bb} | 6/25±0/25 ^{Cb} | <i>Staphylococcus aureus</i> |
| 8/25±0/25 ^{Ba} | 7/25±0/25 ^{Cb} | 7/00±0/50 ^{Bb} | 6/75±0/25 ^{BCb} | <i>Listeria innocua</i> |

نتایج به صورت "انحراف معیار ± میانگین" سه تکرار (n=۳) گزارش شده‌اند.

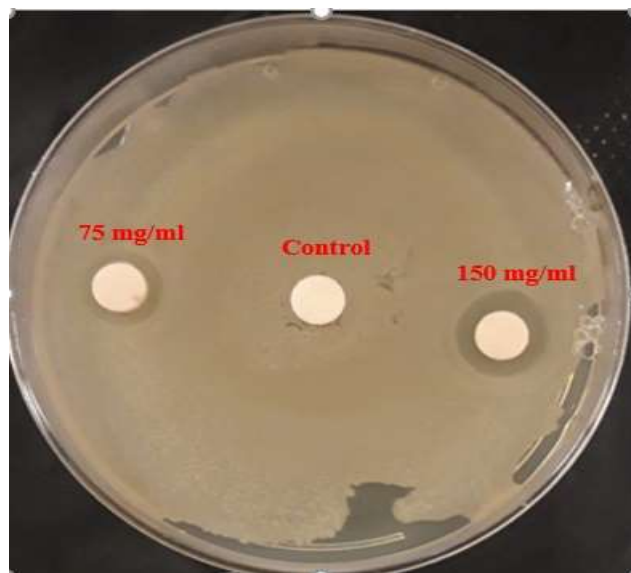
حروف غیر مشابه کوچک (a, b, c) در یک ردیف نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ میان غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره است.

حروف غیر مشابه بزرگ (A, B, C) در یک ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ میان باکتری‌های مختلف است.

Values are expressed as mean ± standard deviations, n = 3

Different letters (a, b and c) in each row show a significant difference at $P < 0.05$ between different concentrations of silver nanoparticles.

Different letters (A, B and C) in each column show a significant difference at $P < 0.05$ between different bacteria.



شکل ۳- اثر ضد میکروبی نانو ذرات نقره بر *سودوموناس آئروژینوزا* به روش انتشار در دیسک در غلظت‌های ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر.

Fig. 3. Antimicrobial effect of silver nanoparticles on *Pseudomonas aeruginosa* by disk diffusion at concentrations of 75 and 150 mg/ml.

جدول ۲- میانگین قطر هاله عدم رشد (میلی‌متر) نانو ذرات نقره بیوسنتز شده توسط عصاره برگ شیشه‌شور به روش چاهک آگار بر باکتری‌های بیماری‌زا

Table 2- Mean inhibition zone diameters (mm) silver nanoparticles biosynthesized by *Callistemon citrinus* leaf extract by well diffusion agar method of pathogenic bacteria

| Concentration(mg/ml) | | | Bacteria | |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------|-------------------------------|
| 150 | 75 | 37/5 | 18/75 | |
| 7/00±0/50 ^{Ba} | 6/75±0/25 ^{ABa} | 6/50±0/50 ^{Aa} | - | <i>Escherichia coli</i> |
| 7/75±0/25 ^{Aa} | 7/25±0/20 ^{Ab} | 6/75±0/35 ^{Ab} | - | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> |
| 7/00±0/50 ^{Ba} | 6/75±0/25 ^{ABa} | 6/40±0/10 ^{Aa} | - | <i>Salmonella typhi</i> |
| 6/75±0/25 ^{Ba} | 6/50±0/50 ^{Ba} | 6/25±0/55 ^{Aa} | - | <i>Staphylococcus aureus</i> |
| 7/75±0/25 ^{Aa} | 6/75±0/25 ^{ABb} | 6/40±0/10 ^{Ab} | - | <i>Listeria innocua</i> |

نتایج به صورت "انحراف معیار ± میانگین" سه تکرار (n=3) گزارش شده‌اند.

حروف غیر مشابه کوچک (a, b و c) در یک ردیف نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ میان غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره است. حروف غیر مشابه بزرگ (A, B و C) در یک ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح $p < 0.05$ میان باکتری‌های مختلف است.

Values are expressed as mean ± standard deviations, n = 3

Different letters (a, b and c) in each row show a significant difference at $P < 0.05$ between different concentrations of silver nanoparticles.

Different letters (A, B and C) in each column show a significant difference at $P < 0.05$ between different bacteria.

لیستریا/اینوکوا اختلاف معنی‌داری وجود ندارد در حالی که میان غلظت-های ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد.

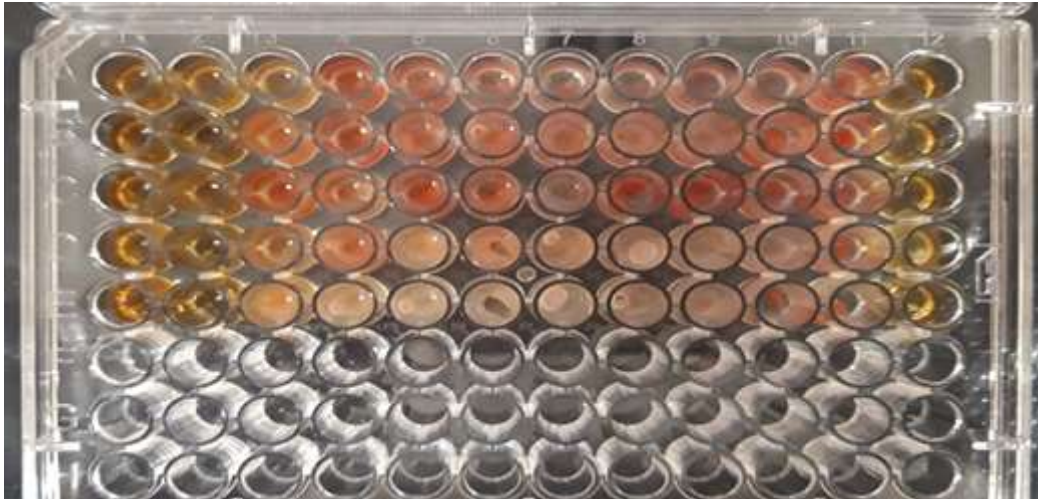
نتایج حاصل از تعیین حداقل غلظت بازدارندگی از رشد و حداقل غلظت کشندگی نانو ذرات نقره سنتز شده از عصاره برگ گیاه شیشه‌شور بر باکتری‌های بیماری‌زا در **جدول ۳**، آورده شده است. نتایج نشان داد که حداقل غلظت مهارکنندگی برای باکتری‌های *اشرشیا کلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس*، *سودوموناس ائروژینوزا*، *سالمونلا تیفی* و *لیستریا اینوکوا* به ترتیب ۱۲۸، ۲۵۶، ۲۵۶، ۲۵۶ و ۵۱۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود. نتایج حداقل غلظت کشندگی برای تمامی سویه‌های بیماری‌زا نیز بزرگتر از ۵۱۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود. در **شکل ۳**، نمایی از حداقل غلظت بازدارندگی از رشد نانو ذرات نقره سنتز شده بر سویه‌های میکروبی نشان داده شده است.

در **شکل ۲**، نمایی از اثر نانو ذرات نقره بیوسنتز شده با استفاده از عصاره آبی برگ گیاه شیشه‌شور بر باکتری گرم منفی *سودوموناس ائروژینوزا* آورده شده است. نتایج بررسی فعالیت ضد میکروبی نانو ذرات سنتز شده از عصاره برگ گیاه شیشه‌شور به روش چاهک آگار بر باکتری‌های بیماری‌زا در **جدول ۲**، آورده شده است. نتایج نشان داد ذرات نانو نقره بیوسنتزی در غلظت ۱۸/۷۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بر هیچ کدام از سویه‌های میکروبی بیماری‌زا اثر بازدارندگی از خود نشان نداد. نتایج آنالیز آماری نشان داد که میان تمامی غلظت‌های نانو ذرات نقره سنتز شده برای باکتری‌های *اشرشیا کلی*، *سالمونلا تیفی* و *استافیلوکوکوس اورئوس* در سطح آماری ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. نتایج آنالیز آماری نشان داد که میان غلظت‌های ۳۷/۵ و ۷۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر برای باکتری‌های *سودوموناس ائروژینوزا* و

جدول ۳- حداقل غلظت مهارکنندگی (MIC) و حداقل غلظت کشندگی (MBC) نانو ذرات نقره بیوسنتز شده توسط عصاره برگ شیشه‌شور بر باکتری‌های بیماری‌زا

Table 3- Minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) silver nanoparticles biosynthesized by *Callistemon citrinus* leaf extract of pathogenic bacteria

| MBC (mg/ml) | MIC (mg/ml) | Bacteria |
|-------------|-------------|-------------------------------|
| >512 | 128 | <i>Escherichia coli</i> |
| >512 | 256 | <i>Staphylococcus aureus</i> |
| >512 | 256 | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> |
| >512 | 256 | <i>Salmonella typhi</i> |
| >512 | 512 | <i>Listeria innocua</i> |



شکل ۴- نمایشی از تعیین حداقل غلظت بازدارندگی نانو ذرات نقره بیوسنتز شده توسط عصاره برگ شیشه‌شور به روش میکروداایلوشن برات بر باکتری‌های بیماری‌زا.

Fig. 4. The MIC of silver nanoparticles biosynthesized by *Callistemon citrinus* leaf extract by microdilution broth method

تماس نانو ذرات نقره با میکروارگانیسم‌ها، منجر به آزاد شدن رادیکال‌های آزاد می‌شود. رادیکال‌های آزاد توانایی آسیب رساندن به غشا سلولی و ایجاد اختلال در آن را دارند و در نهایت منجر به مرگ سلول می‌شوند. همچنین مطرح شده است یون‌های نقره با گروه تیول بسیاری از آنزیم‌های حیاتی در تعامل می‌باشند و آن‌ها را غیرفعال می‌کنند. یون نقره از طریق دیواره سلولی به باکتری نفوذ کرده و در نتیجه با پارگی دیواره سلولی منجر به دنا توره شدن پروتئین و مرگ سلول باکتریایی می‌شود. همچنین نانو ذرات می‌توانند انتقال سیگنال در باکتری را تعدیل کنند. این واقعیت به اثبات رسیده است که فسفریلاسیون بسترهای پروتئین در باکتری، انتقال سیگنال‌های باکتریایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. دفسفریلاسیون فقط در باقی‌مانده تیروزین باکتری‌های گرم منفی مشاهده می‌شود. مشخصات فسفو تیروزین پپتیدهای باکتریایی، توسط نانو ذرات تغییر می‌کند و همچنین نانو ذرات، بسترهای پپتیدی را روی باقی‌مانده‌های تیروزین دفسفریله می‌کنند که این امر منجر به مهار انتقال سیگنال و در نتیجه توقف رشد میکروارگانیسم‌ها می‌شود (Prabhu and Poulouse, 2012; Arokiyaraj et al., 2014).

Azizian Shermeh و همکاران (۲۰۱۷)، اثر ضد میکروبی نانو ذرات سنتز شده از عصاره آبی گیاه آقطی (*Sambucus ebulus* L.) را بر *استافیلوکوکوس اورئوس*، *باسیلوس سرئوس*، *اشرشیاکلی* و *سودوموناس آئروژینوزا* مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که نانو ذرات نقره بیشترین تاثیر را روی باکتری *اشرشیاکلی* با قطر هاله عدم رشد ۲۲ میلی‌متر و حداقل غلظت بازدارندگی از رشد ۳/۱۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر و کمترین تاثیر را بر *استافیلوکوکوس اورئوس* با قطر هاله عدم رشد ۱۷ میلی‌متر و حداقل غلظت بازدارندگی از رشد ۲۵

در این پژوهش از عصاره گیاه شیشه‌شور جهت سنتز نانو ذرات نقره به روش احیای زیستی استفاده شد. گیاه شیشه‌شور حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، فنولی و فلاونوئیدی فراوانی می‌باشد (Sosani, 2020; Gharihvand et al., 2020). این ترکیبات در احیای یون‌های فلزی و تبدیل آن‌ها به نانو ذرات فلزی نقش مهمی دارند (Azizian, 2017; Shermeh et al., 2017). در اثر برهمکنش عصاره گیاه با محلول نیترات نقره رنگ محلول واکنش به رنگ مایل به قرمز تغییر رنگ داد این تغییر رنگ اولین نشانه از سنتز نانو ذرات نقره محسوب می‌شود و با نتایج سایر پژوهشگران مشابه بود (Tolouietabar and Hatamnia, 2017; et al., 2017). تغییر رنگ مربوط به پدیده پلاسمون رزونانس سطحی (Surface Plasmon Resonance) می‌باشد که به القای الکترون آزاد در نانو ذرات نسبت داده می‌شود (Paosen et al., 2017). طیف مرئی-فرابنفش نشان داد در طول موج ۴۳۰ نانومتر افزایش ارتعاشات پلاسمون سطحی اتفاق افتاد. وجود پیک نانو ذرات نقره در طول موج ۴۳۰ نانومتر با نتایج سایر پژوهشگران همخوانی داشت (Dousti et al., 2019; Kavooosi and Yaghoubi, 2017).

فعالیت ضد میکروبی نانو ذرات سنتز شده بر پنج سویه میکروبی مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد نانو ذرات در غلظت‌های به کار رفته دارای اثرات ضد میکروبی متفاوت می‌باشد. اثر مهارکنندگی نانو ذرات نقره بر باکتری‌های گرم منفی نسبت به باکتری‌های گرم مثبت بیشتر بود. نانو ذرات با مکانیسم‌های مختلفی از جمله تداخل در سنتز دیواره سلولی، مهار سنتز پروتئین، تداخل در سنتز نوکلئیک اسید و مهار مسیرهای متابولیکی به عنوان عوامل ضد میکروبی عمل کنند (Guzman et al., 2012; Dhand et al 2016). مطالعاتی که توسط طیف سنجی رزونانس چرخش الکترونی، انجام شده است، نشان می‌دهد

گرم منفی اثر مهارى بیشتری نسبت به باکتری‌های گرم مثبت داشت. در مطالعه حاضر نیز فعالیت ضد میکروبی نانو ذرات نقره بر باکتری‌های گرم منفی بیشتر از باکتری‌های گرم مثبت بود.

عصاره گیاه سارتری پانیکولاتا و فعالیت ضد میکروبی آن را بر *استافیلوکوکوس اورئوس*، *کلیسیلا پنومونیه* و *سودوموناس آئروژینوزا* مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد اثر ضد میکروبی نانو ذرات نقره بر *سودوموناس آئروژینوزا* با قطر هاله عدم رشد $18/80 \pm 0/72$ میلی‌متر بیشتر از *استافیلوکوکوس اورئوس* با قطر هاله عدم رشد $14/67 \pm 0/35$ میلی‌متر بود. باکتری‌های گرم منفی *سودوموناس آئروژینوزا* و *کلیسیلا پنومونیه* نسبت به *استافیلوکوکوس اورئوس* حساس تر بود. در پژوهش ما نیز اثر ضد میکروبی نانو ذرات نقره بر باکتری *سودوموناس آئروژینوزا* با قطر هاله عدم رشد ۱۳ میلی‌متر بیشتر از سایر باکتری‌ها بود. نتایج یافته‌های مطالعه حاضر با این پژوهشگران همخوانی داشت. *Paosen* و همکاران (۲۰۱۷) فعالیت ضد میکروبی نانو ذرات سنتز شده از عصاره برگ گیاهان خانواده Myrtaceae را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد حداقل غلظت بازدارندگی و حداقل غلظت کشندگی بر باکتری‌های *انتروکوکوس فکالیس*، *استافیلوکوکوس اورئوس*، *آسیتوباکتریومانی*، *اشرشیا کلی*، *کلیسیلا پنومونیه* و *سودوموناس آئروژینوزا* به ترتیب بین $62/5-7/8$ و $62/5-12/5$ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود. *Erjaee* و همکاران (۲۰۱۷) اثر ضد میکروبی نانو ذرات نقره سنتز شده از عصاره *Chamaemelum nobile* را بر *اشرشیا کلی*، *سالمونلا تیفی موربوم*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *باسیلوس سوبتیلیس* مورد بررسی قرار دادند. قطر هاله عدم رشد به ترتیب $14/3$ ، 13 و $14/3$ میلی‌متر و مقادیر حداقل غلظت بازدارندگی نیز به ترتیب $7/8$ ، $7/8$ و $31/2$ و $15/6$ میکروگرم بر میلی‌لیتر ثبت شد. نتایج نشان داد فعالیت ضد میکروبی نانو ذرات نقره بر باکتری‌های گرم منفی (*اشرشیا کلی* و *سالمونلا تیفی موربوم*) نسبت به باکتری‌های گرم مثبت (*استافیلوکوکوس اورئوس* و *باسیلوس سوبتیلیس*) بیشتر بود. نتایج یافته‌های مطالعه حاضر با این پژوهشگران همخوانی داشت.

Larayetan و همکاران (۲۰۱۹) اثر ضد میکروبی نانو ذرات سنتز شده از عصاره برگ *Callistemon citrinus* را بر گروهی از باکتری‌ها مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد نانو ذرات سنتز شده از قسمت گل گیاه در غلظت $62/5$ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بیشترین فعالیت بازدارندگی را علیه *اشرشیا کلی* و کمترین فعالیت بازدارندگی را علیه *استافیلوکوکوس اورئوس* نشان دادند. اختلافات مشاهده شده در خواص ضد میکروبی نانو ذرات نقره مختلف سنتز شده ممکن است به دلیل تغییر در ترکیبات شیمیایی قسمت‌های مختلف گیاه همراه با برخی از ترکیبات فعال زیستی مانند آلکالوئیدها، تانن‌ها، ترپنوئیدها، اتر و ترکیبات فنلی مانند فلاونوئیدها باشد. در مطالعه حاضر نیز کمترین اثر

میکروگرم بر میلی‌لیتر داشتند. در پژوهش حاضر نیز باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* مقاوم‌ترین باکتری بود. نتایج یافته‌های مطالعه حاضر با این پژوهشگران همخوانی داشت. *Mafakheri* و همکاران (۲۰۱۷) اثر ضد میکروبی نانو ذرات سنتز شده توسط عصاره متانولی میخک هندی را بر باکتری *باسیلوس سوبتیلیس*، *اشرشیا کلی* و *استافیلوکوکوس اورئوس* را به روش چاهک در آگار مورد ارزیابی قرار دادند. قطر هاله عدم رشد در غلظت 50 میکرولیتر نانو ذرات برای باکتری‌های *باسیلوس سوبتیلیس*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشرشیا کلی* به ترتیب $10/5$ و $10/725$ میلی‌متر محاسبه شد. نتایج این پژوهشگران نشان داد، نانو ذرات نقره حاصل از عصاره متانولی میخک روی هر دو گونه باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی اثر باکتروسییدی داشت، با این وجود باکتری گرم منفی *اشرشیا کلی* حساسیت بیشتری از باکتری گرم مثبت *باسیلوس سوبتیلیس* نشان داد و هاله عدم رشد بزرگتری ایجاد کرد. نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد که باکتری‌های گرم منفی دارای قطر هاله عدم رشد بیشتری نسبت به باکتری‌های گرم مثبت بودند.

Haji Rostamloo و همکاران (۲۰۱۹) اثر ضد میکروبی نانو ذرات سنتز شده از عصاره مریم گلی بر *اشرشیا کلی*، *لیستریا مونوسیتوژنز* و *سالمونلا تیفی موربوم* را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد، مقادیر حداقل غلظت بازدارندگی از رشد در برابر پاتوژن‌های آزمایشی در محدوده $62/5-3/12$ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. *لیستریا مونوسیتوژنز* با بالاترین مقدار حداقل غلظت بازدارندگی از رشد، کمترین حساسیت را در بین باکتری‌های مورد آزمایش نشان داد. حداقل غلظت کشندگی برای تمامی باکتری‌ها $62/5$ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. *Karamian* و همکاران (۲۰۱۹) اثر ضد میکروبی نانو ذرات سنتز شده از عصاره آبی بذر زیره سبز بر باکتری‌های *باسیلوس سرئوس*، *استافیلوکوکوس اورئوس*، *اشرشیا کلی* و *سودوموناس آئروژینوزا* را به روش انتشار در دیسک مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد، نانو ذرات نقره سنتز شده فعالیت ضد میکروبی بیشتری در برابر باکتری‌های گرم منفی داشتند و باکتری‌های گرم مثبت در برابر نانو ذرات نقره مقاومت نشان داده و مقاوم‌ترین باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* بود. در پژوهش حاضر نیز *استافیلوکوکوس اورئوس* مقاوم‌ترین میکروارگانیسم بود. نتایج یافته‌های مطالعه حاضر با این پژوهشگران همخوانی داشت.

Suddin و همکاران (۲۰۱۶) اثر ضد میکروبی نانو ذرات سنتز شده از عصاره برگ *Callistemon viminalis* بر *کلیسیلا پنومونیه*، *سالمونلا تیفی موربوم*، *اشرشیا کلی* و *استافیلوکوکوس اورئوس* مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد نمونه سوم با اندازه متوسط 12 نانومتر دارای قوی‌ترین اثر ضد میکروبی بر باکتری‌های مورد آزمایش بود (حداقل غلظت بازدارنده از رشد $10/61$ و حداقل غلظت کشندگی $21/23$ میکروگرم بر میلی‌لیتر). نانو ذرات نقره در تمامی نمونه‌ها بر باکتری‌های

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که عصاره برگ گیاه شیشه‌شور از توانایی مناسبی جهت سنتز نانو ذرات نقره برخوردار می‌باشد. نانو ذرات سنتز شده از برگ گیاه شیشه‌شور فعالیت ضد میکروبی مناسبی بر باکتری‌های بیماری‌زا به ویژه باکتری‌های گرم منفی داشت. نانو ذرات سنتز شده به روش سبز می‌توانند به‌عنوان ماده ضد میکروبی جهت مبارزه با بیماری‌های عفونی ناشی از سویه‌های مختلف میکروبی استفاده شود، هر چند در ادامه لازم است پژوهش‌های گسترده‌تری در شرایط آزمایشگاهی، مدل حیوانی و درون تنی انجام گیرد.

تشکر و قدردانی

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

بازدارندگی در روش انتشار در دیسک و چاهک آگار بر باکتری گرم مثبت *استافیلوکوکوس اورئوس* مشاهده شد. [Behravan](#) و همکاران (۲۰۱۹) فعالیت ضد میکروبی نانو ذرات نقره را در غلظت‌های (۱، ۳، ۵ میلی‌مولار) را بر *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشرشیا کلی* به روش انتشار در دیسک مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده نشان داد اثر ضد میکروبی نانو ذرات نقره بر باکتری‌های گرم منفی بیشتر از باکتری‌های گرم مثبت بود که با افزایش غلظت و تعداد نانو ذرات، مهار کامل رشد باکتری اتفاق افتاد. در باکتری گرم منفی *اشرشیا کلی* نانو ذرات نقره مانع از جذب و آزاد شدن فسفات، مانیتول، پرولین، گلوتامین و سوکسینات از سلول این باکتری می‌شوند تمایل زیاد ذرات نقره به گوگرد و فسفر در غشای سلولی دلیل اصلی خاصیت ضدباکتریایی آن است. نانو ذرات نقره با پروتئین‌های حاوی گوگرد در داخل یا خارج غشای سلول واکنش می‌دهند که بر بقای سلول‌ها تأثیر می‌گذارد. نتایج یافته‌های مطالعه حاضر با این پژوهشگران همخوانی داشت.

منابع

- Abbasi, E., Milani, M., Fekri Aval, S., Kouhi, M., Akbarzadeh, A., Tayefi Nasrabadi, H., & Samiei, M., (2016). Silver nanoparticles: synthesis methods, bio-applications and properties. *Critical Reviews in Microbiology*, 42(2), 173-180. <https://doi.org/10.3109/1040841X.2014.912200>
- Ahluwalia, V., Elumalai, S., Kumar, V., Kumar, S., & Sangwa, R. S., (2018). Nano silver particle synthesis using *Swertia paniculata* herbal extract and its antimicrobial activity. *Microbial Pathogenesis*, 114, 402-408. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.11.052>
- Alghooneh, A., Alizadeh Behbahani, B., Noorbakhsh, H., Tabatabaei Yazdi, F. (2015). Application of intelligent modeling to predict the population dynamics of *Pseudomonas aeruginosa* in Frankfurter sausage containing *Satureja bachtiarica* extracts. *Microbial Pathogenesis*, 85, 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2015.06.003>
- 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), 875-83. <https://doi.org/10.5219/1226>
- Alizadeh Behbahani, B., Tabatabaei Yazdi, F., Mortazavi, SA., Zendeboodi, F., Gholian, MM., Vasiee, A. (2013). Effect of aqueous and ethanolic extract of *Eucalyptus camaldulensis* L. on food infection and intoxication microorganisms "in vitro". *Journal of Paramedical Sciences*, 4(3), 89-99. <https://doi.org/10.22037/jps.v4i3.4666>
- Alizadeh Behbahani, B., Tabatabaei Yazdi, F., Noorbakhsh, H., Riazi, F., Jajarmi, A., Tabatabaei Yazdi, F. (2016). Study of the antibacterial activity of methanolic and aqueous extracts of *Myrtus communis* on pathogenic strains causing infection. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*, 18(2), e5989. doi: 10.17795/zjrms-5989
- Alizadeh Behbahani, B., Tabatabaei Yazdi, F., Shahidi, F., & Riazi, F. (2016). Antifungal Effect of the Aqueous and Ethanolic *Avicennia marina* Extracts on *Alternaria citri* and *Penicillium digitatum*. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*, 18(2), e5992. doi: 10.17795/zjrms-5992
- Arokiyaraj, S., Arasu, MV., Vincent, S., Prakash, NU., Choi, SH., Oh, YK., Choi, KC., & Kim, KH., (2014). Rapid green synthesis of silver nanoparticles from *Chrysanthemum indicum* L and its antibacterial and cytotoxic effects: an in vitro study. *International Journal of Nanomedicine*, 9, 379-378.
- Azizian Shermeh, O., Valizadeh, J., Noroozifar, M., & Qasemi, A., (2016). Investigating the Antimicrobial Activities of Silver Nanoparticles Biosynthesized by Aqueous Extract of *Sambucus ebulus* L. *Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences*, 24(5), 92-108. [In Persian].
- Balasundaram, A., Ragupathy, R., Sankar, S., Thiyagarajan, M., Ravi, L., Karuppasamy, R., & Veerappapillai, S., (2016). Investigation of Phytochemicals and Computational Approach for the Evaluation of Therapeutic Properties of Ethanolic Leaf Extract of *Callistemon citrinus*. *International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 37(1), 110-116. DOI: 10.2147/IJN.S53546

11. Behravan, M., Panahi, A.H., Naghizadeh, A., Ziaee, M., Mahdavi, R., & Mirzapour, A., (2019). Facile green synthesis of silver nanoparticles using *Berberis vulgaris* leaf and root aqueous extract and its antibacterial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124, 148-54. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.101>
12. Dehghan Nayeri, F., Mirhosseini, M., Mafakheri, S., & Zarrabi, M.M., (2018). Antibacterial and antifungal effects of silver nanoparticles synthesized by the aqueous extract of sesame (*Sesamum indicum L.*). *Journal of Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(1), 16-26. [In Persian].
13. Dhand, V., Soumya, L., Bharadwaj, S., Chakra, S., Bhatt, D., & Sreedhar, B., (2016). Green synthesis of silver nanoparticles using *Coffea arabica* seed extract and its antibacterial activity. *Materials Science and Engineering: C*, 58, 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.08.018>
14. Dolatabadi, S., Emrani, S., Mehrafuz, E., & Zhiani, R., (2017). Green synthesis and antibacterial effect of silver nanoparticles using *Eucalyptus camaldulensis*. *Journal of Neyshabur University of Medical Sciences*, 5(3), 74-85. [In Persian].
15. Dousti, B., Nabipour, F., & Hajiamraei, A., (2019). Green synthesis of silver nanoparticle by using the aqueous extract of *Fumaria Parviflora* and investigation of their antibacterial and antioxidant activities. *Razi Journal of Medical Sciences*, 26(6), 105-117. [In Persian].
16. Emrani, Sh., Zhiani, R., & DafeJafari, M., (2018). The Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Plants of *Glycyrrhiza glabra* and *Mentha Piperata* and Its Antimicrobial Effect on Some Bacterias That Cause Tooth Decay. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 16(10), 953-968. [In Persian].
17. Erjaee, H., Rajaian, H., & Nazifi, S., (2017). Synthesis and characterization of novel silver nanoparticles using *Chamaemelum nobile* extract for antibacterial application. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 8(2), 1-9.
18. Gomathi, M., Rajkumar, P.V., Prakasam, A., & Ravichandran, K., (2017). Green synthesis of silver nanoparticles using *Datura stramonium* leaf extract and assessment of their antibacterial activity. *Resource-Efficient Technologies*, 3(3), 280-4. <https://doi.org/10.1016/j.refit.2016.12.005>
19. Guzman, M., Dille, J., & Godet, S., (2012). Synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles against gram-positive and gram-negative bacteria. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 8(1), 37-45. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2011.05.007>
20. Haji Rostamloo, B., Zhiyani, R., Omrani, Sh., (2019). Biosynthesis of Silver Nanoparticles by *Salvia officinalis* Extract and Evaluation of their Antioxidant and Antimicrobial Activity Against Bacteria of Food Corruption. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 11(2), 107-118. [In Persian].
21. Karamian, R., & Kamalnejade, J., (2019). Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous seed extract of *Cuminum cyminum L.* and evaluation of their biological activities. *Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences*, 10;26(5), 128-41. [In Persian].
22. Kavooosi, S., & Yaghoubi, H., (2017). Synthesis of silver nanoparticles using green method of plant extract European marjoram (*Origanum majorana*) and their antibacterial effects. *Journal of Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology)*, 30(2), 161-173. [In Persian].
23. Kiarsi, Z., Hojjati, M., Alizadeh Behbahani, B., Noshad, M. (2020). In vitro antimicrobial effects of *Myristica fragrans* essential oil on foodborne pathogens and its influence on beef quality during refrigerated storage. *Journal of Food Safety* 40(3), e12782. <https://doi.org/10.1111/jfs.12782>
24. Larayetan, R., Ojemaye, M.O., Okoh, O.O., & Okoh, A.I., (2019). Silver nanoparticles mediated by *Callistemon citrinus* extracts and their antimalaria, antitrypanosoma and antibacterial efficacy. *Journal of Molecular Liquids*, 273, 615-625. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.10.020>
25. Larayetan, R., Ololade, Z.S., Ogunmola, O.O., & Ladokun, A., (2019). Phytochemical Constituents, Antioxidant, Cytotoxicity, Antimicrobial, Antitrypanosomal, and Antimalarial Potentials of the Crude Extracts of *Callistemon citrinus*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 28, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2019/5410923>
26. Mabhiza, D., Chitemerere, T., & Mukanganyama, S., (2016). Antibacterial Properties of Alkaloid Extracts from *Callistemon citrinus* and *Vernonia adoensis* against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Medicinal Chemistry*, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/6304163>
27. Mafakheri, S., Dehghan Nayeri, F., & Mirhosseini, M., 2017. Study the biological production and antibacterial and antifungal effects of silver nanoparticles synthesized by the methanolic extract of clove (*Syzygium aromaticum*). *Modares Journal of Biotechnology*, 8(3), 110-120. [In Persian].
28. Mahadevan, S., Vijayakumar, S., & Arulmozhi, P., (2017). Green synthesis of silver nano particles from *Atalantia monophylla (L)* Correa leaf extract, their antimicrobial activity and sensing capability of H₂O₂. *Microbial Pathogenesis*, 113, 445-450. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.11.029>
29. Nayak, D., Ashe, S., Rauta, P.R., Kumari, M., & Nayak, B., (2016). Bark extract mediated green synthesis of silver nanoparticles: evaluation of antimicrobial activity and antiproliferative response against osteosarcoma. *Materials Science and Engineering: C*, 58, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.08.022>

30. Nikbakht, M., & Pournali, P., (2015). Survey of biological and antibacterial effects of silver nanoparticles of aqueous and methanol extracts of *Berberis Vulgaris*. *Medical Science Journal of Islamic Azad Univesity Tehran Medical*, 25 (2), 112-118.
31. Panacek, A., Kvittek, L., Smekalova, M., Vecerova, R., Kolar, M., Roderova, M., Dycka, F., Sebela, M., Pucek, R., Tomanec, O., & Zboril, R., (2018). Bacterial resistance to silver nanoparticles and how to overcome it. *Nature Nanotechnology*, 13(1), 65-71. <https://doi.org/10.1038/s41565-017-0013-y>
32. Paosen, S., Saising, J., Septama, AW., & Voravuthikunchai, SP., (2017). Green synthesis of silver nanoparticles using plants from Myrtaceae family and characterization of their antibacterial activity. *Materials Letters*, 209, 201-6. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2017.07.102>
33. Pirtarighat, S., Ghannadnia, M., & Baghshahi, S., (2019). Green synthesis of silver nanoparticles using the plant extract of *Salvia spinosa* grown in vitro and their antibacterial activity assessment. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 9(1), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s40097-018-0291-4>
34. Prabhu, S., & Poulouse, EK., (2012). Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. *International Nano Letters*, 2(32), 2-10. <https://doi.org/10.1186/2228-5326-2-32>
35. Rafique, M., Sadaf, I., Tahir, MB., Rafique, MS., Nabi, G., Iqbal, T., & Sughra, K., (2019). Novel and facile synthesis of silver nanoparticles using *Albizia procera* leaf extract for dye degradation and antibacterial applications. *Materials Science and Engineering C*, 99, 1313-1324. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.02.059>
36. Rajeshkumar, S., & Bharath, LV., (2017). Mechanism of plant-mediated synthesis of silver nanoparticles—a review on biomolecules involved, characterisation and antibacterial activity. *Chemico-Biological Interactions*, 273, 219-27. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2017.06.019>
37. Rasheed, T., Bilal, M., Iqbal, HM., & Li, Ch., (2017). Green biosynthesis of silver nanoparticles using leaves extract of *Artemisia vulgaris* and their potential biomedical applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 158, 408-415. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2017.07.020>
38. Rolim, WR., Pelegrino, MT., De Araujo Lima, B., Ferraz, LS., Costa, FN., Bernardes, JS., Rodrigues, T., Brocchi, M., & Seabra, AB., (2019). Green tea extract mediated biogenic synthesis of silver nanoparticles: characterization, cytotoxicity evaluation and antibacterial activity. *Applied Surface Science*, 463, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.08.203>
39. Singh, P., Kim, YJ., Singh, H., Wang, C., Hwang, KH., Farh, ME., & Yang, DC., (2015). Biosynthesis, characterization, and antimicrobial applications of silver nanoparticles. *International Journal of Nanomedicine*, 10, 2567-2577. DOI:10.2147/IJN.S72313
40. Sosani Gharibvand, Z., Alizadeh Behbahani, B., Noshad, M., & Jooyandeh, H., (2020). Investigation of the Functional Groups of Bioactive Compounds, Radical Scavenging Potential, Antimicrobial Activity and Cytotoxic Effect of *Callistemon Citrinus* Aqueous Extract on Cell Line HT29: A Laboratory Study. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 19(5), 463-84. [In Persian]. DOI:10.29252/jrums.19.5.463
41. Suddin, R., & Akrema., (2016). Extracellular synthesis of silver dimer nanoparticles using *Callistemon viminalis* (bottlebrush) extract and evaluation of their antibacterial activity. *An International Journal for Rapid Communication*, 49(4), 268-75. <https://doi.org/10.1080/00387010.2016.1140654>
42. Sureshjani, M. H., Tabatabaei Yazdi, F. Mortazavi, S. A., Alizadeh Behbahani, B., & Shahidi, F. (2014). Antimicrobial effects of *Kelussia odoratissima* extracts against food borne and food spoilage bacteria" in vitro". *Journal of Paramedical Sciences*, 5(2), 115-120. <https://doi.org/10.22037/jps.v5i2.5943>
43. Tolouietabar, H., & Hatamnia, AA., (2017). Investigation of antibacterial activity of silver nanoparticles synthesized from *Scrophularia striata* fruit extract. *Journal of Cell & Tissue*, 8(2), 206-213. [In Persian].
44. Yeganegi, M., Tabatabaei Yazdi, F. Mortazavi, S. A., Asili, J., Alizadeh Behbahani, B., & Beigbabaei, A. (2018). *Equisetum telmateia* extracts: Chemical compositions, antioxidant activity and antimicrobial effect on the growth of some pathogenic strain causing poisoning and infection. *Microbial Pathogenesis*, 116, 62-67. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.01.014>



Dietary Sohan-Polaki production for diabetic and celiac patients by replacing sucrose with Stevioside-Isomalt and complete replacement of wheat flour with rice-corn flour

Narjes Babaei¹, Mohammad Goli^{*2}

Received: 2020.03.03

Accepted: 2020.08.31

How to cite this article:

Babaei, N., Goli, M., (2022). Dietary Sohan-Polaki production for diabetic and celiac patients by replacing sucrose with Stevia-Isomalt and wheat flour with rice-corn. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18(1), 165-177.

Abstract

Introduction: Diabetes recognized as one of the most important health problems and the most common metabolic disease in the world. The prevalence of diabetes is increasing worldwide, including in Iran (Forouhi & Wareham, 2010). Celiac is a disease in which the mucous membrane of the small intestine of a person with wheat gluten intolerance damaged by gluten and causes intestinal inflammation (Hopper et al., 2007). *Stevia rebaudiana bertonii* belongs to the Astraceae family, a perennial natural, calorie-free sweetener that has a sweetening power of 100 to 400 times greater than sucrose (Agarwal et al., 2009). Isomalt, a polyol, used as sugars substitute (sucrose, high fructose corn syrup, glucose syrup, etc.) (Schiweck and Munir, 1992). This study aimed at producing dietary Sohan-Polaki for diabetic and celiac patients using replacement of sucrose with Stevia-Isomalt and the complete replacement of wheat flour with rice-corn flour. Rice and corn flour used to improve the textural and nutritional properties.

Material and Methods: For production of dietary Sohan-Polaki, the raw materials (white sugar 40.03%, sorbitol liquid 16.01%, vegetable oil 32.03%) transferred to the kettle for melting over a gentle flame followed by adding the rest materials such as rice and corn flour (8.1%), egg yolk (3.2%) and cardamom (0.72%). The final dough then poured into the tray container after splicing and finishing the production operation and after being chilled and formed to the required dimensions by the forming machine. For the preparation of dietary Sohan-Polaki, independent variables were included, replacement of Stevia-Isomalt with surface (0 to 100%), rice to corn flour ratio (0 to 100%) and cooking temperature (160 to 180°C). All other compounds considered constant. Isomalt is a substitute for sugar as a filler. To obtain optimal points, 34 experiments proposed by Design Expert software, central composite design response surface methodology, double in the other points, six central points with alpha 2. Test responses included density (replacement of rapeseed, Naghipour et al., 2013), textural properties, i.e., hardness (TPA, Khazaiy Pool et al., 2015), color changes assessment (Lab, Image J, Aslanzadeh et al., 2014).

Results and Discussion: Isomalt causes increasing the rigidity and led to a decrease in porosity and ultimately a decrease in density (Bagherpoor and Khosroshahi Asl, 2016). The quality of the sweets eaten directly related to their texture characteristics. Among the various textural parameters, hardness considered to be an important characteristic, which refers to the maximum force curve height at the first pressure and represents the maximum force applied during the biting operation (Cheng and Bhat, 2016). The amount of moisture, dry matter, amount and type of protein and fat also have some effect on hardness. In addition, at high levels of replacement wheat with corn flour, hardness increased with increasing Stevia-Isomalt content. Increasing the sucrose concentration due to its effect on the corn starch chains of the amorphous region, causes granulation of the starch and stabilization of the gel, leading to harder gel formation (Sun et al., 2014).

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, and Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

(Corresponding Author Email: mgolifood@yahoo.com)

DOI: [10.22067/IFSTRJ.V18I1.78691](https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.V18I1.78691)

Discoloration caused by caramelization and non-enzymatic browning reactions due to rising temperatures. As the temperature increases, the oxidation of the fats becomes more intense, which in turn has a significant effect on the color of the dyes studied ([Ghandehari Yazdi et al., 2018](#)). Since non-sucrose sweeteners play an important role in lightness changes, they are also associated with caramelization and the Millard reaction (non-enzymatic browning) between reducing sugars and amino acids. Sucrose (non-reducing sugar) at high temperatures converted to glucose and fructose (reducing sugars). Thus, if the amount of sucrose reduced, the color intensification is weaker due to the lower formation of the products from the reaction of Millard ([Gonzalez-Mateo et al., 2009](#)).

Overall, according to the type of flour consumed in the Sohan-Polaki formulation, the two final optimal formulas, i.e., optimal formula 1, including sucrose replacement with Stevia-Isomalt 24%, the ratio of rice to corn flour 0.99 and cooking temperature of 166°C (With a density of 1.37 g/cm³, the hardness of 1.85 N and color changes compared to the control 3.66) and optimal formula 2, including sucrose replacement with Stevia-Isomalt 24%, the ratio of rice to corn flour 0.02, and cooking temperature of 180°C (with a density of 1.23 g / cm³, the hardness of 2.07 N and color changes compared to the control of 10.16) were introduced as the best treatments.

Keywords: Sohan-Polaki, Low-calorie, gluten-free, Textural properties, Optimizing, Response surface methodology

مقاله کوتاه علمی-پژوهشی

تولید سوهان پولکی رژیمی برای بیماران سلیاکی و دیابتی با جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت و جایگزینی کامل آرد گندم با آرد برنج- ذرت

نرگس بابایی^۱ - محمد گلی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۰

چکیده

مصرف زیاد سوهان به دلیل کالری بالا منجر به بروز مشکلاتی نظیر چاقی و دیابت می‌شود. سلیاک یک اختلال خودایمنی بوده که بیمار در معرض عدم تحمل دائمی به گلوتن است و تنها درمان مؤثر، استفاده از رژیم غذایی بدون گلوتن است. هدف از انجام این تحقیق، تولید سوهان رژیمی کم کالری (جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت) فاقد گلوتن (جایگزینی کامل آرد گندم با آرد برنج و ذرت) بود. تأثیر جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰٪)، نسبت آرد برنج به ذرت (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵، ۱) و دمای پخت (۱۶۰، ۱۶۵، ۱۷۰، ۱۷۵، ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) بر دانسیته، سختی یافت و تغییرات رنگ نمونه های سوهان رژیمی مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل‌سازی و بهینه‌سازی به روش آماری سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی و ۶ نقطه مرکزی و دو تکرار در سایر نقاط با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت صورت گرفت. نتایج نشان داد افزایش درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت موجب کاهش دانسیته گردید. دانسیته تحت تاثیر فاکتور نسبت آرد برنج به آرد ذرت و دمای پخت قرار نگرفت. در نسبت‌های پایین و بالای آرد برنج به ذرت فرمولاسیون، با افزایش جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت و یا افزایش دمای پخت، سختی به ترتیب افزایش و کاهش یافت. درصد جایگزینی استویا با شکر و نسبت آرد برنج به ذرت اثر معنی‌داری بر تغییرات رنگ نداشت، و با افزایش دمای پخت تغییرات رنگ افزایش یافت. د در مجموع با توجه به نوع آرد مصرفی غالب در فرمولاسیون دو فرمول بهینه نهایی شامل سوهان کم کالری با فرمول شماره یک شامل: ۲۴ درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت، ۰/۹۹ نسبت آرد برنج به ذرت و دمای ۱۶۶ درجه سانتی‌گراد (با میزان دانسیته ۱/۳۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، سختی ۱/۸۵ نیوتن و تغییرات رنگ نسبت به شاهد ۳/۶۶) و فرمول شماره دو شامل: ۲۴ درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت، ۰/۰۲ نسبت آرد برنج به ذرت و دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد (با میزان دانسیته ۱/۲۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب، سختی ۲/۰۷ نیوتن و تغییرات رنگ نسبت به شاهد ۱۰/۱۶) به عنوان بهترین تیمارها معرفی گردید.

واژه‌های کلیدی: سوهان پولکی، کم کالری، بدون گلوتن، خواص بافتی، بهینه‌سازی، روش سطح پاسخ

مقدمه

(Forouhi & Wareham, 2010). استفاده از قندهای مصنوعی یا

قندهای رژیمی (شامل سوکرالوز، ساکارین، آسپارتام، استویا، آسه سولفام پتاسیم و قندهای الکلی) که به آن‌ها جایگزین‌های قند نیز گفته می‌شود می‌تواند کربوهیدرات دریافتی را کاهش داده و به کاهش قند خون و کاهش وزن کمک کند.

استویا، با نام علمی *Stevia rebaudiana Bertoni* متعلق به خانواده آستراسه، یک گیاه چندساله و شیرین‌کننده طبیعی و بدون کالری است که قدرت شیرین‌کنندگی آن ۱۰۰ تا ۴۰۰ برابر بیش‌تر از شکر است. برگ‌های این گیاه حاوی مقدار زیادی ترکیبات شیرین گلیکوزیدی است که بدون کالری هستند. تأثیر استویا بر روی قند خون بسیار ناچیز است. از استویا می‌توان روزانه حداکثر ۴ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن استفاده کرد (Agarwal et al., 2009). ایزومالت تنها جایگزین قند است که به‌طور انحصاری از ساکارز ساخته شده است. فرآیند تولید آن حاصل دو مرحله شامل

دیابت از جمله بیماری‌های متابولیک است و یک اختلال چند عاملی است که با افزایش مزمن قند خون (میزان قند خون ناشتا بین ۱۰۰ تا ۱۲۵ نشانگر دیابت پنهان و ۱۲۶ یا بیشتر بیانگر کامل دیابت) مشخص می‌شود و ناشی از اختلال در ترشح انسولین، یا عملکرد انسولین و یا هر دوی آنها است. دیابت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات سلامتی و شایع‌ترین بیماری‌های متابولیک در جهان شناخته می‌شود. شیوع دیابت در جهان و از جمله در ایران رو به افزایش است

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی و مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فناوریهای زیستی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: mgolifood@yahoo.com

می‌نماید. همچنین شناسایی و تولید فاکتورهای غنی‌کننده می‌تواند سبب تولید محصولات با کیفیت بالا شود (Bialek et al., 2015). در این پژوهش قصد داریم با استفاده از جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت و جایگزینی کامل آرد گندم با آرد برنج و ذرت، سوهان پولکی با قند پایین برای افراد دیابتی و بدون گلوتن برای بیماران سلیاکی تولید کنیم. آرد برنج و ذرت نیز به‌منظور بهبود ویژگی‌های بافتی و تغذیه‌ای استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده در فرمولاسیون سوهان پولکی شامل شکر سفید ۴۰/۰۳ درصد، سوربیتول مایع ۱۶/۰۱ درصد، کره گیاهی ۳۲/۰۳ درصد، مجموع آرد برنج و ذرت ۸/۰۱ درصد، زرده تخم‌مرغ ۳/۲ درصد و هل ۰/۷۲ درصد بود که از شرکت سلامت گستران آریان فراهم گردید. کلیه مواد آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش، با خلوص بالا از شرکت مرک آلمان تهیه شد.

روش تهیه سوهان پولکی

آماده‌سازی سوهان پولکی به کمک شرکت دانش بنیان سلامت گستران آریان طراحی و انجام گردید. به‌منظور تهیه سوهان پولکی ابتدا مواد اولیه به پاتیل جهت ذوب شدن منتقل شد و با شعله ملایم حرارت داده شد و سپس افزودنی‌هایی مانند مجموع آرد برنج و ذرت، زرده تخم‌مرغ و هل اضافه گردید. خمیر نهایی پس از نخ‌گیری و تعیین اتمام عملیات تولید، به درون ظرف سینی ریخته شد و پس از سرد شدن چانه‌گیری شده و به ابعاد لازم توسط دستگاه فرم‌دهنده برش خورد. برای تهیه سوهان پولکی رژیمی، متغیرهای مستقل شامل جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت در سطوح (صفر تا ۱۰۰ درصد)، نسبت آرد برنج به ذرت در سطوح (صفر تا ۱۰۰ درصد) و دمای پخت محصول در سطوح (۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) انتخاب شدند (جدول ۱)، و بقیه ترکیبات ثابت در نظر گرفته شد. از ایزومالت به‌عنوان ماده پرکننده و جایگزین شکر حذف شده برای تامین خصوصیات مانند ایجاد قوام، شیشه‌ای بودن و سایر خصوصیات ساختاری سوهان پولکی استفاده شد.

آزمون‌های فیزیکی و رنگی

ویژگی‌های بافتی (آنالیز پروفایل بافت) شامل سفتی و سختی به روش [Khazaiy Pool](#) و همکاران (۲۰۱۵) و دانسته نمونه‌های سوهان با کمک روش جابه‌جایی دانه‌های کلزا مطابق با روش [Naghypour](#) و همکاران (۲۰۱۳) تعیین شد. پارامترهای رنگی شامل a^* ، b^* و L^* در برنامه *Image* بدست آمد و در نهایت برای استاندارد کردن پارامترهای مربوط از کارت‌های استاندارد استفاده گردید. شاخص‌های رنگی بیانگر L^* میزان روشنایی و دامنه آن از صفر تا

تبدیل آنزیمی (تبدیل ساکارز به ایزومالتوز) و به دنبال آن هیدروژناسیون (تبدیل ایزومالتوز به ایزومالت) است. ایزومالت، یک پلی‌ال است که از قند ساخته شده است و به‌عنوان جایگزینی برای قندها (ساکارز، شربت ذرت با فروکتوز بالا، شربت گلوکز و غیره) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Schiweck and Munir, 1992).

سلیاک بیماری است که در آن غشاء مخاطی روده کوچک فرد مبتلا به عدم تحمل گلوتن، توسط گلوتن (گندم، جو و چاودار و محصولات فرموله شده با این غلات) آسیب دیده و سبب التهاب روده می‌گردد. زمانیکه بیماران مبتلا به سلیاک غذاهای حاوی گلوتن مصرف می‌کنند سیستم ایمنی بدن آن‌ها پاسخی را به صورت تخریب بافت روده کوچک منعکس می‌کند. این تخریب به‌خصوص در پرزهای انگشترانه‌ای روده که نقش جذب مواد مغذی را دارند، بروز می‌نماید. در پی آسیب دیدن پرزهای روده، جذب مواد مغذی غذاها با مشکل مواجه می‌شود. سلیاک در بزرگسالان باعث کاهش وزن، اسهال، ضعف، تحریک‌پذیری و درد شکمی، کم‌خونی، خستگی، نفخ و پوکی استخوان و در کودکان، نشانه‌های سوء تغذیه از جمله اختلال رشد، می‌تواند رخ دهد. لذا این بیماران باید به شدت از مصرف مواد غذایی حاوی آرد گندم، جو و چاودار پرهیز نمایند و به‌جای آن از ترکیباتی مانند آرد کامل ذرت و برنج استفاده نمایند (Hopper et al., 2007).

نشاسته آرد ذرت (۲۵ درصد آمیلوز و ۷۵ درصد آمیلوپکتین) و نشاسته آرد برنج (۲۰ درصد آمیلوز و ۸۰ درصد آمیلوپکتین) به‌عنوان عامل قوام‌دهنده، ایجادکننده ژل، حجیم‌کننده و نگهدارنده آب در مواد غذایی که به ویسکوزیته و بافت خاصی نیاز دارند، مورد استفاده قرار گیرد. نشاسته دارای فواید فیزیولوژیکی مشابه فیبرهای رژیمی محلول بوده و تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر را افزایش داده و می‌تواند سلامت کولون را بهبود بخشیده و می‌تواند به‌عنوان بستری برای رشد میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک عمل کند. مواد غذایی حاوی نشاسته دارای شاخص گلیسمی پایینی بوده و در کاهش سطح گلیسیرید و کلسترول پلاسما و افزایش جذب مواد معدنی در اولئوم نیز تاثیرگذار می‌باشند (Brown, 1996; Ferguson et Lopez et al., 2001; al., 2000).

اجزای اصلی سوهان شامل آرد گندم، شکر، مالت، روغن (روغن نباتی، کره، و روغن) و آب است و مشتقات افزودنی آن ممکن است پسته، زعفران، بادام، هل و دارچین باشد (Mashak et al., 2014). تاکنون تاثیر جایگزینی هل با دارچین، جایگزینی کره گیاهی با کره حیوانی و دمای پخت بر خواص فیزیکوشیمیایی سوهان پولکی (Akhondi and Goli, 2020) و تأثیر جایگزینی شربت ذرت با فروکتوز بالا به جای ساکارز بر خصوصیات سوهان (Shamsaei and Nouri, 2017) مورد بررسی قرار گرفته شده است.

غنی‌سازی محصولات غذایی ابزار مهمی جهت جلوگیری از کمبودهای تغذیه‌ای خاص می‌باشد و از بیماری‌های مزمن جلوگیری

۱۰۰ متغیر، a* بیانگر قرمزی- سبزی (+:قرمزی و -:سبزی) و b* متغیر بود (Aslanzadeh et al., 2014).
 بیانگر شاخص زرد-آبی (+: زرد و -: آبی) با دامنه ۱۲۰- تا ۱۲۰+

جدول ۱- متغیرهای مستقل فرآیند و سطوح اندازه‌گیری آنها

Table 1- Independent process variables and their measurement levels

| Independent parameters پارامترهای مستقل | Factor فاکتور | Cods and dependent levels کد و سطح مربوطه | | | | |
|--|------------------|--|------|------|------|-----|
| | | +a | +1 | 0 | -1 | a- |
| (%) Sucrose replacement with Stevioside-Isomalt* | A | | | | | |
| جایگزینی استویا- ایزومالت با شکر (%) | | 100 | 75 | 50 | 25 | 0 |
| Rice to corn flour ratio | B | | | | | |
| نسبت آرد برنج به ذرت | | 1 | 0.75 | 0.50 | 0.25 | 0 |
| (Product cooking temperature (degrees Celsius | C | | | | | |
| دمای پخت محصول (درجه سلیسیوس) | | 180 | 175 | 170 | 165 | 160 |

* با توجه به شیرینی سیصد برابری استویوزید نسبت به شکر، تفاوت وزن استویوزید مصرفی و شکر حذف شده در تمامی تیمارها از ایزومالت به عنوان فیلر یا پرکن برای تامین خصوصیات مانند ایجاد قوام، شیشه‌ای بودن و سایر خصوصیات ساختاری سوهان استفاده شد.

* Due to the three hundred times sweetness of stevioside compared to sucrose, the difference between the weight of consumed stevioside and sucrose removed in all treatments, Isomalt was used as a filler to provide properties such as consistency, glassiness and other structural properties of the dietary Sohan-Polaki.

جدول ۲- تیمارهای پیشنهادی توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت با استفاده از روش سطح پاسخ

Table 2- Recommended treatments by Design Expert software using the response surface methodology

| Row | A | B | C | Row | A | B | C |
|-----|-----|------|--------------------|-----|-----|------|--------------------|
| | (%) | (-) | (degrees Celsius) | | (%) | (-) | (degrees Celsius) |
| 1 | 25 | 0.25 | 175 | 18 | 75 | 0.25 | 175 |
| 2 | 50 | 0.50 | 180 | 19 | 100 | 0.50 | 170 |
| 3 | 100 | 0.50 | 170 | 20 | 75 | 0.75 | 175 |
| 4 | 50 | 0.50 | 170 | 21 | 50 | 1 | 170 |
| 5 | 25 | 0.75 | 165 | 22 | 25 | 0.75 | 165 |
| 6 | 50 | 1 | 170 | 23 | 75 | 0.25 | 165 |
| 7 | 50 | 0.50 | 160 | 24 | 50 | 0.50 | 170 |
| 8 | 75 | 0.25 | 175 | 25 | 0 | 0.50 | 170 |
| 9 | 50 | 0 | 170 | 26 | 50 | 0.50 | 160 |
| 10 | 25 | 0.25 | 165 | 27 | 25 | 0.25 | 175 |
| 11 | 25 | 0.75 | 175 | 28 | 50 | 0.50 | 180 |
| 12 | 50 | 0.50 | 170 | 29 | 50 | 0 | 170 |
| 13 | 0 | 0.50 | 170 | 30 | 75 | 0.75 | 165 |
| 14 | 75 | 0.25 | 165 | 31 | 75 | 0.75 | 175 |
| 15 | 25 | 0.25 | 165 | 32 | 25 | 0.75 | 175 |
| 16 | 50 | 0.50 | 170 | 33 | 50 | 0.50 | 170 |
| 17 | 75 | 0.75 | 165 | 34 | 50 | 0.50 | 170 |

* با توجه به شیرینی سیصد برابری استویوزید نسبت به شکر، تفاوت وزن استویوزید مصرفی و شکر حذف شده در تمامی تیمارها از ایزومالت به عنوان فیلر یا پرکن برای تامین خصوصیات مانند ایجاد قوام، شیشه‌ای بودن و سایر خصوصیات ساختاری سوهان استفاده شد. درصد جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت

(A)، نسبت آرد برنج به ذرت (B) و دمای پخت (C)

*Due to the three hundred times sweetness of stevioside compared to sucrose, the difference between the weight of consumed stevioside and sucrose removed in all treatments, Isomalt was used as a filler to provide properties such as consistency, glassiness and other structural properties of the dietary Sohan-Polaki. A(Sucrose replacement with Stevioside-Isomalt), B(Rice to corn flour ratio), and C(Cooking temperature).

ذرت (B) و دمای پخت (C) بر متغیرهای وابسته از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۹ و روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی با شش نقطه مرکزی و دو تکرار در سایر نقاط و آلفای ۲ پیشنهاد گردید

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر متغیرهای مستقل شامل درصد جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت (A)، نسبت آرد برنج به آرد

$$Y = \beta_0 + \beta_a A + \beta_b B + \beta_c C + \beta_{aa} A^2 + \beta_{bb} B^2 + \beta_{cc} C^2 + \beta_{ab} AB + \beta_{ac} AC + \beta_{bc} BC \quad (1)$$

پس از آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار، مدلی پیشنهاد شد که دارای انحراف استاندارد و مجموع مربعات باقی مانده برآورد شده کم و ضریب همبستگی بالا باشد.

نتایج و بحث

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر دانسیته سوهان پولکی

رژیمی

آنالیز واریانس اثرات متغیرهای فرایند در مورد مدل رگرسیونی و دانسیته نشان داد که اثرات خطی در سطح احتمال ۹۹/۹ درصد، درجه دوم درصد جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار شد.

(جدول ۲). پاسخ‌های آزمون شامل: شاخص‌های بافتی، رنگ و دانسیته بود. کلیه بررسی‌های آماری و معنی‌داری و یا غیرمعنی‌داری داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. اطلاعات به‌دست آمده در این بخش کمک می‌کند تا تأثیر میزان ماده اولیه را بر ویژگی‌های سوهان پولکی رژیمی تولید شده مورد بررسی قرار داده تا بهترین شرایط جهت تولید سوهان رژیمی به‌دست آید. جست و جوی شرایط عملیاتی بهینه برای دستیابی به پاسخ‌های مطلوب مورد نظر با استفاده از تکنیک بهینه‌یابی عددی انجام شد. در روش سطح پاسخ برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف شد (شامل مدل درجه دو برای پاسخ دانسیته و مدل درجه سه برای پاسخ‌های سختی و تغییرات رنگ) که آثار اصلی و متقابل متغیرهای مستقل (معنی‌دار بودن در سطح معنی داری بیشتر از ۹۵ درصد به روش رگرسیون مرحله به مرحله) را بر روی هر متغیر وابسته بیان می‌کند، مدل چندمتغیره به‌صورت زیر می‌باشد.

جدول ۳- جداول تجزیه واریانس و معادلات رگرسیون بین خواص بافتی-رنگی و فاکتورهای کد شده

Table 3- Tables of analysis of variance and regression equations between texture-color properties and coded factors

| Density (g/cm ³) | | | Hardness (N) | | | ΔE | | |
|---|-------------|----------|----------------|-------------|----------|-----------------|-------------|----------------|
| Source | Mean Square | p-value | Source | Mean Square | p-value | Source | Mean Square | p-value |
| Model | 0.86 | < 0.0001 | Model | 0.91 | < 0.0001 | Model | 107.64 | < 0.0001 |
| ABC | 0.86 | < 0.0001 | A | 1.32 | < 0.0001 | C | 37.99 | 0.0234 |
| | | | A ² | 0.52 | 0.003 | AB | 29.79 | 0.0423 |
| | | | | | | AC | 163.62 | < 0.0001 |
| | | | | | | C ² | 59.41 | 0.0059 |
| | | | | | | AB ² | 247.37 | < 0.0001 |
| Residual | 0.03 | | Residual | 0.049 | | Residual | 6.45 | |
| Lack of Fit | 0.017 | 0.9192 | Lack of Fit | 0.045 | 0.5808 | Lack of Fit | 8.6 | 0.217 |
| Pure Error | 0.041 | | Pure Error | 0.051 | | Pure Error | 5.5 | |
| The final equation is based on coded factors | | | | | | | | R ² |
| Density(g/cm ³)= 1.19- 7.75E ⁻³ (A)+ 1.63E ⁻⁴ (A ²) | | | | | | | | 0.87 |
| Hardness(N)= 1.65+ 0.28(ABC) | | | | | | | | 0.76 |
| ΔE= 5.32+ 1.54 (C)- 1.36(AB)+ 3.2 (AC)+ 2.88(C ²)+ 3.93(AB ²) | | | | | | | | 0.78 |

درصد جایگزینی شکر با استویوزید-ایزومالت (A)، نسبت آرد برنج به ذرت (B) و دمای پخت (C)

A(Sucrose replacement with Stevioside-Isomalt), B(Rice to corn flour ratio), and C(Cooking temperature).

بیشتری را دارا می‌باشد و برای پیشگویی پیشنهاد می‌گردد. متغیرهای تأثیرگذار بر دانسیته طبق جدول ۳، اثر خطی و درجه دوم جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت گزارش شد. یافته‌های به‌دست آمده از تحقق حاضر در رابطه با دانسیته سوهان‌های پولکی نشان داد با افزایش

بررسی مقادیر ضریب تبیین، ضریب تبیین اصلاح شده و عدم برازش مدل نشان‌دهنده این است که این مقادیر برای رابطه درجه دو به میزان به‌ترتیب شامل ۰/۸۷، ۰/۸۴ و ۰/۵۸ بود که نسبت به سایر مدل‌ها دارای مقادیر بالاتری است و بنابراین در برازش داده‌ها توان

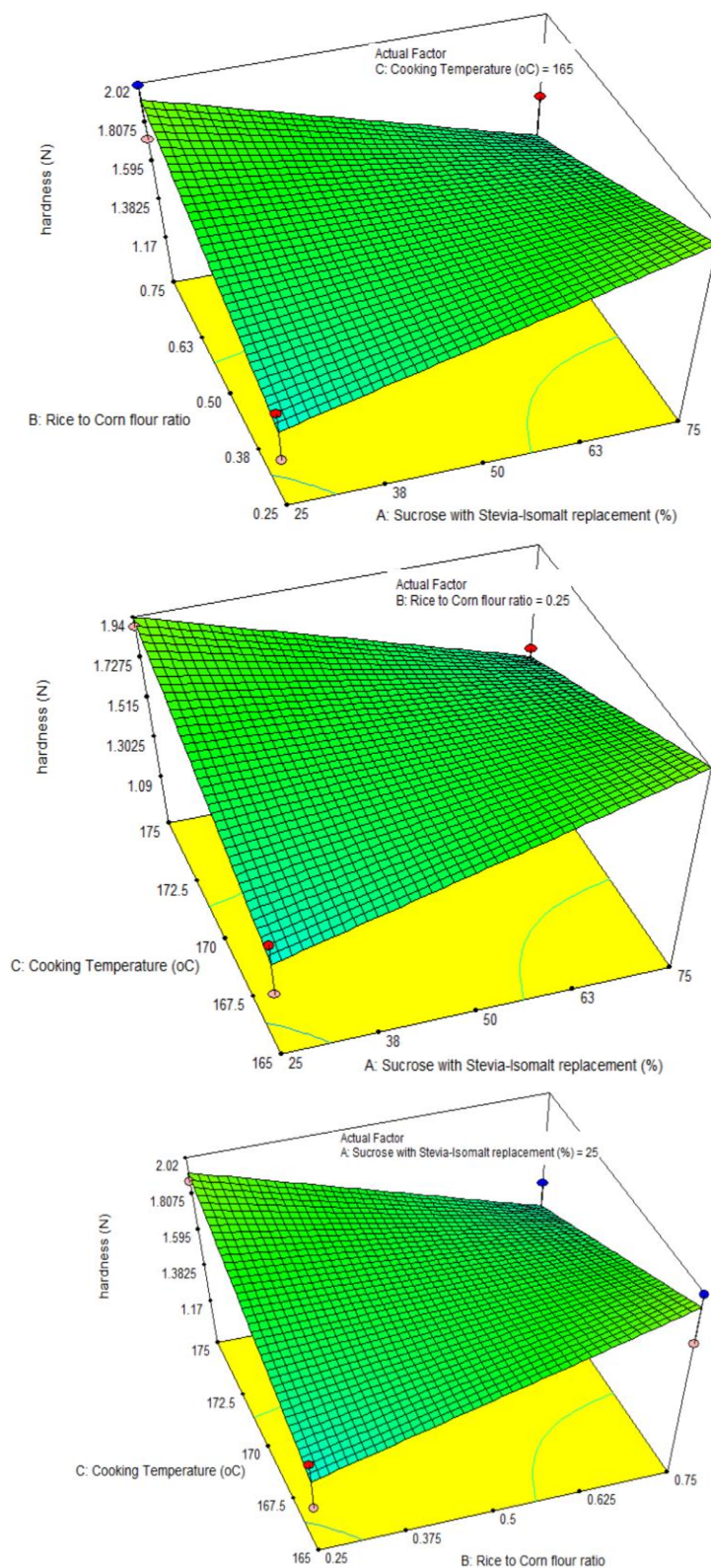
بافت با افزایش نسبت آرد برنج به ذرت مشهود است. در دمای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد با افزایش نسبت آرد برنج به ذرت سختی بافت کاهش یافت. در سطح ۷۵ درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت، در دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد سختی بافت با افزایش نسبت آرد برنج به ذرت کاهش پیدا کرد. در دمای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد افزایش سختی بافت با افزایش نسبت آرد برنج به ذرت مشاهده می‌شود. مطابق با تحقیقات [Bhat و Cheng \(۲۰۱۶\)](#) کیفیت خوردن شیرینی‌ها به‌طور مستقیم با ویژگی‌های بافتی آنها مرتبط می‌باشد و در میان پارامترهای مختلف بافت، سختی به‌عنوان یک ویژگی مهم در نظر گرفته می‌شود که به حداکثر ارتفاع منحنی نیرو در اولین فشار اتلاق می‌شود و نشان‌دهنده حداکثر نیروی اعمال شده در طی عمل گاز زدن می‌باشد. آنها همچنین گزارش کردند که میزان رطوبت، ماده خشک، میزان و نوع پروتئین و چربی شیرینی نیز تا حدودی بر سختی بافت موثر می‌باشد و سختی بافت تیمارها با افزایش سطوح جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت، کاهش یافت و با افزایش سطوح جایگزینی نشاسته ذرت با نشاسته گندم و افزودن اسپیرولینا به فرمولاسیون نهایی، سختی بافت نمونه‌ها افزایش یافت. همچنین در سطوح بالای جایگزینی نشاسته ذرت با نشاسته گندم با افزایش میزان جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت، سختی بافت افزایش یافت. افزایش غلظت قند به دلیل تأثیر بر زنجیره‌های نشاسته ذرت منطقه آمورف، سبب گرانوله شدن نشاسته و تثبیت ژل می‌شود و این‌گونه منجر به ایجاد ژل سخت‌تر می‌گردد ([Sun et al., 2014](#)). نتایج به‌دست آمده با نتایج محققین قبلی مطابقت دارد ([Wang et al., Li et al., 2014](#)); [2015](#)). آنها گزارش کردند که ژل‌های حاصل از نشاسته ذرت به دلیل افزایش قدرت تورم دانه‌های نشاسته ذرت که سبب تغلیظ محلول آمیلوز در فاز پیوسته ذرت می‌گردد، دارای سختی بالایی می‌باشند. علاوه بر این، افزودن آرد برنج و ذرت نیز سبب افزایش سختی گردید که احتمالاً به دلیل غلظت بالای پروتئین موجود در ترکیب برنج و ذرت بوده است. پروتئین در هنگام اکستروژن با نشاسته برای جذب آب رقابت می‌کند، که باعث کاهش ژلاتینه شدن و در نتیجه انبساط کمتر و سختی بالاتر می‌شود ([Sumargo et al., 2016](#)). این نتایج همچنین با نتایج به‌دست آمده توسط [Lazou & Krokida \(2010\)](#)، [Sumargo et al., \(2016\)](#) و [Onwulata et al., \(2001\)](#) مطابقت دارد. آنها گزارش کردند که به دلیل افزایش غلظت پروتئین در فرمولاسیون، سختی افزایش می‌یابد. جایگزینی ایزومالت در فرمولاسیون محصولات به علت افزایش ماده جامد محصول، ایجاد ساختاری فشرده در اثر افزایش ایزومالت و کاهش رطوبت، سبب افزایش سختی می‌گردد. [Sadafi](#) و همکاران (۲۰۱۷) که یافته‌های به دست آمده از تحقیق حاضر مبنی بر افزایش سختی بافت سوهان پولکی تحت تأثیر جایگزینی ایزومالت در فرمولاسیون سوهان‌های پولکی تأیید بر این موضوع بود.

جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت دانسیته افزایش یافت و دانسیته تحت تأثیر فاکتور نسبت آرد برنج به آرد ذرت و دمای پخت قرار نگرفت. در تحقیقی که بر جایگزینی شیرین‌کننده مصنوعی با ساکارز در فرمولاسیون کیک میوه‌ای صورت گرفت، نتایج مؤید این بود که نمونه‌هایی با افزایش میزان شیرین‌کننده مصنوعی از کمترین دانسیته برخوردار بود که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابقت نداشت، در واقع قند ایزومالت به دلیل افزایش سفتی منجر به کاهش تخلخل و در نهایت افزایش دانسیته گردید ([Bagherpoor and Khosroshahi, 2016](#)).

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر سختی بافت سوهان

پولکی رژیمی

آنالیز واریانس اثرات متغیرهای فرایند در مورد مدل رگرسیونی و سختی بافت نشان داد که اثرات متقابل متغیرهای مستقل در سطح احتمال ۹۹/۹ درصد معنی‌دار شدند. بررسی مقادیر ضریب تبیین، ضریب تبیین اصلاح شده و عدم برازش مدل نشان‌دهنده این است که این مقادیر برای رابطه درجه سه به میزان به‌ترتیب شامل ۰/۷۷، ۰/۷۵ و ۰/۹۲ بود که نسبت به سایر مدل‌ها دارای مقادیر بالاتری بود و بنابراین در برازش داده‌ها توان بیشتری را دارا بود و برای پیشگویی پیشنهاد می‌گردد. متغیرهای تأثیرگذار بر سختی بافت طبق [جدول ۳](#)، اثر متقابل هر سه متغیر مستقل (درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت، نسبت آرد برنج به ذرت و دمای پخت) گزارش شد. نتایج [شکل ۱](#) نشان داد که در دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد، در سطح ۷۵ درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت سختی بافت با افزایش نسبت آرد برنج به ذرت کاهش یافت. در سطح ۲۵ درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت افزایش نسبت آرد برنج به ذرت سختی بافت افزایش پیدا کرد. در دمای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، در سطح ۲۵ درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت سختی بافت با افزایش نسبت آرد برنج به ذرت روند کاهشی را نشان داد. در سطح ۷۵ درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت با افزایش نسبت آرد برنج به ذرت سختی بافت افزایش یافت. مطابق با آنچه در [شکل ۱](#) مشخص است در سطح ۰/۲۵ درصد نسبت آرد برنج به ذرت، در سطح ۲۵ درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت افزایش سختی بافت با افزایش دمای پخت مشاهده شد. در سطح ۷۵ درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت سختی بافت با افزایش دمای پخت کاهش یافت. در سطح ۰/۷۵ درصد نسبت آرد برنج به ذرت، در سطح ۲۵ درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت سختی بافت با افزایش دمای پخت روند کاهشی داشت. در سطح ۷۵ درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت با افزایش دمای پخت سختی بافت افزایش یافت. همان‌طور که در [شکل ۱](#) ملاحظه می‌شود در سطح ۲۵ درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت، در دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد افزایش سختی



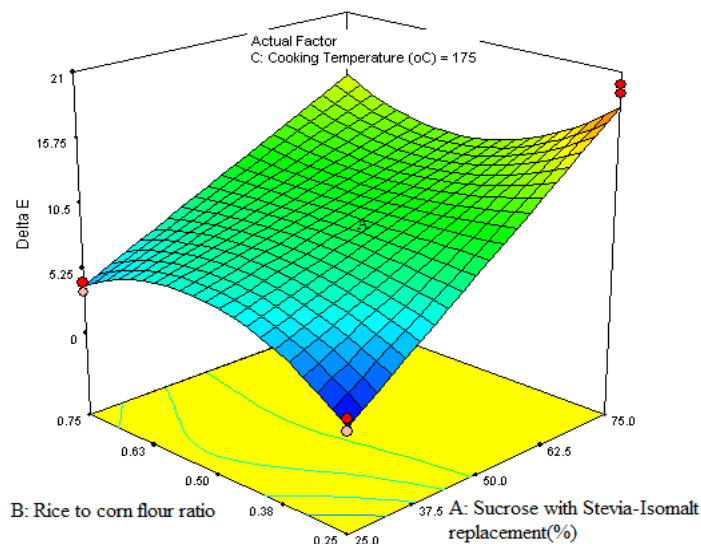
شکل ۱- اثر متقابل جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت، نسبت آرد برنج به ذرت و دمای پخت بر سفتی و سختی سوهان پولکی رژیمی
Fig. 1. Interaction of sucrose substitution with Stevioside-Isomalt, rice to corn flour ratio and cooking temperature on the hardness of the dietary Sohan-Polaki

پروتئین‌های برنج سبب افزایش ویسکوزیته و در نتیجه سفت‌تر شدن بافت فراورده‌ها می‌شود.

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر تغییرات رنگ سوهان پولکی رژیمی

آنالیز واریانس اثرات متغیرهای فرایند در مورد مدل رگرسیونی و دانسیته نشان داد که اثرات خطی دمای پخت، اثر متقابل جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت و نسبت آرد برنج به ذرت در سطح احتمال ۹۵ درصد، اثر متقابل جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت و دمای پخت در سطح احتمال ۹۹/۹ درصد و درجه دوم دمای پخت در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار شد. بررسی مقادیر ضریب تبیین، ضریب تبیین اصلاح شده و عدم برازش مدل نشان‌دهنده این است که این مقادیر برای رابطه درجه سه به میزان به ترتیب شامل ۰/۷۸، ۰/۷۴ و ۰/۲۲ بود که نسبت به سایر مدل‌ها دارای مقادیر بالاتری بود و بنابراین در برازش داده‌ها توان بیشتری را دارا بود و برای پیشگویی پیشنهاد می‌گردد.

در تحقیقی که [Emamjome](#) و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی اثر جایگزینی ساکارز و گلوکز با شیرین‌کننده های سوربیتول و ایزومالت بر خواص فیزیکی گز پرداختند نتایج ارزیابی بافت نشان داد افزایش سطح سوربیتول سبب افزایش نرمی بافت می‌شود در حالی که افزایش ایزومالت منجر به سفتی بافت محصول گردید. بخشی دیگر از یافته‌های حاصل از تحقیق حاضر حاکی از تأثیر مثبت نسبت آرد برنج به آرد ذرت روی افزایش سختی نمونه‌های مورد مطالعه بود. در همین راستا تحقیقی توسط [Anton و Luciano](#) (۲۰۰۷) انجام شد، این محققان تأثیر افزایش آرد ذرت بر سختی نمونه‌های اسنک پرداختند و گزارش کردند آرد ذرت سبب سفت شدن بیش‌تر بافت و خروج محصول از حالت تردی شد که با نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر مبنی بر افزایش سختی نمونه‌های سوهان پولکی تحت تأثیر افزایش نسبت آرد ذرت، همسو بود. به‌طور کلی به نظر می‌رسد که ظرفیت بالای نگهداری آب و قابلیت تشکیل ژل توسط

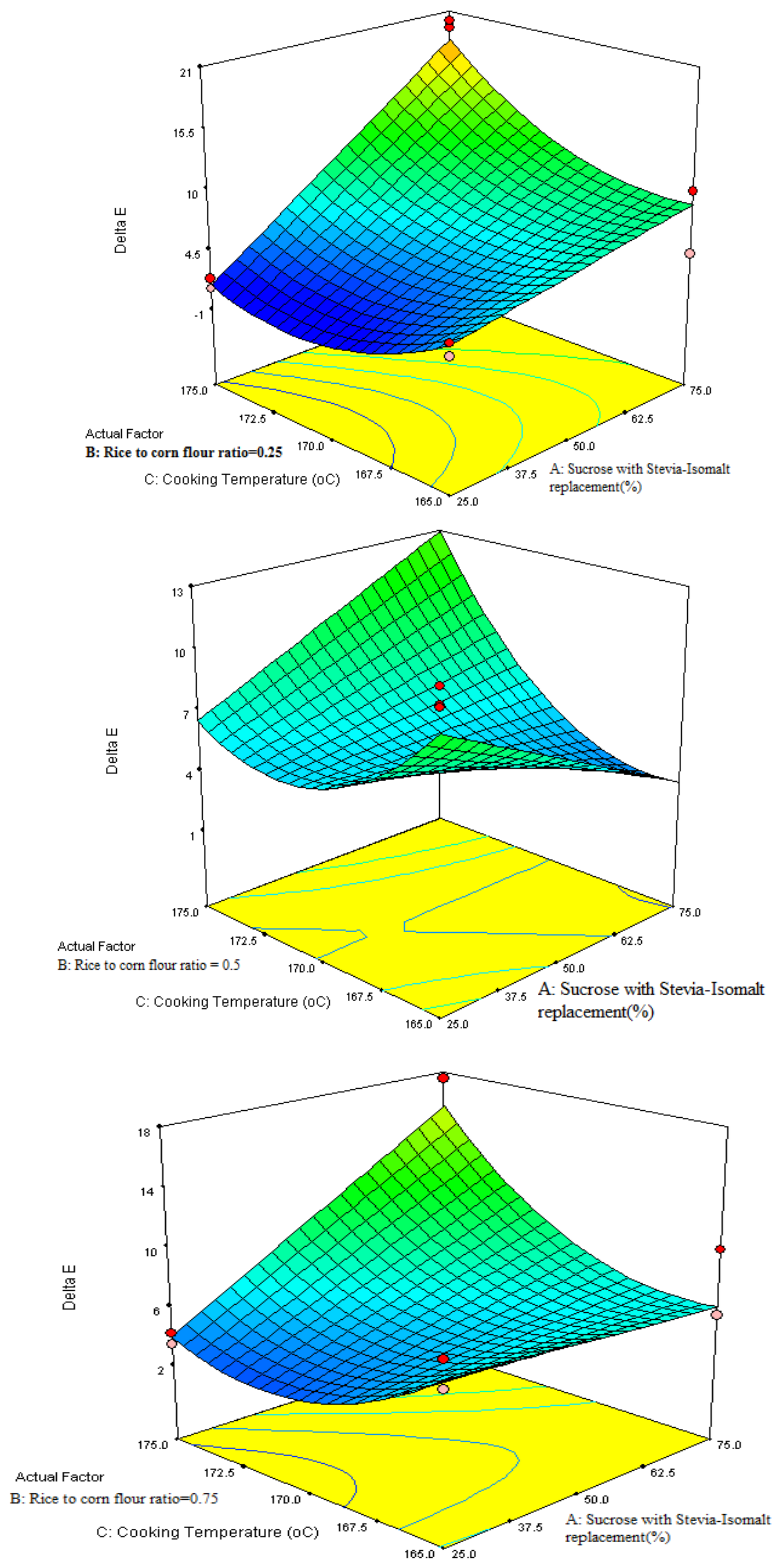


شکل ۲- اثر متقابل جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت و نسبت آرد برنج به ذرت در دمای پخت ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد بر تغییرات رنگ سوهان پولکی رژیمی (ΔE)

Fig. 2. Interaction of sucrose substitution with Stevioside-Isomalt and rice to corn flour ratio at cooking temperature 175 °C on color change (ΔE) of the dietary Sohan-Polaki

تغییرات رنگ افزایش می‌یابد. نتایج [شکل ۲](#) نشان می‌دهد در دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد، در سطوح بالاتر و پایین‌تر نسبت آرد برنج به ذرت تغییرات رنگ با افزایش درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت به ترتیب، کاهش و افزایش یافت. در سطوح بالاتر جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت، تغییرات رنگ با افزایش نسبت آرد برنج به ذرت ابتدا کاهش و سپس با شیب ملایمی افزایش یافت.

متغیرهای تأثیرگذار بر تغییرات رنگ طبق [جدول ۳](#)، اثر خطی و درجه دوم دمای پخت، اثر متقابل درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت و نسبت آرد برنج به ذرت، اثر متقابل درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت و دمای پخت و اثر درصد جایگزینی شکر با استویا-ایزومالت با درجه دوم نسبت آرد برنج به ذرت گزارش شد. با افزایش دمای پخت به ویژه در مقادیر بالاتر



شکل ۳- اثر متقابل جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت و دمای پخت در نسبت‌های مختلف آرد برنج به ذرت بر تغییرات رنگ (ΔE) سوهان پولکی رژیمی

Fig. 3. Interaction of sucrose substitution with Stevioside-Isomalt and cooking temperature at different rice to corn flour ratio on color change (ΔE) of the dietary Sohan-Polaki

رنگ با افزایش دمای پخت ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر در رابطه با ویژگی‌های رنگ سوهان‌های پولکی بیانگر این بود که با کاهش نسبت آرد برنج به آرد ذرت و درصد جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت در سطوح متفاوت دمای پخت روندی کاهشی بر پارامتر اختلاف رنگ کلی مشاهده گردید. با افزایش دمای پخت، جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت و نسبت آرد برنج به آرد ذرت تغییرات کلی رنگ افزایش یافت. تغییر رنگ می‌تواند ناشی واکنش‌های قهوه‌ای شدن از نوع کاراملیزاسیون و غیرآنزیمی در اثر افزایش دما باشد. با افزایش دما اکسیداسیون چربی‌ها با شدت بیشتری صورت می‌گیرد که تأثیر قابل توجهی بر روی رنگ سوهان‌های مورد مطالعه دارد ([Ghandehari Yazdi et al., 2018](#)). از آنجایی که شیرین‌کننده‌های بدون ساکارز نقش مهمی در تغییرات روشنائی دارند، با کاراملیزه شدن و واکنش مایلارد (قهوه ای شدن غیرآنزیمی) بین قندهای احیاءکننده و آمینواسیدها نیز مرتبط است. ساکارز (قند غیراحیاءکننده) در دماهای بالا به گلوکز و فروکتوز (قندهای احیاءکننده) تبدیل شده است. بنابراین، اگر مقدار ساکارز کاهش یابد، به‌دلیل تشکیل کم‌تر محصولات حاصل از واکنش مایلارد، تشدید رنگ ضعیف‌تر شده است ([González-Mateo et al., 2009](#)).

در سطوح پایین‌تر جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت، تغییرات رنگ با افزایش نسبت آرد برنج به ذرت ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا کرد. در دماهای ۱۷۰ و ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، در هر سطح از نسبت آرد برنج به ذرت تغییرات رنگ با افزایش درصد جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت افزایش نشان داد. در سطوح بالاتر جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت، تغییرات رنگ با افزایش نسبت آرد برنج به ذرت ابتدا کاهش و سپس با شیب نسبتاً ملایمی افزایش پیدا کرد. در سطوح پایین‌تر جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت، با افزایش نسبت آرد برنج به ذرت تغییرات رنگ ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت بر طبق نتایج [شکل ۳](#)، در سطوح ۰/۲۵ و ۰/۷۵ درصد نسبت آرد برنج به ذرت، در هر سطح از دمای پخت با افزایش درصد جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت تغییرات رنگ افزایش یافت. در سطوح بالاتر نسبت آرد برنج به ذرت تغییرات رنگ با افزایش دمای پخت افزایش یافت. در سطوح پایین‌تر نسبت آرد برنج به ذرت با افزایش دمای پخت تغییرات رنگ ابتدا کاهش و سپس افزایش پیدا کرد. در سطح ۰/۵ درصد نسبت آرد برنج به ذرت، در سطوح بالاتر و پایین‌تر دمای پخت با افزایش درصد جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت تغییرات رنگ به ترتیب، افزایش و کاهش یافت. در سطوح بالاتر جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت، تغییرات رنگ با افزایش دمای پخت افزایش نشان داد. در سطوح پایین‌تر جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت، تغییرات

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

Table 4- Values used for optimization and its feature or purpose

| Independent variables and responses متغیر مستقل و پاسخ‌ها | Target هدف | Low level حد پایین | High level حد بالا |
|--|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| A(%): Sucrose replacement with Stevioside- Isomalt جایگزینی استویا- ایزومالت با شکر (%) | is in range | 0 | 100 |
| B: Rice to corn flour ratio نسبت آرد برنج به ذرت | is in range | 0 | 1 |
| C(Degrees Celsius): Cooking temperature دمای پخت | is in range | 160 | 180 |
| Density (g/cm ³) دانسیته | minimize | 0.83 | 2.09 |
| Hardness(N) سختی | is in range of the control | 1.8 | 2.1 |
| Color change (ΔE) تغییرات رنگ | minimize | 0.91 | 20.04 |

پیشنهاد شده توسط نرم‌افزار مطابق با [جدول ۵](#) آورده شده است. بهینه‌یابی فرمول سوهان پولکی رژیمی، با استفاده از بررسی اثر متغیرهای مستقل شامل سطوح جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت، نسبت آرد برنج به ذرت و دمای پخت بر برخی از شاخص‌های کیفی سوهان پولکی رژیمی، با استفاده از بهینه‌یابی عددی روش سطح پاسخ انجام پذیرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که روش سطح

بهینه‌یابی فرمولاسیون سوهان پولکی رژیمی

شرایط بهینه برای تولید سوهان پولکی رژیمی با کمک جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت و جایگزینی کامل آرد برنج و ذرت با آرد گندم با استفاده از تکنیک بهینه‌یابی عددی انجام شد. دامنه مقادیر به‌دست آمده برای فرایند بهینه‌سازی و هدف آن مشخص شده است ([جدول ۴](#))، و در نهایت نتایج به‌دست آمده برای نمونه‌های بهینه

پاسخ کارایی خوبی در بهینه‌یابی ویژگی‌های کیفی سوهان پولکی رژیمی داشته باشد. ضریب تبیین برای پارامترهای اندازه‌گیری شده بالاتر از ۷۵ درصد بود و فاکتور عدم برازش نیز برای پارامترها معنی دار نبود. در نتیجه بالا بودن ضریب تبیین و معنی‌دار نبودن عدم برازش برای تمامی پاسخ‌ها تاییدکننده صحت مدل برای برازش اطلاعات بود.

جدول ۵- نتایج به‌دست آمده از فرایند بهینه‌یابی و میزان پاسخ‌های نمونه‌های بهینه و شاهد در اولین روز تولید

Table 5- Results obtained from the optimization process and the rate of responses of optimal and control samples on the first day of production

| Sample Optimal formula | Sucrose replacement with Stevioside-Isomalt جایگزینی استویا- ایزومالت با شکر (%) | Rice to corn flour ratio نسبت آرد برنج به ذرت | Cooking temperature (Degrees Celsius) (°C) دمای پخت | Density (g/cm ³) | Hardness(N) سختی | Color change (ΔE) تغییرات رنگ |
|------------------------|--|---|---|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 1 | 24 | 0.99 | 166 | 1.37 | 1.85 | 3.66 |
| 2 | 24 | 0.02 | 180 | 1.23 | 2.07 | 10.16 |
| Control | 0 | Wheat flour (100%) | 160 | 1.31 | 2.08 | 0 |

۲/۰۷ نیوتن و تغییرات رنگ نسبت به شاهد (۱۰/۱۶) به‌عنوان بهترین تیمارها معرفی گردید.

تشکر و قدردانی

از شرکت دانش بنیان سلامت گستران آریان به دلیل همکاری‌های علمی و پژوهشی در راستای محقق شدن این تحقیق کمال تشکر را دارد.

نتیجه‌گیری

در مجموع با توجه به نوع آرد مصرفی غالب در فرمولاسیون دو فرمول بهینه‌نهایی شامل سوهان کم کالری با فرمول شماره یک شامل: ۲۴ درصد جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت، ۰/۹۹ نسبت آرد برنج به ذرت و دمای ۱۶۶ درجه سانتی‌گراد (با میزان دانسیته ۱/۳۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، سختی ۱/۸۵ نیوتن و تغییرات رنگ نسبت به شاهد ۳/۶۶) و فرمول شماره دو شامل: ۲۴ درصد جایگزینی شکر با استویا- ایزومالت، ۰/۰۲ نسبت آرد برنج به ذرت و دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد (با میزان دانسیته ۱/۲۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب، سختی

منابع

- Agarwal, V, Kochhar, A, Sachdeva, R., (2009). Sensory and nutritional evaluation of sweet cereal products prepared using stevia powder for diabetics. *Studies on Ethno-Medicine*, 3: 8-93. <https://doi.org/10.1080/09735070.2009.11886344>
- Akhondi, A., Goli, M., (2020). Study on the effect of replacing Cardamom with Cinnamon and plant butter with animal butter and cooking temperature on physicochemical properties of Sohan-Polaki. *Journal of Food Science and Technology*, 17(102): 127-142. (In Persian)
- Anton, A. A, Luciano, F. B., (2007). Instrumental textural evaluation of extruded snack foods: A review. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 54: 245-251. <https://doi.org/10.1080/11358120709487697>
- Aslanzadeh, M., Mizani, M., Gerami, A., Alimi, M., (2014). Evaluation of dietary fiber performance of wheat bran as a fat substitute in mayonnaise. *Food Technology and Nutrition*, 11(1): 21-31. (In Persian)
- Bagherpoor, V., Khosroshahi Asl, A., (2016). Investigation of the possibility of substituting sugar with Stevia in the production of fruit cake containing banana puree and evaluation of sensory and visual properties of the final product. *Second Iranian Scientific Conference on Food Science and Technology*, Tehran. (In Persian)
- Bialek, M., Rutkowska, J., Adamska, A., Bajdalow, E., (2015). Partial replacement of wheat flour with pumpkin seed flour in muffins offered to children. *Journal of Food*, 391-398. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1114529>
- Brown, I., (1996). Complex Carbohydrates and Resistant Starch. *Nutrition Reviews*, 54:115-119.
- Cheng, YF., Bhat, R., (2016). Functional, physicochemical and sensory properties of novel cookies produced by utilizing underutilized jering (*Pithecellobium jiringa* Jack.) legume flour. *Food Bioscience*, 14: 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.03.002>

9. Emamjome. Z., Ghaheri. R., Asadi. GH., (2010). The effect of replacement of sucrose and glucose with two types of dietary sweeteners on the texture and microstructure properties of Gaz. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 6(2): 130-135. (In Persian)
10. Ferguson. L. R., Tasman-Jones. C., Englyst. H., Harris. PJ., (2000). Comparative Effects of Three Resistant Starch Preparations on Transit time and short-Chain Fatty Acid Production in Rate. *Nutrition and Cancer*, 36(2): 230-237. https://doi.org/10.1207/S15327914NC3602_13
11. Forouhi. N. G., Wareham. N. J., (2010). Epidemiology of diabetes. *Medicine*, 38:602-6. <https://doi.org/10.1016/j.mpmed.2010.08.007>
12. Ghandehari Yazdi. A. P., Hojjatoleslami. M., Keramat. J., Jahadi. M., (2018). Investigation on the effect of sucrose replacement with sucralosemaltodextrin on physicochemical characteristics of traditional Nanberenji pastry. *Journal of Food Science and Technology*, 15(82): 189-200. (In Persian)
13. Gonzalez-Mateo. S., Gonzalez-SanJose. M. L., Muniz. P., (2009). Presence of Maillard products in Spanish muffins and evaluation of colour and antioxidant potential. *Food Chemical Toxicology*, 47: 2798-2805. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.08.015>
14. Hopper. A. D., Cross. S. S., Hurlstone. D. P., McAlindon. M. E., Lobo. A. J., Hadjivassiliou. M., (2007). Pre-endoscopy serological testing for coeliac disease: evaluation of a clinical decision tool. *British Medical Journal*, 334:729-732. <https://doi.org/10.1136/bmj.39133.668681.BE>
15. Khazaiy pool. E., Shahidi. F., Mortazavi. S. A., Mohebbi. M., (2015). The effect of different levels of Spirulina Platensis microalgae and agar and guar hydrocolloids on water activity, texture, color parameters and Overall acceptability of kiwi puree-based fruit pastille. *Journal of Food Science and Technology*, 12(48): 47-59. (In Persian)
16. Lazou. A., Krokida. M., (2010). Structural and textural characterization of corn-lentil extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 100(3):392-408. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.024>
17. Li. S., Zhang. Y., Wei. Y., Zhang. W., Zhang. B., (2014). Thermal, pasting and gel textural properties of commercial starches from different botanical sources. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, 4:161.
18. Lopez. H. W., Levrat-Verny. M. A., Coudray. C., Besson. C., Krespine. V., Messenger. A., Demigne. C., Remesy. C., (2001). Class 2 Resistant Starches Lower Plasma and Liver Lipids and Improve Mineral Retention in Rats. *Journal of Nutrition*, 131:1283-1289. <https://doi.org/10.1093/jn/131.4.1283>
19. Mashak. Z., Sodagari. H., Moradi. B., (2014). Microbiological and chemical quality of sohan: An iraniantraditional confectionary product. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 1(2), 56-60.
20. Naghipour F, Karimi M, Habibi Najafi MB, Hadad Khodaparast MH, Sheikholeslami Z, Ghiafeh Davoodi M, Sahraiyani B. 2013. Investigation on production of gluten free cake utilizing sorghum flour, guar and xanthan gums. Investigation on production of gluten free cake utilizing sorghum flour, guar and xanthan gums. *Journal of Food Science and Technology*, 10(41): 127-139. (In Persian)
21. Onwulata. C. I, Smith. P. W, Konstance. R. P., Holsinger, V. H., (2001). Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. *Food Research International*, 34(8):679-687. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00088-6](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00088-6)
22. Sadafi. M, Khorshidpour. B, Hashemiravan. M., (2017). Investigation of Sucrose Substitution Effect with Stevie and Isomalt in Order to produce fruit candy. *Journal of Food Science and Technology*, 14(65): 209-225. (In Persian)
23. Schiweck. H., Munir. M., (1992). Isomalt, a versatile alternative sweetener-production, properties and uses. *Carbohydrates in Industrial Synthesis*, Berlin, 5-55.
24. Shamsaei. P., Nouri. L., (2017). Investigation of the effect of replacing high fructose corn syrup with sucrose on the properties of Sohan. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 10(3): 109-118. (In Persian)
25. Sumargo. F., Gulati. P., Weier. S. A., Clarke. J., Rose. D. J., (2016). Effects of processing moisture on the physical properties and *in vitro* digestibility of starch and protein in extruded brown rice and pinto bean composite flours. *Food Chemistry*, 211:726-733. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.097>
26. Sun. Q., Xing. Y., Qiu. C., Xiong. L., (2014). The pasting and gel textural properties of cornstarch in glucose, fructose and maltose syrup. *PLOS ONE*, 9(4): 95862. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095862>
27. Wang. L., Xu. J., Fan. X., Wang. Q., Wang. P., Zhang. Y., Cui. L., Yuan. J, Yu. Y., (2016). Effect of disaccharides of different composition and linkage on corn and waxy cornstarch retrogradation. *Food Hydrocolloids*, 61:531-536. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.010>

Contents

| | |
|---|-----|
| Optimization of reduced-fat aerated sauce production process by response surface methodology and evaluation of its physicochemical and sensory properties | 1 |
| Farinaz Saremnejad Namini, Mohebbat Mohebbi, Arash Koocheki | |
| Effect of Aloe vera gel edible coating on bioactive compounds of cherry tomato during storage at different temperatures | 21 |
| Samaneh Monajem, Ali Ganjloo, Mandana Bimakr | |
| Production of reduced fat muffins using soluble complex of egg white protein-xanthan gum oleogel based on foam molding | 40 |
| Reza Jaber, Ahmad Pedram Nia, Sara Naji-Tabasi, Amir Hossein Elhami Rad, Masoud Shafafi Zanozian | |
| Quality grading of grapes coated with Farsi gum and hemp seed oil emulsion based on surface defects using RGB and binary images | 51 |
| Mohsen Zandi, Ali Ganjloo, Mandana Bimakr, Abolfazl Gharebaghi | |
| Drying kinetics of camel milk cream foam using foam mat drying and study its effect on the structure and color of the product | 65 |
| Morteza Kashaninejad, Seyed Mohammad Ali Razavi, Mohammad Reza Salahi | |
| Evaluation and comparison of ochratoxin a contamination and metallic elements lead and arsenic in commercial instant coffee powders | 81 |
| Sedigheh Yazdanpanah, Shadi Jokar, Tahereh Zandilak, Maryam Haghighi | |
| Investigation of the Coffea Arabica substitution with roasted date seed on physicochemical and sensory properties of coffee brew | 96 |
| Farideh Mojriani Sharghi, Marzieh Moeinfard, Reza Farhoosh, Hadi Mahdavian Mehr | |
| Photo-Modification of starch-oleic acid by TiO₂: investigation of food packaging properties | 113 |
| Rahmatollah Pourata, Hamid Jahangir-Esfahani, Iman Shahabi-Ghahfarrokhi | |
| Aflatoxin contaminated cocoa beans classification using near-infrared spectroscopy | 129 |
| Ali Saeidan, Mehdi Khojastehpour, Mahmood Reza Golzarian, Marzieh Moeinfard | |
| Comparison of the performance of ascorbic acid and α-tocopherol in combination with whey protein to increase the oxidative stability of Vanami shrimp fillet (<i>Litopenaeus vannamei</i>) | 140 |
| Soheyl Reyhani Poul, Sakineh Yeganeh | |
| Green synthesis of silver nanoparticles using <i>Callistemon citrinus</i> leaf extract and evaluation of its antibacterial activity | 151 |
| Zohreh Sosani Gharibvand, Behrooz Alizadeh Behbahani, Mohammad Noshad, Hossein Jooyandeh | |
| Dietary Sohan-Polaki production for diabetic and celiac patients by replacing sucrose with Stevioside-Isomalt and complete replacement of wheat flour with rice-corn flour | 642 |
| Narjes Babaei, Mohammad Goli | |

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Vol. 18

No. 1

2022

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Executive Manager: Shahnoushi, N.

Editor-in-Chief: Tabatabaei yazdi, F

Editorial Board:

| | |
|---------------------|-----------------------------------|
| Mortazavi, Seyed A. | Prof. in Food Microbiology and |
| Shahidi, F. | Prof. in Food Microbiology |
| Habibi najafi, M. | Prof. in Food Microbiology |
| Razavi, Seyed M. A. | Prof. in Food Engineering |
| Kashaninejad, M. | Prof. in Food Engineering |
| Khomeiri, M. | Assoc. Prof. in Food Microbiology |
| Farhoosh, R. | Prof. in Food Chemistry |
| Fazli Bazzaz, S. | Prof. in Food Microbiology |
| Koocheki, A. | Prof. in Food Technology |
| Mohebbi, M. | Prof. in Food Engineering |
| Ghanbarzadeh, B. | Prof. in Food Engineering |
| Alemzadeh, I. | Prof. in Food Biotechnology |
| Rajabzadeh, GH. | Assoc. Prof. in Nanotechnology |
| Heydarpour, M. | Assoc. Prof. in Food Microbiology |
| Ghoddusi, H. B. | Assoc. Prof. in Food Microbiology |
| Khosravidarani, K. | Prof. in Food Biotechnology |
| Abbaszadegan, M. | Prof. in Food Microbiology |
| Mohammadifar, M. A. | Assoc. Prof. in Food Engineering |
| Vosoughi, M. | Prof. in Food Biotechnology |
| Almasi, H. | Assoc. Prof. in Nanotechnology |
| Fathi, M. | Assoc. Prof. in Nanotechnology |
| Abbasi, S. | Prof. in Food Engineering |
| Borges, N. | 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.18

No.2

2022

Iranian Food Science and Technology Research Journal



ISSN:1735-4161

Contents

- Optimization of reduced-fat aerated sauce production process by response surface methodology and evaluation of its physicochemical and sensory properties** 1
Farinaz Saremnejad Namini, Mohebbat Mohebbi, Arash Koocheki
- Effect of Aloe vera gel edible coating on bioactive compounds of cherry tomato during storage at different temperatures** 21
Samaneh Monajem, Ali Ganjloo, Mandana Bimakr
- Production of reduced fat muffins using soluble complex of egg white protein-xanthan gum oleogel based on foam molding** 40
Reza Jaber, Ahmad Pedram Nia, Sara Naji-Tabasi, Amir Hossein Elhami Rad, Masoud Shafafi Zanozian
- Quality grading of grapes coated with Farsi gum and hemp seed oil emulsion based on surface defects using RGB and binary images** 51
Mohsen Zandi, Ali Ganjloo, Mandana Bimakr, Abolfazl Gharebaghi
- Drying kinetics of camel milk cream foam using foam mat drying and study its effect on the structure and color of the product** 65
Morteza Kashaninejad, Seyed Mohammad Ali Razavi, Mohammad Reza Salahi
- Evaluation and comparison of ochratoxin a contamination and metallic elements lead and arsenic in commercial instant coffee powders** 81
Sedigheh Yazdanpanah, Shadi Jokar, Tahereh Zandilak, Maryam Haghighi
- Investigation of the Coffea Arabica substitution with roasted date seed on physicochemical and sensory properties of coffee brew** 96
Farideh Mojriani Sharghi, Marzieh Moeinfard, Reza Farhoosh, Hadi Mahdavian Mehr
- Photo-Modification of starch-oleic acid by TiO₂: investigation of food packaging properties** 113
Rahmatollah Pourata, Hamid Jahangir-Esfahani, Iman Shahabi-Ghahfarrokhi
- Aflatoxin contaminated cocoa beans classification using near-infrared spectroscopy** 129
Ali Saeidan, Mehdi Khojastehpour, Mahmood Reza Golzarian, Marzieh Moeinfard

Continue Content in cover