پژوهش های صنایع غذایی

(دانش کشاورزی)

نشریه علمی-پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

پژوهش های صنایع غذایی
Journal of FOOD RESEARCH

نشریه علمی- پژوهشی "پژوهش‌های صنایع غذایی" دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

صاحب امتیاز: دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

مدیر مسئول : دکتر علی ایاسه — دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

سردبیر: قنبرزاده بابک — استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

مسئول اجرایی: صادقی محمد حسن — دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

زمینه انتشار: علوم و صنایع غذایی

هیئت تحریریه:

خداییان چگینی فرامرز	استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی تهران
رضوی محمد علی	استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
علیزاده خالد آباد محمد	استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه
موسوی میر حسن	استاد گروه بهداشت مواد غذایی و آبزیان دانشکده دامپزشکی دانشگاه تبریز
حجازی محمد امین	دانشیار پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی منطقه غرب و شمال غرب
همدمی ناصر	استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان
دهقان‌نیا جلال	استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
قنبرزاده بابک	استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
Dr. Pasquale Massimiliano Falcone	Food Science and Engineering University of Foggia
Dr. Vasfiye Hazal OZYURT	Mugla Sıtkı Kocman University -Turkey
Dr. Lama Ismaiel	postdoctoral researcher, università politecnica delle marche, italy
دکتر محمد امین محمدی فر	دانشیار دانشگاه صنعتی دانمارک
دکتر حسین بنی اسدی	پژوهشگر ارشد، دانشکده مهندسی شیمی و متالورژی، دانشگاه آلتو، فنلاند

اعتبار علمی این نشریه به نامه شماره ۳/۱۱/۱۰۹۳ مورخ ۸۸/۶/۲۸ در کمیسیون بررسی اعتبار نشریات علمی کشور تایید شده است.

نشانی: دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، دفتر نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی

کد پستی: ۵۱۶۶۶۱۴۷۶۶

پست الکترونیکی: foodresearch@tabrizu.ac.ir

سامانه: http://foodresearch.tabrizu.ac.ir

نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی
جلد ۳۴ شماره ۴/ زمستان ۱۴۰۳

فهرست مطالب

نسترن خدادادی، زینب رفتنی امیری، رضا اسماعیل زاده کناری، سمیه رضایی ارمی ۱
بررسی تاثیر ساکارز با سطح مناسب شیرین بیان به عنوان شیرین کننده بومی ایرانی بر کیفیت بستنی .....

مریم میرخاقانی حقیقی، محمد وحید صادقی سروستانی ، سید سعید سخاوتی زاده ،مرتضی محرری ۱۵
تولید آنالوگ گوشتی و بررسی خصوصیات بافتی و پروفایل اسید چرب آن در مقایسه با محصول گوشتی .....

محمد نوشاد ، محمد حجتی، پریسا قاسمی ۳۳
استفاده از روش کف‌پوشانی در تولید پودر ملاس نیشکر: بهینه‌یابی و سینتیک انتقال جرم .....

بهرام فتحی آچاچلویی، حکیمه رضائی جعفرلو ، حسین عبدی بنمار ، رضوان شاددل ۵۵
غنی سازی پودر شیر با اسید لینولئیک کونژوگه ریزپوشانی شده با استفاده از خشک کن پاششی و بررسی ویژگی‌های آن

فخرالدین صالحی و کیمیا ثمری ۷۷
استفاده از آب مغناطیسی شده برای کاهش جذب روغن و بهبود خصوصیات حسی سیب‌زمینی سرخ‌شده .....

محمد فضلی راد، جعفر محمدزاده میلانی، سپیده حقیقت خرازی ۹۱
تاثیر حرارت دهی مرطوب و خشک در اندازه ذرات مختلف آرد گندم بر ویژگی های کیفی نان حجیم .....

صادق سیدلو ، حبیبه نعلبندی ، فخرالدین اسعدی و مهدی ارزنلو ۱۰۹
بررسی تاثیر کاربرد هم‌زمان جعبه‌هایی با طراحی مختص پیش‌سرمایش و پرتوتابی با اشعه گاما روی .....

Food Research Journal

Online ISSN: 2676-5691 Print ISSN: 2008-515X
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Investigating the effect of sucrose with a suitable level of licorice as a native Iranian sweetener on the quality of ice cream

Nastaran Khodadadi[1], Zeynab Raftani Amiri✉[2], Reza Esmaielzadeh Kenari[2] and Somayeh Rezaei Erami[3]

[1]MSc Student, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

[2]Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

[3]PhD in food Technology, National Standard Organization, Behshahr, Iran
✉Corresponding author: z.raftani@sanru.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: June 16, 2024
Accepted: August 17, 2024
Published: Jan 4, 2025

Keywords:
Ultrasound, ice cream, sensory acceptance, licorice root

ABSTRACT

Background: Ice cream is the most popular product in the category of dairy desserts, and high consumption of sucrose causes cardiovascular diseases, obesity, and diabetes. By replacing sucrose with licorice extract, these problems can be reduced and a healthy and safe product can be produced.
Aims: The purpose of this study is to Extraction of licorice extract by ultrasonic method and finding suitable concentration of licorice extract powder for use in ice cream formulation to reduce sucrose was investigated.
Methods: Different concentrations of licorice extract (0.5, 1, 1.25, 1.5, 1.75, and 2%) were added to ice cream along with sugar, and the physicochemical characteristics of ice cream included pH, specific gravity, viscosity, Overrun, Total solid matter, time of first melting drop, colorimetry and sensory evaluation were investigated.
Results: The physicochemical characteristics of ice cream showed that by substituting licorice in ice cream, the pH level decreased significantly ($P<0.05$). substitution up to a concentration of 1.5% led to a decrease in viscosity and total solids. Also, the treatment containing 2% licorice with the highest Overrun (42.60%) had the longest time for the first melting drop (11 minutes). With the increase of licorice concentration, the brightness index decreased and the a*, and b* values of the samples increased. Also, according to the evaluators, the ice cream containing 1% licorice had a higher sensory acceptance.
Conclusion: In general, the results of this study showed that up to 1% concentration of licorice extract can be chosen as a substitute for sucrose in ice cream.

Food Research Journal, 2025,34(4): 1-14
DOI: 10.22034/fr.2024.58923.1904

Extended Abstract

Introduction: Ice cream is the most popular dessert in the category of dairy products. The definition of ice cream varies from country to country (Goff et al., 2013). According to the definition of Iranian National Standard No. 2450, ice cream is a nutritious product that is prepared by freezing and aerating a homogeneous and pasteurized mixture of ingredients such as milk, fat, sugar, additives, and other optional ingredients in order to increase the quality and nutritional value of ice cream. The desired sweetness of ice cream is approximately equivalent to 13 to 16% of sucrose in the composition of 36 to 38% of total solids. Different types of sugar do not have the same sweetness, sweetness cannot be precisely defined and measured (Goff et al., 2013). High sucrose consumption causes cardiovascular diseases, obesity, and diabetes (Ozdemir et al., 2015). Therefore, much effort has been focused on using natural sweeteners in ice cream production (Alizadeh et al., 2014). Sugar plays many roles in food. Its most obvious function is sweet sugar, but it also helps improve flavor performance and affects mouthfeel and textural properties. All sweeteners can be used only as partial replacements for sugar since complete replacement significantly changes the structural properties (Goff et al., 2013). The genus Glycyrrhiza is a well-known traditional medicinal plant that grows in several regions of the world. The stolons and roots of these plants have been used in traditional medicine for more than 4000 years. Rhizomes and roots are the most important medicinal parts of licorice, which have been reported alone or in combination with other plants to treat many gastrointestinal disorders (such as peptic ulcer, hyperplasia, flatulence and colic), respiratory disorders such as cough, asthma, tonsillitis, and It is used for sore throat, epilepsy, fever, impotence, paralysis, rheumatism, leukorrhea, psoriasis, prostate cancer, malaria, bleeding diseases and (Öztürk et al., 2018). Licorice is mainly used as a sweetener because it is 50 times sweeter than sucrose and also has medicinal properties (Bahmani et al., 2015). Licorice is widely used in the food industry as a sweetener, flavor enhancer, and flavor modifier. Therefore, licorice extract is usually used in sweet foods such as sweet snacks, ice cream and syrup to increase their sweetness (Alfaumi et al., 2020).

Material and methods: The dried licorice root was cut into small pieces (1-0.5 cm in diameter and 1-0.5 cm in length). The dried roots were ground using a laboratory mill and after passing through a sieve (mesh 35) they were stored in polyethylene bags at -18°C (Shabkhiz et al., 2016). For the preparation of extract, 25 grams of powdered licorice root mixed with 50% (v/v) ethanol-water solvent at a ratio of 1:5 and subjected to 37 kHz ultrasound waves for 30 minutes at a temperature of 45°C and after filtering with Whatman No. 1 paper, then the solution was evaporated at 45°C in an oven and after freeze drying, the resulting powder was homogenized and stored in a dark container at -18°C until the experiments were carried out and For the preparation of different licorice extracts (0.5, 1, 1.25, 1.5, 1.75, and 2%) was used as a substitute for sucrose in ice cream formulation. Ice cream formulation based on 7% fat, sweetness equivalent to 15% sucrose (mixture of sucrose and licorice extract), 9% dry matter fat-free milk, 0.1% vanilla, and 0.3% salep, treatment, and control samples are prepared. For the preparation of ice cream First, the milk was heated to a temperature of 40-45 degrees Celsius, then the milk and cream were homogenized for one minute, sucrose was added to the mixture along with other dry components including licorice, milk powder, salep and mixed for 5 minutes with a mechanical stirrer at 70 rpm. The resulting mixture was pasteurized for 30 minutes at 70°C in a bain-marie and finally cooled to 5°C with the help of antifreeze (ice and salt). Then, the Aging stage was carried out at a temperature of 4-6 degrees Celsius in a refrigerator for 24 hours. Vanilla was also added to the mixture and the mixture was frozen in a non-continuous ice cream maker (Cuisinart, USA) for 30 minutes at a temperature of -4 degrees and the

physicochemical characteristics of ice cream including pH, specific gravity, viscosity, Overrun, Dry matter, time of first melting drop, colorimetric and sensory evaluation were investigated.

Results and discussion: The physicochemical characteristics of ice cream showed that by adding different concentrations of licorice (0.5, 1, 1.25, 1.5, 1.75, and 2%) along with sucrose in ice cream, the pH of the samples decreased significantly and the lowest pH in the sample containing 2% licorice was observed (6.38). The reason for the decrease in pH can be attributed to the acidic compounds in licorice such as saponin. By increasing the licorice extract concentration to 1.5%, the viscosity decreased significantly ($P<0.05$). The highest viscosity was related to the control treatment (1238 cp) and the lowest viscosity was related to the treatment containing 1.5% extract (cp 377.93). By increasing the licorice concentration up to 1.5% levels, there was a significant decrease in the specific gravity of the treatments, and by increasing the amount of extract at higher levels, the specific gravity increased significantly. Thus, the highest amount of specific gravity was observed in the concentration of 2% licorice (1.11). Also, With the increase of licorice concentration, the increase in volume in the treatments increased significantly, so that the treatment containing 2% licorice with Overrun (42.60%) caused a significant increase in ice cream volume. Because licorice root is a rich source of saponins, and foam formation is one of the prominent properties of saponins, and it can be said that the lipophilicity-hydrophilicity of saponins is responsible for foam formation. Levels of 0.5 to 1.25% licorice decrease the time of the first drop of melting and increase the speed of melting, and then by increasing the concentration of licorice extract at levels of 1.5 to 2%, the speed of melting decreased significantly, so that the treatment containing 2% licorice, the time of first melting drop (11 minutes) was equivalent to the control treatment ($P<0.05$). The highest amount of dry matter was seen in the control treatment (35.82) and with increasing the concentration of the extract up to 1.5%, the amount of dry matter in the samples decreased significantly ($P<0.05$) and with increasing the concentration of more than 1.5% of licorice extract powder, the amount of dry matter has shown an increasing trend. With increasing licorice extract concentration, brightness indices decreased. Thus, the highest level of brightness index belongs to the control treatment (73.85) and the lowest level of brightness index is related to the treatment with 2% licorice extract (47.59). It was also observed that with the increase of licorice percentage in the ice cream formulation, the highest amount of yellow/blue index was related to the treatment of 2% licorice (21.26) that these changes can be related to the presence of the predominant yellow (brownish) color of licorice extract. Also, with increasing concentration of licorice, (a*) it increased, so that 2% licorice treatment had the highest amount of redness (7.15). Also, in terms of sensory characteristics, high licorice concentrations scored very low and the reason was the bitter aftertaste of this extract. Among the different concentrations of this extract, 1% concentration of licorice extract was chosen to add to ice cream.

Conclusion: The results demonstrated that the addition of different concentrations of licorice with sucrose in the ice cream formulation, significantly reduced the pH, first melting drop, and dry matter in different samples, as well as with the replacement of licorice up to 1.5% viscosity and specific gravity were reduced, and increase of overrun was observed. With the increase of licorice, the brightness index decreased, and a*, b* increased. in terms of sensory characteristics, a very low score can be considered for ice cream containing licorice, and the reason for this is the bitter taste of this extract. Among the different concentrations of extract, 1% licorice extract was selected to add to ice cream and prepare a healthy and safe product. In general, considering the nativeness of the licorice plant and its food and medicinal use since ancient times in our country, this review can be an introduction to the practical use of this extract in dairy food products, especially ice cream, so

that the possibility of using an available and affordable source is provided and also leads to the production of food products with new taste characteristics, which will ultimately be a step towards improving the health and safety of society.

پژوهش‌های صنایع غذایی

شاپا الکترونیکی: ۵۶۹۱-۲۶۷۶ ، شاپا چاپی ۵۱۵X- ۲۰۰۸

https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

بررسی تاثیر ساکارز با سطح مناسب شیرین بیان به عنوان شیرین کننده بومی ایرانی بر کیفیت بستنی

نسترن خدادادی[۱]، زینب رفتنی امیری[۲*]✉، رضا اسماعیل زاده کناری[۲]، سمیه رضایی ارمی[۳]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

[۲] استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

[۳] دکترای صنایع غذایی، سازمان ملی استاندارد، بهشهر، ایران

✉ مسئول مکاتبه: z.raftani@sanru.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲۷
پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۲۷
انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

کلید واژگان:
اولتراسوند، بستنی، پذیرش حسی، ریشه شیرین بیان

چکیده

زمینه مطالعاتی: بستنی پرطرفدارترین محصول در رده دسرهای لبنی است و مصرف بالای ساکارز باعث بیماری‌های قلبی-عروقی، چاقی و دیابت می‌شود که با جایگزینی ساکارز با عصاره شیرین‌بیان می‌توان این مشکلات را کاهش داده و محصولی سالم و ایمن تولید کرد.

هدف: استخراج عصاره شیرین بیان به روش فراصوت و یافتن غلظت مناسبی از پودر عصاره شیرین‌بیان برای استفاده در فرمولاسیون بستنی به منظور کاهش ساکارز، مورد بررسی قرار گرفت.

روش کار: غلظت‌های مختلف عصاره شیرین‌بیان (۰/۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵، ۱/۷۵ و ۲٪) همراه با شکر به بستنی افزوده شد و ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی بستنی شامل pH، وزن مخصوص، ویسکوزیته، ضریب افزایش حجم، ماده جامد کل، زمان اولین قطره ذوب، رنگ سنجی و ارزیابی حسی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج: ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی بستنی نشان داد با جایگزینی شیرین‌بیان در بستنی میزان pH بطور معنی‌داری کاهش یافت ($P<0.05$). جایگزینی تا غلظت ۱/۵ درصد منجربه کاهش ویسکوزیته و مواد جامد کل شد. همچنین تیمار حاوی ۲٪ شیرین‌بیان با دارا بودن بالاترین میزان ضریب افزایش حجم (۴۲٪/۶۰) دارای طولانی‌ترین زمان اولین قطره ذوب (۱۱ دقیقه) بود. با افزایش غلظت شیرین‌بیان، شاخص روشنایی کاهش یافت و مقادیر a*، b* نمونه‌ها افزایش یافت. همچنین بستنی حاوی ۱٪ شیرین‌بیان از دید ارزیابان دارای پذیرش حسی بالاتری بود.

نتیجه‌گیری نهایی: میتوان تا غلظت ۱٪ عصاره شیرین‌بیان را برای جایگزینی ساکارز در بستنی مطلوب انتخاب کرد.

مقدمه

بطور کلی بستنی به‌عنوان مخلوط منجمد شیر، محصولات لبنی و شکر تعریف می‌شود که به‌عنوان یکی از محبوب‌ترین دسرها در جهان شناخته می‌شود (لوپز و همکاران 2021). نقش اصلی شیرین‌کننده‌ها، شیرین کردن محصول است که موجب افزایش استقبال مصرف‌کننده می‌شود (گاف و همکاران ۲۰۱۳). شیرین‌کننده‌ها به‌دلیل تاثیر بر نقطه انجماد، ویسکوزیته و حفظ بافت خوب، عامل بسیار مهمی در پذیرش مصرف‌کننده می‌باشد (علیزاده و همکاران ۲۰۱۴). شیرینی مورد نظر بستنی تقریبا معادل ۱۳ تا ۱۶ درصد ساکارز در ترکیب ۳۶ تا ۳۸ درصد کل مواد جامد است (گاف و همکاران ۲۰۱۳). تحقیقات نشان داده است میزان مصرف بالای ساکارز باعث بیماری‌های قلبی–عروقی، چاقی و دیابت می‌شود (ازدمیر و همکاران ۲۰۱۵). بنابراین در دهه‌های اخیر پیشنهاد شده است که شیرین‌کننده‌های مصنوعی، جایگزین ساکارز شوند، اگرچه این ترکیبات محصولاتی با کالری کم یا بدون کالری تولید می کنند اما مسائل سلامتی مختلفی از جمله سرطان‌زایی، ناهنجاری‌زایی و تداخل با برخی بیماری‌های متابولیکی یا قلبی–عروقی را سبب می‌شود، بنابراین تلاش زیادی برای استفاده از شیرین‌کننده های طبیعی در تولید بستنی متمرکز شده است (علیزاده و همکاران ۲۰۱۴). شیرین‌بیان با نام علمی *گلیسیریزا گلابرا* *Glycyrrhiza glabra* L و نام انگلیسی آن لیکوریس[1] و نام عربی آن شجره السوس و عرق السوس می‌باشد (خان احمدی و همکاران ۱۳۹۲). گلیسیریزا گلابرا یک نام یونانی است و از دو واژه گلیکیس[2] به معنی شیرین و ریزا[3] به معنی ریشه مشتق شده است. استولون و ریشه این گیاه بیش از ۴۰۰ سال است که در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و از آن به‌عنوان پدربزرگ گیاهان یاد می‌شود (اوزتورک و همکاران ۲۰۱۸). شیرین‌بیان بطور گسترده‌ای در صنایع غذایی به‌عنوان عامل شیرین‌کننده، تقویت‌کننده طعم و اصلاح کننده طعم کاربرد دارد. بنابراین، معمولا از عصاره شیرین‌بیان در غذاهای شیرین مانند تنقلات شیرین، بستنی و شربت در کشورهای غربی برای افزایش شیرینی آن‌ها استفاده می‌شود (آلفاومی و همکاران ۲۰۲۰). عمدتا از این ماده به‌عنوان شیرین‌کننده استفاده می‌شود، زیرا ۵۰ برابر شیرین‌تر از ساکارز بوده و همچنین دارای خواص دارویی است (بهمنی و همکاران ۲۰۱۵). عصاره ریشه شیرین‌بیان دارای اثرات مطلوب گوارشی مانند تنظیم حرکت دستگاه گوارش، فعالیت ضدزخم، مخافظت از سلول‌های اپیتلیال معده است (لاهوت و همکاران ۲۰۱۷). گلیزیریک اسید یا گلیسیریزین اصلی‌ترین ترکیب فعال بیولوژیکی ریشه شیرین‌بیان است که دارای طعمی شیرین بوده و بصورت صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (مورک ۲۰۲۰). گلیسیریزین شیرینی طولانی مدت دارد و تقریبا ۲۰۰–۱۵۰ برابر شیرین‌تر از ساکارز است (هایاعلو و همکاران ۲۰۱۷).

هایاعلو و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به بررسی تولید بستنی با طعم شیرین‌بیان پرداختند و چهار سطح شیرین‌بیان (۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲٪) به مخلوط اضافه شد و تیمار تهیه شده با نمونه کنترل (نمونه بدون عصاره) مقایسه شد. نتایج نشان داد که شیرین‌بیان ضریب افزایش حجم، رنگ و پذیرش کلی بستنی را بهبود بخشید و با در نظر گرفتن خواص فیزیکی، شیمیایی و حسی، افزودن شیرین‌بیان تا ۱/۵ درصد برای تولید بستنی مناسب بود (هایاعلو و همکاران ۲۰۱۷). آلفاومی و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی به بررسی اثر افزودن عصاره اتانولی شیرین بیان (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آرد گندم) در تهیه پای پرداختند. نتایج نشان داد که حجم ویژه در ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم عصاره در ۱۰۰ گرم آرد نسبت به شاهد افزایش اندکی داشت. طعم، حجم و رنگ خرده پای ها با ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم عصاره شیرین بیان بهبود یافت. افزودن عصاره اتانولی شیرین بیان به میزان ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم با موفقیت عمر مفید میکروبیولوژیکی را در مقایسه با نمونه شاهد از ۶ روز تا ۱۲ روز افزایش داد (آلفاومی و همکاران ۲۰۲۰).

بستنی محبوب‌ترین دسر لبنی جهان است که مورد استقبال گروه‌های سنی مختلف از کودکان و نوجوانان تا افراد مسن قرار گرفته است. با این‌حال عوارض مختلف این محصول مانند

[1] Liquorice or Licorice
[2] glykos
[3] rhiza

چاقی، دیابت و پوسیدگی دندان که با حضور ساکارز در بستنی ارتباط دارد، مصرف آن را با مشکل مواجه کرده است. بنابراین براساس مطالعات انجام شده، عصاره شیرین‌بیان برای افزودن به بستنی و کاهش درصدی از ساکارز انتخاب شد. مصرف شیرین‌بیان به‌عنوان شیرین‌کننده ای طبیعی و ایمن که بومی کشورمان است در فرمولاسیون بستنی مورد بررسی قرار گرفت تا بتوان از اثرات سلامت بخشی فراوان آن همچون درمان سرطان و بسیاری از اختلالات دستگاه گوارش (مانند زخم معده) و دستگاه تنفس (مانند سرفه، آسم و گلودرد) در بستنی استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش شیر استریلیزه و هموژنیزه (۳ درصد چربی) و خامه استریلیزه و هموژنیزه (۳۰ درصد چربی) از شرکت لبنی کاله آمل و شکر از شرکت برلیان تهران خریداری شد. شیر خشک بدون چربی و ثعلب از شرکت رویسا قائم شهر و ریشه شیرین بیان از عطاری پارسیان مازندران، قائم شهر خریداری شد.

تهیه عصاره شیرین‌بیان

ریشه خشک شده شیرین‌بیان واریته ویولاسه (*G. glabra var B.violacea Bioss*) از عطاری تهیه شد و به قطعات کوچک (قطر ۰/۵-۱ سانتی متر و طول ۰/۵-۱ سانتی متر) بریده شد. ریشه خشک شده با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی آسیاب شده و پس از عبور از الک (مش ۳۵) در کیسه‌های پلی‌اتیلن در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (شبخیز و همکاران ۲۰۱۶). ۲۵ گرم از ریشه پودر شده شیرین‌بیان با نسبت ۵:۱ حلال اتانول-آب ۵۰ درصد (v/v) مخلوط و در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد، تحت تاثیر امواج فراصوت حمام اولتراسونیک، ساخت کشور آلمان از کمپانی الما (Elmasonic S 30 H) با فرکانس ۳۷ کیلوهرتز، به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت و پس از صاف کردن با کاغذ واتمن شماره ۱ به منظور تبخیر حلال در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد در آون (Memert UF110) قرار گرفت. سپس نمونه در خشک‌کن انجمادی، خشک شده و پودر شیرین‌بیان به کمک هاون و بوته چینی یکدست شد و تا انجام آزمایشات در ظروف تیره در دمای ۱۸- درجه سانتی گراد نگهداری شد (ساویز و همکاران ۲۰۱۵).

فرمولاسیون بستنی

فرمولاسیون بستنی بر پایه ۷ درصد چربی، شیرینی معادل ۱۵ درصد ساکارز (مخلوط ساکارز و پودر عصاره شیرین‌بیان)، ۹ درصد ماده خشک بدون چربی شیر، ۰/۱ درصد وانیل ، ۰/۳ درصد ثعلب، نمونه‌های تیمار و شاهد تهیه شد.

روش تهیه بستنی

بعد از توزین مواد اولیه ابتدا شیر تا دمای ۴۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد گرم شد، سپس شیر و خامه با همزن دستی بمدت یک دقیقه یکنواخت گردیدند، ساکارز به همراه سایر اجزای خشک شامل شیرین‌بیان، پودر شیر خشک و ثعلب به مخلوط افزوده شده و بمدت ۵ دقیقه با همزن مکانیکی (پارس آزما ساخت ایران) با rpm ۷۰ همزده شدند. مخلوط حاصله بمدت ۳۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در بن ماری پاستوریزه و در نهایت به کمک ماده سرمازا (یخ و نمک) تا دمای ۵ درجه سانتی‌گراد خنک گردید. سپس مرحله رساندن در دمای ۶-۴ درجه سانتی‌گراد در دمای یخچال بمدت ۲۴ ساعت طی کرد. وانیل نیز به مخلوط اضافه شد و مخلوط در دستگاه بستنی‌ساز غیرمداوم (Cuisinart ساخت آمریکا) بمدت ۳۰ دقیقه مرحله انجماد را در دمای ۴- درجه گذراند و در نهایت بستنی نرم در ظروف پلاستیکی درب دار از جنس پلی اتیلن بسته بندی شد تا بمدت ۲۴ ساعت مرحله سخت شدن را در فریزر با دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد سپری کند. بستنی آماده شده تا انجام آزمایشات در این دما باقی ماند (غیبی و همکاران ۱۳۹۶).

تیمارهای بستنی حاوی پودر عصاره شیرین‌بیان در سطوح (۰، ۰/۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵، ۱/۷۵، ۲٪) در جدول ۱ ذکر شده است.

Table 1- Ice cream treatments containing different licorice concentrations

T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	Control	Matter
57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	Milk (%)
18	18	18	18	18	18	18	Cream (%)
9	9	9	9	9	9	9	Skim Milk (%)
0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	Salep (%)
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	Emulsifier (%)
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	Vanilla (%)
13	13.25	13.5	13.75	14	14.5	15	Sucrose (%)
2	1.75	1.5	1.25	1	0.5	0	Licorice (%)
100	100	100	100	100	100	100	Total (%)

T1 :(Licorice extract 0.5%,) T2 :(Licorice extract 1%) ، T3 :(Licorice extract 1.25%) ، T4 :(Licorice extract 1.5%) ، T5 :(Licorice extract 1.75%) ، T6 :(Licorice extract 2%):

آزمایشات مخلوط بستنی

pH

برای اندازه‌گیری pH در آمیخته، از pH متر رومیزی (Sartorius, PB-11) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد (صفری و همکاران ۲۰۲۲).

ویسکوزیته

ویسکوزیته آمیخته بستنی توسط ویسکومتر چرخشی بروکفیلد (+ProDV–، ساخت آمریکا) در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (تیواری و همکاران ۲۰۱۵). پس از انجام آزمایشات مقدماتی، اسپیندل ۶۳ به‌عنوان مناسب‌ترین اسپیندل انتخاب شد (با توجه به دستورالعمل شرکت سازنده، اسپیندل مناسب جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته، اسپیندلی است که در سرعت مورد نظر گشتاوری بالاتر از ۱۰ درصد را نشان دهد).

وزن مخصوص

وزن مخصوص به روش پیکنومتری در دمای ۲۵ درجه روی مخلوط بستنی و بعد از مرحله رساندن انجام گرفت. روش کار به این صورت بود که وزن پیکنومتر خشک و خالی (G) ، وزن پیکنومتر همراه آب مقطر (G1) و وزن پیکنومتر به همراه نمونه (G2) را اندازه گرفته و وزن مخصوص با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (بهرام پرور و همکاران۱۳۸۷ و گاف و همکاران ۲۰۱۳).

رابطه (۱)

$$\text{وزن مخصوص} = \frac{G2 - G}{G1 - G}$$

آزمایشات بستنی

ضریب افزایش حجم (اوران)

برای تعیین درصد اوران، ابتدا وزن مخلوط بستنی، پس از زمان رساندن در حجمی مشخص (۵ میلی‌لیتر) اندازه‌گیری شد. سپس مخلوط بستنی به مدت ۲۰ دقیقه درون دستگاه بستنی‌ساز قرار گرفته تا عمل انجماد و هوادهی انجام گرفت و ضریب افزایش حجم با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (گرمسکی و همکاران ۲۰۱۹).

رابطه (۲)

$$\text{اوران (٪)} = \frac{(\text{وزن 5 میلی لیتر بستنی}) - (\text{وزن 5 میلی لیتر مخلوط})}{(\text{وزن 5 میلی لیتر بستنی})} \times ۱۰۰$$

تعیین مواد جامد کل

نمونه‌های بستنی ۳ روز بعد از نگهداری در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد مورد آزمون قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری مواد جامد ابتدا درجه حرارت نمونه‌ها به ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد و نمونه‌ها کاملا همگن گردیدند. ظروف مخصوص نمونه که از قبل به مدت ۳۰ دقیقه در آون ۱۰۰ تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس ۲/۵ تا ۳ گرم از هر یک از نمونه‌ها در ظروف افزوده شدند. سپس ظروف حاوی نمونه در آون ۲ ± ۱۰۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت قرار گرفتند و پس از سرد شدن در دسیکاتور، محاسبه درصد ماده خشک نمونه‌ها طبق رابطه (۳) انجام شد (هاشمی و همکاران ۲۰۱۵).

رابطه (۳)

$$\text{درصد ماده خشک} = \frac{W2-W1}{P} \times ۱۰۰$$

W_1= وزن پلیت

W2= وزن پلیت+ ماده خشک

P= وزن نمونه

زمان اولین قطره ذوب

مقدار ۳۰ گرم از نمونه بستنی، روی توری فلزی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، در داخل انکوباتور فرار گرفت و زمان اولین قطره ذوب یادداشت شد (محمدزاده و همکاران ۲۰۲۰).

ارزیابی رنگ

رنگ نمونه با استفاده از (IMG Pardazesh) اندازه‌گیری شد. مقادیر L, a و b ثبت شد. L نشان دهنده روشنایی در مقیاس ۱۰۰- ۰ از سفید به سیاه، a قرمزی (+) تا سبز (-) و b زرد (+) تا آبی (-) می‌باشد (گرجیان و همکاران ۲۰۲۱).

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی نمونه‌ها بعد از نگهداری تیمارهای بستنی در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد و با آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای توسط ۱۲ داور (۷ زن و ۵ مرد) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های تولیدی از نظر بو و مزه، بافت و پذیرش کلی مورد ارزیابی قرار گرفتند. امتیاز ۵ به نمونه عالی، امتیاز ۴ به نمونه خوب، امتیاز ۳ به نمونه متوسط، امتیاز ۲ به نمونه بد و امتیاز ۱ به نمونه بسیار بد داده شد (دورماز و همکاران ۲۰۲۰) .

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل در طرح کاملا تصادفی انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار (SPSS 26) انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۱۶ استفاده شد. تفاوت های معنی دار با استفاده از تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) تعیین شد. متغیرهای مورد بررسی افزودن شیرین‌بیان در فرمولاسیون بستنی در سطوح (۰/۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵، ۱/۷۵ و ۲ درصد) بودند.

نتایج و بحث

نتایج مخلوط بستنی

pH

میزان pH نمونه‌ها با افزودن غلظت‌های مختلف شیرین‌بیان اندازه‌گیری شد. طبق نتایج جدول ۲ با افزایش غلظت‌های مختلف شیرین‌بیان، pH نمونه بطور معنی‌داری کاهش یافت و بیشترین میزان pH (۶/۴۵) مربوط به تیمار شاهد (بستنی بدون شیرین‌بیان) و کمترین میزان pH (۶/۳۸) مربوط به تیمار حاوی ۲٪ عصاره شیرین‌بیان بود. دلیل این کاهش را می‌توان به ترکیبات اسیدی موجود در شیرین‌بیان مانند اسیدهای آمینه، اسید آسکوربیک و ساپونین نسبت داد. خسروی و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثر شیرین‌بیان بر کوکی بدون گلوتن پرداختند و کاهش pH را در پی افزودن شیرین‌بیان گزارش نمودند و دلیل آن را pH پایین پودر شیرین‌بیان که در محدوده ۵/۷-۵ می‌باشد، دانستند (خسروی و همکاران ۲۰۲۱).

پارک و لی (۲۰۱۴) در پژوهشی در مورد اثر پودر شیرین‌بیان بر خواص فیزیکوشیمیایی نوعی کیک انجام گرفت نیز کاهش pH را با افزایش درصد شیرین‌بیان گزارش کردند (پارک و لی ۲۰۱۴) که با نتایج بدست آمده مطابقت دارد.

ویسکوزیته

طبق نتایج جدول ۲ با افزایش غلظت عصاره شیرین‌بیان تا ۱/۵ درصد، میزان ویسکوزیته بطور معنی‌داری کاهش یافت ($P<0.05$). بیشترین میزان ویسکوزیته مربوط به تیمار شاهد (۱۲۳۸ cp) و کمترین میزان ویسکوزیته مربوط به تیمار حاوی ۱/۵٪ عصاره (۳۷۷/۹۳ cp) بود. هایاعلو و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند که افزودن شیرین‌بیان تا ۰/۵٪ موجب کاهش ویسکوزیته و سپس با افزایش میزان عصاره تا سطوح ۲ درصد، ویسکوزیته روند افزایشی نشان می‌دهد و دلیل آن را افزایش ویسکوزیته در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداری آب در عصاره شیرین بیان دانستند (هایاعلو و همکاران ۲۰۱۷). که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. عارفی و کاراژیان (۲۰۱۹) نیز به بررسی اثر جایگزینی سفیده تخم مرغ با شیرین‌بیان در موس پرداختند و بیان کردند، با افزایش غلظت شیرین‌بیان در سطوح بالا ویسکوزیته افزایش می‌یابد. زیرا ریشه شیرین‌بیان حاوی

صمغ است و صمغ با جذب آب و درگیر کردن آن در شبکه ژلی تشکیل شده باعث افزایش ویسکوزیته می‌شود (عارفی و کاراژیان ۲۰۱۹). نتایج بدست آمده در توافق با گزارشات بررسی شده بود.

وزن مخصوص

وزن مخصوص به ترکیبات تشکیل‌دهنده مخلوط بستگی دارد (اسدی‌نژاد و همکاران ۲۰۰۵). از نتایج مندرج در جدول ۲ می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که با افزایش غلظت شیرین‌بیان تا سطوح ۱/۵٪ کاهش معنی‌داری در وزن مخصوص تیمارها ایجاد شده و با افزایش میزان عصاره در سطوح بالاتر وزن مخصوص بطور معنی‌داری افزایش یافت. بطوریکه بالاترین میزان وزن مخصوص در غلظت ۲٪ شیرین‌بیان (۱/۱۱) و کمترین میزان این شاخص در غلظت ۱/۵٪ شیرین‌بیان (۱/۰۹) مشاهده شد. با توجه به تغییرات صورت گرفته در فرمولاسیون بستنی، وزن مخصوص در محدوده تعریف شده استاندارد که مقدار آن بین ۱/۰۵۴۴ – ۱/۱۲۳۲ می‌باشد، دیده شد (شعائی و همکاران ۲۰۲۲).

Table 2- Amount and deviation of chemical composition characteristics in ice cream mixture containing licorice extract powder

specific gravity	Viscosity (cp)	pH	Treatment
1.10 ± 0.00^{bc}	1238 ± 3.46^{a}	6.45 ± 0.05^{a}	control
1.10 ± 0.01^{bc}	519.53 ± 2.75^{e}	6.44 ± 0.00^{b}	T1
1.10 ± 0.05^{cd}	563.70 ± 2.76^{d}	6.42 ± 0.02^{c}	T2
1.09 ± 0.00^{cd}	454.78 ± 1.87^{f}	6.42 ± 0.05^{c}	T3
1.09 ± 0.05^{d}	377.93 ± 0.23^{g}	6.40 ± 0.05^{d}	T4
1.11 ± 0.05^{ab}	625.33 ± 1.67^{c}	6.38 ± 0.00^{e}	T5
1.11 ± 0.00^{a}	656.20 ± 4.40^{b}	6.38 ± 0.01^{e}	T6

The letters shown in each column indicate a statistically significant difference ($P<0.05$) among the treatments

نتایج آزمون‌های بستنی

ضریب افزایش حجم (اوروران)

با توجه به نتایج بدست آمده، با افزایش غلظت شیرین‌بیان، افزایش حجم در تیمارها بطور معنی‌داری افزایش یافت بطوریکه تیمار حاوی ۲٪ شیرین‌بیان با اوروران (۴۲/۶۰٪) افزایش حجم چشمگیری در بستنی ایجاد کرد. زیرا ریشه شیرین‌بیان منبعی سرشار از ساپونین‌ها است و تشکیل کف یکی از خواص بارز ساپونین‌ها بوده و می‌توان گفت ویژگی چربی دوستی_آبدوستی ساپونین‌ها مسئول تشکیل کف است. ایباناعلو و ایباناعلو در سال (۲۰۰۰) رفتار کف زایی شیرین‌بیان را مورد بررسی قرار دادند و نتایج را این گونه گزارش کردند که غلظت اثر قابل توجهی بر افزایش حجم و پایداری کف دارد و با افزایش غلظت شیرین‌بیان، اوروران افزایش می‌یابد (ایباناعلو و ایباناعلو ۲۰۰). اوروران در بستنی‌های بسیار مرغوب (چربی ٪۱۸– ساکارز ۱۸٪– جامدات کل بیش از ۴۰٪) بین ۲۵ تا ۵۰ درصد گزارش شده است (برازق و تهرانی ۱۳۹۰) که نتایج بدست آمده در این رنج می‌باشد. هایاعلو و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند که افزودن شیرین‌بیان تا ۲٪، حجم بستنی را تقریبا دو برابر می‌کند (هایاعلو و همکاران ۲۰۱۷).

زمان اولین قطره ذوب

با توجه به نتایج این پژوهش، سطوح ۰/۵ تا۱/۲۵٪ شیرین‌بیان موجب کاهش زمان اولین قطره ذوب و افزایش سرعت ذوب می‌شود و سپس با افزایش غلظت عصاره شیرین‌بیان در سطوح ۱/۵ تا ۲٪، سرعت ذوب بطور معنی‌داری کاهش یافت بطوریکه تیمار حاوی ۲٪ شیرین‌بیان، زمان اولین قطره ذوب (۱۱ دقیقه) و معادل با تیمار کنترل بود ($P<0.05$). گزارشات متعددی در توافق با نتایج بدست آمده بیان کردند که بستنی با افزایش حجم بیشتر، دیرتر ذوب شده و درصد مقاومت به ذوب بالاتری دارد واین سرعت پایین ذوب در بستنی‌هایی با اوروران بالا را به سرعت پایین انتقال حرارت ناشی از حجم زیاد هوا مربوط دانستند (یو و همکاران ۲۰۱۹ و وارن و هارتل ۲۰۱۸ و ساکوری ۱۹۹۶).

ماده جامد کل

میزان ماده‌ی خشک با غلظت‌های مختلف شیرین‌بیان اندازه‌گیری و نتایج بدست آمده در جدول ۳ درج شد. طبق نتایج حاصله بالاترین میزان ماده خشک در تیمار شاهد (۳۵/۸۲) دیده شد و با افزایش غلظت عصاره تا ۱/۵٪، میزان ماده خشک نمونه‌ها کاهش معنی‌داری یافت ($P<0.05$) . که احتمالا بدلیل ظرفیت بالای نگهداری آب شیرین‌بیان است و با افزایش غلظت بیش از ۱/۵٪ پودر عصاره شیرین‌بیان، میزان ماده خشک روند افزایشی را نشان داده است. نتایج بدست آمده با پژوهش هایاعلو و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی داشت، آن‌ها میزان ماده خشک بستنی حاوی عصاره شیرین‌بیان را ۳۴/۳۸ تا ۳۶/۳۹ گزارش کردند (هایاعلو و همکاران ۲۰۱۷). مصطفوی و همکاران (۱۳۹۳) مقدار ماده خشک نمونه‌های بستنی را بین ۳۱/۶۹ تا ۴۴/۹۴ درصد گزارش کردند و همچنین آن‌ها رابطه مستقیمی میان ماده خشک و ویسکوزیته را اعلام کردند (مصطفوی و همکاران ۱۳۹۳).

Table 3- Average and standard deviation of physicochemical parameters in ice creams containing licorice extract powder

Dry Matter (%)	First Dripping Time (Second)	Overrun (%)	Treatment
35.82 ± 0.33^{a}	635 ± 5.00^{a}	24.66 ± 0.11^{g}	control
33.76 ± 0.38^{c}	400 ± 20.54^{e}	25.90 ± 0.17^{f}	T1
33.25 ± 0.46^{d}	433.70 ± 12.27^{d}	30.12 ± 0.10^{e}	T2
33.20 ± 0.06^{e}	391.26 ± 11.15^{e}	33.43 ± 0.46^{d}	T3
32.10 ± 0.00^{e}	556.60 ± 15.23^{c}	36.56 ± 0.05^{c}	T4
34.05 ± 0.02^{bc}	592.33 ± 6.80^{b}	39.00 ± 0.17^{b}	T5
34.19 ± 0.01^{b}	660.00 ± 19.00^{a}	42.60 ± 0.00^{a}	T6

The letters shown in each column indicate a statistically significant difference ($P<0.05$) among the treatments

ارزیابی رنگ

طبق نتایج آزمون رنگ سنجی در جدول ۴ می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد. افزایش غلظت عصاره شیرین‌بیان در فرمولاسیون بستنی بطور معنی‌داری باعث کاهش روشنایی تیمارهای بستنی گردیده است بطوریکه بالاترین میزان شاخص روشنایی متعلق به تیمار شاهد (۷۳/۸۵) و کمترین میزان شاخص روشنایی نیز متعلق به تیمار با میزان ۲ درصد عصاره شیرین‌بیان (۴۷/۵۹) بود. همچنین ملاحضه گردید که با افزایش درصد شیرین‌بیان در فرمولاسیون بستنی بیشترین میزان شاخص زردی متعلق به تیمار۲ درصد شیرین‌بیان (۲۱/۲۶) و کمترین میزان b (مولفه زردی) نیز متعلق به تیمار شاهد (۱۸/۴۱) بود. همچنین با افزایش درصد جایگزینی شیرین‌بیان میزان (مولفه قرمزی) افزایش یافت. بطوریکه تیمار ۲٪ شیرین‌بیان دارای بالاترین میزان قرمزی (۷/۱۵) بود.

Table 4- Colorimetry of ice cream treatments containing different concentrations of licorice

b*	a*	L*	Treatment
18.41 ± 1.65^{b}	-8.92 ± 2.94^{e}	73.85 ± 1.19^{a}	Control
18.80 ± 1.37^{ab}	-4.19 ± 0.81^{d}	69.95 ± 0.94^{ab}	T1
18.68 ± 0.59^{ab}	-3.26 ± 0.41^{d}	67.44 ± 0.41^{bc}	T2
18.77 ± 1.11^{ab}	-0.11 ± 3.07^{cd}	65.04 ± 1.93^{c}	T3
19.28 ± 2.47^{ab}	1.82 ± 4.10^{bc}	57.00 ± 4.86^{d}	T4
19.03 ± 0.52^{ab}	4.53 ± 0.74^{ab}	56.84 ± 2.44^{d}	T5
21.26 ± 1.01^{a}	7.15 ± 1.49^{a}	47.59 ± 2.37^{e}	T6

The letters shown in each column indicate a statistically significant difference ($P<0.05$) among the treatment

ارزیابی حسی

طبق نتایج مندرج در جدول ۵ جایگزینی عصاره شیرین‌بیان بر خواص حسی بستنی موثر می‌باشد و بهترین تیمار از نظر رنگ، طعم و پذیرش کلی، تیمار ۱٪ شیرین‌بیان انتخاب شد. از میان تیمارهای حاوی عصاره شیرین‌بیان، کمترین امتیاز مربوط به طعم و پذیرش کلی به تیمار حاوی ۲٪ عصاره اختصاص داده شد زیرا پس طعم تلخ شیرین‌بیان از نظر ارزیابان موجب کاهش این پذیرش می شد. هایاعلو و همکاران (۲۰۱۷) میزان ۱/۵٪ شیرین‌بیان را برای افزودن به بستنی مناسب دانستند که احتمالا روش‌های متفاوت عصاره‌گیری موجب این تفاوت شد (هایاعلو و همکاران ۲۰۱۷). همچنین در گزارشات متعدد نیز میزان افزودن اسید گلیسریزیک در بستنی، در محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ درصد گزارش شد (لاهوت و همکاران ۲۰۱۷ و هایاعلو و همکاران ۲۰۱۷). آلفاومی و همکاران (۲۰۲۰) نیز به تلخی حاصل از افزودن شیرین‌بیان به‌عنوان شیرین‌کننده در تافی اشاره کردند (آلفاومی و همکاران ۲۰۲۰).

Table 5- The results of sensory evaluation of ice cream treatments containing different licorice concentrations

overall acceptability	Texture	Color	Flavor	Odor	Treatment
4.50 ± 0.05^{a}	4.36 ± 0.28^{a}	4.16 ± 0.28^{bc}	4.16 ± 0.28^{ab}	3.83 ± 0.28^{bc}	control
4.16 ± 0.28^{a}	4.23 ± 2.28^{a}	2.50 ± 0.50^{d}	4.33 ± 0.28^{ab}	3.50 ± 0.20^{bc}	T1
4.83 ± 0.28^{a}	4.33 ± 0.57^{a}	4.33 ± 0.28^{bc}	4.83 ± 0.28^{a}	4.50 ± 0.50^{a}	T2
4.00 ± 0.50^{a}	4.16 ± 0.28^{a}	4.00 ± 3.28^{c}	3.83 ± 0.28^{bc}	4.23 ± 0.28^{ab}	T3
4.33 ± 0.57^{a}	3.33 ± 0.28^{b}	5.00 ± 0.10^{a}	3.16 ± 0.28^{c}	4.16 ± 0.46^{ab}	T4
3.16 ± 0.28^{b}	4.16 ± 0.76^{a}	4.83 ± 0.28^{ab}	2.61 ± 0.28^{d}	3.00 ± 0.28^{c}	T5
2.33 ± 0.57^{c}	4.00 ± 0.54^{a}	5.00 ± 5.00^{a}	1.00 ± 0.76^{d}	3.33 ± 3.28^{bc}	T6

The letters shown in each column indicate a statistically significant difference ($P<0.05$) among the treatments.

نتیجه گیری

براساس نتایج بدست آمده از آنالیز آماری مشخص گردید که افزودن شیرین‌بیان در فرمولاسیون بستنی، موجب کاهش معنی‌دار، زمان اولین قطره ذوب و ماده جامد کل در نمونه‌های مختلف شد، همچنین با جایگزینی شیرین‌بیان تا غلظت ۱/۵٪ ویسکوزیته و وزن مخصوص کاهش یافت و به موازات افزایش غلظت شیرین‌بیان در تیمارهای مختلف بستنی افزایش اوران مشاهده شد. با افزایش غلظت عصاره شیرین‌بیان، شاخص روشنایی کاهش یافت و مقادیر a*، b* نمونه‌ها افزایش یافت که این تغییرات بدلیل رنگ زرد (مایل به قهوه‌ای) عصاره شیرین‌بیان بود. از نظر ویژگی‌های حسی نیز غلظت‌های بالای شیرین‌بیان امتیاز بسیار پایینی کسب نمودند و دلیل آن پس‌طعم تلخ این عصاره بود. در میان غلظت‌های مختلف این عصاره غلظت ۱٪ عصاره شیرین‌بیان برای افزودن به بستنی انتخاب شد.

References

اسدی‌نژاد ش، حبیبی نجفی م، رضوی م و نصیری محلاتی م، ۱۳۸۳. تأثیر کنسانتره‌های پروتئین آب پنیر برخصوصیات فیزیکوشیمیایی وحسی بستنی، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱ (۴)، ۹۵-۱۰۶.

بهرام‌پرور م، حداد خداپرست م ح و محمد امینی ا، ۱۳۸۷. بررسی تاثیر جایگزینی مقادیر مختلف صمغ های کربوکسی متیل سلولز و ثعلب با صمغ دانه بالنگو شیرازی بر خصوصیات بستنی سخت خامه ای، مجله پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران، ۴ (۱)، ۳۸-۴۷.

خان احمدی م، نقدی آبادی ح، آخوندزاده ش، خلیقی سیگارودی ف، مهرآفرین ع، شهریاری س و حاجی آقایی ر، ۱۳۹۲. مروری بر گیاه دارویی شیرین بیان .(Glycyrrhiza glabra L.) فصلنامه گیاهان دارویی، ۲ (۴۶)، ۱-۱۲.

خسروی ا، مسعود نیا ع و ضیاضیابری ف، ۱۴۰۰. بررسی اثر شیرین بیان بر خواص فیزیکوشیمیایی و حسی کوکی بدون گلوتن حاوی آرد ارزن و سویا، .مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۸ (۱۱۵)، ۳۷-۴۷ .

صفری ر، رفتنی امیری ز، ریحانی پول س و هادی غ، ۱۴۰۱. نانو ریزپوشانی فیکوسیانین استخراج شده از جلبک اسپیرولینا (Spirulina platensis) و استفاده از نانوذرات حاصل در فرمولاسیون بستنی، مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۹ (۱۲۳)، ۱۴۵-۱۵۹.

عارفی ه و کاراژیان ح، ۱۳۹۸. بررسی اثر جایگزینی سفیده تخم‌مرغ با شیرین بیان بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی موس، نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۵ (۱)، ۱۲۱-۱۳۱.

غیبی ن، رفتنی امیری ز و محمدرضا ک، ۱۳۹۶. بررسی اثر استویا و اینولین بر روی ساختار، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی بستنی رژیمی، مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۴ (۶۳)، ۱-۱۴.

گرجیان ه، رفتنی امیری ز، محمدزاده میلانی ج و غفاری خلیق ن، ۱۴۰۰. مقایسه تاثیر نگهدارنده های طبیعی (نانولیپوزوم و نانونیوزوم حاوی عصاره برگ مورد) و نگهدارنده شیمیایی بنزوات سدیم بر ویژگیهای فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی سس مایونز، مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۸ (۱۱۶)، ۳۱۳-۳۲۵.

محمدزاده و آرژه ا، معصومی د و خسروشاهی ا، ۱۳۹۹. بررسی تأثیر استویا و صمغ گوار بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست منجمد حاوی کنسانتره پرتقال، مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۷ (۱۰۱)، ۹۳-۱۰۱.

مصطفوی ف س، مظاهری تهرانی م و محبی م، ۱۳۹۳. بهینه سازی فرمولاسیون بستنی وانیلی حاوی کنسانتره پروتئین شیر با استفاده از روش سطح پاسخ، مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۱ (۴۴)، ۱۴۳-۱۵۴.

میرچولی برازق ع و مظاهری تهرانی م، ۱۳۹۰. بررسی تاثیر جایگزینی مواد جامد کل بستنی با بادام بر ویژگی های فیزیکی و حسی آن، نوآوری در علوم و فناوری غذایی (علوم و فناوری غذایی)، ۳ (۱ (پیاپی ۷))، ۱۹-۲۶. SID. https://sid.ir/paper/176510/fa

هاشمی م، قیصری ح و شکرفروش س ش، ۱۳۹۴. ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی بستنی های سین بیوتیک کم چرب یا کم شکر، بهداشت مواد غذایی، ۱۸(۵)، ۷۱-۸۲ .

Alfauomy G A, Seleem H A and Ali M M, 2020. Evaluation of Pies Containing Licorice Roots (Glycyrrhiza glabra L.) Extracts. *Middle East J. Agric. Res*, *9*, 545-557.

Alizadeh M, Azizi-Lalabadi M and Kheirouri S, 2014. Impact of using stevia on physicochemical, sensory, rheology and glycemic index of soft ice cream. Food and Nutrition Sciences 05(04), 390-396.

Bahmani M, Sarrafchi A, Shirzad H, Shahinfard N, Rafieian-Kopaei M, Shahsavari S, Baharvand-Ahmadi B, Taherikalani M and Ghafourian S, 2015. Pharmaceutical, phytochemical, and economical potentials of Glycyrrhiza glabra L: a review. Journal of chemical and pharmaceutical sciences, *8*(4), 683-692.

Durmaz Y, Kilicli M, Toker O S, Konar N, Palabiyik I and Tamtürk F, 2020. Using spray-dried microalgae in ice cream formulation as a natural colorant: Effect on physicochemical and functional properties. Algal Research, 47, 101811.

El-Lahot A, El-Razek A, Amal M, Massoud M. I and Gomaa E, 2017. Utilization of glycyrrhizin and licorice extract as natural sweetener in some food products and biological impacts. Journal of Food and Dairy Sciences, 8(3), 127-136.

Goff H D and Hartel R W, 2013. Composition and formulations. Ice cream, 19-44.

Gremski L A, Coelho A L K, Santos J S, Daguer H, Molognoni L, do Prado-Silva L, Sant'Ana A S, da Silva Rocha R, da Silva M C and Cruz A G, 2019. Antioxidants-rich ice cream containing herbal extracts and fructooligossaccharides: manufacture, functional and sensory properties. Food Chemistry, 298, 125098.

Hayoglu İ, Çelik Ş, Turkoglu, H, Başyiğit B and Ünver N, 2017. Effects of licorice on some selected properties of ice cream. Hacettepe Journal of Biology and Chemistry, 45(3), 365-370.

İbanoğlu E and İbanoğlu Ş, 2000. Foaming behaviour of liquorice (Glycyrrhiza glabra) extract. Food Chemistry, 70(3), 333-336.

López-Martínez M I, Moreno-Fernández S and Miguel M, 2021. Development of functional ice cream with egg white hydrolysates. International Journal of Gastronomy and Food Science, 25, 100334.

Murck H, 2020. Symptomatic protective action of glycyrrhizin (licorice) in COVID-19 infection? Frontiers in immunology, 11, 1239.

Ozdemir C, Arslaner A, Ozdemir S and Allahyari, M, 2015. The production of ice cream using stevia as a sweetener. Journal of Food Science and Technology, 52, 7545-7548.

Öztürk M, Altay V, Hakeem K R and Akçiçek, E, 2018. Liquorice: from botany to phytochemistry. Springer.Pp 5-17

Park G H and Lee J H, 2014. The quality and antioxidant properties of pound cakes containing licorice powder. Korean Journal of Food Science and Technology, 46(1), 56-60.

Sakurai K, 1996. Effect of production conditions on ice cream melting resistance and hardness. Milchwissenschaft-milk Science International, 51, 451-454.

Saviz A, Esmaeilzadeh Kenari R and Khalilzadeh Kelagar M, 2015. Investigation of cultivate zone and ultrasound on antioxidant activity of Fenugreek leaf extract. J. Appl. Environ. Biol. Sci, 4(11S), 174-181.

Shabkhiz M A, Eikani M H, Sadr Z B and Golmohammad, F, 2016. Superheated water extraction of glycyrrhizic acid from licorice root. Food Chemistry, 210, 396-401.

Shoaei S, Salehi E A and Najafi M N, 2022. The Effect Stevia and Qodume Shirazi Seed Gum (Alyssum homolocarpum) on the Physicochemical and Sensory Properties of Ice cream. Journal of Innovation in food science and technology, 14(54), 109-120.

Tiwari A, Sharma H K, Kumar N and Kaur M, 2015. The effect of inulin as a fat replacer on the quality of low-fat ice cream. International Journal of Dairy Technology, 68(3), 374-380.

Warren M M and Hartel R W, 2018. Effects of emulsifier, overrun and dasher speed on ice cream microstructure and melting properties. Journal of food science, 83(3), 639-647.

Wu B, Freire D O and Hartel R W, 2019. The effect of overrun, fat destabilization, and ice cream mix viscosity on entire meltdown behavior. Journal of food science, 84(9), 2562-2571.

Food Research Journal
Online ISSN: 2676-5691 Print ISSN: 2008-515X
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Production of meat analogue product and investigation of texture characteristics and fatty acid profile compared to meat product

Maryam Mirkhaghani Haghighi[1*], Mohammad Vahid Sadeghi Sarvestani [2], Seyed Saeed Sekhavatizadeh[2] and Morteza Moharreri[3]

[1] Msc Graduated, Department of Food Science and Technology, Kherad Institute of Higher Education, Bushehr, Iran
[2] Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran
[3] MSc Graduated, Food Science and Technology Department, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
✉ Corresponding author: mirkhaghani.m@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: Jan 23, 2023
Accepted: sept 28, 2024
Published: Jan 4, 2025

Keywords:
Meat analogue, Soy protein isolate, Plant-based burger, Fatty acid profile, Texture profile.

ABSTRACT

Background: Plant-based analogue of meat products available in the market possess sensory qualities similar to those of conventional meat. The increased importance of meat analog in the current trend is due to the health awareness among consumers in their diet and for a better future environment. The factors that lead to this shift is due to low fat and calorie foods intake, flexitarians, animal disease, natural resources depletion, and to reduce greenhouse gas emission

Aims: The aim of this study was to produce plant-based (PB) burgers and investigate their textural properties and fatty acid profiles, as well as to compare them with meat-based (MB) burgers.

Methods: Soy protein isolate was utilized to develop the plant-based burgers. The samples were then evaluated for their physicochemical characteristics at 30-day intervals over a 90-day storage period.

Results: The cooking loss and shrinkage were higher in MB burgers than in PB burgers throughout the storage period. The highest and lowest L* values were observed in raw MB burgers (145.96) in the third month and cooked PB burgers (120.97) in the second month, respectively. The a* and b* values showed a significant increase and decrease, respectively, upon cooking the two burger samples ($p \leq 0.05$). No significant differences were found in the textural parameters of hardness, adhesiveness, chewiness, and gumminess ($p > 0.05$). The highest proportion of unsaturated fatty acids (78.08%) in the PB burgers was dominated by linoleic acid (omega-6, 49.83%).

Conclusion: Considering the suitable physicochemical properties of the plant-based burgers, this product can be introduced as a suitable alternative to conventional meat-based burgers.

CC BY NC

Food Research Journal, 2025,34(4): 15-31
DOI: 10.22034/fr.2024.55074.1862

OPEN ACCESS

Extended Abstract

Introduction: Awareness of population health and sustainable foods has raised the concept of plant-based protein innovation in many countries. Consumption of plant-based proteins in food products has increased over the years due to animal diseases, high demand for healthier foods, and economic reasons. Therefore, the development and innovation of a new food product that meets consumer demand is highly challenging. Quality, nutrition, and sensory characteristics are the primary parameters that must be considered before developing a plant-based protein diet.

Meat analogue products refer to the substitution of the main ingredient with a non-meat component. These products started in Western markets, such as tofu (soy cheese) and textured soy protein, in the early 1960s, and consumer interest in meat analogues has recently increased. The growing importance of meat analogues in the current trend is due to consumer awareness of health in their diet and for a better environment in the future. Factors leading to this change include the consumption of low-fat and low-calorie foods, flexibility, animal diseases, reduced natural resources, and reduced greenhouse gas emissions.

Currently, the meat analogue products available on the market are plant-based meats with similar quality (i.e., texture and taste) to conventional meats. The main ingredients used are soy proteins. In addition to these traditional Asian products, textured vegetable proteins (TVPs) were the first examples of meat analogues made from defatted soy meal, soy protein concentrate, or wheat gluten. The introduction of these TVPs as meat substitutes appeared in the mid to late 20th century. TVP is a key plant-based protein food that has been used to replace a portion of the meat in burger products to increase water-holding capacity and protein content, create a meat-like texture (such as softness and doughy texture), and reduce the amount of saturated fats and product cost.

Soy protein is a cost-effective and reliable protein source that can be used as a substitute for animal protein in food products. Soy protein isolate (SPI) has meat-like textural characteristics, and is utilized in the production of various food products. Additionally, the fatty acid profile of SPI is healthier compared to animal-based products.

Textured vegetable protein (TVP) also has an elastic and spongy texture, making it a suitable meat substitute in analog products. While some studies have indicated that sensory aspects, particularly aroma, can be a deterrent for some consumers, improving the sensory quality and similarity to meat-containing products can make plant-based alternatives more appealing to consumers.

Materials and Methods

The production and evaluation of both meat-based and plant-based burger samples were carried out at an agricultural education center. This controlled environment allowed for consistent manufacturing processes and comprehensive analysis of the burger properties.

For the meat-based burger, fresh beef was procured and ground to a fine consistency. The ground beef was then mixed with chopped onions, solid vegetable oil, and a blend of powdered seasonings and binders. Water and ice were incorporated to create a homogeneous dough-like mixture.

The plant-based burger relied on soy protein isolate as the primary ingredient. The soy protein was first soaked to hydrate, then combined with hydrogenated soybean oil and onions. This mixture was ground and blended with a similar powdered ingredient formulation as the meat-based version.

Both burger doughs were carefully portioned, molded into patties, and packaged for frozen storage at -18°C. Samples from each type were evaluated at 1, 2, and 3 months of frozen storage to assess changes in post-cooking properties, color, and texture over time.

Prior to analysis, the frozen burger samples were thawed in a refrigerator for 24 hours. The raw patties were weighed, and their diameter

and thickness were measured. The burgers were then pan-fried at 130°C for 7 minutes, flipping halfway through the cooking time. Post-cooking weight, diameter, and thickness were recorded to calculate cooking loss and shrinkage.

Texture profile analysis was conducted using a Texture Analyzer. The burgers underwent a two-cycle compression test, and key textural attributes such as hardness, cohesiveness, adhesiveness, springiness, and chewiness were evaluated.

Color analysis was performed using a digital camera and image analysis software. Nine random points on the surface of each burger sample were measured, and the mean values of L* (lightness), a* (redness), and b* (yellowness) color indices were reported.

To determine the fatty acid profiles, the oil was extracted from the burger samples and analyzed using a gas chromatograph equipped with a flame ionization detector (GC-FID). The fatty acid methyl esters were identified and quantified according to the AOCS method, providing insights into the differences in lipid composition between the meat-based and plant-based burgers.

This comprehensive set of analyses, conducted at multiple timepoints during frozen storage, allowed for a thorough evaluation and comparison of the physical, textural, and compositional properties of the two burger types.Results and discussion: The study highlights that the presence of specific bonds has increased elasticity in the burgers, leading to reduced cooking loss and shrinkage in the plant-based burger. Additionally, the incorporation of fish protein isolate in burgers has been shown to decrease cooking loss and shrinkage as well. Another study noted that increasing the amount of acorn flour (0, 3, 6, and 9 percent) resulted in reduced cooking loss and shrinkage in burger samples. This was attributed to the acorn flour's ability to retain fat, which helped prevent the loss of meat juices during cooking. The study examines the impact of various factors on the color indices (L*, a*, b*) of meat and plant-based burgers during storage. Results show significant influences from time, composition, and temperature. The raw meat burger exhibited a higher L* index compared to the raw plant-based burger. Cooking increased the a* index in both burger types, with the cooked meat burger showing the highest value. The b* index decreased upon cooking, while both raw samples experienced an increase in storage time, particularly in the plant-based burger, which showed significant changes by the third month. Color is a crucial factor influencing consumer choice in meat products. In cooked samples, the a* index increased for both plant-based and meat burgers, while the L* and b* indices decreased. These changes may result from myoglobin state alterations, water release, and Maillard reactions during cooking, affecting the brightness of cooked meat products. The lowest L* and highest a* and b* in plant-based burgers may be attributed to the yellow hue of soy protein isolate and fiber, which could also explain the higher L* and b* values in cooked plant-based burgers. Texture profile analysis evaluated parameters such as firmness, stickiness, elasticity, cohesiveness, gumminess, and chewiness in meat and plant-based burgers during storage. Statistical analysis showed significant differences in elasticity and cohesiveness, while other parameters exhibited no significant differences. Texture measurements are key in determining final product quality and ingredient selection. Parameters such as firmness, elasticity, and chewiness tend to increase, aligning with current findings. It was observed that as acorn flour content increased (0, 3, 6, and 9%), chewiness and elasticity decreased in burger samples due to reduced water and fat content. Gumminess, defined as the energy required to crush a semi-solid food until ready for swallowing, is calculated by multiplying firmness by cohesiveness. Results indicated a decrease in gumminess for both plant-based and meat burgers during storage, although this change was not statistically significant. Notably, gumminess was lower in plant-based burgers, possibly due to the inclusion of carrageenan in their formulation.

Chewability, representing the effort needed to chew, is derived from the product of elasticity and gumminess. Results suggested that meat burgers required more effort to chew compared to plant-based alternatives. Additionally, the fatty acid profile analysis through GC-FID revealed higher unsaturated fatty acids in plant-based burgers, particularly linoleic acid, compared to meat burgers, which exhibited higher saturated fat levels. The essential fatty acids for human health include C18:1, C18:2, and C18:3, which were present in plant-based burgers but only C18:1 and C18:2 was found in meat burgers. The plant-based burger exhibited higher levels of unsaturated fatty acids, specifically C18:1 (22.67%), C18:2 (49.83%), and C18:3 (5.58%), amounting to a total of 78.08%. Conversely, the meat burger contained only 41.4% unsaturated fatty acids. Notably, oleic acid (C18:1 ω-9) was predominant in both types of burgers. The difference in fatty acid profiles suggests that plant-based burgers may provide greater health benefits compared to meat burgers.

Conclusion: Today, the modern global population is increasingly aware of healthy and sustainable food options, leading to a reduction in meat consumption. Utilizing healthier plant-based protein sources as meat alternatives can reduce the risk of stroke, diabetes, and cancer. This study employed soy protein isolate in burgers, demonstrating comparable texture and color to meat burgers, while showing advantageous characteristics like reduced cooking loss and shrinkage. Additionally, the fatty acid profile revealed that the plant-based burger was rich in unsaturated fatty acids, offering greater health benefits than its meat counterpart, indicating the potential for plant-based burgers in the industry.

پژوهش‌های صنایع غذایی

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۵۶۹۱ ، شاپا چاپی ۲۰۰۸ -۵۱۵x

https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

تولید آنالوگ گوشتی و بررسی خصوصیات بافتی و پروفایل اسید چرب آن در مقایسه با محصول گوشتی

مریم میرخاقانی حقیقی[۱]✉، محمد وحید صادقی سروستانی[۲] ، سید سعید سخاوتی زاده[۲] ،مرتضی محرری[۳]

[۱]دانش آموخته کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، مؤسسه آموزش عالی خرد، بوشهر، ایران.

[۲]عضو هیأت علمی بخش صنایع غذایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

[۳] دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

✉ مسئول مکاتبه: mirkhaghani.m@gmail.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۳
پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۷
انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

کلید واژه:
آنالوگ گوشتی، ایزوله پروتئین سویا، برگر

چکیده

زمینه مطالعاتی: محصولات آنالوگ گوشتی موجود در بازار، محصولاتی با منشاء گیاهی هستند که کیفیت حسی مشابه گوشت‌های معمولی دارند.

هدف: هدف از این مطالعه تولید برگرهای گیاهی (PB)، و بررسی خصوصیات بافت و پروفایل اسید چرب و به‌دنبال آن مقایسه با برگرهای گوشتی (MB) است. روش کار: بدین منظور از ایزوله پروتئین سویا جهت تولید برگر گیاهی استفاده شد. سپس نمونه‌ها در مدت ۹۰ روز (فواصل زمانی ۳۰ روز) مورد ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی قرار گرفتند.

نتایج: میزان افت پخت و چروکیدگی در MB در تمام دوران نگهداری بالاتر از PB بود ($p<۰/۰۵$). به علاوه بالاترین و پائین‌ترین میزان L^* به‌ترتیب مربوط به نمونه برگر گوشتی خام (۱/۹۶±۴۵/۴۴) در ماه سوم و برگر گیاهی پخته شده (۱/۹۷±۲۰/۵۵) در ماه دوم نگهداری بود و دو شاخص a^* و b^* در اثر پخته شدن دو نمونه برگر، به‌ترتیب افزایش و کاهش معنی‌داری داشتند ($p\leq۰/۰۵$). در بین پارامترهای بافتی سفتی، چسبندگی، قابلیت جویدن و صمغیت اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت بالاترین میزان اسیدهای چرب، نوع غیراشباع (۷۸/۰۸ درصد) در برگر گیاهی که در بین این نوع اسیدها، اسید لینولئیک (امگا-۶) (۴۹/۸۳ درصد) بود. نتیجه‌گیری نهایی: با توجه به خصوصیات فیزیکوشیمیایی مناسب برگر گیاهی، این محصول می تواند به عنوان محصولی مناسب معرفی گردد.

DOI: 10.22034/fr.2024.55074.1862

مقدمه

آگاهی از سلامت در جمعیت و غذاهای پایدار، ایده نوآوری گوشت مبتنی بر پروتئین گیاهی را در بسیاری از کشورها مطرح کرده است. مصرف پروتئین‌های گیاهی در محصولات غذایی در طول سال‌ها به دلیل بیماری‌های حیوانی، تقاضای زیاد برای غذاهای سالم‌تر و دلایل اقتصادی افزایش‌یافته است (جوشی و کومار ۲۰۱۵). همبرگر ازجمله محصولات گوشتی محبوبی است که توسط میلیون‌ها مصرف‌کننده در سراسر جهان مورداستفاده قرار می‌گیرد. در فرآورده‌های گوشتی، میزان چربی بر خصوصیات حسی محصول تأثیرگذار بوده و در ایجاد حالت خامه‌ای، ظاهر مطلوب، لذیذی، قابلیت پذیرش بافت و ایجاد احساس سیری نقش عمده‌ای دارد. ازاین‌رو فرموله کردن محصول گوشتی کم‌چرب، بدون تغییر در طعم، احساس دهانی و دیگر ویژگی‌های ارگانولپتیکی فرایندی بسیار دقیق و تخصصی است (حسینی و همکاران ۱۳۹۰)؛ بنابراین توسعه و نوآوری یک محصول غذایی جدید که تقاضای مصرف‌کنندگان را برآورده کند، بسیار چالش‌برانگیز است. کیفیت، تغذیه و ویژگی‌های حسی اولین پارامترهایی هستند که قبل از توسعه رژیم غذایی مبتنی بر پروتئین گیاهی باید در نظر گرفته شوند. محصولات آنالوگ گوشت به جایگزینی ماده اصلی با غیر از گوشت اشاره دارد. این محصولات در بازارهای غربی، مانند توفو (پنیر سویا) و محصولات پروتئینی بافت‌دار سویا، در اوایل دهه ۱۹۶۰ شروع باکار کردند، علاقه مصرف‌کنندگان به محصولات آنالوگ گوشتی اخیراً افزایش‌یافته است (دیمارچی و همکاران ۲۰۲۱).

اهمیت فزاینده آنالوگ گوشت درروند فعلی به دلیل آگاهی مصرف‌کنندگان از سلامتی در رژیم غذایی خود و برای محیطی بهتر در آینده است. عواملی که منجر به این تغییر می‌شود به دلیل مصرف غذاهای کم‌چرب و کالری، انعطاف‌پذیری، بیماری‌های حیوانی، کاهش منابع طبیعی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در حال حاضر، محصولات آنالوگ گوشت موجود در بازار، گوشت‌های گیاهی هستند که کیفیت (بافت و طعم) مشابه گوشت‌های معمولی است. مواد مورداستفاده عمدتاً پروتئین‌های سویا هستند. علاوه بر این محصولات سنتی آسیایی، پروتئین گیاهی با بافت خشک (TVPs) اولین نمونه از آنالوگ‌های گوشتی بود که از کنجاله سویای بدون چربی اکسترود شده، کنسانتره پروتئین سویا یا گلوتن گندم به دست آمد (کینزلا و فرانزن ۱۹۷۸).

معرفی این TVP به‌عنوان جایگزین گوشت در اواسط تا اواخر قرن بیستم ظاهر شد (اسماعیل و همکاران ۲۰۲۰). TVP یک غذای پروتئینی گیاهی کلیدی است که برای جایگزینی بخشی از گوشت در محصولات برگر به‌منظور افزایش ظرفیت نگهداری آب و محتویات پروتئین، ایجاد بافتی شبیه گوشت (مانند نرمی و بافت خمیری) و کاهش میزان چربی‌های اشباع‌شده و هزینه محصول استفاده‌شده است (بایر و دیلجر ۲۰۱٤). یکی از مشکلات فیزیکی و مهم ماست جدا شدن سرم، کاهش پایداری و افزایش آب‌اندازی در ماست است که با افزایش اسیدیته ماست در طول نگهداری رخ داده و منجر به تجمع میسل‌های کازئین می شود . این تغییرات بر قوام، سفتی ماست و پذیرش عمومی مصرف کنندگان تأثیر منفی می‌گذارد. ترکیباتی مانند صمغ‌ها که هیدروکلوئید نامیده می‌شوند و عصاره‌های گیاهی افزودنی‌های رایجی هستند که برای جلوگیری از آب اندازی و افزایش پایداری در ماست استفاده می‌شوند (سلطانی عربشاهی و صداقتی ۲۰۲۲; چو و همکاران ۲۰۲۰). سویا گیاهی است از خانواده بقولات ***Legumineuse*** و اسم علمی آن ***Glycinemaxl*** می‌باشد. پروتئین سویا یک پروتئین کروی است که از دانه‌های سویا جداشده و نسبتاً پایدار است، بنابراین ماندگاری طولانی دارد. دانه‌های سویا تقریباً ۳۸ درصد پروتئین، ۳۰ درصد کربوهیدرات، ۱۸ درصد روغن و ١٤ درصد رطوبت و مواد معدنی دارند. پس از حذف روغن و کربوهیدرات، پروتئین سویا به دست می‌آید. سه شکل مختلف پروتئین سویا بسته به غلظت‌های مختلف (۵۰٪ تا ۹۰٪) وجود دارد که عبارت‌اند از: آرد سویا، کنسانتره پروتئین سویا و ایزوله پروتئین سویا (SPI) (تنساز و بوکاکسینی ۲۰۱٦). پروتئین سویا دارای مقادیر بالای اسیدآمینه لیزین می‌باشد در صورتیکه غلات ازلحاظ این اسیدآمینه دچار کمبود هستند، بنابراین سویا و غلات مکمل یکدیگرند. سویا فاقد پروتئین‌های موجود در گندم یعنی گلوتنین و گلیادین است؛ بنابراین ترکیب ایزوله

پروتئین سویا و گلوتن در محصولاتی مثل برگرهای گیاهی بسیار مفید می‌باشد (چوقتای و همکاران ۲۰۲۲).

ایزوله پروتئین سویا یک منبع پروتئینی اقتصادی و قابل‌اعتماد است که می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای پروتئین‌های گوشت و لبنیات برای کنترل هزینه‌ها و بهبود ارزش غذایی محصولات مختلف غذایی مورداستفاده قرار گیرد (تران و همکاران ۲۰۱۷). ایزوله پروتئین سویا در صنایع غذایی کاربردهای زیادی ازجمله در تولید فیلم‌های کامپوزیتی (اِردم و کایا ۲۰۲۲)، محصولات قنادی ازجمله تولید بیسکویت شیرین بدون گلوتن (کایرس و همکاران ۲۰۲۱) و تولید ماکارونی بدون گلوتن (راچمن و همکاران ۲۰۲۰) دارد.

TVP متشکل از گلوتن گندم و سایر پروتئین‌های گیاهی دارای بافت الاستیک و تا حدودی اسفنجی است و بافتی از محصول را ارائه می‌دهد که برای استفاده به‌عنوان محصولات آنالوگ گوشت مطلوب است (اورکوت و همکاران ۲۰۰۶). TVP بیشتر از دانه‌های سویا تهیه می‌شود. برای مثال پروتئین سویای بافت‌دار (TSP) به دلیل ویژگی‌های بافتی شبیه گوشت، برای مواد غذایی بسیار متنوع است و همچنین کیفیت پروتئین مشابه پروتئین‌های حیوانی را ارائه می‌کند (عسگر و همکاران ۲۰۱۰). علاوه بر این، مواد تشکیل‌دهنده پروتئین‌های گیاهی منبع ارزان‌قیمتی است و می‌توان آن‌ها را به‌عنوان جایگزین‌های گوشتی شگفت‌انگیزی مانند کنسرو گوشت (فیدراستون ۲۰۱۵) ، تقویت‌کننده گوشت در گوشت گاو (پنفیلد و همکاران ۱۹۹۰) و غذاهای حیوانات خانگی (استین و همکاران ۲۰۰۸) در نظر گرفت؛ اما از طرفی در برخی از مطالعات بر اساس نظرسنجی‌های مصرف‌کنندگان، جنبه حسی، به‌ویژه خاصیت عطر، یک عامل منفی مهم برای مصرف‌کنندگانی است که جایگزین‌های گوشت را می‌پذیرند (الزرمن و همکاران ۲۰۱۵). ازاین‌رو، بهبود قابل‌توجه کیفیت حسی و شباهت به محصولات حاوی گوشت برای اطمینان از اینکه محصولات گیاهی به‌عنوان جایگزینی برای محصولات گوشتی حیوانی برای مصرف‌کنندگان جذاب هستند، بسیار ضروری است. علاوه بر این، محصولات گیاهی با پروفایل اسیدهای چرب (FA) که معمولاً غنی از اسیدهای چرب اشباع‌شده (SFAs) و سرشار از اسیدهای چرب ترانس (t-FAs) هستند، سالم‌تر از محصولات گوشتی حیوانی می‌باشند (کایرس و همکاران ۲۰۲۱)؛ بنابراین، هدف از این مطالعه تولید محصول آنالوگ گوشتی بر پایه ایزوله پروتئین سویا و بررسی بر خصوصیات بعد از پخت و ارزیابی شاخص رنگ، همچنین تعیین پروفایل بافت و پروفایل اسید چرب در برگرهای گیاهی و به دنبال آن مقایسه با برگرهای گوشتی است.

مواد و روش‌ها

مواد مورداستفاده

ترکیبات مورداستفاده در فرمولاسیون برگر گوشتی و گیاهی شامل گوشت قرمز ران گوساله (شرکت دمس، شیراز)، ایزوله پروتئین سویا (یوانگ، چین)، روغن سویای هیدروژنه (شرکت روغن طلائی نیشابور، مشهد) روغن جامد (لادن، تهران)، صمغ کاراگینان (شرکت بیالجی، چین)، فیبر سویا (شرکت بازرگانی میلان فرآیند آترین، ساخت کشور آلمان)، گلوتن، ادویه، پیاز، فلفل دلمه، تخم‌مرغ، آرد سوخاری، آرد سفید، نشاسته و نمک از بازار محلی تهیه شدند. مواد شیمیایی مورد استفاده و معرفه‌ای شیمیایی دارای –خلوص مناسب برای آنالیز شیمیایی، تولیدی شرکت‌های مرک آلمان و سیگما آلدریچ، آمریکا بودند.

تهیه برگر گوشتی و گیاهی

تولید برگر گوشتی و گیاهی در پایلوت واقع در مرکز آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس انجام پذیرفت. به‌منظور تولید برگر گوشتی، ابتدا گوشت گوساله را در دستگاه چرخ‌گوشت شرکتBOSCH ، مدلMFW68640 ، آلمان با مش پنج میلی‌متری چرخ گردید و سپس برای مرحله تولید مورد استفاده قرار گرفت. طی مرحله تولید برای تهیه تیمار برگر گوشتی، ابتدا گوشت چرخ شده وارد همزن شد و در ادامه پیاز چرخ شده و روغن جامد و سپس مواد پودری شامل ادویه، نمک و آرد سوخاری با نسبت‌های معین مطابق با جدول ۱، اضافه گردیدند. در پایان برای حصول خمیر یکنواخت به ترکیب، آب و یخ اضافه شد؛ بطوریکه با افزودن

آب، وزن خمیر به ۱۰۰ واحد رسید و به مدت ۱۰ دقیقه تا ایجاد خمیر یکنواختی، همزدن ادامه یافت .

Table 1- Formulation for the production of meat and plant-based burgers

Meat burger		Plant-based burger	
Ingredients	**Amount (%)**	**Ingredients**	**Amount (%)**
Meat	30	Soy protein isolate	20
Oil	5	Starch	1.7
Toasted flour	10	Hydrogenated Soybean oil	12
Soy	12	Toasted flour	3.2
Onion	15	Gluten	5
spice	1	White flour	3
Salt	1	Onion	16
Ice & Water	26	Sweet pepper	2
		Spice	1.1
		Salt	1.3
		Carrageenan gum	0.7
		Potato fiber	1
		Egg	7
		Ice & water	26

به‌منظور تهیه برگر گیاهی، ابتدا ایزوله پروتئین سویا در آب به مدت ده دقیقه خیسانده شد. سپس روغن سویای هیدروژنه با سویا خیس شده و پیاز ترکیب و توسط چرخ‌گوشت با مش پنج میلی‌متری چرخ شد. در ادامه مواد چرخ شده وارد همزن شده و تمام مواد پودری با نسبت‌های معین که در جدول ۱ آورده شده، اضافه گردیدند و مابقی مراحل به ترتیب برگر گوشتی انجام شد. بعد از مراحل تولید خمیرها، برگرهای گوشتی و گیاهی با استفاده از ماشین برگر ساز با قالب‌های ۱۰۰ گرمی قالب‌زنی شدند. سپس برگرها در کیسه‌های پلیاتیلن/پلیآمید به ضخامت ۷۵ میکرون بسته‌بندی و در سردخانه ۱۸- درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ماه نگهداری شدند. نمونه‌ها در ماه اول، دوم و سوم نگهداری برای اندازه‌گیری ویژگی‌های بعد از پخت، شاخصه‌ای رنگ و پروفایل بافت مورد ارزیابی قرار گرفتند هر تیمار در سه تکرار انجام شد، همچنین پروفایل اسید چرب دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی بررسی شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های بعد از پخت برگر

برگرهای خام گیاهی و گوشتی منجمد به مدت ۲٤ ساعت در یخچال جهت یخ‌زدایی قرار داده شدند. سپس وزن، قطر و ضخامت برگرهای خام اندازه‌گیری شد. آنگاه نمونه‌ها در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ دقیقه (هر سمت ۳/۵ دقیقه) در یک تابه سرخ شدند. پس از سرخ شدن با دستمال روغن گیر، روغن برگرها گرفته شد و پس‌ازآن وزن، قطر و ضخامت برگرهای پخته‌شده ثبت گردید. درصد افت پخت و درصد چروکیدگی با دو رابطه ۱ و ۲ محاسبه گردید (حسینی و علیآبادی ۲۰۱۷).

رابطه ۱)

وزن نمونه پخته‌شده – وزن نمونه خام = افت پخت

رابطه ۲)

(درصد)چروکیدگی= $((T1-T2)+(D1-D2))/((T1+D1))\times100$

که در آن T1 ضخامت خام، T2 ضخامت پخته، D1 قطر خام و D2 قطر پخته می‌باشد.

آنالیز پروفایل بافت

ویژگی‌های بافت نمونه‌های برگر با استفاده از دستگاه آنالیز پروفایل بافت) شرکتBrookfield ، مدلCT3-4500 ، آمریکا (تعیین شد. در دمای اتاق نمونه‌هایی با ابعاد ۱×۱×۱ تهیه و برای تعیین پارامترهای بافت، تحت آزمون فشاری در دو سیکل قرار گرفتند. به همین منظور، نمونه‌ها تحت‌فشار بروب به قطر ۵/۳ سانتیمتر متصل به وزنه ۲۵ کیلوگرمی با میزان ۷۰ درصد فشردگی نسبت به ارتفاع اولیه و سرعت ٦۰ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفتند. با توجه به نمودار حاصل توسط نرمافزار دستگاه خصوصیات بافتی شامل سفتی، پیوستگی، چسبندگی، حالت ارتجاعی و قابلیت جویدن تعیین شد.

بررسی شاخص های رنگ(L*,a*,b*)

برای بدست آوردن خصوصیات رنگی برگرها از دوربین دیجیتالی ۷/۱ مگا پیکسل کونیکا ژاپن و نرم‌افزار گرافیکی فتوشاپ نسخه ششم استفاده شد. پس از عکس‌برداری توسط دوربین دیجیتالی عکس‌ها توسط نرم‌افزار فتوشاپ موردبررسی

قرار گرفت. از سطح هر نمونه ۹ نقطه به‌طور تصادفی انتخاب شد و فاکتورهای *L، *a، b*برای هر نقطه تعیین شد. سپس میانگین این نقاط به‌عنوان فاکتورهای رنگسنجی برای هر نمونه گزارش شد (ویو و سان ۲۰۱۳).

تعیین پروفایل اسیدهای چرب

پروفایل اسیدهای چرب برگر گیاهی و گوشتی توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC-FID) (شرکت Beifen-Ruili Analytical Instrument (Group) Co. Beijing، مدل Sp-3420A، کره جنوبی) نیز تعیین گردید. به‌منظور تعیین ترکیب اسید چرب روغن از روش AOCSبه شماره ۲۹--b 13 استفاده شد. جهت بررسی اسیدهای چرب نمونه‌های برگر گیاهی و گوشتی از دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به ستون سیلیسی با طول ۳۰ متر و ضخامت ۲۵ میکرومتر و قطر ۲۵ میلی‌متر و شناساگر FID 1075 system استفاده شد. جداسازی روغن توسط سوکسله انجام شد. برای این منظور ابتدا متیل استرهای اسیدچرب تهیه شد. جهت ارزیابی روغن از نرم‌افزار peak-ABC chromatography work station ver 2/24 استفاده شد. جهت تعیین نوع اسیدهای چرب زمان خارج شدن هرکدام از اسیدهای چرب نمونه بازمان خارج شدن اسیدهای چرب استاندارد مقایسه و بر این اساس نوع اسید چرب مشخص شد. همچنین جهت مشخص کردن درصد هرکدام از اسیدهای چرب در روغن از قسمت محاسبه نرم‌افزار استفاده گردید (استاندارد Aocs 2009).

تجزیه‌وتحلیل آماری

در این مطالعه، آزمون‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های برگر گوشتی و برگر گیاهی به‌جز آزمون دستگاهی (تعیین پروفایل اسید چرب) در سه تکرار انجام شد. نتایج با استفاده از آزمون آنالیز آماری واریانس یک‌طرفه موردبررسی قرار گرفت. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها بر اساس طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ (Chicago, USA) استفاده گردید. جهت تعیین اختلاف معنی‌دار میان تیمارها از آزمون دانکن استفاده شد (p<۰/۰۵).

نتایج و بحث

ویژگی‌های بعد از پخت برگر

نتایج بررسی تأثیر ایزوله پروتئین سویا بر خصوصیات بعد از پخت برگر شامل افت وزن و میزان چروکیدگی طی دوره ۳ ماه نگهداری در برگر گیاهی و مقایسه این نتایج با برگر گوشتی در جدول ۲ ارائه‌شده است. مطابق با نتایج مشاهده شد که برگر گیاهی در تمام طول دوران نگهداری از میزان افت پخت و چروکیدگی پایین‌تری در مقایسه با برگر گوشتی برخوردار بود هردو محصول در طی دوران نگهداری ازنظر افت پخت و چروکیدگی کاهش معنی‌داری داشتند بطوریکه افت پخت در برگر گیاهی و گوشتی، به ترتیب از ۱۹/۱۳ و ۲۳/۷٤ درصد به ۸/٤۸ و ۲۱/۳٦ درصد کاهش یافتند و همچنین پارامتر چروکیدگی از ۵/٤۲ درصد به ۲/۸٦ درصد در برگر گیاهی و از ۱۹/۳۹ درصد به ۹/۱۳ درصد در برگر گوشتی طی دوره نگهداری کاهش یافت.

اندازه‌گیری افت پخت و چروکیدگی هم ازنقطه‌نظر کیفیت و هم به دلایل اقتصادی از مهم‌ترین آزمون‌های تعیین کیفیت در فرآورده‌های گوشتی هستند. خروج آب بیشتر از فرآورده، سبب افزایش چروکیدگی و افت پخت می‌شود. مقادیر بالاتر چروکیدگی دلالت به افت پخت بالاتر و افزایش سفتی فرآورده و به‌این‌ترتیب اثر منفی بر کیفیت فرآورده دارد. در مقابل از میزان چروکیدگی پایین‌تر انتظار می‌رود که فرآورده آبدارتر و تردتر باشد. در مطالعه‌ای گزارش‌شده که محاسبه میزان چروکیدگی بر اساس سطح فرآورده، ضریب همبستگی بسیار بالایی با میزان افت پخت دارد؛ همگام با افزایش خروج آب از فرآورده، چروکیدگی نیز افزایش می‌یابد. هر چه آب خارج‌شده بیشتر باشد فشار نامتوازن‌تری بین داخل و خارج فرآورده به وجود می‌آید و سبب ایجاد نیروهای انقباضی شده که منجر به چروکیدگی و تغییر می‌گردد (سانچز-زاپاتا و همکاران ۲۰۱۰).

Table 2- Investigating the characteristics of after cooking in plant-based and meat burgers during the storage period

product	Storage during (Month)	Parameter (%)	
		Cook loss	Shrinkage
Plant-based burger	1	19.13±1.92 [cd]	5.42±2.02 [d]
	2	15.71±1.95 [e]	9.39±1.97 [c]
	3	8.48±2.18 [f]	2.86±1.94 [e]
Meat burger	1	23.74±1.72 [ab]	19.39±2 [a]
	2	16.69±1.9 [de]	14.45±1.96 [b]
	3	21.36±1.94 [bc]	9.13±2.03 [c]

[*] Data are reported in two replications in terms of (Mean ± SD value).
[**] The similar small letters (a-f) in each column indicate no significant difference (p>0.05) based on the Duncan test between the means.

بر اساس نتایج مطالعه حاضر می‌توان بیان کرد که دلایل کاهش چروکیدگی در برگر گیاهی، ظرفیت حفظ آب بالای ترکیبات فرمولاسیون است بطوریکه میزان چروکیدگی در برگر گیاهی طی ۳ ماه نگهداری در محدوده بین ۹/۳۹–۲/۸۶ درصد بود در حالیکه میزان این فاکتور در برگر گوشتی بین ۱۹/۳۹–۹/۱۳ درصد بود؛ که می‌توان علت این امر را به استفاده از ایزوله پروتئین سویا، فیبر سویا و صمغ کاراگینان بکار برده شده در فرمولاسیون نسبت داد. از طرفی آزاد شدن چربی و آب دو عامل اصلی در تغییرات این دو فاکتور هستند که بستگی به قدرت تشکیل ژل توسط پروتئین‌ها و نیز تغییر ماهیت پروتئین‌ها هنگام فرآیند حرارتی دارد (کریستینسون و همکاران ۲۰۰۵). پروتئین‌ها در فرآیند حرارتی تغییر ماهیت داده و شبکه‌های پروتئینی علاوه بر پیوندهای هیدروژنی به‌وسیله پیوندهای هیدروفوبی و دی سولفیدی تثبیت می‌شوند (حسینی و علیآبادی ۲۰۱۷). در نمونه برگر گیاهی که حاوی ایزوله پروتئین سویا است، مقدار پروتئین در این محصول افزایش داشته است؛ درنتیجه، این پیوندها باعث ایجاد حالت الاستیکی بیشتر در برگر شده و همین امر باعث کاهش کمتر افت پخت و چروکیدگی در برگر گیاهی شده است. در همین راستا، استفاده از ایزوله پروتئین ماهی در همبرگر سبب کاهش افت پخت و میزان چروکیدگی گردید (سالارکریمی و همکاران ۲۰۱۹). در مطالعه‌ای دیگر مشاهده شد که با افزایش میزان آرد بلوط (۰، ۳، ٦ و ۹ درصد) میزان افت پخت و چروکیدگی نمونه‌های همبرگر کاهش یافت که علت آن را به دلیل دارا بودن آرد بلوط در ظرفیت حفظ چربی بیان کردند که این امر توانست از خروج عصاره گوشت در حین پخت جلوگیری کند (برور ۲۰۱۲).

ارزیابی شاخص‌های رنگ (L^*,a^*,b^*)

نتایج بررسی شاخص‌های رنگ (L^*,a^*,b^*) در دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی به دو صورت خام و پخته شده طی دوره نگهداری در جدول ۳ گزارش شده است. نتایج بررسی نشان داد که سه عامل زمان، ترکیبات سازنده و دما بر مولفه‌های رنگ تأثیرگذار بوده، بطوری‌که در هر سه فاکتور بین دو نمونه برگر خام و پخته شده طی دوره نگهداری اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p<۰/۰۵$). در بررسی شاخص L^* مشاهده گردید که بالاترین و پائین‌ترین میزان در این شاخص به‌ترتیب مربوط به نمونه برگر گوشتی خام (٤٥/٤٤±١/٩٦) در ماه سوم و برگر گیاهی پخته شده (٢٠/٥٥±١/٩٧) در ماه دوم نگهداری بود. برگر گیاهی به دو صورت خام و پخته شده طی دوره نگهداری افزایش معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$) و همین امر در برگر گوشتی خام نیز صدق می‌کند. در نتایج شاخص L^* مشاهده گردید که میزان این شاخص در برگر گوشتی خام نسبت به برگر گیاهی خام بالاتر است که نشان‌دهنده تأثیر ترکیبات سازنده در فرمولاسیون این دو محصول است. در نتایج شاخص a^* مشاهده گردید که در اثر پخته شدن دو نمونه برگر، میزان این شاخص افزایش معنی‌داری یافت ($p<۰/۰۵$). بطوری‌که بالاترین میزان شاخص a^* در برگر گوشتی پخته شده (١٤/٣٣±١/٩٧) در ماه سوم نگهداری بود و پائین‌ترین میزان این شاخص در برگر گیاهی خام (١/١١±١/٨٩) در ماه سوم نگهداری وجود داشت. همچنین با توجه به نتایج جدول ۳

مشاهده شد که در دو نمونه برگر خام و پخته شده با افزایش زمان نگهداری، میزان شاخص a^* کاهش معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$) که این امر در مورد برگر گوشتی پخته شده مستثنی بود.

شاخص b^* در دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی در اثر پخته شدن کاهش معنی‌داری یافت ($p<۰/۰۵$). شاخص b^* در دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی خام طی زمان نگهداری افزایش یافت که در برگر گیاهی این افزایش در ماه سوم نسبت به ماه اول و دوم نگهداری معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$)؛ بطوری‌که بالاترین میزان این شاخص در برگر گیاهی در ماه سوم با میزان ۲/۰±۳۶/۵۵ بود.

رنگ فرآورده‌های گوشتی یکی از پارامترهای مهم در انتخاب محصول توسط مصرف‌کنندگان است. در نتایج مشاهده‌شده در جدول ۳، در نمونه‌های پخته‌شده شاخص a^* در دو نمونه برگر گیاهی و گوشتی افزایش و دو شاخص L^* و b^* دو نمونه کاهش یافت. علت این امر می‌تواند تغییر در حالت میوگلوبین، رهاسازی آب و همچنین وقوع واکنش میلارد در طی فرآیند پخت باشد که در کاهش روشنایی فرآورده‌های گوشتی پخته‌شده تأثیرگذار است (ایزدخواست و همکاران ۲۰۱۹). هم‌راستا با نتیجه مطالعه حاضر مبنی بر کاهش معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) شاخص L^* در برگر گیاهی بعد از پخت، مطالعه‌ای گزارش‌شده که نتایج آن‌ها حاکی از کاهش چشمگیر در شاخص L^* نمونه‌های همبرگر حاوی ایزوله پروتئین سویا بعد از پخت است و دلیل آن را واکنش‌های احتمالی میلارد و کاراملیزاسیون در طی فرآیند پخت بیان کردند (دانوسکا-اوزیویچ ۲۰۱٤). از طرفی کمترین میزان L^* و بیشترین میزان b^* و a^* در نمونه برگر گیاهی نسبت به نمونه برگر گوشتی می‌تواند به دلیل زردرنگ بودن ایزوله پروتئین سویا و فیبر سویا در فرمولاسیون این محصول باشد، همچنین این خود می‌تواند دلیلی برای بالاتر بودن میزان L^* و b^* در برگر گیاهی پخته‌شده باشد. در مطالعه‌ای اضافه کردن فیبر رژیمی انگور به همبرگرهای مرغ خام و پخته نشان داد که میزان روشنایی کاهش‌یافته که علت آن را حضور ترکیبات غیر گوشتی بیان کردند که احتمالاً سبب رقیق‌تر شدن رنگ‌دانه‌های گوشت شده باشد (سایاگو-آیردی و همکاران ۲۰۰۹).

Table 3- Evaluation of color indices (L^*, a^*, b^*) of plant-based and meat burgers during the storage period

Product		Storage (month)	L*	a*	b*
Plant-based burger	Non-Cooked	1	27.77±1.99^{e**}	7.88±2.00^{cd}	23.22±1.99^{bc}
		2	31.00±2.02^{de}	5.44±1.9^{de}	27.66±2.02^{b}
		3	44.11±2.00^{ab}	1.11±1.89^{f}	36.55±2.00^{a}
	Cooked	1	25.55±1.91^{ef}	12.11±1.89^{ab}	11.22±2.03^{e}
		2	20.55±1.97^{f}	11.11±1.96^{abc}	9.88±2.00^{e}
		3	38.11±2.01^{bc}	8.88±2.02^{bcd}	25.00±1.97^{bc}
Meat burger	Non-Cooked	1	39.33±2.02^{abc}	7.22±2.00^{d}	23.00±2.02^{bc}
		2	41.22±2.00^{abc}	6.33±2.03^{d}	22.77±0.65^{bc}
		3	45.44±1.96^{a}	2.22±1.95^{ef}	24.44±2.00^{bc}
	Cooked	1	35.11±2.01^{cd}	13.77±1.89^{a}	19.33±2.00^{cd}
		2	25.77±1.95^{ef}	12.55±1.99^{ab}	20.88±2.03^{bc}
		3	28.22±1.89^{e}	14.33±1.97^{a}	13.55±1.96^{de}

*Data are reported in two replications in terms of (Mean ± SD value).

** The similar small letters (a-f) in each column indicate no significant difference (p>0.05) based on the Duncan test between the means.

آنالیز پروفایل بافت

آنالیز پروفایل بافت شامل سفتی، چسبندگی، قابلیت ارتجاعی، پیوستگی، صمغیت و قابلیت جویدن در دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی طی دوره نگهداری در جدول ٤ گزارش‌شده است. نتایج آنالیز آماری نشان می‌دهد که در بین داده‌های موجود در جدول ٤ اختلاف آماری معنی‌داری در بین پارامترهای قابلیت

ارتجاعی و پیوستگی طی دوره نگهداری بین دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی وجود داشته است ($p<۰/۰۵$)، اما پارامترهای دیگر نظیر سفتی، چسبندگی، قابلیت جویدن و صمغیت اختلاف آماری معنی‌داری در بین آن‌ها وجود نداشت ($p>۰/۰۵$).

Table 4- Investigating the texture profile of plant base burger and meat burgers during the storage period

Parameter	Plant-based burger			Meat burger		
	Day 30	Day 60	Day 90	Day 30	Day 60	Day 90
Hardness (g)	92±16.15[a**]	99.66±17.34[a]	99.66±18.64[a]	100.5±12.00[a]	111.5±21.01[a]	115.65±22.54[a]
Adhesiveness (g.mm)	0.016±0.006[a]	0.028±0.11[a]	0.07±0.036[a]	0.04±0.02[a]	0.023±0.008[a]	0.043±0.014[a]
Springiness (mm)	0.53±0.11[c]	0.54±0. 21[bc]	0.54±0.21[bc]	0.55±0.038[bc]	0.61±0.15[ab]	0.63±0.88[a]
Cohesiveness	1.00±0.51[a]	0.406±0.008[b]	0.406±0.007[b]	1.00±0.19[a]	0.52±0.2[b]	0.46±0.15[b]
Gumminess (g)	67.7±12.33[a]	42.53±6.21[a]	42.53±6.21[a]	112.83±17.58[a]	92.86±38.98[a]	65.4±30.75[a]
Chewiness (mJ)	0.22±0.33[a]	0.22±0.33[a]	0.36±0.075[a]	0.36±0.18[a]	0.58±0.24[a]	0.68±0.11[a]

*Data are reported in two replications in terms of (Mean ± SD value).
** The similar small letters (a-c) in each row indicate no significant difference ($p>0.05$) based on the Duncan test between the means.

اندازه‌گیری پروفایل بافت، کیفیت محصول نهایی را بیان می‌کند و می‌تواند به انتخاب بهترین ترکیبات سازنده جهت تولید محصول کمک کند (هررو و همکاران ۲۰۰۷). سفتی محصولات گوشتی یکی از مهم‌ترین عواملی است که روی تمایل مصرف‌کنندگان به غذا تأثیر می‌گذارد (هوآنگ و همکاران ۲۰۱۱). میزان سختی درواقع حداکثر ارتفاع منحنی نیرو در طی نفوذ اول می‌باشد و نتایج حاصل آمده از تجزیه واریانس در مورد سختی نمونه‌های برگر تولیدشده نشان می‌دهد که میزان سختی آن‌ها با در برگر گیاهی نسبت به برگر گوشتی کاهش یافت اما این کاهش بین دو نمونه و در طی زمان نگهداری معنی‌دار نبود ($p<۰/۰۵$) در مطالعه حاضر میزان سختی در طی دوره نگهداری افزایش یافت و تحقیقات نشان داده که دلیل آن کاهش رطوبت نمونه‌ها در طی زمان می‌باشد (سونکا و همکاران ۲۰۱۵). در مطالعه‌ای علت کاهش سختی نمونه‌های سوسیس با افزایش مقدار جایگزینی و همچنین با افزایش نسبت کنجد، جایگزینی کنجاله سویا و کنجاله کنجد با آرد گندم و افزایش مقدار فیبر و مقدار پروتئین با جایگزینی (کنجاله سویا و کنجد) در نمونه‌ها و تشکیل شبکه فیبری ضعیف توسط آن‌ها و کاهش پروتئین‌های گلوتنی گندم و تشکیل شبکه ضعیفی با استحکام پایین‌تر نسبت داده‌شده است (امبوگونگ و همکاران ۲۰۱۵). از طرفی برخی مطالعات نشان داده‌اند که افزودن برخی از هیدرو کلوئیدها منجر به تولید محصولی با بافت نرم‌تر شده است (مندوزا و همکاران ۲۰۰۱؛ توتوسائوس و پرز–چابلا ۲۰۰۹). استفاده از کربوهیدرات‌ها، به‌ویژه هیدرو کلوئیدها، به‌عنوان جایگزین چربی در محصولات گوشتی، ویژگی‌های حسی و گوشتی محصولات را اصلاح می‌کند؛ در همین راستا نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه آتش‌کار و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که با افزودن صمغ‌های کاراگینان، کنجاک و تراگاکانت (سطح ۰/۵٪) در سوسیس‌های کم‌چرب، سختی نسبت به نمونه‌های بدون صمغ کاهش قابل‌توجهی نشان داد (آتشکار و همکاران ۲۰۱۸). همچنین در میزان چسبندگی در دو نمونه‌های برگر گیاهی و گوشتی در زمانهای مختلف نگهداری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p<۰/۰۵$)؛ که با تحقیق ایزدخواست و همکاران (۲۰۱۹) که نشان دادند، افزودن کنجاله کنجد و سویا در خاصیت چسبندگی نمونه‌های سوسیس تفاوت معنی‌داری ایجاد نمی‌کنند، مطابقت دارد. پیوستگی وابسته به‌شدت پیوندهای داخلی سازنده بدنه محصول است. فرمولاسیون محصولات گوشتی و سطح چربی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پیوستگی هستند (ارگونول ۲۰۰۹). نتایج بررسی میزان پیوستگی در مطالعه حاضر طی دوره نگهداری کاهش

معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$)؛ که علت این امر را می‌توان به کاهش میزان رطوبت در طی دوره نگهداری نسبت داد. قابلیت ارتجاعی یا کشسانی، مقدار تغییر شکل نمونه در اثر نیروی اعمال‌شده است که پس از برداشتن نیرو، نمونه به حالت اولیه‌اش برمی‌گردد؛ که در نتایج مطالعه حاضر مشاهده شد که این پارامتر در دو نمونه برگر گیاهی و گوشتی در طی دوره نگهداری معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$) در مطالعه‌ای گزارش‌شده میزان آب و چربی در گوشت، به‌طور قابل‌توجهی کیفیت فرآورده‌های گوشتی را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ چنانچه میزان آب و چربی در نمونه‌ای کاهش پیدا کند، پارامترهای سختی، قابلیت ارتجاعی و نیز قابلیت جویدن افزایش پیدا می‌کنند (برکتی و همکاران ۲۰۱۸) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. در مطالعه‌ای مشاهده شد که با افزایش میزان آرد بلوط (۰، ۳، ٦ و ۹ درصد) با کاهش میزان آب و چربی در نمونه‌های همبرگر، میزان قابلیت جویدن و قابلیت ارتجاعی نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت (برورِ ۲۰۱۲) .

حالت صمغیت عبارت است از انرژی لازم برای خرد کردن یک ماده غذایی نیمه جامد تا هنگامی‌که آماده بلع شود که مقدار آن از حاصل‌ضرب مقادیر سختی در پیوستگی به‌دست‌آمده و با واحد گرم و یا نیوتن نشان داده می‌شود. نتایج نشان داد که میزان صمغیت در دو نمونه برگر گیاهی و گوشتی طی دوره نگهداری کاهش یافت اما این تغییر معنی‌دار نبود($p<۰/۰۵$). همچنین لازم به ذکر است که میزان صمغیت در نمونه برگر گیاهی نسبت به برگر گوشتی پایین‌تر است، علت این امر را می‌توان به استفاده از صمغ کاراگینان در فرمولاسیون برگر گیاهی نسبت داد. در مطالعه‌ای میزان صمغیت در نمونه‌های مرغ برگر حاوی ۱/۵ درصد کربوکسیمتیل سلولز و ۱/۵ درصد نشاسته سیب‌زمینی کاهش معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد داشت که در مطالعه خود گزارش کردند ترکیب دو یا چند هیدرو کلوئید به دلیل اثر هم‌افزایی بین آن‌ها، در تقویت و یا تضعیف بعضی از پارامترهای بافتی مؤثرتر عمل می‌کند (سیوا کومار و همکاران ۲۰۱۷) .

قابلیت جویدن، کار لازم برای جویدن و خمیر کردن نمونه هنگام بلع است و از حاصل‌ضرب قابلیت ارتجاعی در میزان صمغیت محاسبه می‌شود. نتایج نشان داد که برگر گوشتی به نیروی کار بیشتری جهت جویدن نسبت به نمونه برگر گیاهی نیاز دارد. صمغیت و قابلیت جویدن پارامترهای ثانویه پروفایل بافت هستند زیرا صمغیت به‌سختی و پیوستگی و قابلیت جویدن به صمغیت و قابلیت ارتجاعی بستگی دارد (یاداو و همکاران ۲۰۱۸). در مطالعه سالارکریمی و همکاران (۲۰۱۹) با افزایش میزان آرد بلوط (۰، ۳، ٦ و ۹ درصد) در همبرگر، قابلیت جویدن در تمام تیمارها نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت ($p<۰/۰۵$). آن‌ها اظهار کردند که این نتیجه در تیمارهای حاوی آرد بلوط، نشان دهندهٔ نرمتر شدن نمونه‌ها و درنتیجه کاهش نیروی لازم برای عمل جویدن است، این نیز می‌تواند مرتبط با میزان بالاتر ظرفیت حفظ چربی تیمارهای حاوی آرد بلوط باشد (سالارکریمی و همکاران ۲۰۱۹)

پروفایل اسید چرب

نتایج پروفایل اسید چرب دو نمونه برگر گوشتی و گیاهی توسط دستگاه GC-FID مورد آنالیز قرار گرفت که نتایج آن‌ها در جدول ۵ گزارش‌شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بالاترین میزان اسیدهای چرب غیراشباع در برگر گیاهی با میزان ۷۸/۰۸ درصد شناسایی شد که بیشترین میزان مربوط به اسید لینولئیک (امگا-٦) (٤۹/۸۳ درصد) بود؛ در حالیکه میزان اسیدهای چرب غیراشباع در برگر گوشتی برابر با ٤۱/٤ درصد بود. با توجه به نتایج در جدول ۵ بالاترین میزان اسیدهای چرب اشباع در برگر گوشتی (٤۹/٤۸ درصد) نسبت به برگر گیاهی (۱۹/۹۵ درصد) مشاهده شد.

Table 5- Profile of fatty acids in plant-based and meat burgers

Type of fatty acid	Fatty acid name	Plant-based burger	Meat burger
C14:0	Myristic acid	0.55	3.61
C16:0	Palmitic acid	12.53	26.95
C17:0	Margaric acid	-	1.28
C18:0	Stearic acid	3.62	16.79
C18:1	Oleic acid (ω-9)	22.67	36.2
C18:2	Linoleic acid (ω-6)	49.83	5.2
C18:3	α-Linolenic acid (ω-3)	5.58	-
C20:0	Arachidic acid	2.96	0.39
C22:0	Behenic acid	0.29	0.46
Other fatty acids	-	1.97	9.12
Total saturated fatty acid		19.95	49.48
Total unsaturated fatty acid		78.08	41.4

چربی به‌عنوان باارزش‌ترین منبع تأمین‌کننده انرژی، ویتامینهای محلول در چربی و اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشد (اسماعیل ۲۰۰۵)؛ بنابراین، پروفایل اسیدهای چرب در برگر گیاهی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و با برگر گوشتی مقایسه شد که نتایج نشان داد بالاترین میزان اسید چرب در برگر گیاهی متعلق به لینولئیک اسید (C18:2 ω-6) با میزان ٤٩/٨٣ درصد بود و در حالیکه میزان همین اسید چرب در برگر گوشتی ٥/٢ درصد به دست آمد. مهم‌ترین اسیدهای چرب برای سلامتی انسان C18:1، C18:2 و C18:3 هستند (کایرس و همکاران ۲۰۲۱) که در تحقیق حاضر در نمونه برگر گیاهی هر سه اسید چرب وجود داشت اما در برگر گوشتی فقط دو اسید چرب C18:1 و C18:2 مشاهده شد. همچنین در بین اسیدهای چرب غیراشباع نمونه‌های برگر گیاهی تولیدشده بیشترین میزان اسید چرب به C18:1 (٢٢/٦٧ درصد)، C18:2 (٤٩/٨٣ درصد) و C18:3 (٥/٥٨ درصد) اختصاص دارد، بطوریکه میزان اسیدهای چرب غیراشباع در برگر گیاهی ٧٨/٠٨ درصد به دست آمد در حالیکه میزان این اسیدهای چرب در برگر گوشتی برابر با ٤١/٤ درصد بود. سه اسید چرب اصلی در برگر گوشتی، به ترتیب فراوانی، اولئیک اسید (C18:1 ω-9) (٣٦/٢ درصد)، اسید پالمیتیک (C16:0) (٢٦/٩٥ درصد) و اسید استئاریک (C18:0) (١٦/٧٩ درصد) بودند؛ که در همین راستا، در مطالعه‌ای مشاهده شد که سه اسید چرب اصلی در برگر پخته نشده گوشت گاو شامل اولئیک اسید (C18:1 ω-9) (٢٨/٣٧درصد)، اسید پالمیتیک (C16:0) (٢٦/١٤ درصد) و اسید استئاریک (C18:0) (١٩/٨٦ درصد) بودند (ساینی و کئوم ۲۰۱۸) که نتایج آن‌ها بامطالعه حاضر همخوانی دارد. در مطالعه هی و همکاران (۲۰۲۱) مشاهده شد که نمونه‌های برگر گیاهی حاوی درصد قابل‌توجه بالاتری از اسیدهای چرب غیراشباع (۲۹/۸۷ درصد) نسبت به برگر گوشت گاو با میزان ۲/۷۷ درصد اسید چرب غیراشباع بودند، همچنین در مطالعه آن‌ها گزارش‌شده که در نمونه‌های برگر گیاهی اولئیک اسید (C18:1 ω-9) با بیشترین درصد و پس‌ازآن اسید لینولئیک (C18:2 ω-6) شناسایی شد که در مطالعه حاضر نیز دو اسید چرب C18:1 و C18:2 در برگر گیاهی بالاترین میزان را به خود اختصاص دادند. در میان اسیدهای چرب تک غیراشباعی اولئیک اسید (C18:1 ω-9) عمده‌ترین اسید چرب در روغن‌های گیاهی و حیوانی می‌باشد. لینولئیک اسید (C18:2 ω-6) و آلفا-لینولنیک اسید (C18:3 ω-3) به‌عنوان اسیدهای چرب ضروری شناخته می‌شوند و از اهمیت بالایی در رژیم غذایی برخوردار هستند زیرا این اسیدهای چرب توسط بدن سنتز نمی‌شوند و بایستی از طریق رژیم غذایی تأمین شوند (ماکی و همکاران ۲۰۱۸). مصرف بیش‌ازحد برخی از اسیدهای چرب اشباع با چندین بیماری مزمن مرتبط است، در حالیکه چندین فواید سلامتی با مصرف مواد غذایی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع، به‌ویژه اسیدهای چرب چند غیراشباع مرتبط است (ساینی و کئوم ۲۰۱۸). با توجه به اینکه میزان اسیدهای چرب اشباع در برگر گیاهی و گوشتی به ترتیب، ۱۹/۹۵ و ٤٩/٤٨ درصد است؛ بنابراین، از منظر ترکیب اسیدهای چرب،

برگر گیاهی می‌تواند مزایای سلامتی بیشتری نسبت به برگر گوشتی برای مصرف‌کنندگان فراهم کند.

نتیجه‌گیری

امروزه جمعیت مدرن جهانی که سعی در کاهش مصرف گوشت در رژیم غذایی روزانه خوددارند، نسبتاً از غذاهای سالم و پایدار آگاه هستند. استفاده از منابع پروتئینی سالم‌تر بر مبنای گیاهان برای جایگزینی پروتئین‌های گوشتی می‌تواند خطر سکته مغزی، دیابت و سرطان را کاهش دهد. ازاین‌رو در مطالعه حاضر از یک نوع پروتئین گیاهی بانام ایزوله پروتئین سویا به‌عنوان جایگزین گوشت در برگر استفاده شد. نتایج نشان داد که خصوصیاتی ازجمله بافت و رنگ در برگر گیاهی با برگر گوشتی اختلاف چشمگیری نداشت و حتی در مواردی مانند افت پخت و میزان چروکیدگی نسبت به برگر گوشتی مطلوب‌تر بود. همچنین در بررسی پروفایل اسید چرب مشاهده گردید که برگر گیاهی سرشار از اسیدهای چرب غیراشباع بوده که در مقایسه با برگر گوشتی از مزایای سلامتی بخش بالاتری برخوردار بودند. درنتیجه‌ی این مشاهدات می‌توان بیان کرد که تولید برگرهای گیاهی قابلیت توسعه بالقوه در صنعت را داشته و می‌تواند یک جایگزین امیدوارکننده برای پروتئین‌های گوشت باشد.

References

Aocs F. 2009. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemist's Society, Ce 5-86 .

Asgar M, Fazilah A, Huda N, Bhat R and Karim A. 2010. Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 9(5): 513-529 .

Atashkar M, Hojjatoleslamy M and Sedaghat Boroujeni L. 2018. The influence of fat substitution with κ-carrageenan, konjac, and tragacanth on the textural properties of low-fat sausage. Food Science & Nutrition 6(4): 1015-1022 .

Baer A A and Dilger A C. 2014. Effect of fat quality on sausage processing, texture, and sensory characteristics. Meat Science, 96(3): 1242-1249 .

Barekati M, Beigmohammadi Z and Shahiri T H. 2018. Study on the Quality of Low-fat Chicken Burger Formulated by Carboxy Methyl Cellulose and Potato Starch .

Brewer M S. 2012. Reducing the fat content in ground beef without sacrificing quality: A review. Meat Science 91(4): 385-395 .

Cayres C A, Ascheri J L R and Couto M. 2021. Evaluation of nutritional characteristics and consumers' acceptance of gluten-free sweet biscuits made from rice-based pregelatinized composite flours containing orange pomace and soy protein isolate. SN Applied Sciences, 3(2): 1-13 .

Chughtai M F J, Khaliq A, Zahoor T, Ahsan S, Liaqat A, Nadeem M and Junaid-ur-Rehman S. 2022. Meat Replacers and Meal Plans Based on Plant Protein Isolates for Human Consumption. In Plant Protein Foods (pp. 439-465): Springer.

Danowska-Oziewicz M. 2014. Effect of soy protein isolate on physicochemical properties, lipid oxidation and sensory quality of low-fat pork patties stored in vacuum, MAP and frozen state. Journal of Food Processing and Preservation 38(2): 641-654 .

De Marchi M, Costa A, Pozza M, Goi A and Manuelian C L. 2021. Detailed characterization of plant-based burgers. Scientific Reports 11(1): 1-9 .

Elzerman J E, Hoek A C, van Boekel M J and Luning P A. 2015. Appropriateness, acceptance and sensory preferences based on visual information: A web-based survey on meat substitutes in a meal context. Food Quality and Preference 42: 56-65 .

Erdem B G and Kaya S. 2022. Characterization and application of novel composite films based on soy protein isolate and sunflower oil produced using freeze drying method. Food Chemistry 366: 130709 .

Ergönül B. 2009. Farklı probiyotik kültürler kullanarak hindi sucuğu üretimi ve kalite üzerine etkileri. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi .

Featherstone S. 2015. Ingredients used in the preparation of canned foods. A Complete Course in Canning and Related Processes 147-211 .

He, J., Liu, H., Balamurugan, S., & Shao, S. (2021). Fatty acids and volatile flavor compounds in commercial plant-based burgers. Journal of Food Science, 86(2), 293-305.

Herrero A, Ordóñez J, de Avila R, Herranz B, De la Hoz L and Cambero M. 2007. Breaking strength of dry fermented sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) and physico-chemical characteristics. Meat Science 77(3): 331-338 .

Hosseini F and Milani E and Bolurian Sh.1390.Effect of microcrystalline cellulose as a fat replacer on physicochemical, textural and sensory properties of low fat hamburger. Food Research Journal 21(3): 372_378.

Hoseini S and Aliabadi M. 2017. The effect of substitution of beef by turkey meat on physicochemical and sensory properties of burger .

Huang S, Tsai Y and Chen C. 2011. Effects of wheat fiber, oat fiber, and inulin on sensory and physico-chemical properties of Chinese-style sausages. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 24(6): 875-880 .

Ismail H M. 2005. The role of omega-3 fatty acids in cardiac protection: an overview. Frontires in Bioscience 10: 1079-1088 .

Ismail I, Hwang Y H and Joo S T. 2020. Meat analog as future food: a review. Journal of Animal Science and Technology 62(2): 111 .

Izadkhasti Z, Fazel M and Abbasi H. 2019. Effect of sesame and soybean meal mixture on physicochemical, textural properties of sausage. Journal of Food Technology and Nutrition 16(4): 33-44 .

Joshi V and Kumar S. 2015. Meat Analogues: Plant based alternatives to meat products-A review. International Journal of Food and Fermentation Technology 5(2): 107-119 .

Kinsella J E and Franzen K L. 1978. Texturized proteins: fabrication, flavoring, and nutrition. Critical Reviews in Food Science & Nutrition 10(2): 147-207 .

Kristinsson H G, Theodore A E, Demir N and Ingadottir B. 2005. A comparative study between acid-and alkali-aided processing and surimi processing for the recovery of proteins from channel catfish muscle. Journal of Food Science 70(4): C298-C306 .

Maki K C, Eren F, Cassens M E, Dicklin M R, and Davidson M H. 2018. ω-6 polyunsaturated fatty acids and cardiometabolic health: current evidence, controversies, and research gaps. Advances in Nutrition 9(6): 688-700 .

Mbougueng P, Tenin D, Tchiégang C and Scher J. 2015. Effect of starch type on the physicochemical and textural properties of beef patties formulated with local spices. American Journal of Food Science and Technology 3(2): 33-39 .

Mendoza E, Garcıa M, Casas C and Selgas M. 2001. Inulin as fat substitute in low fat, dry fermented sausages. Meat Science, 57(4), 387-393 .

Orcutt M, McMindes M, Chu H, Mueller I, Bater B and Orcutt A. 2006. Textured soy protein utilization in meat and meat analog products. Soy Applications in Food 155-184 .

Penfield M P, Campbell A M and Penfield M P. 1990. Experimental food science: Academic press San Diego.

Rachman A, A Brennan M, Morton J and Brennan C S. 2020. Effect of egg white protein and soy protein isolate addition on nutritional properties and in-vitro digestibility of gluten-free pasta based on banana flour. Foods 9(5): 589 .

Saini R K and Keum Y S. 2018. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance—A review. Life Sciences 203: 255-267 .

Salarkarimi V, Varidi M J and Varidi M. 2019. The Effect of Chestnut (Quercus Brantii) Flour Substitution on the Physicochemical and Sensory Properties of Burgers. Research and Innovation in Food Science and Technology 8(1): 15-30 .

Sánchez-Zapata E, Muñoz C, Fuentes E, Fernández-López J, Sendra E, Sayas E and Pérez-Alvarez J. 2010. Effect of tiger nut fibre on quality characteristics of pork burger. Meat Science 85(1): 70-76 .

Sáyago-Ayerdi S, Brenes A and Goñi I. 2009. Effect of grape antioxidant dietary fiber on the lipid oxidation of raw and cooked chicken hamburgers. LWT-Food Science and Technology 42(5): 971-976 .

Siva Kumar S, Balasubramanyam B, Jayaraj Rao K, Heartwin Amala Dhas P and Surendra Nath B. 2017. Effect of flaxseed oil and flour on sensory, physicochemical and fatty acid profile of the fruit yoghurt. Journal of Food Science and Technology 54(2): 368-378 .

Soncu E D, Kolsarıcı N, Cicek N, Öztürk G S and Arıcı Y K. 2015. The comparative effect of carrot and lemon fiber as a fat replacer on physico-chemical, textural, and organoleptic quality of low-fat beef hamburger. Korean Journal for Food Science of Animal Resources 35(3): 370 .

Stein H H, Berger L L, Drackley J K, Fahey Jr G C, Hernot D C and Parsons C M. 2008. Nutritional properties and feeding values of soybeans and their coproducts. In Soybeans (pp. 613-660): Elsevier.

Tansaz S and Boccaccini A R. 2016. Biomedical applications of soy protein: A brief overview. Journal of Biomedical Materials Research Part A 104(2): 553-569 .

Thrane M, Paulsen P, Orcutt M and Krieger T. 2017. Soy protein: Impacts, production, and applications. In Sustainable Protein Sources (pp. 23-45): Elsevier.

Totosaus A and Perez-Chabela M L. 2009. Textural properties and microstructure of low-fat and sodium-reduced meat batters formulated with gellan gum and dicationic salts. LWT-Food Science and Technology 42(2): 563-569 .

Wu D and Sun D W. 2013. Colour measurements by computer vision for food quality control–A review. Trends in Food Science and Technology 29(1): 5-20 .

Yadav S, Pathera A K, Islam R U, Malik A K and Sharma D P. (2018). Effect of wheat bran and dried carrot pomace addition on quality characteristics of chicken sausage. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 31(5): 729 .

Food Research Journal
Online ISSN: 2676-5691 Print ISSN: 2008-515X
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Using foam mat drying in the production of sugarcane molasses powder: optimization and kinetics of mass transfer

Mohammad Noshad[1*], Mohammad Hojjati[1], Parisa Ghasemi[2]

[1]Associate Professor and Professor respectively, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan
[2]PhD Student Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan
✉ Corresponding author: Noshad@asnrukh.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: August 14, 2023
Accepted: December 31, 2023
Published: Jan 4, 2025

Keywords:
Foam mat drying, Whipping time, Drying kinetics, Xanthan gum, Sugar cane molasses

ABSTRACT

Background: In the production of food powders, foam mat drying is a suitable and cost-effective alternative to traditional drying methods.
Aims: The aim of this research was to select the optimal conditions for producing sugarcane molasses powder using the foam mat drying method.
Methods: In the initial stage, different concentrations of albumin (5 to 15%), xanthan gum (0.1 to 0.15%), and whipping time (2 to 6 minutes) were used to produce foam. The properties of the produced powders (density, solubility, bulk and tapped density, moisture content, pH, and rehydration) were examined at two foam thicknesses (4 and 6 mm) and temperatures of 50, 60, and 70 °C. Six drying models were used to investigate the drying kinetics of the samples.
Results: The results showed that the sample produced with 12.417% albumin, 0.12% xanthan gum, and 6 minutes of whipping had the best performance in terms of foam stability and density. Furthermore, the Wang and Singh model was selected as the best model for investigating the drying kinetics of the samples at all drying temperatures and foam thicknesses. Using Fick's second law, the effective moisture diffusivity was calculated and was in the range of 2.07×10^{-8} to 5.18×10^{-8} m²/s with activation energies of 16.35 and 20.15 kJ/mol for thicknesses of 4 and 6 mm, respectively.
Conclusion: Based on the obtained results, most of the sugarcane molasses foam drying process occurred in the falling rate period. Considering the fitting of different drying models, the Wang and Singh model was the best model for describing the drying behavior of sugarcane molasses foam. Additionally, increasing the temperature and foam thickness increased the effective moisture diffusivity. Therefore, sugarcane molasses powder can be produced as a sweetener and additive in the formulation of various food products using the foam mat drying method.

Extended Abstract

Introduction: Sugarcane molasses is an underappreciated by-product of the sugar mill industry. It is classified as generally recognized as safe (GRAS) and has been utilized as an alternative sweetener in the food industry (Deseo et al., 2020). Molasses is the final effluent obtained during the preparation of sucrose through a repeated process of evaporation, centrifugation, and crystallization from sugarcane juices (Jamir et al., 2021). It possesses special properties such as antioxidant, antimicrobial, weight loss, and treatment of anemia, and is used in cooking as a fermentation feed (Deseo et al., 2020; Jamir et al., 2021). Foam mat drying is a process used to convert liquid or semi-liquid foods into stable dried products. This is achieved by incorporating a large volume of gas in the presence of an edible foaming agent and/or stabilizer, followed by drying. Foam mat drying is suitable for drying viscous, sticky, heat-sensitive, and high-sugar food products that are difficult to dry using other tray drying techniques (Afifah et al., 2022). To ensure efficient foam mat drying, the foaming agent is used as a surfactant to reduce the surface tension between solid-liquid interfaces. Proteins are considered good and form a viscoelastic film around the bubbles, improving the powder's rheology (Brar et al., 2020). Xanthan gum, a natural polysaccharide, is one of the most important industrial biopolymers. It is widely used in various food materials for its emulsion stabilization, temperature stability, compatibility with food ingredients, and pseudo-plastic rheology properties. Xanthan gum is also utilized in pharmaceutical formulations, cosmetics, and agricultural products as a dispersing agent and stabilizer for emulsion or suspension due to its stability to thicken aqueous solutions (Song et al., 2006). The stability of the foam is influenced by foam stabilizers such as gelatin, xanthan, and string time. It is crucial to optimize the process by using an appropriate concentration of foaming agent and foaming time (Mihe et al., 2023). Therefore, in the production of food powders, foam mat drying is a suitable and cost-effective alternative compared to traditional drying. This research was conducted to determine the optimal conditions for the production of sugarcane molasses powder using foam mat drying.

Material and methods: Molasses from Ahvaz Sugarcane Development and Auxiliary Industries Company, as well as Sigma Alderich xanthan gum were used in this research. Egg white was also used as foaming agent which was obtained by purchasing whole eggs and separating the white. The eggs were purchased from the Mollasani local market. To prepare the foam, the molasses was brought to a brix level of 25. Then, xanthan gum was added at three different levels (0.1%, 0.125%, and 0.15%) and mixed thoroughly to create a homogeneous mixture. Following this, the egg white was added at specific concentrations (5%, 10%, and 15% w/w) and mixed using a household mixer (Moulinex, model BM6, Spain) for three different time periods (2, 4, and 6 min) (see table 1 for details). The resulting foam was placed in aluminum trays (6 mm in height, 48 cm in length, and 40 cm in width) and dried in a dryer (Heraeus, Germany) at a temperature of 50 °C. After leaving the dryer, it was powdered using a home grinder and stored in impermeable plastics until the tests were conducted.

Results: Based on the obtained results, Wang and Singh's model was chosen as the best model to examine the drying kinetics of the samples at all drying temperatures and foam thicknesses. Using Fick's second law, the effective diffusion coefficient of humidity was calculated to be in the range of 2.07×10^{-8} to 18.5×10^{-8} (m^2/s), with activation energy of 16.35 and 20.15 kJ/mol for thicknesses of 4 mm and 6 mm, respectively.

Conclusion: The maximum drying process of sugarcane molasses foam was found to be in the descending speed stage. Wang and Singh's model was the best fit to describe the drying behavior of sugarcane foam. Additionally, increasing the temperature and foam thickness resulted in an increase in the effective moisture diffusivity. Therefore, sugarcane molasses powder can be utilized as a sweetener and

additive in the formulation of various food products using the foam mat drying method.

پژوهش‌های صنایع غذایی

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۵۶۹۱ ، شاپا چاپی ۲۰۰۸ -۵۱۵x

https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

استفاده از روش کف‌پوشانی در تولید پودر ملاس نیشکر: بهینه‌یابی و سینتیک انتقال جرم

محمد نوشاد[1]✉، محمد حجتی[1]، پریسا قاسمی[2]

[1] به‌ترتیب دانشیار و استاد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

[2] دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

✉ مسئول مکاتبه: Noshad@asnrukh.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت:
۱۴۰۲/۰۵/۲۳
پذیرش:
۱۴۰۲/۱۰/۱۰
انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

کلید واژه:
خشک کردن کف‌پوشی، زمان همزدن، سینتیک خشک کردن، صمغ گزانتان، ملاس نیشکر

چکیده

زمینه مطالعاتی: در تولید پودرهای مواد غذایی، خشک کردن کف‌پوشی یک جایگزین مناسب و مقرون به صرفه در مقایسه با خشک کردن سنتی است.

هدف: هدف از این پژوهش انتخاب شرایط بهینه برای تولید پودر ملاس نیشکر با استفاده از روش کف‌پوشی بوده است.

روش کار: در مرحله نخست از غلظت های متفاوت آلبومین (۵ تا ۱۵ درصد)، صمغ گزانتان (۰/۱ تا ۰/۱۵ درصد) و زمان همزدن (۲ تا ٦ دقیقه) جهت تولید کف استفاده شد. ویژگی‌های پودرهای تولید شده (دانسیته، میزان حلالیت، دانسیته فشرده و غیرفشرده، رطوبت، pH و آبگیری مجدد) با دو ضخامت کف (٤ و ٦ میلی‌متر) در دماهای ۵۰، ٦۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. از ٦ مدل خشک کردن جهت بررسی سینتیک خشک کردن نمونه ها استفاده شد.

نتایج: براساس نتایج مشخص گردید که نمونه حاصل از ۱۲/٤۱۷ درصد آلبومین ، ۰/۱۲ درصد صمغ گزانتان و ٦ دقیقه همزدن بهترین عملکرد را از نظر پایداری و دانسیته کف داشت. علاوه‌براین، مدل وانگ و سینگ به عنوان بهترین مدل جهت بررسی سینتیک خشک شدن نمونه‌ها در تمام دماهای خشک کردن و ضخامت کف‌ها انتخاب شد. با استفاده از قانون دوم فیک، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت محاسبه شد و در محدوده (m^2/s) $۲/۰۷\times۱۰^{-۸}$ تا $۵/۱۸\times۱۰^{-۸}$ با انرژی فعال‌سازی ۱٦/۳۵ و ۲۰/۱۵ کیلوژول بر مول به ترتیب برای ضخامت‌های ٤ و ٦ میلی متر بود.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج به دست آمده، بیشترین فرایند خشک شدن کف ملاس نیشکر، در مرحله سرعت نزولی بود و با توجه به برازش مدل‌های مختلف خشک کردن، بهترین مدل جهت توصیف رفتار خشک شدن کف کلاس نیشکر، مدل وانگ و سینگ بود. همچنین افزایش دما و ضخامت کف باعث افزایش میزان ضریب نفوذ مؤثر رطوبت شد. بنابراین می‌توان با استفاده از روش خشک کردن کف پوشی، پودر ملاس نیشکر به عنوان شیرین کننده و افزودنی در فرمولاسیون محصولات مختلف غذایی تولید کرد.

DOI: 10.22034/FR.2024.59189.1908

OPEN ACCESS

CC BY NC

مقدمه

ملاس نیشکر یکی از محصولات جانبی در صنعت قند است که ایمن (GRAS) شناخته شده و در صنایع غذایی به عنوان یک شیرین‌کننده و جایگزین شکر استفاده می‌شود (دسیو و همکاران ۲۰۲۰). در واقع ملاس به عنوان پساب نهایی در تهیه ساکارز با روش‌های تبخیر، سانتریفیوژ و کریستالیزاسیون از آب نیشکر به دست می‌آید. از هر یک تن نیشکر، به طور متوسط ۳۵ تا ٤٥ کیلوگرم ملاس تولید می‌شود (جمیر و همکاران ۲۰۲۱). اجزای اصلی ملاس به طور کلی شامل ساکارز (۳۵-۳۰٪)، فروکتوز و گلوکز (۲۵-۱۰٪)، ترکیبات غیر قندی (۳-۲٪)، محتوای مواد معدنی و رطوبت است که حدود ۵۵-٤٥٪ از کل قندهای آن قابل تخمیر است (دوتانیا و همکاران ۲۰۱٦). ملاس دارای خواص ویژه‌ای از جمله ویژگی آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی و سرشار از مواد معدنی مانند آهن، کلسیم و پتاسیم است و هم چنین از آن به عنوان کاهش دهنده وزن، درمان کم خونی و در پخت به عنوان خوراک تخمیر استفاده می‌شود (جمیر و همکاران ۲۰۲۱؛ دسیو و همکاران ۲۰۲۰؛ جین و همکاران ۲۰۱۷؛ رید و همکاران ۲۰۰۷).

امروزه روش خشک کردن کف‌پوشی به دلیل ساده و ارزان بودن، استفاده از دماهای پایین‌تر و کیفیت مطلوب محصول نهایی، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. هم چنین می‌توان از این روش برای خشک کردن محصولات دارای قند و ویسکوزیته بالا و حساس به حرارت استفاده کرد (مین و همکاران ۲۰۲۳). در این روش با استفاده از همزدن، حجم زیادی از هوا را در حضور یک عامل کف‌زا و تثبیت کننده کف خوراکی، درون ماده غذایی مایع و نیمه جامد وارد می‌کنند و سپس کف تولید شده به صورت یک لایه نازک بوسیله روش‌های مختلف خشک کردن، خشک می‌شود (عفیفه و همکاران ۲۰۲۲؛ عبدالسلام و همکاران ۲۰۲۱).

برای خشک کردن کف‌پوشی، عامل کف‌زا همانند یک ماده سورفاکتانت عمل می‌کند که باعث کاهش کشش سطحی بین فازهای جامد و مایع می‌شود. پروتئین‌ها با ایجاد لایه ویسکوالاستیک در اطراف حباب‌ها سبب کاهش کشش سطحی بین فازها شده و از این طریق باعث پایداری سیستم کف می‌شوند (برار و همکاران ۲۰۲۰). عوامل کف‌زا با ایجاد سطح وسیع برای انتشار رطوبت، کاهش کشش سطحی بین فاز گازی و مایع و افزایش تخلخل کف، باعث سریع‌تر شدن فرآیند خشک شدن می‌شوند. علاوه‌بر کاهش زمان خشک شدن، عوامل کف‌زا می‌توانند به طور قابل توجهی بر خواص فیزیکوشیمیایی پودر از نظر انبساط، تخلخل، پایداری، حلالیت و رنگ اثرگذار باشند (روهیلا و همکاران ۲۰۲۲). تاکنون از ایزوله پروتئین سویا برای تهیه پودر توت‌فرنگی (فرید و همکاران ۲۰۲۳)، آلبومین تخم مرغ برای به دست آوردن پودر موز سبز (کمالی و همکاران ۲۰۲۰) و پروتئین آب پنیر برای خشک کردن کف‌پوشی عصاره زردچوبه استفاده شده است (گومز و همکاران ۲۰۲۱).

صمغ‌ها، هیدروکلوئیدهایی هستند که با جذب آب موجب افزایش ویسکوزیته و پایداری سوسپانسیون‌های غذایی می‌شوند (صالحی و ساترابی ۱٤۰۱). صمغ گزانتان یک پلی‌ساکارید طبیعی و ی از مهم‌ترین بیوپلیمرهای صنعتی است. صمغ گزانتان به دلایل مهمی از جمله تثبیت امولسیون، پایداری دما، سازگاری با مواد غذایی در طیف گسترده‌ای از مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه‌براین به عنوان عامل تثبیت‌کننده امولسیون‌ها و یا سوسپانسیون‌ها به دلیل توانایی آن در افزایش ویسکوزیته محلول‌های آبی استفاده می‌شود (سونگ و همکاران ۲۰۰٦). از عوامل مؤثر بر پایداری کف می‌توان به غلظت تثبیت کننده‌های کف و مدت زمان عمل همزدن اشاره کرد. بنابراین بهینه‌یابی این پارامترها به منظور دستیابی به پودر با ویژگی‌های مطلوب بسیار حائز اهمیت می‌باشد (مین و همکاران ۲۰۲۳).

بنابراین، هدف از این پژوهش، استفاده از روش سطح-پاسخ به منظور بهینه‌یابی فرآیند تولید پودر ملاس نیشکر با استفاده از روش خشک کردن کف‌پوشی بود. برای ایین منظور، از آلبومین تخم مرغ به عنوان عامل کف‌زا، صمغ گزانتان به عنوان تثبیت کننده برای حفظ پایداری کف و مدت زمان همزدن به عنوان متغیرهای مستقل فرآیند استفاده شد. علاوه‌براین، تاثیر دو پارامتر کلیدی فرآیند خشک کردن شامل دمای خشک کردن و

ضخامت لایه کف نیز بر سینتیک خشک شدن کف‌پوشی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ملاس از شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی اهواز و صمغ گزانتان با برند سیگما جهت انجام این پژوهش تهیه شدند. سفیده تخم مرغ به عنوان عامل کف‌زا (تخم‌مرغ کامل تهیه شد و سفیده آن جهت تولید کف مورد استفاده قرار گرفت) از بازار محلی ملاثانی خریداری شد. جهت تهیه کف، ابتدا ملاس را به بریکس ۲۵ رسانده و سپس، صمغ گزانتان (۰/۱۵-۰/۱ درصد) به آن اضافه شد و مخلوط فوق به خوبی همزده شد تا یک ترکیب همگن حاصل گردید. در ادامه، سفیده تخم مرغ در غلظت مشخص (۱۵-۵ درصد وزنی-وزنی) به آن اضافه شد و با استفاده از همزن خانگی (Moulinex، مدل BM6، ساخت اسپانیا) در بازه زمانی(۶-۲ دقیقه) همزده شد (جدول۱). کف تولید شده به سینی‌های از جنس آلومینیوم (ارتفاع ۶ mm، طول ۴۸ cm و عرض ۴۰ cm) ریخته شد و در خشک‌کن (Heraeus، ساخت آلمان) با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. بلافاصله پس از خروج از خشک‌کن با استفاده از یک آسیاب خانگی پودر شد و تا زمان انجام آزمون‌ها در پلاستیک‌های غیر قابل نفوذ در یخچال نگه‌داری شد.

Table1- Independent variables and their value in the central composite design

Independent variables	Concentration, w/w%
A: albumin	5-15
B: xanthan gum	0.1-0.15
C: Whipping Time	2-6

پایداری کف

پایداری کف با قرار دادن ۵۰ میلی‌لیتر از کف به درون قیف بوخنر با قطر ۱۰۰ میلی‌متر (سطح آن با کاغذ صافی پوشیده شده بود) که بر روی استوانه مدرج به مدت دو ساعت در دمای محیط نگهداری شده بود، تعیین شد. زهکشی، از نظر کاهش حجم به عنوان شاخصی برای پایداری کف است که با استفاده از معادله (۱) زیر محاسبه شد.

$$\text{پایداری کف} = \frac{V_{foam}}{V_{0foam}} \times 100 \qquad (۱)$$

در این معادله V_{foam} تفاوت بین حجم کف اولیه و حجم مایع منتقل شده و V_{0foam} حجم کف اولیه است (وادیا و همکاران ۲۰۲۰).

دانسیته کف

دانسیته کف ملاس از نسبت وزن کف تولید شده به حجم کف محاسبه شد. بدین منظور از یک ظرف استوانه‌ای برای اندازه‌گیری حجم (V_{foam}) و ترازو برای جرم (M_{foam}) استفاده گردید (برار و همکاران ۲۰۲۰). با استفاده از معادله (۲) زیر بر حسب g/cm^3 بیان شد.

$$\text{دانسیته کف} = \frac{M_{foam}\,(g)}{V_{foam}\,(cm^3)} \qquad (۲)$$

محتوای رطوبتی

محتوای رطوبتی پودر ملاس تولید شده، با استفاده روش AOAC محاسبه شد، بدین منظور نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. محتوای رطوبتی با تفاوت بین وزن پودر قبل و بعد از خشک شدن محاسبه شد (AOAC, 1995).

شاخص حلالیت و شاخص جذب آب

شاخص حلالیت و شاخص جذب آب پودر ملاس طبق روش دهقان‌نیا و همکاران (۲۰۱۹) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر به ۲/۵ گرم از پودر ملاس اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط مخلوط گردید و سپس محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. در ادامه، با استفاده از معادلات (۳) و (۴) شاخص حلالیت و شاخص جذب آب پودر محاسبه شد.

$$\text{شاخص حلالیت در آب} = \frac{m_2 - m_1}{m_3} \qquad (۳)$$

در این معادله m_1 وزن خالی پلیت، m_2 وزن نمونه و پلیت پس از خارج کردن آن از آون و m_3 وزن بخش شفاف بعد از سانتریفیوژ است.

$$\text{شاخص جذب آب} = \frac{m_{rc}}{m_o - m_{re}} \quad (٤)$$

در این معادله m_{rc} وزن بخش رسوب کرده از سانتریفیوژ، m_0 وزن اولیه نمونه و m_{re} وزن نمونه پس از خروج از آن است.

اندازه گیری pH

بدین منظور، پودر ملاس و آب مقطر به نسبت ۱:۱۰ (وزنی-حجمی) با هم مخلوط و سپس pH آن با استفاده از pHمتر (Metrohm، ساخت سوئیس) اندازه‌گیری شد (قادری و همکاران ۲۰۱۷).

دانیسته حجمی فشرده و غیر فشرده

دانسیته حجمی فشرده و غیره فشرده مطابق روش نجات‌دارابی و همکاران (۲۰۲۱) انجام شد. بدین منظور مقدار مشخصی از پودر ملاس را به درون استوانه مدرج ریخته (دانیسته حجمی غیرفشرده) و سپس به آن ضربه زدن (۳۰ ضربه) شد، تا حجم ثابتی به دست آید (دانسیته حجمی فشرده) و با استفاده از معادلات (۵) و (٦) محاسبه شد.

$$\text{دانسیته فشرده} = \frac{Mp}{Vf} \quad (٥)$$

$$\text{دانسیته غیر فشرده} = \frac{Mp}{V} \quad (٦)$$

در این معادله، Mp وزن پودر(g)، Vf حجم نهایی پودر(cm^3) و V حجم پودر(cm^3) می‌باشند.

آبگیری مجدد

مقدار ۵ گرم پودر نمونه در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ٦۰ دقیقه غوطه‌ور شد. پس از فیلتر کردن، میزان آب‌گیری مجدد نمونه‌ها مطابق معادله (۷) محاسبه شد (نوشاد و همکاران ۲۰۲۰).

$$\text{آبگیری مجدد پودر} = \frac{w_2}{w_1} \times 100 \quad (٧)$$

در این معادله W_2 وزن ماده تخلیه شده و W_1 وزن ماده خشک شده می‌باشد.

بررسی سینتیک خشک شدن نمونه کف بهینه توسط خشک‌کن هوای داغ

نمونه کف بهینه به پلیت‌های آلومینیومی بصورت لایه نازک با ضخامت‌های ٤ و ٦ میلی‌متر ریخته و در دماهای ۵۰، ٦۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. جهت ارزیابی سینتیک خشک شدن، نمونه‌های کف در فواصل زمانی مشخصی از خشک‌کن خارج و وزن آن‌ها تا رسیدن به مقدار ثابت توسط ترازوی دیجیتال ثبت گردید. شش مدل نیمه‌تجربی برای سینتیک خشک کردن به نام‌های پیج، انتشار، هندرسون و پابیس، نیوتن، لگاریتمی و ولنگ و سینگ به کار گرفته شد. بیان ریاضی مدل‌ها در جدول (۲) آورده شده است. حسن برازش با مقدار R^2 بالا (ضریب تعیین) و RMSE (ریشه میانگین مربعات خطا) و SSE (مجموع مربعات خطا) پایین در نظر گرفته شد (نوشاد و قاسمی ۲۰۲۰). جهت برازش داده از نرم افزار Matlab (نسخه 2014a) استفاده شد.

$$MR = \frac{Mt - Me}{Mi - Me} \quad (٨)$$

در معادله (۸) ، MR نسبت رطوبت، محتوای رطوبت اولیه (Mi)، رطوبت در هر لحظه (Mt) و رطوبت تعادلی (Me) است.

از آنجایی که Me (میزان رطوبت تعادلی) در مقایسه با Mt (میزان رطوبت در هر لحظه) و Mi (محتوای رطوبت اولیه) بسیار کم است، می‌توان Me را در رابطه فوق نادیده گرفت و به معادله (۹) زیر ساده کرد:

$$MR = \frac{Mt}{Mi} \quad (٩)$$

تعیین ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

ضریب نفوذ مؤثر رطوبت بر اساس قانون دوم فیک که برای یک تیغه نامحدود اعمال می‌شود (معادله ۱۰) محاسبه شد. قانون دوم فیک به طور گسترده برای مواد غذایی اعمال می‌شود و به تعیین دوره نرخ سقوط در فرایند خشک کردن کمک می‌کند (روهیلا و همکاران ۲۰۲۲).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} - \exp\left(\frac{\pi^2 D_{eff}^{t}}{4L^2}\right) \quad (١٠)$$

که در این معادله، D_{eff} ضریب نفوذ مؤثر رطوبت (m^2/s)، و L ضخامت کف بر حسب متر می‌باشد. ضریب نفوذ رطوبت مؤثر (D_{eff}) با رسم ln (MR) در مقابل زمان خشک شدن از داده‌های تجربی محاسبه شد. نمودار آن یک خط مستقیم با

شیب منفی است و " K " با استفاده از معادله زیر به D_{eff} مربوط می‌شود:

$$K=\frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (11)$$

محاسبه انرژی فعال‌سازی

برای محاسبه انرژی فعال‌سازی از معادله آرنیوس استفاده شد (آلبوشریب و همکاران ۲۰۲۱):

$$D_{eff}= D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (12)$$

ضریب یا فاکتور آرنیوس (m^2/s)، E_a انرژی فعال‌سازی برای نفوذ رطوبت (kJ/mol)، R ثابت جهانی گازهای ایده آل(kJ/k.mol) و T دمای مطلق (K) می‌باشد. انرژی فعال‌سازی با رسم منحنی LnD_{eff} در برابر عکس دما (1/T) محاسبه می‌شود.

Table 2- Mathematical models to investigate the drying kinetics of foam-mat drying of molasses foam

Number Model	Equation	References
Diffusion	MR=a*exp(-k*x)+(1-a)*exp(-k*b*x)	Sobukola, Dairo, and Odunewu (2008)
Henderson Pabis	MR= a*exp(-k*x)	Pandith (2018)
Logarithmic	MR=a*exp(-k*x)+c	Erbay and Icier (2010)
Newton	MR=exp(-k*x)	Vengaiah and Pandey (2007)
Wang and Singh	MR=exp(-k*x^n)	Doymaz and Ismail (2011)
Page	MR=1+a*x+b*x^2	Kadam and Dhingra (2011)

آنالیز آماری

به منظور یافتن بهترین شرایط (بهینه‌یابی) تولید پودر ملاس به روش خشک‌کردن کف‌پوشی، از روش سطح پاسخ و نرم افزار Design Expert نسخه 10.0.4 استفاده شد. در این پژوهش از طرح مرکب مرکزی و با سه متغیر مستقل در سه سطح و ٦ نقطه مرکزی طرح استفاده گردید. متغیرهای مستقل شامل صمغ گزانتان (۰/۱۵-۰/۱ درصد وزنی-وزنی)، زمان همزدن (٦-۲) و آلبومین(۱۵-۵ درصد وزنی-وزنی) بودند. محدوده متغیرهای مستقل بر اساس آزمایش‌های اولیه انتخاب شدند. پس از بهینه‌یابی، مدل‌سازی ریاضی خشک شدن نمونه بهینه در سه دما (۵۰، ٦۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) با دو ضخامت (٤ و ٦ میلی‌متر) بررسی شد.

نتایج و بحث

دانسیته کف

یکی از مهم‌ترین عوامل برای بررسی شرایط عمل همزنی، دانسیته کف است که هر چه میزان هوای محبوس شده در کف بیشتر باشد، مقدار دانسیته کف کمتر خواهد بود (فرید و همکاران ۲۰۲۳). براساس نتایج جدول (۳)، غلظت آلبومین، صمغ گزانتان و مدت زمان هم‌زدن اثر معناداری ($p< ۰/۰۵$) بر دانسیته کف‌ها داشت و با افزایش غلظت آلبومین و مدت زمان هم‌زدن، دانسیته کف‌ها کاهش یافت (شکل ۱). افزایش غلظت آلبومین سبب افزایش تعداد حباب‌های هوا در کف می‌شود که همین امر باعث افزایش حجم و کاهش دانسیته کف می‌شود که نتایج مشابهی برای دانسیته کف آلوئه ورا (روی و همکاران ۲۰۲۳)، میوه انبه (کومار و همکاران ۲۰۲۲)، میوه آناناس (شاری و همکاران ۲۰۱۸) و میوه پاپایا (عبدالسلام و همکاران ۲۰۲۱) مشاهده شد.

همچنین نتایج نشان داد همزدن به مدت ۲ دقیقه کف، منجر به تولید کف با دانسیته کمتر در مقایسه با مدت زمان ٦ دقیقه شد. افزایش مدت زمان همزدن باعث تخریب دیواره کف و فروپاشی آن می‌شود که هم امر باعث افزایش دانسیته کف می‌شود که با نتایج حاصل از پژوهش نوشاد و همکاران (۲۰۲۰) برای کف زرشک و صفات و همکاران (۲۰۲۱) برای کف آلو همخوانی دارد.

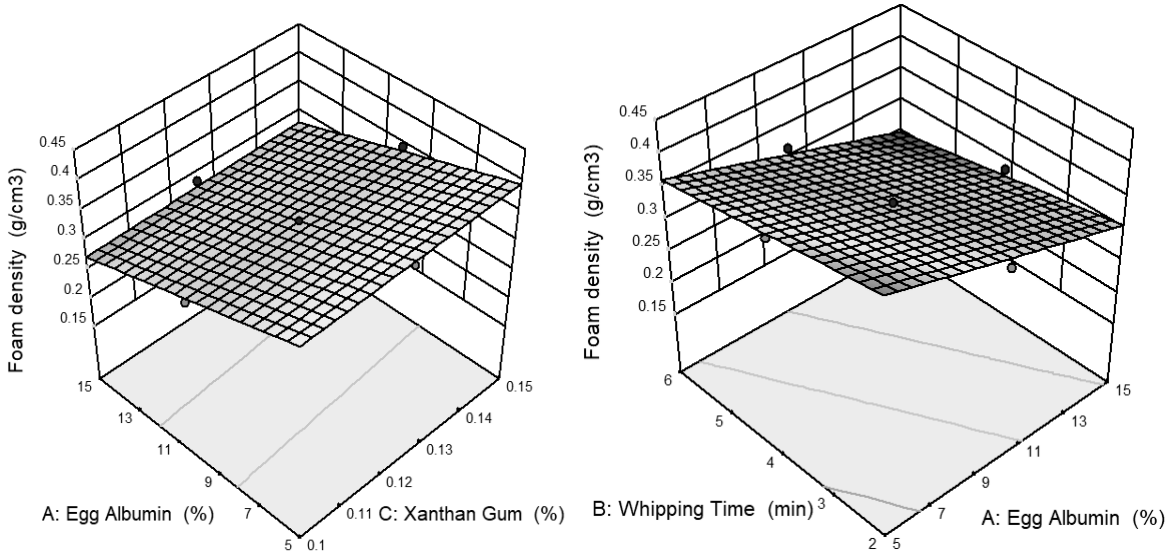


Figure 1- The effect of foam production conditions (albumin, Whipping Time and xanthan gum) on the density of sugarcane molasses foam

پایداری کف

پایداری کف به سرعت تخلیه مایع از ساختار کف بستگی دارد. هرچه حجم مایع تخلیه شده کمتر باشد، پایداری کف بیشتر باشد (فرید و همکاران ۲۰۲۳). کف باید برای مدت طولانی پایدار بماند و در عین حال حداقل زهکشی را برای خشک شدن سریع فراهم کند. نتایج نشان داد (جدول(۳)، افزایش غلظت آلبومین و صمغ گزانتان اثر معناداری ($p<۰/۰۵$) بر پایداری کف ملاس نیشکر داشت. با توجه به شکل (۲)، با افزایش غلظت آلبومین و صمغ گزانتان، پایداری کف نیز افزایش یافت. این احتمالاً به دلیل وجود آلبومین است که به عنوان تثبیت‌کننده خوبی عمل کرده و انرژی سطحی بین حباب‌ها را در طول تشکیل مداوم کف‌ها را کاهش می‌دهد. علاوه‌براین، ویژگی آبگریزی ثبیت‌کننده‌های کف از استحکام دیواره‌های حباب نیز حفاظت می‌کند که در نتیجه، ساختار کف را دربرابر فروپاشی حفاظت می‌کند. صمغ گزانتان به عنوان پلی‌ساکارید آنیونی با کاهش برهمکنش پروتئین و افزایش ضخامت دیواره کف‌ها باعث پایداری و استحکام کف می‌شود (سوسانتی و همکاران ۲۰۲۱). روند مشابهی نیز در فرآیند خشک کردن کف آلوئه‌ورا (روی و همکاران ۲۰۲۳) و کف میگو (عزیزپور و همکاران ۲۰۱٤) مشاهد شده است.

Table 3- ANOVA for stability and density of the sugarcane molasses foam

Source	DF	Foam stability	Foam density
Intercep	1	225.48**	2.803**
Albumin	2	91.299**	0.029**
Whipping Time	2	2.343*	0.007**
Xanthan Gum	2	19.707**	0.000**
Albumin * Whipping Time	1	1.074**	0.000**
Albumin * Xanthan Gum	1	0.781**	0.000**
Whipping Time * Xanthan Gum	1	0.469**	7.656E-5**
Albumin * Whipping Time * Xanthan Gum	1	0.377**	0.000**
Error		0.040	1.227E-5
R-Squared		0.998	0.998
Adj R-Squared		0.995	

* Significant at 5% level
** Significant at 1% level
Df, Degrees of freedom
ns, lack-of–fit, is not significant at p> 0.05

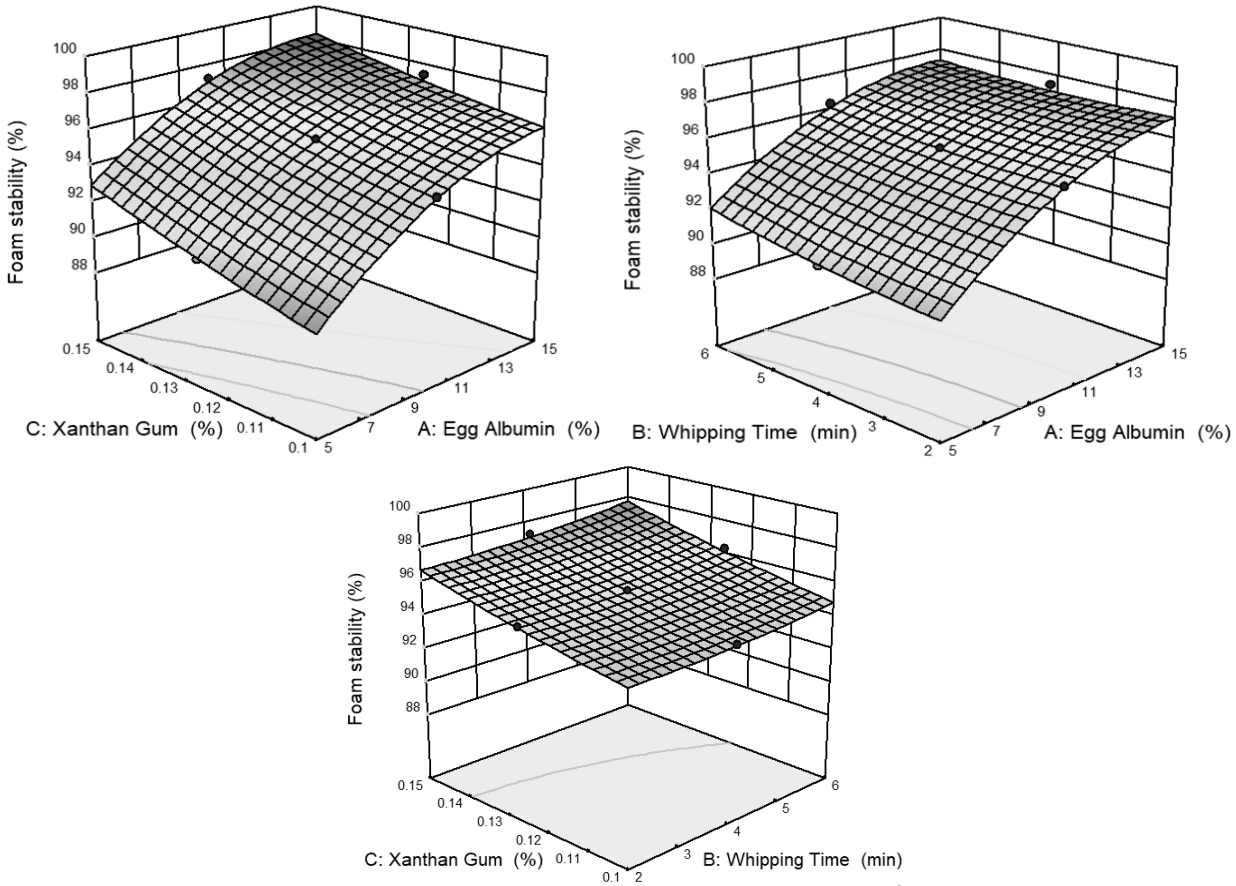


Figure 2- The effect of foam production conditions (albumin, whipping time and xanthan gum) on the stability of sugarcane molasses foam

شاخص حلالیت و شاخص جذب آب

با توجه به این که اکثر پودرها قبل از مصرف در آب یا یک سیستم آبی حل می‌شوند، بنابراین شاخص حلالیت و جذب آب یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی پودرها می‌باشد و بیان گر رفتار پودر در طی حل‌شدن در آب است. نتایج آنالیز واریانس (جدول ٤) نشان داد غلظت آلبومین و صمغ گزانتان بر شاخص حلالیت آب اثر معناداری (p< ۰/۰۵) داشت. در حالی که مدت زمان هم‌زدن اثر معناداری (p< ۰/۰۵) بر شاخص حلالیت نداشت افزایش غلظت البومین و صمغ گزانتان سبب افزایش پایداری کف در فرایند خشک شدن می‌شود که همین امر سبب افزایش تخلخل و به تبع آن حلالیت پودر می‌شود که با یافته‌های پژوهش (نوشاد و همکاران، ۲۰۲۰) و بحریه و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد.

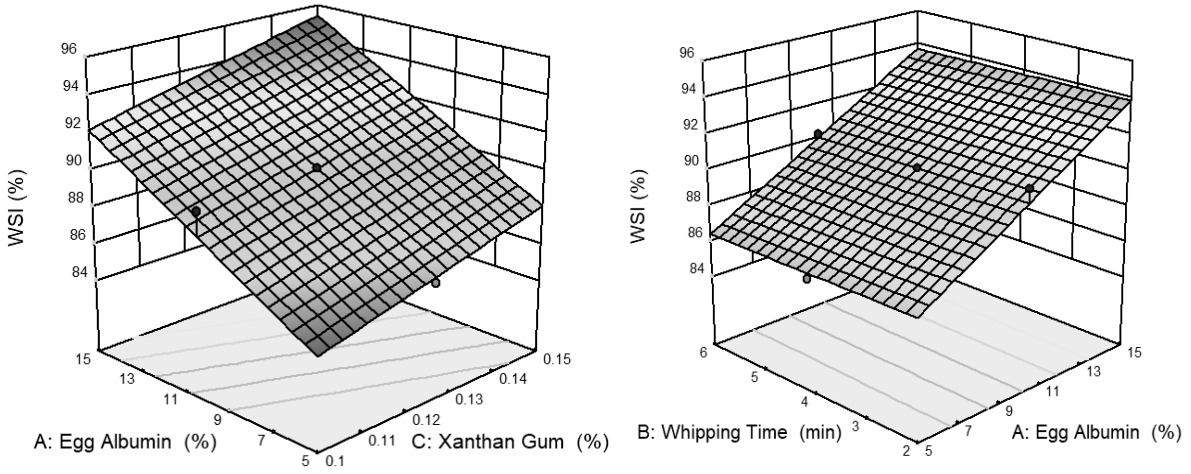


Figure 3- The effect of albumin, whipping time and xanthan gum on the solubility index of sugarcane molasses powder

شاخص جذب آب ظرفیت یک ماده غذایی را نشان می‌دهد که تا چه حد می‌تواند آب را جذب کند و ارتباط مستقیمی با توانایی هیدراسیون آن دارد (صفات و همکاران ۲۰۲۱). افزایش غلظت آلبومین مدت زمان هم زدن، اثر معناداری ($p< ۰/۰۵$) برمیزان جذب آب توسط نمونه‌ها داشت. افزایش مدت زمان همزدن باعث کاهش جذب آب توسط نمونه‌ها شد (شکل ٤). این امر به دلیل شکسته و باز شدن زنجیره پروتئینی است که سبب افزایش گروه‌های آب گریز و کاهش پیوند هیدروژنی می‌شود که در نتیجه شاخص جذب آب کاهش می‌یابد. در حالی که افزایش غلظت آلبومین باعث افزایش جذب آب توسط نمونه‌ها شد که احتمالا به دلیل ویژگی آبدوستی پروتئین‌هاست (جدول ٤). روند مشابهی از افزایش جذاب آب با افزایش غلظت سفیده تخم مرغ در پژوهش خشک کردن آب آلبالو نیز مشاهده شده است (صفات و همکاران ۲۰۲۱).

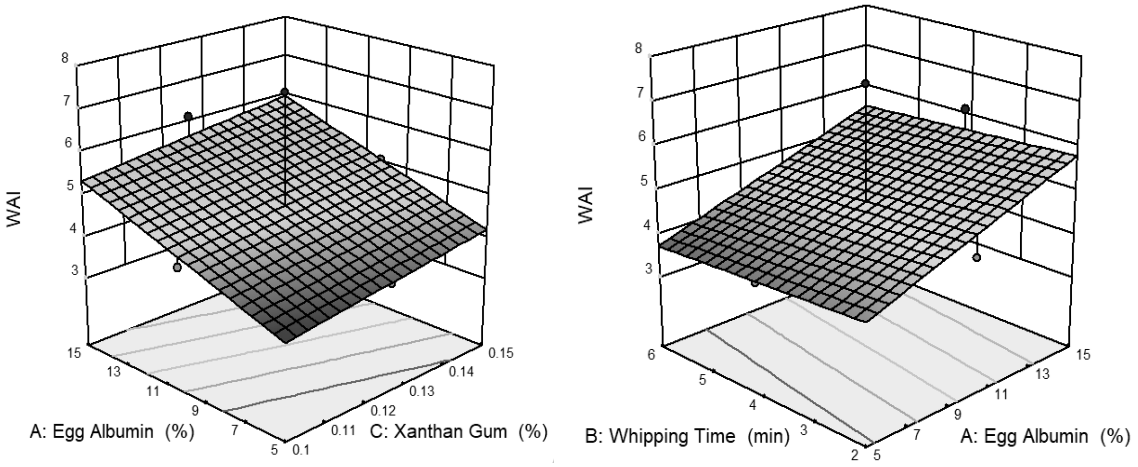


Figure 4- The effect of albumin, whipping time and xanthan gum on the water absorption of sugarcane molasses powder

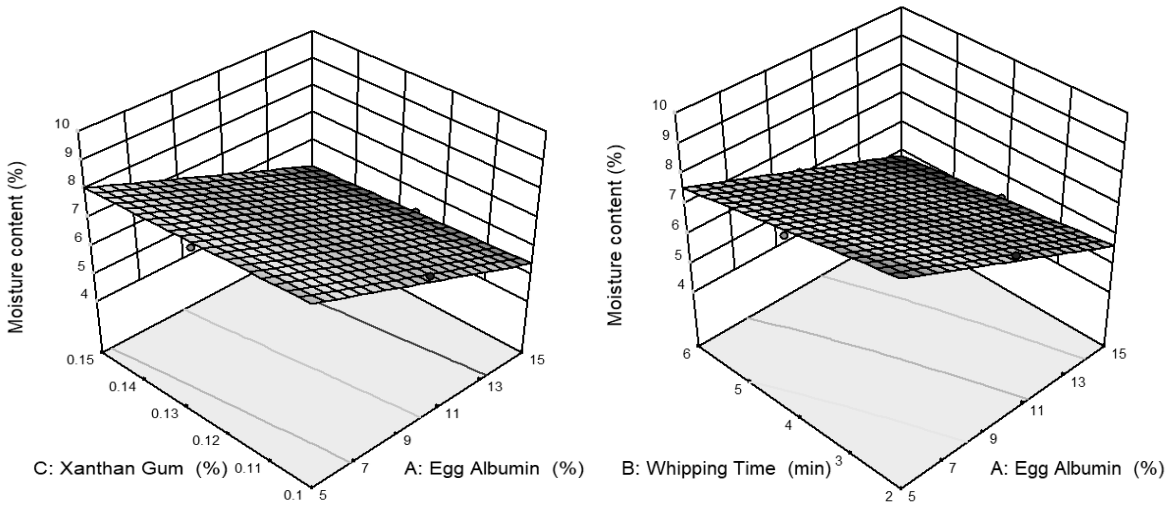
Table 4- analysis results for sugarcane molasses powder responses

Source	DF	WSI	WAI	Moisture	pH	Bulk density	Tap density	Rehydration
Intercep	1	202.881**	563.692**	1153.11**	993.619**	7.595**	8.788**	132.223**
Albumin	2	124.187**	8.310**	22.231**	0.159**	0.080**	0.091**	1.739**
Whipping Time	2	0.041^{ns}	0.466**	3.101**	0.002**	0.001**	1.169E-5ns	0.001^{ns}
Xanthan Gum	2	26.645**	1.037**	0.455**	8.306E-5^{ns}	0.001**	0.001**	0.199**
Albumin * Whipping Time	1	0.001^{ns}	0.062**	0.328**	0.009**	1.806E-5*	0.002**	1.000E-5^{ns}
Albumin * Xanthan Gum	1	0.763**	0.452**	0.002*	2.500E-5^{ns}	0.000**	3.906E-5*	0.029**
Whipping Time * Xanthan Gum	1	0.002^{ns}	0.029**	0.011**	2.500E-5^{ns}	5.256E-5**	0.001**	0.001*
Albumin * Whipping Time * Xanthan Gum	1	0.004^{ns}	0.118**	0.003*	0.000^{ns}	0.000**	0.001	0.001*
Error		0.081	0.002	0.002	0.000	0.008	0.015	0.001
R-Squared		0.996	0.999	0.993	0.992	0.995	0.997	0.996
Adj R-Squared		0.993	0.997	0.989	0.985	0.991	0.994	0.992

* Significant at 5% level ** Significant at 1% level
Df, Degrees of freedom ns, lack-of–fit, is not significant at P > 0.05

محتوای رطوبتی

محتوای رطوبتی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عمر انبارمانی پودرها است. بطوری که با کاهش محتوای رطوبتی می‌توان عمر انبارمانی پودر را افزایش داد. براساس نتایج به دست آمده (شکل ۵)، با افزایش غلظت آلبومین و مدت زمان هم‌زدن محتوای رطوبتی نمونه‌ها کاهش یافت. این امر احتمالا به دلیل محتوای رطوبتی پایین آلبومین و تغییراتی که در ساختار آن به دلیل هم زدن اتفاق می افتد، می‌باشد (کانها و همکاران ۲۰۲۲؛ تان و همکاران ۲۰۲۰). هم چنین نتایج آنالیز واریانس (جدول ٤) نشان داد، افزایش غلظت صمغ گزانتان اثر معناداری (۰/۰۵ >p) بر میزان محتوای رطوبتی نمونه‌ها داشت. بطوری که با افزایش غلظت صمغ گزانتان، محتوای رطوبتی نمونه‌ها افزایش یافت که احتمالا به دلیل ویژگی جاذبه الرطوبه بودن گزانتان است.



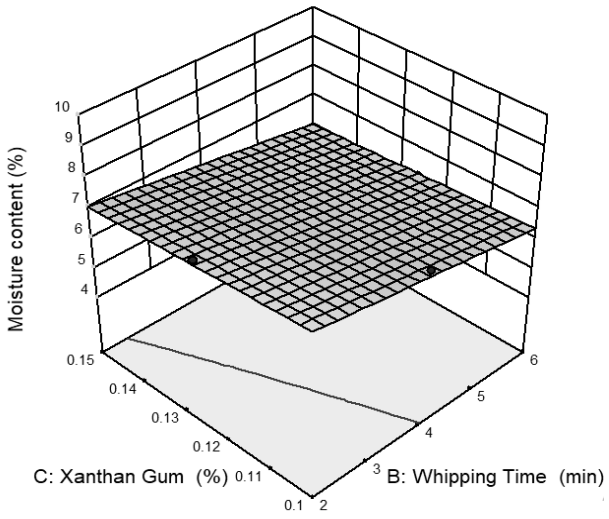


Figure 5- The effect of albumin, whipping time and xanthan gum on the moisture content of sugarcane molasses powder

اندازه گیری pH

براساس نتایج به دست آمده (جدول ٤)، غلظت آلبومین و مدت زمان هم زدن اثر معناداری ($p< ۰/۰۵$) بر میزان pH داشت در حالی که غلظت صمغ گزانتان اثر معناداری ($p < ۰/۰۵$) بر میزان pH نداشت. با افزایش غلظت آلبومین، مقدار pH نمونه‌ها نیز افزایش یافت که به دلیل pH قلیایی آلبومین (۹/۳– ۷/٦ =pH) است. حسینی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که افزودن آلبومین سبب افزایش pH پودر گوجه فرنگی شد که با نتایج نوشاد و همکاران (۲۰۲۰) و علی و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت شد.

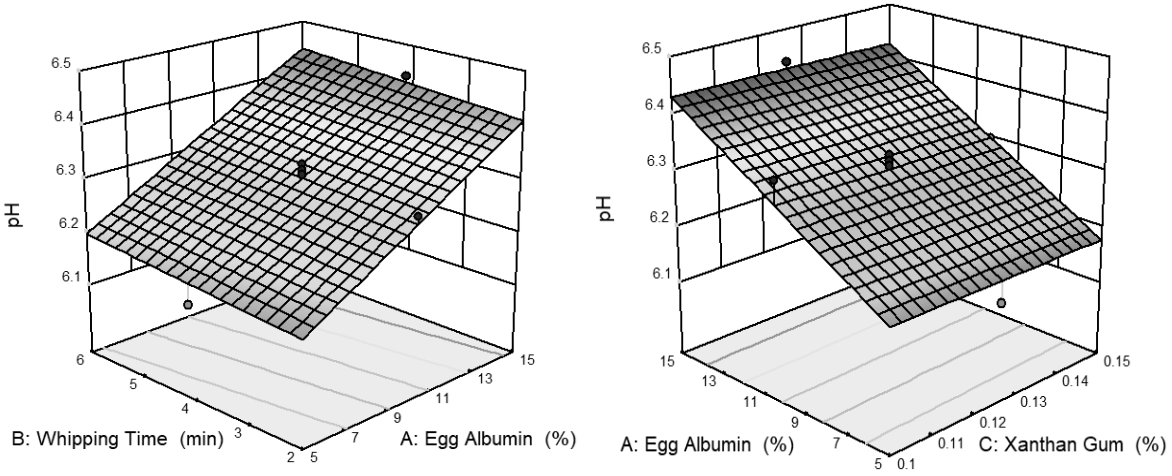


Figure 6- The effect of albumin, whipping time and xanthan gum on the pH of sugarcane molasses powder

دانسیته فشرده و غیر فشرده

مقادیر دانسیته غیرفشرده پودر حاصل از خشک کردن کف‌پوشی بین ۰/۲– ۰/٦ گرم برسانتی‌متر مکعب می‌باشد (روهیلا

و همکاران ۲۰۲۲). براساس نتایج به دست آمده (جدول ٤ و اشکال ۷ و ۸)، افزایش غلظت آلبومین و صمغ گزانتان و اثر متقابل آن‌ها اثر معناداری ($p<۰/۰۵$) بر دانسیته فشرده و غیر-فشرده نمونه‌ها داشت. صمغ گزانتان به دلیل داشتن وزن مولکولی بالا باعث افزایش دمای گذار شیشه‌ای در نمونه‌ها می‌شود که همین امر سبب کاهش رفتار آمورفی (بی‌شکلی) و کاهش اندازه ذرات پودر می‌شود که در نتیجه باعث افزایش دانسیته فشرده پودر می‌شود. در حالی که در ادامه بدلیل تغییر در ساختار آلبومین، اندازه ذرات پودر افزایش می‌یابد که همین امر باعث کاهش دانسیته فشرده نمونه‌ها می‌شود (کانها و همکاران ۲۰۲۲؛ روهیلا و همکاران ۲۰۲۲).

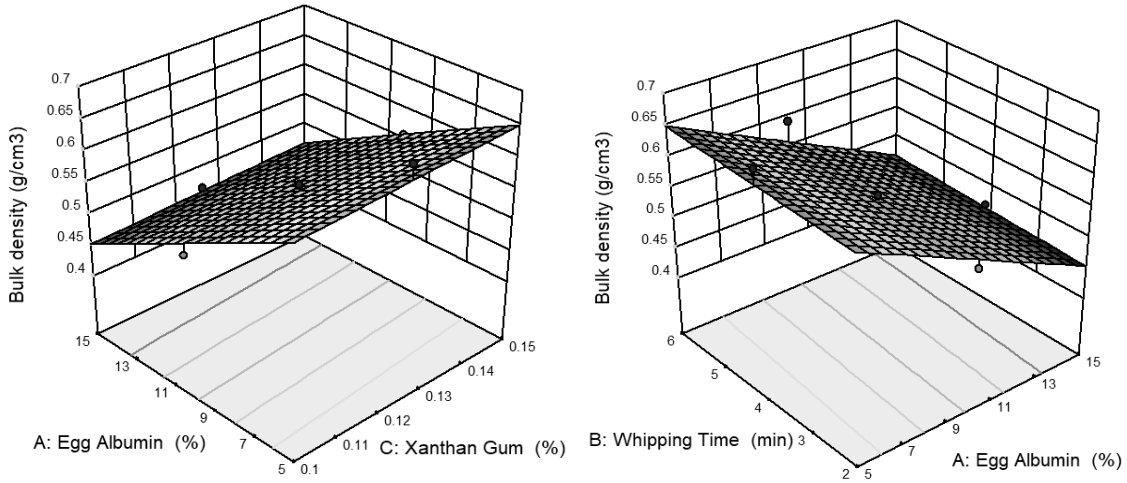


Figure 7- The effect of albumin, whipping time and xanthan gum on the Bulk density of sugarcane molasses powder

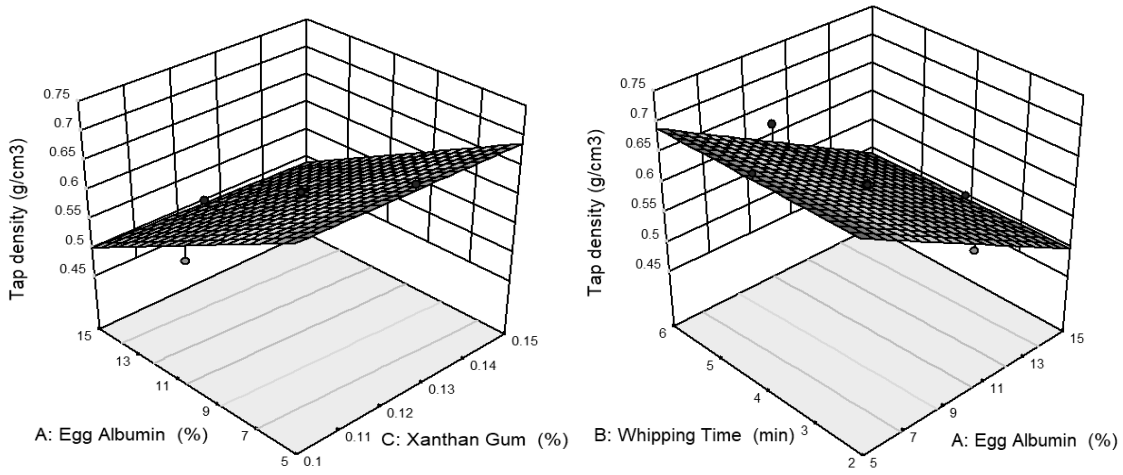


Figure 8- The effect of albumin, whipping time and xanthan gum on the Top density of sugarcane molasses powder

آبگیری مجدد

براساس نتایج به دست آمده (جدول ٤)، غلظت آلبومین و صمغ گزانتان اثر معناداری ($p < ۰/۰۵$) بر میزان آبگیری مجدد نمونه-ها داشت. افزایش غلظت آلبومین و صمغ گزانتان باعث افزایش

قابلیت آبگیری مجدد توسط نمونه‌ها شد که می‌تواند به دلیل وجود گروه‌های آبدوستی مانند هیدورکسیل در ساختار این ترکیبات باشد. علاوه‌براین، شکل و اندازه ذرات، تخلخل و ساختار و خواص سطحی نیز بر میزان آبگیری مجدد نمونه‌ها اثرگذار است بطوری که پودرهایی با دانسیته بالا (ساختار متراکم) قابلیت ابگیری مجدد کمتری دارند. نتایج مشابهی را علی و همکاران (۲۰۱۵)، نوشاد و همکاران (۲۰۱۹) به ترتیب برای پودر پاپایا و پودر زرشک گزارش کردند.

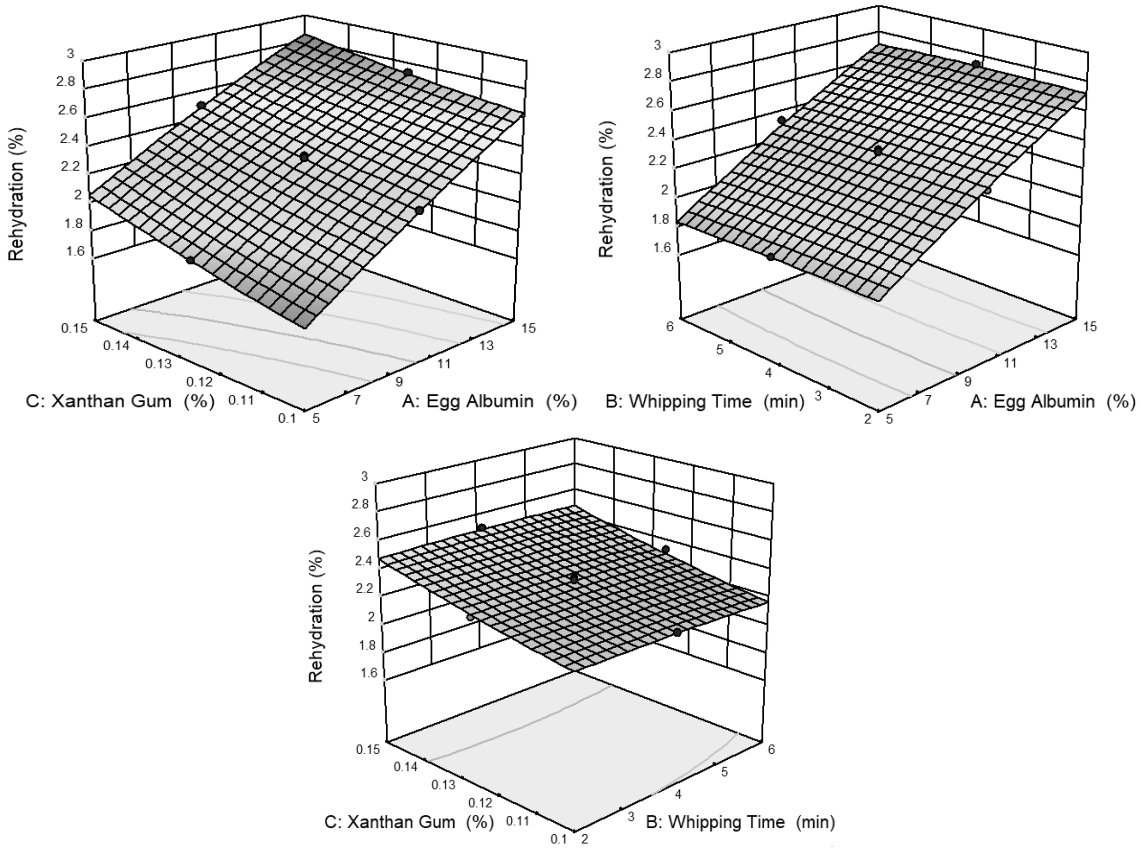


Figure9- The effect of albumin, whipping time and xanthan gum on the rehydration rate of sugarcane molasses powder

تعیین شرایط بهینه‌یابی تولید پودر ملاس نیشکر

بهینه‌یابی شرایط تولید پودر ملاس نیشکر به منظور دستیابی به کف با حداکثر پایداری و حداقل دانسیته و پودر با حداکثر (حلالیت، آبگیری‌مجدد) و حداقل (رطوبت، pH، دانسیته غیره فشرده و فشرده) انجام و نتایج در جدول (۵) گزارش شد.

Table 4- Optimizing the production conditions of sugarcane molasses powder

Albumin	Whipping Time	Xanthan	Foam stability	Foam density	WSI	WAI	Moisture	pH	Bulk density	Tap density	Rehydration
12.417	6	0.12	98.412	0.451	94.988	5.741	5.581	6.363	0.513	0.532	2.861

مدل‌سازی سینتیک خشک کردن

خشک کردن کف‌پوشی ملاس نیشکر با استفاده از آلبومین و صمغ گزانتان در سه دمای متخلف (۵۰، ٦٠ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و دو ضخامت (٤ و ٦ میلی‌متر) در خشک کن با هوای داغ انجام شد. تغییرات رطوبت در حین خشک کردن ملاس نیشکر در هوای داغ با عامل کف‌زا (آلبومین تخم مرغ) و پایدارکننده (ضمغ گزانتان) با ضخامت‌های مختلف در شکل(۱۰) ارائه شده است. مدت زمان خشک کردن با افزایش دمای خشک کردن، کاهش یافت (شکل ۱۰). برار و همکاران (۲۰۲۰) و عبدالسلام و همکاران (۲۰۲۱) نتایج مشابهی را به ترتیب برای خشک کردن پوره هلو و میوه پاپایا گزارش کردند. همان طور که از منحنی‌های خشک شدن مشاهده می‌شود، بیشترین سرعت خشک شدن در دوره نرخ سقوط اتفاق افتاد. با عبور هوای داغ از روی لایه نازک کف‌ها، آب آزاد از نمونه‌ها خارج می‌شود که با ادامه فرآیند خشک شدن، به دلیل از دست دادن آب آزاد، سرعت خشک کردن کاهش می‌یابد (برار و همکاران ۲۰۲۰). براساس نتایج به دست آمده (شکل ۱۰)، با افزایش ضخامت کف‌ها، مدت زمان خشک شدن کف‌ها نیز افزایش یافت.

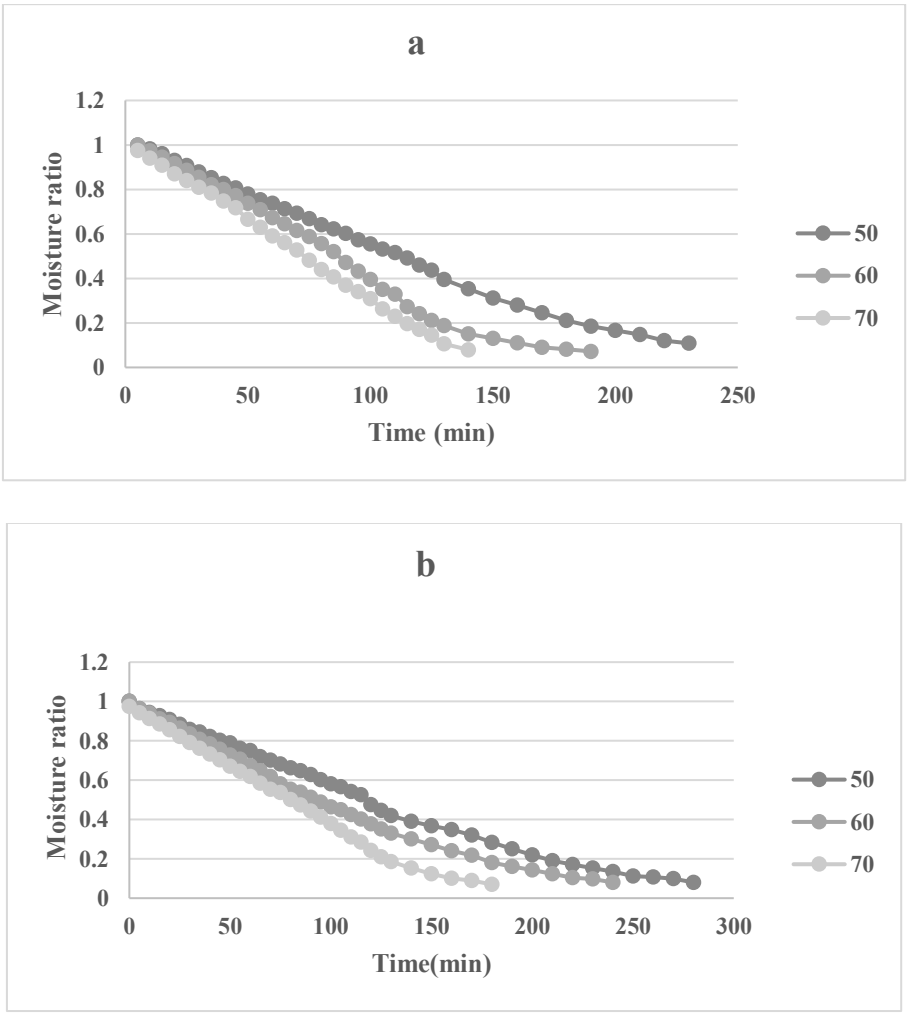


Figure 10- Variations of moisture ratio with drying time for foam-mat drying of sugarcane molasses at 4 mm(a) and 6mm(b) thickness

از مدل‌های مختلفی به منظور مدل‌سازی سینتیک خشک شدن کف ملاس نیشکر به روش کف پوشی استفاده شد و در نهایت مدلی که دارای بیشترین مقدار R^2 وکمترین میزان RMSE و SSE بود، به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. براساس نتایج به دست آمده (جداول ٦ و٧)، مدل وانگ و سینگ دارای بهترین برازش با داده‌های آزمایشی در تمامی دماها و ضخامت‌ها داشت.

Table 5- Statistical results obtained from fitting the laboratory data with a thickness of 4 mm and a temperature of 50, 60 and 70 (°C)

Model		R^2	RMSE	SSE
Diffusion	50	0.9641	0.0562	0.1170
	60	0.9548	0.0620	0.1115
	70	0.9586	0.0663	0.1197
Henderson Pabis	50	0.9763	0.0451	0.0772
	60	0.9633	0.0549	0.0906
	70	0.9657	0.0532	0.0792
Logarithmic	50	0.9761	0.0458	0.0777
	60	0.9631	0.0551	0.0910
	70	0.9655	0.0533	0.0796
Newton	50	0.9641	0.0548	0.1170
	60	0.9548	0.0600	0.1115
	70	0.9486	0.0640	0.1187
Wang and Singh	**50**	**0.9971**	**0.0158**	**0.0095**
	60	**0.9948**	**0.0205**	**0.0126**
	70	**0.9962**	**0.0178**	**0.0089**
Page	50	0.9964	0.0177	0.0119
	60	0.9916	0.0263	0.0208
	70	0.9957	0.0185	0.0096

Table 6- Statistical results obtained from fitting the laboratory data with a thickness of 6 mm and a temperature of 50, 60 and 70 (°C)

Model		R^2	RMSE	SSE
Diffusion	50	0.9642	0.0563	0.1270
	60	0.9969	0.0161	0.0091
	70	0.9539	0.0668	0.1294
Henderson Pabis	50	0.974	0.0466	0.0892
	60	0.9855	0.0344	0.0427
	70	0.9623	0.0548	0.0901
Logarithmic	50	0.9747	0.0468	0.0897
	60	0.9855	0.0344	0.0427
	70	0.9633	0.0549	0.0904
Newton	50	0.9645	0.0548	0.1260
	60	0.9770	0.0427	0.0674
	70	0.9475	0.0646	0.1294
Wang and Singh	**50**	**0.9962**	**0.0180**	**0.133**
	60	**0.9983**	**0.0118**	**0.0050**
	70	**0.9949**	**0.0205**	**0.0126**
Page	50	0.9959	0.0189	0.0146
	60	0.9988	0.0097	0.0034
	70	0.9936	0.0230	0.0159

براساس نتایج به دست آمده (جدول ۸)، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت نمونه‌ها با افزایش دما و ضخامت کف افزایش یافت. افزایش دما سبب افزایش جنبش مولکولی و مکش سطحی می‌شود که همین امر باعث افزایش فشار بخار درون کف می‌شود که در نتیجه باعث افزایش ضریب انتشار مؤثر رطوبت می‌شود. از طرفی با افزایش ضخامت، سرعت مهاجرت رطوبت درونی به سطح نمونه‌ها کاهش می‌یابد که همین امر باعث افزایش ضریب نفوذ مؤثر رطوبت می‌شود که با نتایج نوشاد و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت داشت.

انرژی فعال‌سازی (E_a) شاخصی از انرژی لازم برای شروع انتقال رطوبت داخلی مواد غذایی به سطح آن است. محدوده کلی انرژی فعال‌سازی برای مواد غذایی مختلف و محصولات کشاورزی از ۱۲/۷ تا ۱۱۰ کیلوژول بر مول است (بحریه و همکاران ۲۰۲۳). براساس نتایج به دست آمده (جدول ۷)، انرژی فعال‌سازی برای کف ملاس نیشکر با ضخامت ٤ و ٦ میلی‌متر به ترتیب ۱٦/۳۵ و ۲۰/۱۵ کیلوژول بر مول بود.

Table 7- Effective diffusivity and activation energy of drying sugarcane molasses foam

Temperature (°C)	Thickness (mm)	Effective moisture diffusivity(m^2/s)	E_a(kJ/mol)	D_0(m^2/s)
50	4	2.07×10^{-8}		
60	4	2.58×10^{-8}	16.35	9.21×10^{-8}
70	4	2.95×10^{-8}		
50	6	3.34×10^{-8}		
60	6	3.91×10^{-8}	20.15	2.1×10^{-7}
70	6	5.18×10^{-8}		

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از درصدهای مختلف آلبومین، صمغ گزانتان و سرعت هم‌زدن جهت تولید کف ملاس نیشکر استفاده شد و پارامترهای فیزیکوشیمیایی کف تولید شده بررسی شد. براساس نتایج به دست آمده، بیشترین فرایند خشک شدن کف ملاس نیشکر، در مرحله سرعت نزولی بود و با توجه به برازش مدل‌های مختلف خشک کردن، بهترین مدل جهت توصیف رفتار خشک شدن کف ملاس نیشکر، مدل وانگ و سینگ بود. همچنین افزایش دما و ضخامت کف باعث افزایش میزان ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در نمونه‌ها شد. بنابراین می‌توان با استفاده از روش خشک کردن کف پوشی، پودر ملاس نیشکر به عنوان شیرین‌کننده و افزودنی در فرمولاسیون محصولات مختلف غذایی تولید کرد.

تشکر و قدردانی

در پایان، نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از حمایت‌های مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان تشکر و قدردانی نمایند.

References

صالحی ف و ساترابی م ، ۱٤۰۱، مدل‌سازی فرآیند خشک کردن برش‌های هلو پوشش داده شده با صمغ‌های دانه ریحان و گزانتان با سامانه فروسرخ نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۲ (۳)، ۱۷ تا ۲۸.

Abd El-Salam E A, Ali A M, & Hammad K S, 2021. Foaming process optimization, drying kinetics and quality of foam mat dried papaya pulp. Journal of Food Science and Technology 58: 1449-1461.

Afifah, N, Sarifudin A, Kumalasari R, Indrianti N, Ratnawati L, Karim M A, ... & Taufan A, 2022. Foaming properties, microstructure, and mathematical model of foam mat drying of pasta sauce based on tomato. Czech Journal of Food Sciences 40(2): 130-137.

Albosharib D, Noshad M, Jooyandeh H, & Zaki Dizaji H, 2021. Effect of freezing and radiofrequency pretreatments on quality and kinetics of convective air-drying of potatoes. Journal of Food Processing and Preservation 45(12): 1-9.

Ali S M, Begum S, Kulkarni L R, Ranganatha S C, & Nagraj K H, 2015. Optimizing Process Parameters for Foam Mat Drying of Papaya Pulp (Carica Papaa L.). Agricultural Engineering Today 39(2): 3-10.

AOAC. 1995. Official methods of analysis (16th ed.); Association of Official Analytical Chemists: AOAC Arlington, VA, Washington DC. USA.

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.

Bahriye G, Dadashi S, Dehghannya J, & Ghaffari H, 2023. Influence of processing temperature on production of red beetroot powder as a natural red colorant using foam-mat drying: Experimental and modeling study. Food Science & Nutrition 1-19

Brar A S, Kaur P, Kaur G, Subramanian J, Kumar D, & Singh A, 2020. Optimization of process parameters for foam-mat drying of peaches. International journal of fruit science, 20(sup3): S1495-S1518.

Dehghannya J, Pourahmad M, Ghanbarzadeh B, & Ghaffari H, 2019. Heat and mass transfer enhancement during foam-mat drying process of lime juice: Impact of convective hot air temperature. International Journal of Thermal Sciences 135: 30-43.

Deseo M A, Elkins A, Rochfort S, & Kitchen B, 2020. Antioxidant activity and polyphenol composition of sugarcane molasses extract. Food Chemistry 314: 126180.

Dotaniya M L, Datta S C, Biswas D R., Dotaniya C K, Meena B L, Rajendiran S, ... & Lata M, 2016. Use of sugarcane industrial by-products for improving sugarcane productivity and soil health. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture 5: 185-194.

Doymaz I, & Ismail O, 2011. Drying characteristics of sweet cherry. Food and Bioproducts Processing 89: 31–38.

Erbay Z, & Icier F, 2010. A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling, and experimental results. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 50(5): 441–464.

Farid E, Mounir S, Siliha H, El-Nemr S, & Talaat E, 2023. Effect of soy protein isolate concentration and whipping time on physicochemical and functional properties of strawberry powder. Journal of Food Measurement and Characterization 1-12.

Fauziyah N, Ifie I, Syarief O, & Darniadi S, 2023. Impact of hydrocolloid and foaming agent on the physicochemical, microstructural and bioactive characteristics of foam-mat freeze-dried tapai (fermented black glutinous rice) powder. Food Science & Nutrition 11(1): 578-589.

Franco T S, Perussello C A, Ellendersen L N, & Masson M L, 2016. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. LWT-Food Science and Technology 66: 503-513.

Gomes J V P, de Oliveira L A, Pereira S M S, da Conceição A R, Anunciação P C, de Souza E C G, ... & Della Lucia C M, 2021. Comparison of bioactive compounds and nutrient contents in whey protein concentrate admixture of turmeric extract produced by spray drying and foam mat drying. Food Chemistry 345: 128772.

Hossain M A, Mitra S, Belal M, & Zzaman W, 2021. Effect of foaming agent concentration and drying temperature on biochemical properties of foam mat dried tomato powder. Food Research 5(2): 291-297.

Jain R, & Venkatasubramanian P, 2017. Sugarcane molasses–a potential dietary supplement in the management of iron deficiency anemia. Journal of dietary supplements 14(5): 589-598.

Jamir L, Kumar V, Kaur J, Kumar S, & Singh H, 2021. Composition, valorization and therapeutical potential of molasses: a critical review. Environmental Technology Reviews 10(1): 131-142.

Kadam D M, & Dhingra D, 2011. Mass transfer kinetics of banana slices during osmoconvective drying. Journal of Food Process Engineering 34: 511–532.

Kamali R, Dadashi S, Dehghannya J, & Ghaffari H, 2020. Production of Green Banana Powder Using Foam-Mat Drying Method: Effects of Ovalbumin Concentration on Drying Kinetics and Physicochemical Properties of the Product. Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology 15(2):101-112.

Kanha N, Regenstein J M, & Laokuldilok T, 2022. Optimization of process parameters for foam mat drying of black rice bran anthocyanin and comparison with spray-and freeze-dried powders. Drying Technology 40(3): 581-594.

Kumar A, Kandasamy P, & Chakraborty I, 2022. Analysis of foaming properties of mango pulp for foam-mat drying: Impact of egg albumin concentration and whipping time. Journal of The Institution of Engineers (India): Series A 103(3): 717-724.

Minh T N, La Bao P, Van T N, & Quang M V, 2023. Impact of foaming conditions on quality for foam-mat drying of Butterfly pea flower by multiple regression analysis. Plant Science Today 10(2): 51-57.

Nejatdarabi S, & Mohebbi M, 2021. Effect of foam-mat drying condition on physical properties and rehydration behavior of mushroom powder. Iranian Food Science & Technology Research Journal 17(3).

Noshad M, & Ghasemi P, 2020. Influence of freezing pretreatments on kinetics of convective air-drying and quality of grapes. Food Bioscience 38: 100763.

Noshad M, Hojjati M, Ghasemi P, & Mostaan A, 2020. Optimization and modeling of mass transfer kinetics during foam-mat drying of date syrup. Innovative Food Technologies 7(4): 535-550.

Pandith J A, 2018. Induction heating assisted foam mat drying of papaya pulp: drying kinetics, drying modeling, and effects on quality attributes. Agricultural Engineering International: CIGR Journal 20(2): 206-215.

Qadri O S, & Srivastava A K, 2017. Microwave-assisted foam mat drying of guava pulp: Drying kinetics and effect on quality attributes. Journal of food process engineering 40(1): 1-11.

Reyed R M, & El-Diwany A, 2007. Molasses as bifidus promoter on bifidobacteria and lactic acid bacteria growing in skim milk. Internet J Microbiol 5(1): 1-8.

Rohilla S, & Mahanta C L, 2022. Foam mat dried tamarillo powder: Effect of foaming agents on drying kinetics, physicochemical and phytochemical properties. Journal of Food Processing and Preservation 46(12): 1-17.

Roy T, & Alam M S, 2023. Foam-mat dried modified aloe polysaccharide powder: Optimization and physiochemical characterization. eFood 4(2): 1-14.

Seerangurayar T, Manickavasagan A, Al-Ismaili A M, & Al-Mulla Y A, 2017. Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze dried date powder. Journal of Food Engineering: 215: 33-43.

Shaari N A, Sulaiman R, Rahman R A, & Bakar J, 2018. Production of pineapple fruit (Ananas comosus) powder using foam mat drying: Effect of whipping time and egg albumen concentration. Journal of Food processing and Preservation 42(2):1-10.

Sifat S A, Trisha A T, Huda N, Zzaman W, & Julmohammad N, 2021. Response surface approach to optimize the conditions of foam mat drying of plum in relation to the physical-chemical and antioxidant properties of plum powder. International journal of food science 1-16.

Sobukola O, Dairo O U, & Odunewu A, 2008. Convective hot air drying of blanched yam slices. International Journal of Food Science and Technology 43: 1233–1238.

Song K W, Kim Y S, & Chang G S, 2006. Rheology of concentrated xanthan gum solutions: Steady shear flow behavior. Fibers and Polymers 7: 129-138.

Susanti D Y, Sediawan W B, Fahrurrozi M, & Hidayat M, 2021. Foam-mat drying in the encapsulation of red sorghum extract: Effects of xanthan gum addition on foam properties and drying kinetics. Journal of the Saudi society of Agricultural Sciences 20(4): 270-279.

Tan S L, & Sulaiman R, 2020. Color and rehydration characteristics of natural red colorant of foam mat dried Hibiscus sabdariffa L. powder. International Journal of Fruit Science 20(1): 89-105.

Vengaiah P C, & Pandey J P, 2007. Dehydration kinetics os sweet pepper (Capsicum annum L.). Journal of Food Engineering 81; 282–286.

Wadia C, Champawat P S, & Jain S K, 2020. Influence of foam thickness, whipping time and drying temperature on production of guava powder during foam mat drying. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 9(5S):720-727.

Food Research Journal
Online ISSN: 2676-5691 Print ISSN: 2008-515X
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Enrichment of Milk powder with encapsulated conjugated linoleic acid (CLA) by Spray dryer and evaluation of its properties

Bahram Fathi-Achachlouei [1]✉, Hakimeh Rezaei jafarloo [2], Hossein Abdi-Benemar[3], Rezvan Shaddel [1]
[1]Professor and Associate Professor, respectievly, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[2]MSc of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[3]Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
✉ Corresponding author: b_fathi@uma.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
January 17, 2024
Accepted:
December 22, 2024
Published:
Jan 4, 2025

Keywords:
Conjugated linoleic acid, Milk Powder, Spray Dryer, Xanthan gum, Whey protein and Maltodextrin

ABSTRACT

Background: Encapsulation serves as a technique for the delivery of bioactive compounds while enhancing their sensory attributes. For instance, the encapsulation of delicate oils within thin layers effectively inhibits oxidation resulting from moisture, metal ions, oxygen, and heat exposure. Additionally, a range of methods is employed in the encapsulation of fatty acids, such as conjugated linoleic acid. Two commercial processes used in this field are the use of spray drying technique and combined coacervation. Additional methodologies include extrusion coating and encapsulation within nanoliposomes. A critical factor influencing each of these processes is the selection of wall material.
Aims: The objective of this study is to develop nanocapsules utilizing various wall materials for conjugated linoleic acid, subsequently incorporating these nanocapsules into milk powder, and assessing the properties of the enriched milk powder.
Methods: In this research, 4 different treatments including: 1- xanthan gum and maltodextrin, 2- xanthan gum and whey protein, 3- guar gum and maltodextrin, and 4- guar gum and whey protein were used as wall materials. After drying the primary emulsions and milk (1/5% Fat) separately, the milk powder was enriched with nanocapsules powder. Some physicochemical characteristics of enriched milk powder including protein, fat, moisture, solubility and morphology were evaluated.
Results: The results showed that the performance of the spray dryer was about 50%. The highest CLA content and encapsulation efficiency were related to the xanthan-whey protein (19.21%). The results of the evaluation of particle size and morphology indicated that in all treatments, the particle size was within the nanometer range, and the form of the nanocapsules was spherical and their surface had some cracks. The results of evaluating the characteristics of milk powder enriched with CLA showed that the samples of enriched milk powder were not significantly different from each other in terms of solubility (99%) and moisture content (2.33- 2.98%). However, there was a significant difference in the amount of fat and protein. The highest amount of protein was related to the treatment of CLA encapsulated in whey protein-xanthan (12.83%). Also, the treatment containing xanthan-whey protein had the highest amount of fat among all treatments.
Conclusion: According to the tests examined in this research, it can be concluded that all tretments had good performance and can be used for the encapsulating of fatty acids, vitamins, oils and flavors, but the xanthan-whey protein had better characteristics than the other treatments and was more suitable for encapsulation.

CC BY NC

Extended Abstract

Introduction: Encapsulation is a process to entrap active agents within a carrier material and it is a useful tool to improve the delivery of bioactive molecules and living cells into foods. Materials used for the design of the protective shell of encapsulates must be food-grade, biodegradable and able to form a barrier between the internal phase and its surroundings. Among all materials, the most widely used for encapsulation in food applications are polysaccharides. Proteins and lipids are also appropriate for encapsulation (Nedovic et al., 2011). The health benefits of omega-3 fatty acids are substantiated through extensive and rigorous in vivo studies. A wide range of investigations indicate that omega-3 fatty acids are essential not only for normal growth and development but also for their positive effects on the heart, brain, eyes, joints, skin, mood and behavior (Kaushik et al., 2015). Omega-3 fatty acids are also implicated in the prevention of coronary artery disease, hypertension, diabetes, arthritis, other inflammatory and autoimmune disorders, and cancer. Many studies encourage the adequate intake of omega-3 fatty acids by pregnant and lactating women to support overall health of fetus and the healthy development of the retina and brain in the fetus (Kaushik et al., 2015). Some studies argue that the claimed health benefits of omega-3 fatty acids are inconclusive, particularly with regard to cardiovascular events, cancer, cognitive health and slowing down age-related macular degeneration (AMD). Desired levels of omega-3 fatty acids in diets can be achieved by including various foods enriched with omega-3 PUFA. Although a variety of food products enriched with omega-3 fatty acids are available in the market, there are technical challenges in their production, transportation, storage, bioavailability and sensory acceptability (Kaushik et al., 2015). The physical and chemical characteristics of omega-3 oils limit their application as a potential food ingredient. Due to the highly unsaturated nature of omega-3 fatty acids such as CLA, these are susceptible to oxidation and readily produce hydroperoxides, off-flavours and odours, which are deemed undesirable by consumers. To overcome the above-mentioned problems, the use of microencapsulation technology has been explored by various researchers (Kaushik et al., 2015). Omega-3 fatty acids have been microencapsulated using different encapsulation techniques. So far, spray drying, complex coacervation and extrusion are the most commonly used commercial techniques for microencapsulation of omega-3 fatty acids. Spray drying offers many advantages over other drying methods such as freeze drying, including low operational cost, the ability to handle heat-sensitive materials, readily available machinery and reliable operation, and the ability to control the mean particle size of the powders for spray dried emulsions. However, only limited numbers of wall materials are compatible with this technology (Kaushik et al., 2015). The spray drying technique is considered an immobilization technology rather than an encapsulation technology because some bioactive compounds can be exposed superficially on microparticles. In addition to the simplicity of spray drying, this technique is also convenient for encapsulating heat-sensitive materials because the exposure time to elevated temperatures is short (5–30 s) (Rigolon et al. 2024). For the microcapsules to be formed, there is a need to use encapsulating materials, with polysaccharides being the most used for this purpose. The polysaccharides used have desirable properties such as low viscosity, high solid content, good solubility, and are readily available, biocompatible, and can form bonds with flavor compounds, exist in great diversity, have low cost and low toxicity (Rigolon et al. 2024). In a recent study, the potential of a maltodextrin combination with different wall materials (starch, whey protein concentrate, and gum arabic) for the microencapsulation of flaxseed oil through spray drying was evaluated. Results indicated that maltodextrin (MD) in combination with modified starches gave the best encapsulation efficiency in comparison to a gum arabic and whey protein concentrate (WPC) combination, whereas the best emulsion stability and oxidation

protection was observed in the MD–WPC combination (Kaushik et al., 2015). The results of Gohari et al., (2024) indicated that nanocomplexes (NCs) were synthesized based on the principles of electrostatic complexation, utilizing sodium caseinate (NaCa), gum Arabic (GA), and gum exudates from Prunus armeniaca L. (PAGE) to encapsulate conjugated linoleic acid (CLA). The encapsulation process was optimized by varying the concentrations of NaCa (0.1%–0.5%), GA/PAGE (0.1%–0.9%), and CLA (1%–5%), with a central composite design (CCD) applied for numerical optimization. The optimal formulation for the nanocomplex containing gum Arabic (NCGA) was determined to be 0.336%, 0.437%, and 3.10% for NaCa, GA/PAGE, and CLA, respectively. In contrast, the optimal formulation for the nanocomplex containing PAGE (NCPAGE) was found to be 0.403%, 0.730%, and 4.177% for NaCa, GA/PAGE, and CLA, respectively. The encapsulation efficiency (EE) and particle size were measured at 92.46% and 52.89 nm for NCGA, while NCPAGE exhibited an EE of 88.23% and a particle size of 54.76 nm. The conjugated linoleic acid (CLA) present in NCGA-CLA and NCPAGE-CLA demonstrated superior oxidative stability compared to free CLA over a 30-day storage period, with no significant differences observed in the oxidative stability test results for the nanocarriers. The Azari et al.,(2024) in a recent research were focused on the development of enriched buttermilk characterized by stable physicochemical properties through the process of complex coacervation. To mitigate the natural instability of oils within liquid matrices, microcapsules were formulated utilizing sodium alginate and xanthan gum, with optimization conducted via the response surface methodology (RSM). The buttermilk was enriched at optimal concentrations of 0%, 0.04%, 0.07%, and 0.1%, followed by incubation at 48 °C for a duration of 42 days. The optimized conditions revealed that the selection and amount of gums employed for enrichment had a significant impact on the properties of the enriched buttermilk. Notably, a reduction in pH accompanied by an increase in acidity resulted in improved viscosity of the buttermilk. The flow characteristics of the buttermilk displayed pseudoplastic behavior. Enrichment led to an increase in particle size, while only slight alterations were observed in odor, taste, and color, with the buttermilk remaining free from protein aggregates. Chromatographic analysis indicated a rise in unsaturated fatty acids post-enrichment. In conclusion, this study illustrates the potential for producing nutritionally enhanced buttermilk that possesses high stability and favorable sensory attributes. Spray drying is the most extensively applied encapsulation technique in the food industry because it is flexible, continuous, but more important an economical operation. The purpose of this research is to investigate the production of nanocapsules containing different wall materials for conjugated linoleic acid, and then enrich milk powder with them and evaluation of its properties.

Material and methods: In this research, 4 different treatments including: 1- xanthan gum and maltodextrin, 2- xanthan gum and whey protein, 3- guar gum and maltodextrin, and 4- guar gum and whey protein were used as wall materials. After drying the primary emulsions and milk (1/5% Fat) separately, the milk powder was enriched with nanocapsules powder. Some physicochemical characteristics of enriched milk powder including protein, fat, moisture, solubility and morphology were evaluated.

Results and discussion: The results showed that the performance of the spray dryer was about 50%. The highest CLA content and encapsulation efficiency were related to the xanthan- whey protein (19.21%). The results of the evaluation of particle size and morphology indicated that in all treatments, the particle size was within the nanometer range, and the form of the nanocapsules was spherical and their surface had some cracks. The results of evaluating the characteristics of milk powder enriched with CLA showed that the samples of enriched milk powder were not significantly different from each other in terms of solubility (99%) and moisture content (2.33-

2.98%). However, there was a significant difference in the amount of fat and protein. The highest amount of protein was related to the treatment of CLA encapsulated in whey protein-xanthan (12.83%). Also, the treatment containing xanthan-whey protein had the highest amount of fat among all treatments. The results of fatty acid profile indicated that the fattiest acids detected in enriched milk powder were saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids, respectively. Linoleic acid and α-linolenic acid are recognized as the sole essential fatty acids (EFAs) required by the human body. The omega-6 and omega-3 fatty acids are derived from linoleic acid and α-linolenic acid, respectively, through biological processes such as elongation and desaturation. In dietary patterns characterized by low fish intake or vegetarianism, these fatty acids are vital for supplying two important fatty acids—docosahexaenoic acid and arachidonic acid—necessary for the maintenance of essential bodily functions. However, these polyunsaturated fatty acids are particularly prone to oxidation, which negatively impacts the storage stability of oils that contain them. The recent study explores encapsulation as a promising strategy to enhance the stability of EFAs. It is identified five primary encapsulation techniques: (i) spray drying, (ii) freeze drying, (iii) emulsification, (iv) liposomal entrapment, and (v) various other methods, including electrospinning/spraying and complex coacervation. Among these techniques, spray drying emerged as the most commonly utilized method for EFA encapsulation, closely followed by freeze drying. Furthermore, maltodextrin and gum Arabic were identified as the predominant wall materials used in carriers. Future research should focus on the industrial scalability and cost-effectiveness of these encapsulation methods (Nejatian et al., 2024). The advantages of omega-3 fatty acids, including conjugated linoleic acid (CLA), are supported by comprehensive and methodologically sound in vivo research. Numerous studies demonstrate that omega-3 fatty acids play a crucial role not only in promoting normal growth and development but also in contributing positively to the health of the heart, brain, eyes, joints, skin, as well as influencing mood and behavior (Kaushik et al., 2015).

Conclusion: According to the tests examined in this research, it can be concluded that all treatments had good performance and can be used for the encapsulating of fatty acids, vitamins, oils and flavors, but the xanthan-whey protein had better characteristics than the other treatments and was more suitable for encapsulation.

پژوهش‌های صنایع غذایی

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۵۶۹۱ ، شاپا چاپی ۲۰۰۸-۵۱۵x

https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

غنی سازی پودر شیر با اسید لینولئیک کونژوگه (CLA) ریزپوشانی شده با استفاده از خشک کن پاششی و بررسی ویژگی‌های آن

بهرام فتحی آچاچلویی[۱] ✉، حکیمه رضائی جعفرلو[۲]، حسین عبدی بنمار[۳]، رضوان شاددل[۱]

[۱] به ترتیب استاد و دانشیار، گروه علوم وصنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

[۲] دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

[۳] استاد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

✉ مسئول مکاتبه: b_fathi@uma.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷
پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲
انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

کلید واژه:
اسید لینولئیک کونژوگه (CLA)، پودر شیر، خشک کن پاششی، صمغ زانتان، آب پنیر و مالتودکسترین

چکیده

زمینه مطالعاتی: ریزپوشانی، می‌تواند برای رسانش ترکیبات زیست فعال و بهبود خواص حسی آن‌ها مورد استفاده قرار گیرد. دو فرآیند تجاری مورد استفاده در این زمینه استفاده از تکنیک خشک کردن پاششی و کوآسرواسیون ترکیبی هستند. دیگر روش‌های مورد استفاده شامل پوشش اکستروژن و محصور کردن در نانولیپوزوم‌ها هستند. پارامترهای کلیدی در هر یک از این فرآیندها، انتخاب مواد دیواره است.

هدف: هدف از این پژوهش بررسی تولید نانوپوشینه های حاوی مواد دیواره مختلف برای اسیدلینولئیک کونژوگه و سپس غنی سازی شیرخشک با آن و بررسی ویژگی های آن بود.

روش کار: در این پژوهش از چهار ترکیب مختلف به عنوان ماده دیواره شامل: ۱- صمغ زانتان و مالتودکسترین، ۲- صمغ زانتان و آب پنیر، ۳- صمغ گوار و مالتودکسترین و ٤- صمغ گوار و آب پنیر به عنوان مواد دیواره استفاده شد. پس از خشک کردن امولسیون های اولیه و شیر ۱/۵ درصد چربی به صورت جداگانه، پودر شیر با پودر نانوپوشینه ها غنی سازی شد و برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودر شیر غنی‌سازی شده از جمله میزان پروتئین، چربی، رطوبت، حلالیت و مورفولوژی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که عملکرد خشک‌کن پاششی در حدود ۵۰ درصد بود. بیشترین محتوای CLA و بالاترین کارایی ریزپوشانی مربوط به تیمار نانوحامل زانتان- آب پنیر (۱۹/۲۱درصد) بود. شکل نانوپوشینه‌ها به صورت کروی و سطح آن‌ها دارای ترک خوردگی‌هایی بودند. نتایج ارزیابی ویژگی‌های پودر شیر غنی‌سازی شده با CLA نشان داد که نمونه‌های پودر شیر غنی سازی شده از نظر میزان حلالیت (۹۹٪) و رطوبت (۲/۹۸- ۲/۳۳ درصد) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اما از نظر میزان چربی و پروتئین اختلاف معنی‌داری داشتند ($P<0/05$). بیشترین میزان پروتئین مربوط به تیمار CLA ریزپوشانی شده در درون زانتان- آب پنیر (۱۲/۸۳درصد) بود. همچنین میزان چربی شیر و پودر شیر غنی شده با CLA- زانتان- آب پنیر نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود.

نتیجه گیری: تمام نانوحامل های استفاده شده در این تحقیق، کارایی خوبی داشته و می‌توانند برای ریزپوشانی اسیدهای چرب، ویتامین‌ها، روغن‌ها و مواد طعم دهنده مورد استفاده قرار بگیرند، اما نانوحامل زانتان- آب پنیر نسبت به سه نانوحامل دیگر ویژگی‌های بهتری داشته و برای ریزپوشانی مناسب‌تر بود.

مقدمه

فواید سلامتی استفاده از اسیدهای چرب امگا ۳ به ویژه اسید لینولئیک کونژوگه (CLA) از طریق مطالعات گسترده و معتبر اثبات شده است. نتایج تحقیقات گسترده نشان می دهد که اسیدهای چرب امگا ۳ نه تنها برای توسعه و رشد و نمو عادی بدن بلکه به خاطر اثرات مثبت آنها روی قلب، مغز، چشم ها،مفاصل، پوست، خلق و خوی و رفتار انسانی ضروری می باشد(کوشیک و همکاران ۲۰۱۵). به طور کلی اسید لینولئیک کونژوگه (CLA) به تمام ایزومرهای فضایی و موقعیتی لینولئیک اسید اطلاق می‌شود که باندهای دوگانه در آن مزدوج هستند. باندهای دوگانه در CLA در موقعیت‌های ۹و۱۱، ۱۰و۱۲، ۱۱و۱۳ در طول زنجیره کربنی قرار دارند (مک دونالد ۲۰۰۳). اسید لینولئیک کونژوگه نوعی لیپید زیست فعال است که مزایای سلامتی زیادی دارد و برای سلامت انسان حیاتی می‌باشد. با این حال این اسید چرب در بدن سنتز نمی‌شود و باید از طریق رژیم غذایی به دست آید. CLA اثرات مثبتی در پیشگیری و درمان بیماری‌های مزمن مختلف دارد. این اسید چرب از ترکیبات اساسی یک رژیم غذایی سالم است و اثرات بسیاری از جمله اثرات ضد افسردگی، بهبود بیماری‌های قلبی-عروقی و بیماری‌های عصبی دارد (یلدز و همکاران ۲۰۱۸). همچنین اسید لینولئیک کونژوگه دارای خواص مفیدی مانند حفظ عملکرد طبیعی مغز و کاهش خطر ابتلا به سرطان می‌باشد (ولز و همکاران ۲۰۱۷). همچنین گزارش شده است که اسید لینولئیک کونژوگه دارای عملکردهای مختلف فیزیولوژیکی قوی مانند اثرات ضد التهابی، ضد دیابتی، ضد چربی و ضد فشار خون و ضد سرطان نیز می‌باشد (فرناندز و همکاران ۲۰۱۷). به دلیل همین ویژگی‌ها، امروزه کاربرد CLA در رژیم غذایی و غنی‌سازی مواد غذایی با CLA مورد توجه زیادی قرار گرفته است (نصرآبادی و همکاران ۲۰۱۶). با وجود تمام مزایایی که CLA دارد، این ترکیب حلالیت ضعیفی در آب داشته و نیز در برابر اکسیداسیون حساسیت بالایی دارد که همین امر منجر به از دست دادن فعالیت زیستی آن می‌شود (یانگ و همکاران ۲۰۲۰). علاوه بر این، CLA عمدتا در روده کوچک انسان جذب می‌شود، اما فعالیت فیزیولوژیکی آن همیشه قبل از ورود به روده کوچک کاهش می‌یابد یا از بین می‌رود. از این رو، استفاده از یک سیستم حامل برای محصور کردن CLA و ریزپوشانی آن در درون یک دیواره یا نانوحامل منجر به افزایش پایداری، حفظ فعالیت زیستی و هم‌چنین افزایش حلالیت آن می‌گردد (سیو و همکاران ۲۰۱۶).

در ریزپوشانی اسیدهای چرب از جمله اسید لینولئیک کونژوگه نیز از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. دو فرآیند تجاری مورد استفاده در این زمینه استفاده از تکنیک خشک کردن پاششی و کوآسرواسیون ترکیبی هستند. دیگر روش‌های مورد استفاده شامل اکستروژن و محصور کردن در نانولیپوزوم‌ها هستند. پارامترهای کلیدی در هر یک از این فرآیندها، انتخاب مواد دیواره است (کوشیک و همکاران ۲۰۱۵).

در بین روش‌های مختلف ریزپوشانی، خشک کردن پاششی به عنوان یکی از رایج‌ترین و متداول‌ترین روش‌های ریزپوشانی ترکیبات زیست فعال و افزایش پایداری این ترکیبات شناخته شده است (باجاج و همکاران ۲۰۲۱). این روش دارای مزایای زیادی از جمله هزینه عملیاتی پایین، کیفیت بالای پوشینه‌ها، بازده خوب، اندازه کوچک، حلالیت و پایداری بالای پوشینه‌ها می‌باشد (داروچا و همکاران ۲۰۲۰). همچنین این روش گاهی اوقات عملکرد ترکیبات زیست‌فعال را نیز افزایش می‌دهد (باجاج و همکاران ۲۰۲۱). از مزایای دیگر ریزپوشانی به روش خشک کردن پاششی می‌توان به حفاظت ماده غذایی در برابر رطوبت، گرما، اکسیژن و سایر شرایط نامطلوب اشاره کرد(تونتول و توپوز ۲۰۱۴). با انجام ریزپوشانی به روش خشک کردن پاششی، انتشار کنترل شده طعم دهنده‌ها و مواد کاربردی تحت شرایط محیطی خاص امکان‌پذیر است که این تکنیک را برای آزادسازی کنترل شده و پایدار CLA ایده‌آل می‌کند (هی و همکاران ۲۰۱۶). گزارش شده است که استفاده از روش خشک کردن پاششی منجر به افزایش رلندمان ریزپوشانی CLA محصور شده می‌شود (کوستا و همکاران ۲۰۱۵).

در انکپسولاسیون به روش خشک کردن پاششی، انتخاب مواد دیواره مناسب برای دستیابی به سرعت آزادسازی مطلوب و راندمان پوشینه‌سازی بالای ترکیبات زیست‌فعال ضروری می‌باشد. مواد محصور کننده یا مواد دیواره مورد استفاده برای خشک کردن پاششی باید دارای ظرفیت تشکیل امولسیون خوب، توانایی تشکیل فیلم و ویسکوزیته کم باشند. از این‌رو، هیدروکلوئیدهای محلول در آب مانند صمغ‌ها، مالتودکسترین و نشاسته‌های اصلاح شده رایج‌ترین مواد پوشینه کننده در روش خشک کردن پاششی هستند (باجاج و همکاران ۲۰۲۱). فتحی آچاچلوئی و همکاران(۲۰۲٤) تاثیر غلظت های مختلف لسیتین-کلسترول را بر پایداری درون پوشانی نانولیپوزوم های حامل بتا کاروتن را مورد بررسی قرار دادند و نتایج آنها نشان داد که افزودن کلسترول به لسیتین در ساختار نانولیپوزوم منجر می شود که در بازه زمانی ٦۰ روز کارایی درون پوشانی بتا کاروتن نسبت به ساختار نانولیپوزوم فاقد کلسترول پایداری بیشتری داشته باشد.

گوهری و همکاران (۲۰۲٤) از نانوکمپلکس کازئینات سدیم، صمغ درخت زردآلو و صمغ عربی برای ریزپوشانی CLA استفاده کردند و نتایج خوبی را جهت محصور کردن و محافظت از ترکیبات مغذی-دارویی نظیر CLA بدست آوردند.

آذری و همکاران (۲۰۲٤) تاثیر میکروانکپسولاسیون روغن میکروبی محتوی CLA و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی آن در کره را مورد بررسی قرار دادند و نتایج آنها نشان داد که تولید کره غنی شده با CLA با پایداری بالا و خصوصیات حسی مطلوب با استفاده از ریزپوشانی با مواد دیواره مثل آلژینات سدیم و صمغ گزانتان امکان پذیر است.

هدف از این پژوهش، غنی‌سازی پودر شیر با اسید لینولئیک کونژوگه (CLA) ریزپوشانی شده و بررسی ویژگی‌های آن بود. در این پژوهش از نانوحامل‌های مالتودکسترین، صمغ‌های گوار و زانتان و پروتئین آب پنیر برای ریزپوشانی اسید لینولئیک کونژوگه استفاده شد. بطوری که به همین منظور، ابتدا CLA در درون مواد نانوحامل مالتودکسترین، صمغ‌های گوار و زانتان و پروتئین آب پنیر ریزپوشانی شدند و سپس نانوپوشینه های تهیه شده به شیر اضافه شده و در نهایت از روش خشک کردن پاششی برای تولید پودر شیر استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

مواد مصرفی

تمام مواد شیمیایی و حلال های مورد استفاده در این پژوهش از نمایندگی شرکت مرک آلمان خریداری شدند و بدون انجام خالص سازی بیشتر مورد استفاده قرار گرفتند.

آماده‌سازی نمونه‌ها

مواد پوشش دهنده به صورت جداگانه با آب مقطر ترکیب شدند و تا رسیدن به محتوای ۹ درصد مواد جامد و هیدراتاسیون به مدت ۲ ساعت هم زده شدند (تولون و همکاران ۲۰۲۰). برای تهیه محلول‌های مواد دیواره، صمغ‌های گوار و زانتان، مالتودکسترین و پروتئین‌های آب پنیر با نسبت‌های معینی با هم مخلوط شدند این مخلوط به مدت یک شب در یخچال و در دمای ۵ درجه نگه‌داری شد تا هیدراتاسیون کامل حاصل شود. سپس محلول‌های تهیه شده از مواد دیواره با اسید لینولئیک کنژوگه ترکیب شدند تا امولسیون ایجاد شود. سپس این مخلوط با دستگاه سانتریفوژ به مدت ۵ دقیقه با دور ۷۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید تا مخلوط همگنی به دست آید (رجبی و همکاران ۲۰۱۹). نمونه‌های شاهد برای مقایسه با نمونه‌های اصلی بدون افزودن هیچ گونه ماده دیواره‌ای تهیه شدند.

ریزپوشانی CLA

تیمارهای آزمایشی در این پژوهش شامل نسبت‌های ترکیبی صمغ های زانتان، گوار، مالتودکسترین و پروتئین های آب پنیر طبق جدول۱ بود. به این صورت که در تمامی تیمارها، برای ریزپوشانی CLA از صمغ‌های گوار و زانتان در سطح ۰/۳ گرم و از پروتئین‌های آب پنیر و مالتودکسترین نیز به عنوان پوشش دهنده در سطح ۸ گرم استفاده گردید. مقدار مواد هسته یا CLA در همه چهار ترکیب مختلف به عنوان ماده دیواره ٤ درصد بود.

Table1. Used treatments for Encapsulation

Treatments	Control	T1	T2	T3	T4
Xanthan gum	-	**0.3 %**	**0.3 %**	-	-
Guar gum	-	-	-	**0.3 %**	**0.3 %**
Maltodextrin	-	**8 %**	-	**8 %**	-
Whey protein	-	-	**8 %**	-	**8%**

خشک کردن به روش پاششی

مخلوط اسید لینولئیک کونژوگه، مالتودکسترین، صمغ های گوار و زانتان، پروتئین آب پنیر با دستگاه خشک کن پاششی خشک شدند. خشک کردن تحت شرایط با دمای هوای ورودی ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و دمای هوای خروجی ۸۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت و بازدهی خشک کن پاششی با فرمول زیر محاسبه گردید (فاضلی و همکاران ۲۰۱۲).

جرم کل محلول ورودی (گرم) /جرم نانوکپسول‌ها (گرم) =بازدهی (درصد)

تعیین خصوصیات CLA ریزپوشانی شده

محتوای کل CLA در درون میکروکپسول‌ها

تعیین محتوای کل CLA به روش هی و همکاران (۲۰۱۶) انجام شد. در این روش، محتوای کل CLA میکروکپسول‌ها به روش استخراج با سوکسله انجام گرفت. نمونه‌هایی با وزن ۰/۵ گرم با محلول هگزان به مدت ۸ ساعت در دستگاه سوکسله استخراج شدند. سپس محصول استخراج شده وزن شده و پس از تبخیر هگزان، جرم کل CLA ثبت شد. در نهایت محتوای CLA با استفاده از معادله زیر تعیین گردید (هی و همکاران ۲۰۱۶).

$$\textbf{CLA (درصد)} = \frac{\text{اسید لینولئیک کل}}{\text{وزن میکروکپسولها}} \times \mathbf{100}$$

کارایی درون پوشانی

کارایی انکپسولاسیون از طریق نسبت بین جرم CLA که باید محصور شود و جرم کل آن در پودر نهایی خشک شده با خشک‌کن پاششی به عنوان راندمان انکپسولاسیون تعریف می‌شود. برای تعیین کارایی انکپسولاسیون، ۱/۵ گرم از نمونه پودر خشک شده با روش خشک کردن پاششی با ۲۰ میلی‌لیتر پترولئوم در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه بدون تخریب و آسیب زدن به میکروکپسول‌ها مخلوط شد. سپس CLA موجود در پودر خشک شده به روش خشک کردن پاششی با چندین بار تکان دادن ملایم بشر استخراج گردید و با استفاده از قیف شیشه‌ای عمل صاف کردن انجام شد و بعد نمونه باقی‌مانده دوبار با ۱۰ میلی‌لیتر پترولئوم شسته شد. در مرحله بعد حلال تبخیر شده و CLA باقیمانده در دستگاه آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا به وزن ثابت برسد. در نهایت CLA توزین شده و وزن آن یادداشت گردید. درصد کارایی انکپسولاسیون (EE%) با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (یانگ و همکاران ۲۰۲۰، هی و همکاران ۲۰۱۶).

$$EE = ۱ - \frac{\text{جرم اسید لینولئیک کونژوگه کپسوله نشده}}{\text{جرم اسید لینولئیک کونژوگه کل}} \times ۱۰۰$$

روش جرم سنجی برای تعیین کارایی انکپسولاسیون CLA با استناد به نتایج و گزارش تحقیقات (هی و همکاران ۲۰۱۶). ، چوی و همکاران (۲۰۱۰)، جیمنز و همکاران (۲۰۰۶) انتخاب شد. این محققین گزارش کردند که روش جرم سنجی روشی دقیق و موثر برای تعیین CLA محصور شده است.

تعیین اندازه ذرات

قطر معادل و شاخص اسپن نانوپوشینه های CLA ریزپوشانی شده از روی توزیع اندازه ذرات در دستگاه اندازه‌گیری اندازه ذرات (مدل SZ-100 شرکت Horiba ژاپن) اندازه گیری شد که از روش پراکندگی نور دینامیکی یا DLS برای اندازه گیری اندازه ذرات در محلول استفاده می کند، تعیین شدند. این دستگاه بر اساس پراکنش نور لیزر عمل می‌کند. تعیین اندازه ذرات پس از گذشت ۲۴ ساعت از تولید و نگهداری نمونه در دمای محیط یعنی ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. متوسط اندازه ذرات بر اساس میانگین قطر حجمی تعیین گردید (همیشه کار و همکاران، ۲۰۰۹).

$$\bar{D}[4,3] = \frac{\Sigma n_i \, d_i^4}{\Sigma n_i d_i^3}$$

$$\text{Span} = \frac{D(90\%) - D(10\%)}{D(50\%)}$$

D (90%): قطری که حجم ذرات کوچک‌تر از آن ۹۰٪ حجم کل ذرات موجود در سیستم را تشکیل می‌دهد.
D (50%): قطری که حجم ذرات کوچک تر از آن ۵۰٪ حجم کل ذرات موجود در سیستم را تشکیل می‌دهد.
D (10%): قطری که حجم ذرات کوچک تر از آن ۱۰٪ حجم کل ذرات موجود در سیستم را تشکیل می‌دهد.

غنی‌سازی شیر با CLA ریزپوشانی شده

برای غنی سازی شیر با CLA، به شیر ۱/۵ درصد چربی، CLA ریزپوشانی شده با نسبت ۲/۵ میلی‌گرم اضافه گردید. تیمار شاهد نیز شامل پودر شیر دارای CLA غیرکپسوله بود.

تولید پودر شیر غنی‌سازی شده

ابتدا شیر ۱/۵ درصد چربی با استفاده از دستگاه خشک‌کن پاششی خشک شده و به پودر شیر تبدیل گردید. سپس به پودر شیر تولید شده، از CLA ریزپوشانی شده در غلظت ۲/۵ میلی گرم افزوده شد.

بررسی ویژگی‌های پودر شیر غنی‌سازی شده با CLA ریزپوشانی شده

تعیین مقدار رطوبت

مقدار رطوبت پودرهای تولیدی با استفاده از روش مرجع آون تا رسیدن به وزن ثابت و سپس اندازه‌گیری مقدار افت وزن محاسبه گردید (استاندارد ملی ایران، ۲۰۱۲).

تعیین مقدار پروتئین

مقدار پروتئین نمونه‌ها با سیستم کلدال اتوماتیک و ضریب تبدیل ٦/۳۷ اندازه‌گیری شد (استاندارد ملی ایران، ۲۰۱۲).

تعیین مقدار چربی

برای اندازه‌گیری چربی، مقدار ۱ گرم پودر در فلاسک موژونیر توزین شده و ۹ میلی‌لیتر آب مقطر گرم به آن اضافه شد. پس از هم زدن و افزودن ۱/۲۵ میلی‌لیتر محلول آمونیاک، خوب تکان داده شده و مطابق روش رزگوتلیب عمل گردید (استاندارد ملی ایران، ۲۰۱۲).

ارزیابی میزان حلالیت

به منظور انجام آزمون اندیس حلالیت، به ۲۰ گرم نمونه پودر شیر، ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر با دمای ٢٤ درجه سانتی‌گراد اضافه شد و با استفاده از دستگاه مخلوط کن با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه، پودر شیر به خوبی در آب حل گردید. پس از مخلوط کردن و حل کردن پودر شیر، محلول به دست آمده داخل فالکون ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شده و در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۸۷۰ دور در دقیقه، به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از انجام عمل سانتریفیوژ، مایع فوقانی تا ۵ میلی‌لیتری سطح رسوب، دور ریخته شد. در مرحله بعد، مجددا ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به محتوی فالکون اضافه شده و سپس به آرامی مخلوط گردید. در ادامه فالکون‌ها تا خط نشان ۵۰ میلی‌لیتر با آب مقطر پر شده و مجدد به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ شدند. سپس با قرار دادن لوله‌ها به شکل عمودی و در برابر نور، سطح رسوب از قسمت مدرج لوله خوانده شد (استاندارد ملی ایران، شماره ۲۰۱۲).

میکروسکوپ الکترونیکی روبشی انتشار میدانی (FE-SEM)

بمنظور بررسی ریزساختار و مورفولوژی و تایید اندازه ذرات CLA پوشینه شده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد.

در این تحقیق از میکروسکوپ الکترونیکی روبشی انتشار میدانی MIRA3 ساخت شرکت TESCAN کشور چک استفاده شد. برای آماده سازی یک ذره از نمونه ریزپوشانی شده حاوی CLA روی لام آزمایشگاهی گذاشته می‌شود و در دمای محیط، تحت فشار خلا به مدت یکساعت خشک می‌شود. در نهایت نمونه با لایه‌ای از طلا توسط دستگاه اسپاترینگ پوشانده شد و با بزرگنمایی در محدوده ۵۰-۳۰ هزار برابر تصویربرداری انجام گرفت (سوری و همکاران ۲۰۲۱).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌های مستخرج از آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹.٤ انجام پذیرفت و تفاوت میان تیمارها با یکدیگر، توسط آزمون آماری دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) ارزیابی شد. همچنین، تمامی آزمون‌ها در ۳ تکرار انجام گردید.

نتایج و بحث

بازدهی خشک‌کن پاششی

در پژوهش حاضر، عملکرد دستگاه خشک کن پاششی در خشک کردن CLA انکپسوله شده در مواد دیواره مختلف ارزیابی شد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که استفاده از مواد دیواره مختلف برای انکپسولاسیون CLA تاثیر معنی‌داری بر روی کارایی خشک کن پاششی نداشتند و تفاوت معنی‌داری بین عملکرد دستگاه خشک کن پاششی در تیمارهای مورد آزمایش مشاهده نشد (P>۰/۰۵). کارایی دستگاه خشک کن پاششی در خشک کردن تیمارهای مختلف CLA ریزپوشانی شده در حامل زانتان- مالتودکسترین، CLA ریزپوشانی شده در گوار- مالتودکسترین، گوار و آب پنیر حاوی CLA و همچنین زانتان و آب پنیر حاوی CLA به ترتیب ٤٨/٩١، ٥٠/٧٤، ٥٠/١٧ و ٥٠/٧٩ درصد بود.

با افزایش ویسکوزیته اتمایز کردن ذرات سخت‌تر شده و به دنبال آن اندازه ذرات ایجاد شده بزرگتر خواهد شد و رطوبت بیشتری درون ذره باقی می‌ماند. رطوبت بیشتر باعث چسبندگی بیشتر پودرها به دیواره خشک‌کن می‌شود و در نتیجه کارایی دستگاه خشک کن پاششی کم می‌شود (سانتانا و همکاران ۲۰۱۳). در پژوهش حاضر نیز، کارایی دستگاه خشک کن زمانی که از ترکیب صمغ زانتان و مالتودکسترین به عنوان ماده دیواره استفاده شد نسبت به سایر تیمارها کمتر بود اما تفاوت معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵).

از عوامل موثر بر کارایی دستگاه خشک‌کن پاششی می‌توان به اندازه ذرات، رطوبت، دمای انتقال شیشه‌ای و چسبندگی پودرها اشاره کرد. اثر متغیرهای فرآیند بر عملکرد دستگاه تحت تاثیر اندازه قطرات اتمایز شده می‌باشد و معمولا با افزایش خوراک ورودی یا ویسکوزیته، اندازه ذرات افزایش یافته و کارایی خشک کن کاهش پیدا می‌کند (گولا و آداموپولوس ۲۰۱۲). نجاتیان و همکاران (۲۰۲٤) بیان کردند که از روش های ریز پوشانی مختلف برای بهبود نگهداری و پایداری اکسیداسیونی اسیدهای چرب ضروری استفاده می گردد که از مهمترین روشهای ریزپوشانی می توان به استفاده از خشک کردن پاششی، خشک کردن انجمادی، امولسیون سازی، محصور کردن و به دام انداختن لیپوزومی و سایر روشها اشاره کرد که در بین این روشها خشک کردن پاششی از متداولترین روش رایج برای ریزپوشانی اسیدهای چرب فرار بوده و نیز صمغ عربی و مالتودکسترین از مهمترین مواد دیواره استفاده شده در حامل ها می باشد.

تعیین خصوصیات CLA ریزپوشانی شده

تعیین محتوای کل CLA در درون نانوپوشینه‌ها

نتایج مربوط به ارزیابی میزان CLA موجود در درون نانوپوشینه‌ها در جدول۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، مشاهده می‌شود که ترکیب‌های مختلف به‌عنوان مواد دیواره از نظر محتوای CLA تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (P<۰/۰۵). به عبارت دیگر، استفاده از مواد دیواره مختلف برای انکپسولاسیون CLA بر روی محتوای CLA نانوپوشینه‌ها تاثیرگذار بود. بیشترین محتوای CLA (۱۹/۲۱ درصد) مربوط به تیمار CLA انکپسوله شده در درون ترکیب زانتان- آب پنیر بود. همچنین نمونه ریزپوشانی شده در گوار- آب پنیر ۱۱/٦۳ درصد کمترین محتوای CLA را داشت. نتایج نشان می‌دهد که تمامی تیمارهای آزمایشی از نظر محتوای CLA اختلاف معنی‌داری دارند. این امر بیانگر کارایی خوب انکپسولاسیون می‌باشد و نشان می‌دهد که CLA به خوبی در درون مواد دیواره مختلف زانتان، مالتودکسترین، گوار و آب پنیر ریزپوشانی شده است. ریزپوشانی CLA در درون مواد دیواره مختلف مورد آزمایش منجر به حفظ و افزایش محتوای CLA شد.

در پژوهشی مشابه جیمنز (۲۰۰٦)، از سه نوع ماده دیواره پروتئین آب پنیر، صمغ عربی، ترکیب پروتئین آب پنیر- مالتودکسترین برای ریزپوشانی CLA استفاده کردند. این محققین بیان کردند که از نظر حفظ CLA، مواد دیواره صمغ عربی و ترکیب پروتئین آب پنیر- مالتودکسترین عملکرد مشابه باهم داشتند و کارایی انکپسولاسیون آن‌ها به ترتیب ٥٦/٢ و ٥٧/٢ درصد بود. اما این مواد در مقایسه با پروتئین آب پنیر به تنهایی، توانایی انکپسوله کردن کمتری داشتند. این محققین بیان کردند که زمانی که از ترکیب مالتودکسترین- پروتئین آب پنیر به عنوان حامل استفاده شد، حفظ CLA و کارایی

انکپسولاسیون کمتر شد. احتمالا دلیل این امر به عوامل موثر بر روی حفظ ماده هسته مربوط می‌شود. حفظ مواد هسته تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند ماهیت شیمیایی CLA، وزن مولکولی، عملکرد شیمیایی، قطبیت نسبی و نسبت ماده دیواره به هسته است. مهم‌ترین معیار در انتخاب مواد دیواره یا حامل خوب، توانایی آن در نگهداری و حفظ مواد هسته در طول فرآیند و ذخیره سازی است (جیمنز ۲۰۰۶).

در پژوهش حاضر، با مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری محتوی CLA نانوپوشینه‌ها و نتایج مربوط به کارایی انکپسولاسیون مشاهده می‌شود که تیمار زانتان- آب پنیر کارایی انکپسولاسیون بیشتری داشته است از این رو محتوی CLA آن نیز باید بالا باشد. ثابت شده است که زمانی که از کربوهیدرات به عنوان مواد دیواره استفاده شود منجر به بهبود فرآیند خشک کردن و در نتیجه بهبود ریزپوشانی می‌شوند (جیمنز ۲۰۰۶).

Table2. CLA content of prepared Microcapsulations with different wall materials

Treatments	CLA content (%)
Xanthan–Maltodextrin-CLA	**12.14± 0.21^{c}**
Xanthan –whey protein-CLA	**19.21± 0.03^{a}**
Guar–Maltodextrin-CLA	**13.32± 0.01^{b}**
Guar–wheyprotein-CLA	**11.63± 0.05^{d}**
Milk Powder	**4.36± 0.02^{e}**

تعیین کارایی انکپسولاسیون

نتایج مربوط به اندازه‌گیری کارایی انکپسولاسیون در جدول ۳ آورده شده است.

Table3. Effect of different wall materials in CLA Microcapsulation on Encapsulation Efficeincy

Treatments	Encapsulation Efficeincy (%)
Xanthan–Maltodextrin-CLA	**86.33± 2.08^{a}**
Xanthan–whey protein-CLA	**88.66± 2.51^{a}**
Guar –Maltodextrin-CLA	**85.66± 1.15^{a}**
Guar–whey protein-CLA	**78.66± 2.51^{b}**

با توجه به نتایج، مشاهده می‌شود که تیمارهای آزمایشی از نظر کارایی انکپسولاسیون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (P>۰/۰۵) و فقط تیمار CLA ریزپوشانی شده در درون مواد دیواره گوار- آب پنیر از نظر آماری با سایر تیمارها تفاوت داشت (P<۰/۰۵). میزان کارایی انکپسولاسیون در تیمارهای مختلف‌زانتان-مالتودکسترین-CLA، گوار- مالتودکسترین-CLA، گوار-آب‌پنیر-CLA و زانتان-آب‌پنیر-CLA به ترتیب ۸۶/۳۳، ۸۵/۶۶، ۷۸/۶۶ و ۸۸/۶۶ درصد بود. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین کارایی انکپسولاسیون (۸۸/۶۶ درصد) مربوط به تیمار CLA ریزپوشانی شده در درون زانتان- آب پنیر و هم‌چنین کمترین کارایی (۷۸/۶۶ درصد) مربوط به CLA انکپسوله شده در درون مواد دیواره گوار- آب پنیر بود. در تحقیقی که بجاج و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی که بر روی انکپسولاسیون ویتامین‌های B12 و D3 با استفاده از سه نوع ماده دیواره صمغ اقاقیا، مالتودکسترین و Hi-cap 100 به روش خشک‌کن پاششی انجام دادند، نتیجه گرفتند که نوع ماده دیواره بر روی کارایی انکپسولاسیون تاثیرگذار می‌باشد. این محققین نشان دادند که صمغ اقاقیا کارایی انکپسولاسیون بالاتری نسبت به مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده Hi-cap دارد. همچنین، یانگ و همکاران (۲۰۲۰)، در تحقیقی که بر روی ریزپوشانی CLA با استفاده از حامل‌های زانتان و نشاسته اصلاح شده اکتنیل سوکسینیک انیدرید (OSA) انجام دادند، نتیجه گرفتند که راندمان انکپسولاسیون با استفاده از سطوح مختلف نشاسته OSA و صمغ زانتان، تفاوت

معنی‌داری با نمونه شاهد (نمونه بدون صمغ زانتان) نداشت. کارایی انکپسولاسیون تمامی نانوذرات بالای ۹۷ درصد بود. نتایج این محققین حاکی از آن بود که مقدار ماده نانوحامل زانتان هیچ تاثیر قابل توجهی بر روی کارایی انکپسولاسیون ندارد و با افزودن صمغ زانتان، بهبود قابل توجهی در راندمان انکپسولاسیون مشاهده نشد. یلدز و همکاران (۲۰۱۸)، نیز پژوهشی بر روی انکپسولاسیون دوکوزاهگزانوئیک اسید به وسیله ٤ ماده نانوحامل پروتئین ایزوله نخود، کمپلکس نشاسته اصلاح شده با پروتئین نخود، توئین ۲۰ و سدیم دودوسیل سولفات انجام دادند و بیان کردند که نوع ماده نانوحامل تاثیر معنی‌داری بر روی کارایی انکپسولاسیون داشت و زمانی که از مواد دیواری مختلف برای ریزپوشانی روغن حاوی DHA استفاده شد میزان کارایی انکپسولاسیون متفاوت بود. این محققین میزان کارایی انکپسولاسیون را در محدوده ۸٤/۱ تا ۹۲/۲ درصد گزارش نمودند که تا حدودی به نتایج کسب شده در پژوهش حاضر نزدیک است. در تحقیقی دیگر، پورعاشوری و همکاران (۱۳۹۱) از چند نوع ماده دیواره مختلف نظیر ژلاتین، کیتوزان، ژلاتین- کیتوزان و ژلاتین- گلوتامیناز برای ریزپوشانی روغن ماهی و اسیدهای چرب امگا- ۳ استفاده کردند و نتیجه گرفتند که تفاوت معنی‌داری بین کارایی ریزپوشانی پودرهای تولیدی وجود دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که نوع ماده دیواره و همچنین نوع هسته بر درصد کارایی انکپسولاسیون تاثیرگذار بود. بیشترین کارایی انکپسولاسیون مربوط به تیمار ژلاتین- ترانس گلوتامیناز و کمترین کارایی مربوط به کیتوزان بود. میزان کارایی انکپسولاسیون از ٦۷ تا ۸۸ درصد متفاوت بود. لوناگوارا و همکاران (۲۰۱۷) نیز در تحقیقی که بر روی ریزپوشانی روغن مغزیجات با صمغ عربی، مالتودکسترین و ژلاتین انجام دادند به این نتیجه رسیدند که کارایی انکپسولاسیون تحت تاثیر مقدار ماده هسته قرار داد و با افزایش مقدار ماده هسته، کارایی کم خواهد شد. همچنین فراسکارلی و همکاران (۲۰۱۲) روغن قهوه را با استفاده از صمغ عربی و به روش خشک کن پاششی ریزپوشانی کردند و عنوان کردند که کمترین راندمان ریزپوشانی مربوط به تیمار دارای بیشترین روغن قهوه بود. آن‌ها علت این موضوع را به کم بودن صمغ عربی نسبت به مواد هسته‌ای مربوط دانستند. گولا و همکاران (۲۰۱۲)، روغن هسته انار را توسط پودر آب پنیر انکپسوله کردند و گزارش کردند که افزایش ماده جامد در ترکیب امولسیون منجر به افزایش کارایی انکپسولاسیون می‌شود. افزایش ماده جامد موجب کاهش زمان لازم برای تشکیل غشا روی سطح قطرات می‌شود. شکل‌گیری سریع سطح جامد می‌تواند با کاهش مقدار روغن سطحی همراه باشد زیرا در این صورت فرصت کمتری برای انتشار مواد هسته‌ای به سطح ذرات وجود دارد. افزایش مقدار ماده جامد موجب افزایش ویسکوزیته امولسیون شده و به پایداری بیشتر آن کمک می‌کند (گولا و همکاران ۲۰۱۲). با بررسی نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر، مشاهده می‌شود که در تیمارهای حاوی صمغ زانتان، کارایی انکپسولاسیون نسبت به تیمارهای حاوی صمغ گوار کمی بیشتر بود که البته این افزایش راندمان به صورت جزئی هست. راندمان ریزپوشانی تحت تاثیر محتوای ماده جامد کل، غلظت ماده هسته‌ای (اسید لینولئیک) و دمای هوای ورودی قرار دارد. افزایش ماده جامد کل در خوراک ورودی دستگاه خشک‌کن پاششی باعث افزایش ویسکوزیته امولسیون و تسریع روند خشک شدن شده و در نهایت منجر به افزایش کارایی انکپسولاسیون می‌شود (فراسکارلی و همکاران، ۲۰۱۲).

تعیین اندازه ذرات

در جدول ٤، نتایج مربوط به ارزیابی اندازه ذرات ترکیب های مختلف به عنوان مواد دیواره نشان داده شده است. با توجه به جدول فوق، مشاهده می‌شود که ترکیب های مختلف به عنوان ماده دیواره از نظر اندازه ذرات تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند ($P <$ ۰/۰۵). پودر شیر غنی شده با CLA انکپسوله شده در زانتان- مالتودکسترین، دارای بزرگترین اندازه ذرات بود. از نظر شاخص اسپن، بیشترین پراکندگی ذرات مربوط به تیمار CLA+ زانتان- آب پنیر بود. با مقایسه چهار نمونه نانوپوشینه های حاوی CLA تهیه شده با مواد دیواره مختلف مشخص شد که تیمار CLA ریزپوشانی شده در درون زانتان- آب پنیر در مقایسه با سه نانوحامل دیگر اندازه ذرات بزرگتری داشت (۵۷٦/۸ نانومتر) که این نتایج با نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نیز مطابقت داشت. همچنین

نانوپوشینه های CLA- زانتان- مالتودکسترین با اندازه ذرات ۲٤۸/۱ نانومتر کوچکترین ذرات را در بین چهار تیمار نانوپوشینه های تهیه شده با مواد دیواره مختلف داشتند. با مقایسه نتایج حاصل از دستگاه DLS و SEM مشاهده می‌شود که نتایج با هم همخوانی دارند. همسو با این نتایج، پورعاشوری و همکاران (۱۳۹۱) از چند نوع نانوحامل ژلاتین، کیتوزان، ژلاتین- کیتوزان و ژلاتین- گلوتامیناز برای ریزپوشانی روغن ماهی و اسیدهای چرب امگا- ۳ استفاده کردند و گزارش کردند که نوع مواد دیواره به کار رفته بر توزیع اندازه ذرات پودرها تاثیرگذار می‌باشد. در تحقیق آن‌ها، تیمار ژلاتین- ترانس گلوتامیناز و ژلاتین با اندازه ذرات ۳٦ میکرومتر دارای محدوده اندازه ذرات بزرگتری بودند و تیمار کیتوزان و ژلاتین- کیتوزان با توزیع ذرات در محدوده زیر ۳۲/٥٦ و ۳۳ میکرومتر، کوچکترین محدوده اندازه ذرات را داشتند. همچنین فرزادنیا و پزشکی نجف آبادی (۱۳۹۷)، بر روی تولید حامل های لیپیدی نانوساختار حامل اسید لینولئیک کونژوگه و غنی سازی شیر کم چرب با آن ها پژوهشی انجام دادند و گزارش نمودند که میانگین قطر حجمی ذرات ۸۱ نانومتر و شاخص اسپن ۰/۸۳ بود. نتایج آن ها نشان دهنده اندازه ذرات در مقیاس نانو با توزیع مناسب و یکنواختی پراکندگی ذرات بود. همچنین فرید و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیق خود با عنوان تولید نانوحامل حاوی اسید لینولئیک کونژوگه، پزشکی و همکاران (۲۰۱٤) در پژوهشی با عنوان تولید نانوحامل حاوی ویتامین A، محمدی و همکاران (۲۰۱۷) در تولید نانوحامل حاوی ویتامین D3 نتایج مشابهی را کسب کردند و عنوان کردند اندازه ذرات در مقیاس نانو و زیر ۱۰۰ نانومتر بوده و توزیع یکنواختی دارد. اندازه ذرات پودرهای تولیدی تحت تاثیر دمای خشک کردن و ویژگی امولسیون ورودی می‌باشد. اندازه ذرات پودرهای ریزپوشانی شده، در ابتدا با توجه به امولسیون ورودی، پارامترهای اتمیزاسیون مانند سرعت صفحه چرخشی و قطر چرخ در اتمیزاسیون سانتریفوژی و قطر نازل و میزان فشار در اتمیزاسیون با نازل، تعیین می‌شوند. در عمل با توجه به طراحی دستگاه خشک کن پاششی، می‌توان اندازه ذرات را طبق موارد ذکر شده کنترل نمود. تاثیر اندازه ذرات پودرها بر کارایی ریزپوشانی مشخص نشده است (فانگ و همکاران ۲۰۰۵). تولید ذرات بزرگتر در ریزپوشانی، سبب افزایش نگهداری مواد هسته مانند روغن‌ها و CLA و کاهش مقدار روغن سطحی در طی خشک کردن پاششی می‌شود (فانگ و همکاران ۲۰۰۵).

بررسی ویژگی‌های پودر شیر غنی‌سازی شده با CLA ریزپوشانی شده

رطوبت

نتایج حاصل از ارزیابی رطوبت پودر شیرهای غنی سازی شده با CLA انکپسوله شده در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که میزان رطوبت پودر شیرهای غنی‌سازی شده با CLA انکپسوله شده نسبت به نمونه شاهد بالاتر بود. اما افزایش میزان رطوبت پودرهای غنی سازی شده در مقایسه با نمونه شاهد بسیار جزئی بود. در بین تیمارهای مختلف آزمایشی، بیشترین درصد رطوبت (۲/۹۸ درصد) مربوط به نمونه پودر شیر غنی سازی شده با CLA انکپسوله شده در درون زانتان و مالتودکسترین بود. همچنین نمونه شاهد (پودر شیر) با میزان رطوبت ۲/۳۳ درصد کمترین میزان رطوبت را داشت. رطوبت نمونه‌های پودر شیر غنی‌سازی شده با CLA ریزپوشانی شده در گوار- مالتودکسترین، گوار- آب پنیر و زانتان- آب پنیر نیز به ترتیب ۲/٤۸، ۲/۹۱ و ۲/٤۰ درصد بود. نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر حاکی از آن است که نمونه شاهد یعنی پودر شیر در مقایسه با سایر تیمارها بهتر خشک شده بود. با مقایسه پودرهای حاوی CLA انکپسوله شده با مواد دیواره مختلف نیز مشخص است که CLA انکپسوله شده با نانوحامل‌های زانتان- آب پنیر در مقایسه با سایر نانوحامل‌ها به خوبی خشک شده است و رطوبت پایینی دارد. همسو با این نتایج، یلدیز و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی که بر روی انکپسولاسیون دوکوزاهگزانوئیک اسید به وسیله ٤ ماده نانوحامل پروتئین ایزوله نخود، کمپلکس نشاسته اصلاح شده با پروتئین نخود، توئین ۲۰ و سدیم دودوسیل سولفات انجام دادند گزارش کردند که تیمارهای آزمایشی از نظر میزان رطوبت تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. میزان رطوبت DHA انکپسوله شده با کمپلکس نشاسته اصلاح شده-پروتئین نخود

و DHA انکپسوله شده با توئین ۲۰ هر دو ۲/۰۳ درصد بود. همچنین میزان رطوبت DHA ریزپوشانی شده در نانوحامل‌های پروتئین نخود و سدیم دودوسیل بنزوات نیز به ترتیب ۲/۱۸ و ۲/۱٤ درصد بود. نتایج کسب شده در پژوهش حاضر تا حدودی با نتایج یلدیز و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت داشت. طبق گزارش این محققین نوع ماده حامل تاثیر معنی‌داری بر روی میزان رطوبت پودرهای تولید شده ندارد که نتایج پژوهش ما نیز این امر را تایید می‌کند. همچنین، پورعاشوری و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پایداری اکسایشی میکروپوشینه های حاوی روغن ماهی و اسیدهای چرب امگا- ۳ را بررسی کردند. آن‌ها در تحقیق خود از چند نوع ماده دیواره ژلاتین، کیتوزان، ژلاتین- کیتوزان و ژلاتین- گلوتامیناز استفاده کردند و بر خلاف نتایج ما، گزارش کردند که نوع ماده دیواره میکروکپسول‌ها، بر میزان رطوبت پودرهای خشک شده با خشک کن پاششی تاثیرگذار می‌باشد. در حالی که نوع هسته بر روی رطوبت اثر قابل توجهی نداشت. هوگان و همکاران (۲۰۰۱) نیز گزارش دادند که انواع مواد دیواره بر مقدار رطوبت پودرهای تولیدی تاثیرگذار نیستند که نتایج پژوهش حاضر با نتایج آن‌ها مطابقت دارد.

پروتئین

نتایج مربوط به اندازه‌گیری میزان پروتئین تیمارهای مختلف آزمایشی در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به نتایج، مشاهده می‌شود که تیمارهای آزمایشی از نظر میزان پروتئین تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (P<۰/۰۵). نمونه‌های پودر شیر غنی‌سازی شده با CLA انکپسوله شده در مقایسه با نمونه شاهد میزان پروتئین بیشتری داشتند. بیشترین میزان پروتئین (۱۲/۸۳ درصد) مربوط به نمونه پودر شیر غنی شده با CLA ریزپوشانی شده در درون زانتان- آب پنیر بود. کمترین درصد پروتئین نیز مربوط به نمونه شاهد با میزان پروتئین ٦/۱۲ درصد بود. همچنین میزان پروتئین تیمارهای مختلف پودر شیر غنی سازی شده با CLA ریزپوشانی شده در درون زانتان- مالتودکسترین، گوار- مالتودکسترین و زانتان- آب پنیر نیز به ترتیب ۸/۱٦، ۱۱/۸۱ و ۹/۱۸ درصد بود. با توجه به حضور پروتئین آب پنیر در تیمار CLA انکپسوله شده در زانتان- آب پنیر، بیشتر بودن میزان پروتئین در این تیمار منطقی به نظر می‌رسد.

فرناندز آویلا و همکاران (۲۰۱۷)، در تحقیقی که بر روی غنی سازی شیر UHT با CLA امولسیون شده توسط هموژنیزاسیون انجام دادند گزارش نمودند که میزان پروتئین شیر ۳/۳ درصد بوده است. این محققین عنوان کردند که تفاوت معنی داری بین میزان پروتئین شیر غنی سازی شده با CLA همگن شده با هموژنایزر فشار بالا و هموژنایزر معمولی وجود نداشت.

چربی

نتایج مربوط به اندازه گیری میزان چربی نمونه های شیر و پودر شیر غنی سازی شده با CLA انکپسوله شده در جدول ۵ ارائه شده است. در پژوهش حاضر، ابتدا CLA ریزپوشانی شده به شیر ۱/۵ درصد چربی اضافه شد و شیر با نمونه‌های CLA انکپسوله شده در مواد دیواره مختلف غنی سازی شد. سپس شیر با استفاده از خشک کن پاششی خشک شده و به پودر شیر تبدیل شد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که تیمارهای مختلف آزمایشی از نظر میزان چربی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند (P<۰/۰۵). با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که میزان چربی نمونه‌های شیر و شیر غنی سازی شده با CLA انکپسوله شده در مقایسه با نمونه‌های پودر شیر، بیشتر است. به طوری که بیشترین درصد چربی (۳ درصد) مربوط به نمونه شیر غنی سازی شده با CLA انکپسوله شده در درون زانتان و آب پنیر و کمترین درصد چربی نیز مربوط به نمونه پودر شیر با ۱ درصد چربی بود. با مقایسه تیمارهای مختلف مشخص است که میزان چربی شیر با خشک شدن آن کاهش پیدا کرده است. علت این امر ممکن است به شرایط خشک کردن شیر در خشک کن پاششی مربوط باشد. فرناندز آویلا و همکاران (۲۰۱۷)، در تحقیق خود بر روی غنی سازی شیر UHT با CLA امولسیون شده توسط هموژنیزاسیون عنوان کردند که میزان چربی شیر غنی سازی شده ۱/۷ درصد بود و تفاوت معنی داری بین میزان چربی شیر غنی سازی شده با CLA همگن شده با هموژنایزر فشار بالا و هموژنایزر معمولی وجود نداشت.

حلالیت

حلالیت پودر تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر خوراک ورودی به خشک کن، نوع ماده دیواره، سرعت جریان هوای فشرده و دبی خوراک ورودی قرار دارد. حلالیت، رابطه مستقیمی با آمورف بودن و دانسیته توده‌ای پودر دارد؛ اما با رطوبت، فعالیت آبی و چسبندگی رابطه معکوسی دارد (جایاسوندرا و همکاران ۲۰۱۱). نتایج ارزیابی میزان حلالیت در آب پودر شیر غنی سازی شده با CLA ریزپوشانی شده، در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که نمونه‌های مختلف پودر شیر از نظر حلالیت تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (P>۰/۰۵). نتایج کسب شده حاکی از آن است که میزان حلالیت پودر شیرهای تولیدی بسیار بالا و همگی بالای ۹۹ درصد بوده است. همسو با نتایج پژوهش حاضر، جعفری و همکاران (۲۰۱۷) به خشک کردن آب انار با نسبت‌های مختلف مالتودکسترین به روش خشک کردن پاششی پرداختند و بیان کردند که نمونه‌های پودر با مقادیر مختلف مالتودکسترین از نظر حلالیت تفاوت قابل توجهی با یکدیگر نداشتند. در تحقیقی دیگر، محمدی و همکاران (۲۰۱۷)، به ریزپوشانی روغن سیاهدانه با استفاده از مالتودکسترین پرداختند و نتیجه گرفتند که با افزایش غلظت ماده هسته (روغن)، حلالیت پودر به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. در تحقیقی دیگر، پورعاشوری و همکاران (۱۳۹۱)، از چند نوع ماده دیواره مختلف نظیر ژلاتین، کیتوزان، ژلاتین- کیتوزان و ژلاتین- گلوتامیناز برای ریزپوشانی روغن ماهی و اسیدهای چرب امگا- ۳ استفاده کردند و نتیجه گرفتند که نوع ماده دیواره میکروپوشینه‌ها، بر میزان حلالیت در آب پودرهای خشک شده با خشک‌کن پاششی تاثیر دارد. اما نوع هسته انتخابی بر میزان حلالیت پودرها تاثیر معنی‌داری ندارد. حلالیت در آب میکروپوشینه‌ها از دیدگاه رهایش پایدار و کنترل شده هسته در محیط آبی دارای اهمیت زیادی است. چو و همکاران (۲۰۰۳)، معتقدند که طراحی میکروپوشینه‌ها باید به گونه‌ای باشد که حلالیت کمی داشته باشند یا با تاخیر در آب حل شوند. نیلسن (۱۹۹۷)، عنوان کرد که فاکتور حلالیت به عنوان عامل کنترل کننده رهایش مواد هسته می‌باشد. وجود پیوندهای عرضی کووالانسی لیزین در شبکه پروتئینی سبب تغییر وزن مولکولی پروتئین شده و رهایش پروتئین را محدود می‌کند.

بررسی مورفولوژی نانوپوشینه های CLA با میکروسکوپ الکترونیکی روبشی انتشار میدانی (FE-SEM)

در پژوهش حاضر، برای بررسی مورفولوژی نانوپوشینه های CLA، از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. نمونه‌های مختلف CLA ریزپوشانی شده در نانوحامل‌های زانتان- مالتودکسترین، گوار- مالتودکسترین، گوار- آب پنیر و زانتان- آب پنیر توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی تصویربرداری شدند و تصاویر حاصل در شکل ۱ نشان داده شده است. تصاویر A، B، C و D به ترتیب مربوط به نمونه CLA ریزپوشانی شده با زانتان- مالتودکسترین، گوار- مالتودکسترین، گوار- آب پنیر و زانتان- آب پنیر هستند. با توجه به تصاویر فوق، مشاهده می‌شود که نمونه‌های CLA ریزپوشانی شده با مواد دیواری مختلف، عمدتا اندازه ذرات متفاوتی دارند. در تمامی تصاویر اندازه ذرات در حد نانومتر بود. اندازه ذرات تیمار زانتان- آب پنیر در مقایسه با سایر تیمارها کمی بزرگتر بود و ذرات شناسایی شده دارای اندازه ۱۳٤ و ۱٦٤ نانومتر بودند. در حالی که تیمار گوار- مالتودکسترین اندازه ذرات کوچکتری داشتند. اندازه ذرات شناسایی شده در این تیمار، در حدود ٦٤ و ۸۳ نانومتر بود. به طور کلی، در تصاویر SEM، اندازه ذرات نسبت به نتایج حاصل از دستگاه DLS کوچک‌تر بود. زیرا در طی خشک کردن فرآیند آب اندازی رخ داده و موجب کاهش اندازه ذرات کمپلکس شده است. تقریبا تمامی ذرات به شکل کروی دیده می‌شوند. همچنین در تمامی تیمارهای آزمایشی سطح ذرات دارای ترک خوردگی و شکستگی‌هایی است که علت آن به شرایط اتمیزاسیون و خشک شدن نامناسب ذرات مربوط می‌باشد. در تصویر مربوط به CLA ریزپوشانی شده در زانتان- آب پنیر ترک خوردگی کمتر است. به طور کلی، صمغ زانتان به دلیل ایجاد ویسکوزیته زیاد در محلول باعث تولید ذرات درشت‌تر و نگهداری رطوبت بیشتر می‌شود. در نتیجه زمان خشک شدن طولانی شده و ذرات برای مدت طولانی‌تری دارای پوسته انعطاف‌پذیر هستند و کمتر دچار ترک خوردگی

و شکستگی می‌شوند (یکدانه و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین ذرات ریزپوشانی شده با آب پنیر (تصویر C و D) مورفولوژی همگن بسیار خوبی از خود نشان دادند. ذرات ریزپوشانی شده با پروتئین آب پنیر کروی شکل هستند و سطح صافی دارند و بدون شکاف و تخلخل قابل مشاهده هستند. قبلا گزارش شده است که پروتئین‌های آب پنیر روغن و اسیدهای چرب را از اکسیداسیون محافظت می‌کنند (جیمنز ۲۰۰۶). در تیمارهایی که حاوی مالتودکسترین بودند (تصویر A و B)، میزان ترک خوردگی و شکستگی نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. علت آن ممکن است به ویژگی‌های مالتودکسترین مربوط باشد. مالتودکسترین‌ها، خواص خشک کردن ماتریس دیواره را با افزایش تشکیل پوسته‌ای خشک در اطراف ذرات خشک شده بهبود می‌دهند (شیو و روزنبرگ۱۹۹۵).

عدم وجود شکستگی و ترک خوردگی در ذرات میکروپوشینه، مزیتی است که باعث می‌شود نفوذپذیری میکروپوشینه‌ها کاهش پیدا کرده و محافظت از مواد هسته افزایش یابد. در مورفولوژی ذرات، دمای خشک کردن بسیار موثر است. در حین فرآیند خشک شدن، بلافاصله پس از تشکیل پوسته، تعداد زیادی حباب هوا درون ذره ایجاد می‌شود به طوری که اگر دمای ذره بیشتر از نقطه جوش باشد فشار داخل ذره از فشار هوای بیرون بیشتر شده و حباب‌های هوا متورم می‌شوند. اگر دمای خشک کن بالا باشد رطوبت به سرعت تبخیر شده و پوسته سفت و سختی تشکیل می‌شود از این رو حباب هوا نمی‌تواند از ذرات خارج شود و زمانی که در منطقه سردتر قرار می‌گیرد، در صورت کندانس شدن بخار در داخل ذره، باز هم پوسته ساختار سفت و مستحکم خود را حفظ کرده و دچار فرورفتگی نمی‌شود. اما اگر دمای هوا پایین باشد مقدار کمی رطوبت در پوسته باقی مانده و پوسته برای مدت طولانی‌تری انعطاف‌پذیر و نرم است و در منطقه سردتر در صورت خارج شدن یا کندانس شدن بخارات، ذرات به دلیل داشتن پوسته انعطاف‌پذیر دچار چروکیدگی یا فرورفتگی می‌شوند (ساحین نادیم و همکاران ۲۰۱٤). در پژوهش‌هایی مشابه با پژوهش حاضر، هی و همکاران (۲۰۱٦)، بر روی ریزپوشانی CLA با استفاده از نشاسته اصلاح شده اکتنیل سوکسینیک انیدرید و صمغ زانتان به روش خشک کردن پاششی کار کردند گزارش نمودند که اکثر میکروپوشینه های تولید شده مورفولوژی سطحی فاقد ترک و شکستگی داشتند که نشان دهنده خواص ویسکوالاستیک قوی مواد دیواره در طول انبساط در مراحل نهایی خشک کردن پاششی است. با این حال چین و چروک‌هایی در سطح اکثر میکروپوشینه‌ها مشاهده شد که این چین و چروک‌ها ناشی از خشک شدن نامناسب است. این محققین همچنین گزارش کردند که ساختار میکروپوشینه های CLA ریزپوشانی شده با استفاده از زانتان- نشاسته اصلاح شده، مورفولوژی مشابهی با میکروپوشینه های CLA ریزپوشانی شده با نشاسته اصلاح شده به تنهایی دارد. بنابراین میزان صمغ زانتان تاثیر قابل توجهی بر روی مورفولوژی میکروپوشینه‌ها نداشته است. همچنین جیمنز و همکاران(۲۰۰٦)، در پژوهش خود از سه ماده نانوحامل پروتئین آب پنیر، صمغ عربی و ترکیب پروتئین آب پنیر- مالتودکسترین برای انکپسولاسیون CLA استفاده کردند و گزارش نمودند که در تصاویر SEM، سطح میکروپوشینه های تولید شده دارای فرورفتگی‌های سطحی بود که این فرورفتگی‌ها ممکن است به دلیل انقباض نامناسب و ناهموار در طول خشک شدن و سرد شدن و همچنین به دلیل محتوای پروتئین بالا باشد. تیمار CLA انکپسوله شده با پروتئین آب پنیر- مالتودکسترین دارای ذراتی کروی شکل و با سطح صاف بود که اندازه ذرات بسیار متفاوت بود. همچنین شکاف‌ها و منافذ کوچکی در سطح ذرات دیده شد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد خشک‌کن پاششی در حدود ۵۰ درصد بود. بیشترین محتوای CLA و بالاترین کارایی ریزپوشانی مربوط به تیمار نانوحامل زانتان- آب پنیر بود. نتایج ارزیابی اندازه ذرات و مورفولوژی حاکی از آن بود که در همه نانوپوشینه های تهیه شده، اندازه ذرات در حد نانومتر بودند و شکل نانوپوشینه‌ها به صورت کروی و سطح آن‌ها دارای ترک خوردگی‌هایی بودند. همچنین نتایج ارزیابی ویژگی‌های پودر شیر غنی‌سازی شده با CLA نشان داد که

نمونه‌های پودر شیر غنی سازی شده از نظر میزان حلالیت و رطوبت تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (P>0/05)، اما از نظر میزان چربی و پروتئین دارای اختلاف معنی‌داری بودند(P<۰/۰۵)، بطوری که بیشترین میزان پروتئین مربوط به تیمار CLA ریزپوشانی شده در درون زانتان- آب پنیر (۱۲/۸۳درصد) بود. محتوای CLA بالا در کمپلکس زانتان- آب پنیر نشان دهنده ریزپوشانی مناسب و کارایی ریزپوشانی بالا در این تیمار است. نتایج ارزیابی کارایی انکپسولاسیون نیز بیانگر کارایی بالای نانوحامل زانتان- آب پنیر نسبت به سایر مواد دیواره استفاده شده برای ریزپوشانی بود.

به طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تمام نانوحامل های استفاده شده در این تحقیق، کارایی خوبی داشته و می‌توانند برای ریزپوشانی اسیدهای چرب، ویتامین‌ها، روغن‌ها و مواد طعم دهنده مورد استفاده قرار بگیرند. در کل نانوحامل زانتان- آب پنیر نسبت به سه نانوحامل دیگر استفاده شده در این تحقیق دارای ویژگی‌های بهتری بوده و برای ریزپوشانی CLA مناسب‌تر بود.

Table4. Particle size(nm) and particle size distribution in the different used treatments as wall materials

Treatments	Mean of Particle size(nm)	Span index (particle size distribution)
X-MD-CLA	248.1 ± 33.5^{e}	0.34± 0.12^{c}
X-WP-CLA	576.8 ± 38.8^{cd}	2.02± 0.72^{a}
G-MD-CLA	228.8 ± 4.53^{e}	0.31± 0.05^{c}
G-WP-CLA	410.6 ± 11.69^{cd}	1.07± 0.34^{ab}
MP	315.6 ± 12.20^{e}	0.46± 0.07^{c}
MP-X-MD-CLA	1233.4 ± 32.87^{a}	1.21± 0.09^{ab}
MP-X-WP-CLA	751.1 ± 53.9^{c}	0.59± 0.03^{c}
MP-G-MD-CLA	534.5 ± 83.19^{cd}	0.68± 0.07^{c}
MP-G-WP-CLA	1181.3 ± 50.29^{ab}	1.21± 0.04^{ab}

Mean ± Standard deviation

MP(Milk Powder), X (Xanthan gum), MD(Maltodextrin), WP(Whey protein), G(Guar gum)

Different lowercases within a column indicate significant differences (p<0.05) among treatments.

Table5. Mean contents some of milk powder properties enriched with encapsulated CLA in different wall materials

Treatment*	Moisture (%)	Protein (%)	Fat (%)	Solubility (%)
MP	2.33 ± 0.28^{b}	6.12± 1.02^{c}	1 ± 0.4^{b}	99 ± 0.1^{a}
MP+X+MD+CLA	2.98 ± 0.04^{a}	8.16 ± 0.98^{bc}	1.50 ± 0.5^{ab}	99.12 ± 0.2^{a}
MP+X+WP+CLA	2.4 ± 0.19^{b}	12.83 ± 1.03^{a}	1.80 ± 0.5^{a}	99.09 ± 0.07^{a}
MP+G+MD+CLA	2.48 ± 0.37^{b}	9.18 ± 1.04^{b}	1.60± 0.37^{ab}	99.10± 0.2^{a}
MP+G+WP+CLA	2.91 ± 0.03^{a}	11.81 ± 1.02^{a}	1.20 ± 0.21^{b}	99 ± 0.4^{a}

Mean ± Standard deviation

MP(Milk Powder), X (Xanthan gum), MD(Maltodextrin), WP(Whey protein), G(Guar gum)

Different lowercases within a column indicate significant differences (p<0.05) among treatments.

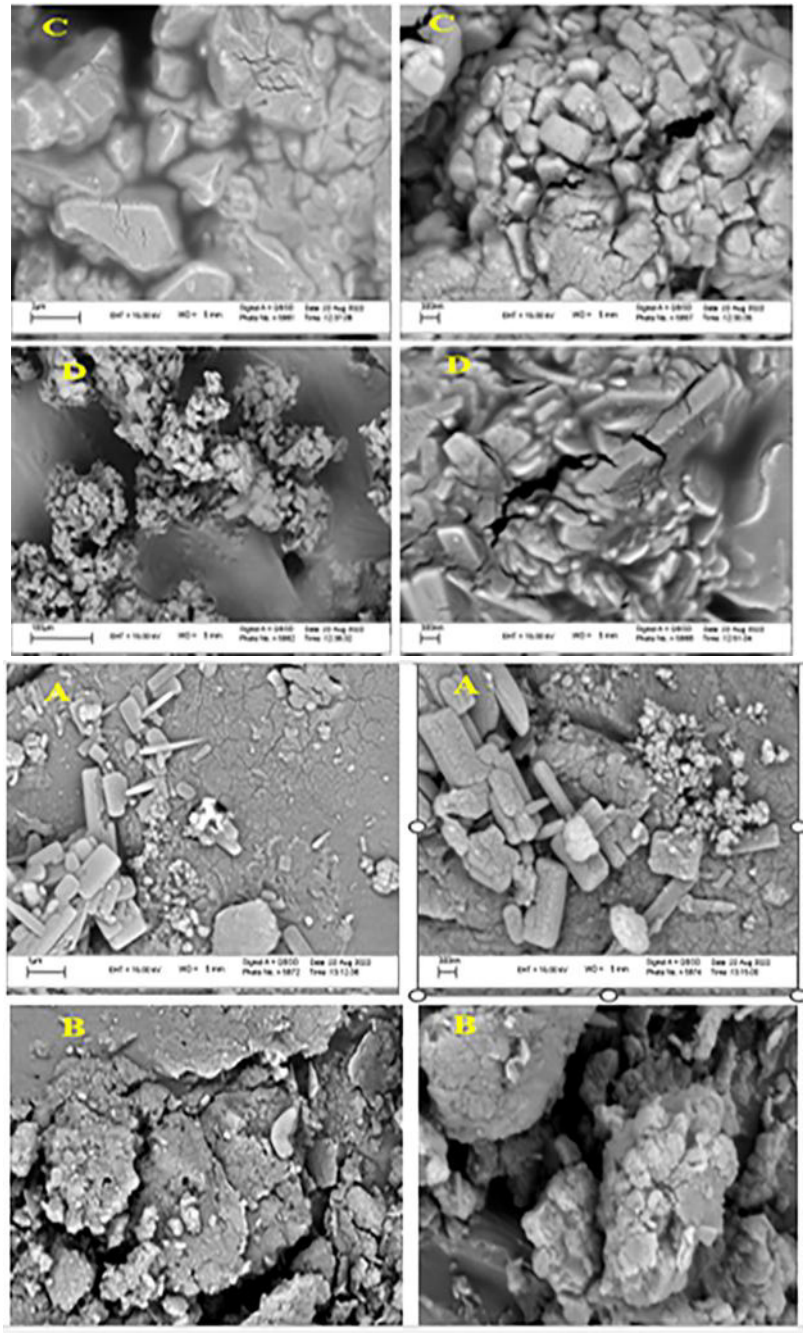


Figure1. Electron microscope images of CLA microcapsules, A) encapsulated CLA with Xanthan – Maltodextrin, B) encapsulated CLA with Guar –Maltodextrin, C) encapsulated CLA with Guar–whey protein D), encapsulated CLA with Xanthan –whey protein

References

Anonymous. 2018. Iranian National Standard No. 2012. Milk powder-characteristics. Institute of Standards and Industrial Research of Iran.

Azari SR, Hojjatoleslamy M, Mousavi ZE, Kiani H, Jalali SM. 2024. The effect of microencapsulation of microbial oil containing CLA by the complex coacervation on the physicochemical and sensory characteristics of buttermilk. Food Chemistry Advances. 5:100757.

Bajaj SR, Marathe SJ, & Singhal RS. 2021. Co-encapsulation of vitamins B12 and D3 using spray drying: Wall material optimization, product characterization, and release kinetics. Food Chemistry 335: 127642.

Cho YH, Shim HK, & Park J. 2003. Encapsulation of fish oil by an enzymatic gelation process using transglutaminase cross-linked proteins. Journal of Food Science, 68(9), 2717-2723.

Choi KO, Ryu J, Kwak HS, & KoS. 2010. Spray-dried conjugated linoleic acid encapsulated with Maillard reaction products of whey proteins and maltodextrin. Food Science and Biotechnology 19(4):957-965.

Costa AM, Nunes JC, Lima BNB, Pedrosa C, Calado V, Torres AG, & Pierucci APTR. 2015. Effective stabilization of CLA by microencapsulation in pea protein. Food Chemistry 168: 157-166.

Da Rocha CB, & Noreña CPZ. 2020. Microencapsulation and controlled release of bioactive compounds from grape pomace. Drying Technology 1-15.

Fang X, Shima M, & Adachi S. 2005. Effects of drying conditions on the oxidation of linoleic acid encapsulated with gum arabic by spray-drying. Food Science and Technology Research 11(4): 380-384.

Farid AS, GHanbarzadeh B, & Hamishekar H. 2015. Conjugated linoleic acid loaded nanostructured lopid carriers (NLC): Optimization of particle size by response surface methology.

Farzadnia F. and Pezeshky Najafabadi A. 2018. Production of conjugated linoleic acid nano lipid carrier (NLC) for enrichment of low-fat pasteurized milk by it. Innovative Food Technologies 5(4): pp.651-662.

Fathi-Achachlouei B, Namvar S, Shaddel R. 2024.The effect of different ratios of lecithin-cholesterol on the encapsulation stability of beta-carotene loaded nanoliposomes. Food Research Journal 33(4):131-49.

Fazaeli M, Emam-Djomeh Z, Ashtari AK, Omid M. 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. Food and bioproducts processing 90: 667–675.

Fernandez-Avila C, Gutierrez-Merida C, & Trujillo AJ. 2017. Physicochemical and sensory characteristics of a UHT milk-based product enriched with conjugated linoleic acid emulsified by Ultra-High Pressure Homogenization. Innovative Food Science & Emerging Technologies 39:275-283

Frascareli EC, Silva, VM, Tonon RV, & Hubinger MD. 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. Food and bioproducts processing 90(3): 413-424.

Gohari AS, Nateghi L, Rashidi L, Berenji S. 2024. Preparation and characterization of sodium caseinate-apricot tree gum/gum Arabic nanocomplex for encapsulation of conjugated linoleic acid (CLA). International Journal of Biological Macromolecules. 261:129773.

Goula AM, & Adamopoulos KG. 2012. A method for pomegranate seed application in food industries: seed oil encapsulation. Food and bioproducts processing 90(4): 639-652.

Hamishehkar H, Emami J, Najafabadi AR, Gilani K, Minaiyan M, Mahdavi H, & Nokhodchi A. 2009. The effect of formulation variables on the characteristics of insulin-loaded poly (lactic-co-glycolic acid) microspheres prepared by a single-phase oil in oil solvent evaporation method. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 74(1):340-349.

He H, Hong Y, Gu Z, Liu G, Cheng L, & Li Z. 2016. Improved stability and controlled release of CLA with spray-dried microcapsules of OSA-modified starch and xanthan gum. Carbohydrate polymers 147:243-250.

Hogan SA, McNamee BF, O'Riordan ED, & O'Sullivan M. 2001. Emulsification and microencapsulation properties of sodium caseinate/carbohydrate blends. International Dairy Journal 11(3): 137-144.

Jafari SM, Ghalenoei MG, & Dehnad D. 2017. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. Powder technology 311: 59-65.

Jayasundera, M., Adhikari, B., Howes, T., & Aldred, P. (2011). Surface protein coverage and its implications on spray-drying of model sugar-rich foods: Solubility, powder production and characterisation. Food Chemistry 128(4): 1003-1016.

Jimenez M, Garcia HS, & Beristain CI. 2006. Spray-dried encapsulation of conjugated linoleic acid (CLA) with polymeric matrices. Journal of the Science of Food and Agriculture 86(14):2431-2437.

Kaushik P, Dowling K, Barrow CJ, & Adhikari B. 2015. Microencapsulation of omega-3 fatty acids: A review of microencapsulation and characterization methods. Journal of functional foods 19:868-881.

Luna-Guevara JJ, Ochoa-Velasco CE, Hernández-Carranza P, & Guerrero-Beltrán JA. 2017. Microencapsulation of walnut, peanut and pecan oils by spray drying. Food structure 12: 26-32.

MacDonald H. 2003. Conjugated Linoleic acid and its association with Disease Prevention. Journal of the American College of Nutrition 19(2):111-117.

Mohammadi M, Pezeshki A, Abbasi MM, Ghanbarzadeh B, & Hamishehkar H. 2017. Vitamin D3-loaded nanostructured lipid carriers as a potential approach for fortifying food beverages; in vitro and in vivo evaluation. Advanced pharmaceutical bulletin 7(1):61.

Nasrabadi MN, & Goli SAH. 2016. Stability assessment of conjugated linoleic acid (CLA) oil-in-water beverage emulsion formulated with acacia and xanthan gums. Food Chemistry 199: 258-264.

Nejatian M, Yazdi AP, Fattahi R, Saberian H, Bazsefidpar N, Assadpour E, Jafari SM. 2024. Improving the storage and oxidative stability of essential fatty acids by different encapsulation methods; a review. International Journal of Biological Macromolecules.129548.

Nielsen PM. 1997. Functionality of protein hydrolysates. Food Science and Technology-New Yourk-Marcel Dekker 443-472.

Pezeshki A, Ghanbarzadeh B, Mohammadi M, Fathollahi I, & Hamishehkar H. 2014. Encapsulation of vitamin A palmitate in nanostructured lipid carrier (NLC)-effect of surfactant concentration on the formulation properties. Advanced Pharmaceutical Bulletin 4(Suppl 2): 563.

Pourashouri P, shabanpour B, razavi SH, jafari SM, and shabani A. 1391. Physicochemical properties and oxidative stability of microcapsules containing fish oil and omega-3 fatty acids. Ph.D. thesis. Department of Seafood Processing, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Rajabi H, Jafari SM, Rajabzadeh G, Sarfarazi M, & Sedaghati S. 2019. Chitosan-gum Arabic complex nanocarriers for encapsulation of saffron bioactive components. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 578:123644.

Rigolon TC, Silva RR, de Oliveira TV, Nascimento AL, de Barros FA, Martins E, Campelo PH, Stringheta PC. 2024. Exploring anthocyanins-polysaccharide synergies in microcapsule wall materials via spray drying: Interaction characterization and evaluation of particle stability. Measurement: Food. 13:100126.

Sahin-Nadeem H, & Afşin Özen M. 2014. Physical properties and fatty acid composition of pomegranate seed oil microcapsules prepared by using starch derivatives/whey protein blends. European journal of lipid science and technology 116(7): 847-856.

Santana AA, Kurozawa LE, de Oliveira RA, & Park KJ. 2013. Influence of process conditions on the physicochemical properties of pequi powder produced by spray drying. Drying Technology 31(7):825-836.

Seo TR, Kim HY, & Lim ST. 2016. Preparation and characterization of aqueous dispersions of high amylose starch and conjugated linoleic acid complex. Food chemistry 211:530-537.

Sheu TY, & Rosenberg M. 1995. Microencapsulation by spray drying ethyl caprylate in whey protein and carbohydrate wall systems. Journal of food science 60(1): 98-103.

Souri J, Almasi H, Hamishehkar H, and Amjadi S. 2021. Sodium caseinate-coated and β-yclodextrin/vitamin E inclusion complex-loaded nanoliposomes: A novel stabilized nanocarrier. Lwt 151: 112-124.

Tolun A, Artik N, & Altintas Z. 2020. Effect of different microencapsulating materials and relative humidities on storage stability of microencapsulated grape pomace extract. Food chemistry 302: 125347.

Tontul I, & Topuz A. 2014. Influence of emulsion composition and ultrasonication time on flaxseed oil powder properties. Powder technology 264: 54-60.

Vélez MA, Perotti MC, Zanel P, Hynes ER, & Gennaro AM. 2017. Soy PC liposomes as CLA carriers for food applications: Preparation and physicochemical characterization. Journal of Food Engineering 212:174-180.

Yang J, He H, Gu Z, Cheng L, Li C, Li Z, & Hong Y. 2020. Conjugated linoleic acid loaded starch-based emulsion nanoparticles: In vivo gastrointestinal controlled release. Food Hydrocolloids 101:105477.

Yekdane N and Hossein Goli SA. 1397. Microencapsulation of pomegranate seed oil using spray dryer and its stability improvement with pomegranate juice. Master of Food Science and Technology thesis at Isfahan University of Technology.

Yildiz G, Ding J, Gaur S, Andrade J, Engeseth NE, & Feng H. 2018. Microencapsulation of docosahexaenoic acid (DHA) with four wall materials including pea protein-modified starch complex. International Journal of Biological Macromolecules 114: 935-941.

Food Research Journal
Online ISSN: 2676-5691 Print ISSN: 2008-515X
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Application of magnetized water to reduce oil absorption and improve sensory properties of fried potato

Fakhreddin Salehi[1] ✉ and Kimia Samary[2]

[1]Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
[2]MSc Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
✉Corresponding author: F.Salehi@Basu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: June 21, 2024
Accepted: November 25, 2024
Published: January 04, 2025

Keywords:
Color parameters, Hardness, Magnetic field, Potato, Texture analyzer

ABSTRACT

Background: When water is exposed to a magnetic field with positive and negative poles, its molecules become magnetized. In addition to the effect of the magnetic field on the shape of water molecules, this magnetic field can reduce the surface tension of water, increase the pH, increase viscosity, and reduce the formation of sediment.
Aims: In this research, the use of magnetized water to reduce oil absorption and improve the sensory and appearance characteristics of fried potato slices was investigated.
Methods: In this research, first, potato slices with a thickness of 0.5 cm were prepared and divided into three groups and treated. Finally, the samples were examined for moisture content, oil absorption, hardness, color parameters, color change index, surface changes, and sensory properties.
Results: The results of this study showed that the oil absorption of fried potato slices was significantly reduced when magnetized water pretreatment was used ($p<0.05$). Regarding moisture content, a significant difference was observed between the control sample and the other two samples ($p<0.05$), and the moisture content being higher in the treated samples. The texture analysis showed that the use of magnetic water pretreatment reduces the hardness of the fried product. The surface color changes of the samples placed in magnetic water were less and the rate of reduction in size of these samples during the frying process was minimal. Regarding the acceptability values of appearance, odor, texture, taste and overall desirability, potato slices pretreated with magnetized water received the highest values.
Conclusion: In general, the treatment of potato slices with magnetized water reduced the oil absorption, improved the size and appearance color, reduced the hardness, and improved the organoleptic acceptability of the product.

CC BY NC

Extended Abstract

Introduction: Magnetic field-treated water, so-called "magnetized water", has been a challenging subject over the last several decades in both academia and industry, despite the controversy and the lack of a complete understanding (Esmaeilnezhad et al. 2017). When water is exposed to a magnetic field with positive and negative poles, its molecules become magnetized. This water can have a positive effect on foods due to its hexagonal structure. In addition to the effect of the magnetic field on the shape of water molecules, this magnetic field can reduce the surface tension of water, increase the pH, increase viscosity, and reduce the formation of sediment (Esmaeilnezhad et al. 2017). Ignatov and Mosin (2014) reported that the effect of the magnetic field on water is a complex multifactorial phenomenon resulted in changes of the structure of hydrated ions as well as the physicochemical properties and behavior of dissolved inorganic salts, changes in the rate of electrochemical coagulation and aggregate stability (clumping and consolidation), formation of multiple nucleation sites on the particles of fine dispersed precipitate consisting of crystals of substantially uniform size. Nakagawa et al. (1999) reported essentially two different types of conceivable field effects. One is a direct field effect on the biochemical reactions; the other is indirect via changes in the surroundings. In the case of the former effect, the concern might be the possible genetic influence that a magnetized water can have on living organisms. In the case of the latter, however, the magnetized water effects can be considered like any other external parameter, such as temperature, pressure, or mechanical stirring.

When being applied to water, the magnetic field therein changes the rates of chemical reactions due to the occurrence of competing reactions of dissolution and precipitation of the dissolved salts, facilitates the formation and decomposition of colloidal complexes, and improves electro-coagulation followed by sedimentation and crystallization of scaling salts (Ignatov and Mosin 2014). A series of molecular dynamics simulations showed that the number of hydrogen bonds increases under the application of a magnetic field. In particular, as the strength of the magnetic field increases from 1 to 10 Tesla, the number of hydrogen bonds increases by approximately 0.34%, which indicates that the magnetic field enhances the water networking ability. A larger number of hydrogen bonds suggests that the size of the water cluster increases under a MF; hence, the structure of the water molecules is more ordered and stable under an applied magnetic field (Chang and Weng, 2006).

Antal et al. (2014) studied the effect of magnetic water on the characteristics of freeze drying of apples. The results showed that magnetic water pretreatment increases the drying speed and decreases the drying time of freeze-dried apples. The pretreated apple cubes had a crisper texture and this method improved the color of the dried apples. In another research, Moulaei et al. (2022) studied the effect of magnetic water on the quality characteristics of frozen dough and bread produced from it and stated that the intensity of magnetism has a great effect on the quality of frozen dough in terms of reducing dough defrosting and according to the amount of flour extraction can have a significant effect on the amount of yeast gas production. Also, it can improve the textural properties of bread and be effective in bread staleness. In terms of sensory characteristics, magnetic water can improve the porosity, chewiness and taste of bread.

Fried food products are highly popular among consumers due to their unique textural characteristics (Asadnahal et al., 2022). Various agricultural products like potato absorb a lot of oil when fried in edible oils. The more oil absorbed by these products, the lower their shelf life and quality, and the lower the acceptance of the final product by the consumer. High absorption of oil by fried products can be reduced by applying different pretreatments (Kurek et al. 2017; Salehi 2020).

In this research, the use of magnetized water to reduce oil absorption and improve the sensory and appearance characteristics of fried potato slices was investigated.

Material and methods: In this research, first, potato slices with a thickness of 0.5 cm were prepared and divided into three groups. One group was immersed in water for 20 min. The second group was placed in the water that had already been magnetized by the device for 20 min. The third group was immersed in the magnetized water inside the device and exposed to the magnetic field for 20 min. After 20 min, the samples were removed, the surface moisture was removed, and they were fried at 150°C for 5 min. Finally, the samples were examined for moisture content, oil absorption, hardness, color parameters, color change index, surface changes, and sensory properties.

The moisture content of fried samples was measured by an oven at 105°C for 5 h (Shimaz, Iran) (Hosseini, 2006). The texture determination of the fried potato slices was performed on a STM-5 texture analyzer (Santam, Iran). A puncture test was performed using a cylindrical flat-end punch (diameter 2.5 mm). The test parameters were: pre-test and test speed, 1 mm/s. The test was repeated three times (Li et al. 2022). To examine the changes in color indexes including lightness (L*), redness (a*), yellowness (b*) and colour changes (ΔE) as well as changes in the area of the samples, images were taken after the frying process. The sample photos were captured using HP Scanner (Hp Scanjet 300). L* (lightness-darkness that ranges from 0 to 100), a*(redness-greenness that ranges from -120 to 120) and b* (yellowness-blueness that ranges from -120 to 120) were measured in this study. A hedonistic test was used to estimate the general level of liking for the fried potato slices. Twenty panelists were selected and recruited to descriptively analyze the texture of fried potato slices.

Data are presented as mean ± standard deviation for triplicate measurements. Statistical analysis was performed by one-way analysis of variance (ANOVA) at 95% level of significance, using SPSS software (version 21). In addition, means were compared with Duncan's multiple range test at 95% level of significance.

Results and discussion: The results of this study showed that the oil absorption of fried potato slices was significantly reduced when magnetized water pretreatment was used ($p<0.05$). The lowest oil absorption (14.85%) was related to the sample treated by magnetized water. The samples exposed to magnetized water and magnetic field had a higher moisture content, which also helps to reduce oil absorption by the product. Regarding moisture content, a significant difference was observed between the control sample and the other two samples ($p<0.05$), and the moisture content being higher in the treated samples. The texture analysis showed that the use of magnetic water pretreatment reduces the hardness of the fried product. The hardness of the control sample (placed in normal water), pretreated by magnetic water and exposed to magnetic field was equal to 1.67 N, 1.01 N, and 1.32 N, respectively. Antal et al. (2012) reported that the use of magnetic water pretreatment reduced the drying time, created a softer texture (reduced hardness) and increased the rehydration of vacuum-dried apples.

Statistically, there was no significant difference between the redness and yellowness of the samples ($p>0.05$); However, in terms of the lightness index, the control sample and the sample placed in the magnetic field had a statistically significant difference ($p<0.05$). The surface color changes of the samples placed in magnetic water were less and the rate of reduction in size of these samples during the frying process was minimal. The surface change of the control sample (placed in normal water), pretreated by magnetic water and exposed to magnetic field was equal to 14.54, 10.77, and 12.97%, respectively. Regarding the acceptability values of appearance, odor, texture, taste and overall desirability, potato slices pretreated with magnetized water received the highest values.

Conclusion: Deep frying has gained increasing attention as it produces attractive sensory and organoleptic properties in products, such as crispy texture, unique aroma and taste, attractive appearance, and faster and easier cooking. As is known, the effect of magnetic field on water bears a complex and multifactorial character that in the final result affects the structure of water and hydrated ions as well as the physico-chemical properties and behavior of dissolved inorganic salts. In general, the treatment of potato slices with magnetized water reduced the oil absorption, improved the size and appearance color, reduced the hardness, and improved the organoleptic acceptability of the product; therefore, it is recommended to use this new method before frying various products. As future research, it is suggested that more research be done regarding the use of magnetized water in the processing of various foods.

پژوهش‌های صنایع غذایی

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۵۶۹۱ ، شاپا چاپی ۲۰۰۸-۵۱۵x

https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

استفاده از آب مغناطیسی شده برای کاهش جذب روغن و بهبود خصوصیات حسی سیب‌زمینی سرخ‌شده

فخرالدین صالحی[1*] و کیمیا ثمری[2]

[1]دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

[2]دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

*مسئول مکاتبه: F.Salehi@Basu.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت:
۱۴۰۳/۴/۱
پذیرش:
۱۴۰۳/۹/۵
انتشار:
۱۴۰۳/۱۰/۱۵

کلید واژگان:
بافت سنج، پارامترهای رنگی، سفتی، سیب‌زمینی، میدان مغناطیسی

چکیده

زمینه مطالعاتی: درصورتی‌که آب در معرض میدان مغناطیسی که دارای قطب مثبت و منفی است قرار گیرد، مولکول‌های آن مغناطیسی می‌شوند. علاوه بر اثر میدان مغناطیسی بر شکل تجمع مولکول‌های آب، اعمال این میدان باعث کاهش کشش سطحی آب، افزایش pH، افزایش ویسکوزیته و کاهش تشکیل رسوب می‌شود.

هدف: در این پژوهش استفاده از آب مغناطیسی شده برای کاهش جذب روغن و بهبود خصوصیات حسی و ظاهری برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده بررسی شد.

روش کار: برای انجام این پژوهش، ابتدا برش‌های سیب‌زمینی با ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر تهیه و به سه گروه تقسیم و تیماردهی شدند. در نهایت مقدار رطوبت، جذب روغن، سفتی، پارامترهای رنگی، شاخص تغییرات رنگ، تغییرات سطح و خصوصیات حسی نمونه‌ها بررسی شد.

نتایج: نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از پیش‌تیمار آب مغناطیسی شده به‌صورت معنی‌داری باعث کاهش جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی سرخ کرده می‌شود ($p<۰/۰۵$). از نظر مقدار رطوبت، اختلاف معنی‌داری بین نمونه شاهد و دو نمونه دیگر مشاهده شد ($p<۰/۰۵$) و درصد رطوبت نمونه‌های تیمار شده بیشتر بود. نتایج آزمون بافت سنجی نشان داد که استفاده از پیش‌تیمار آب مغناطیسی باعث کاهش سفتی محصول سرخ‌شده می‌شود. تغییرات رنگ سطحی نمونه‌های قرار گرفته درون آب مغناطیسی کمتر بوده و درصد کاهش اندازه این نمونه‌ها طی فرآیند سرخ‌کردن حداقل بود. از نظر امتیازهای پذیرش ظاهر، بو، بافت، طعم و مطلوبیت کلی، بالاترین امتیاز مربوط به برش‌های سیب‌زمینی پیش‌تیمار شده با آب مغناطیسی شده بود.

نتیجه‌گیری نهایی: درمجموع، تیماردهی برش‌های سیب‌زمینی با آب مغناطیسی شده باعث کاهش جذب روغن، بهبود اندازه و رنگ ظاهری، کاهش سفتی و بهبود پذیرش حسی محصول شد.

مقدمه

آب به شکل معمولی خود می‌تواند نقش مهمی در سلامتی و درمان بسیاری از بیماری‌ها و تسکین دردها نظیر کاهش تشنجات عضلانی، افزایش حرکت، جنب‌وجوش مفاصل و افزایش گردش خون داشته باشد. درصورتی‌که آب در معرض میدان مغناطیسی که دارای قطب مثبت و منفی است قرار گیرد، مولکول‌های آن مغناطیسی می‌شوند (هولیسز و همکاران ۲۰۰۷). این موضوع سبب خارج شدن مولکول‌های آب از بی‌نظمی شده و ضمن تشکیل خوشه‌های کوچک‌تر آب، سبب افزایش تعداد خوشه‌ها در واحد حجم و افزایش قدرت حلالیت آب می‌شود (پنگ و دنگ ۲۰۰۸). آب مغناطیسی به دلیل ساختار شش‌ضلعی خود می‌تواند تأثیرات خوبی بر مواد غذایی داشته باشد. ازجمله اثر میدان مغناطیسی بر برخی خواص آب می‌توان به کاهش کشش سطحی آب، افزایش pH، افزایش ویسکوزیته و کاهش تشکیل رسوب اشاره کرد (اسماعیل‌نژاد و همکاران ۲۰۱۷). ایگناتوف و موسین (۲۰۱٤) گزارش کردند که اثر میدان مغناطیسی بر روی آب یک پدیده پیچیده چندعاملی است که منجر به تغییر در ساختار یون‌های هیدراته و همچنین خواص فیزیکوشیمیایی و رفتار نمک‌های معدنی محلول، و همچنین تغییر در سرعت انعقاد الکتروشیمیایی می‌شود. یک سری شبیه‌سازی دینامیک مولکولی نشان داد که تعداد پیوندهای هیدروژنی تحت اعمال میدان مغناطیسی افزایش می‌یابند. به‌طور خاص، با افزایش قدرت میدان مغناطیسی از ۱ به ۱۰ تسلا، تعداد پیوندهای هیدروژنی تقریباً ۰/۳٤ درصد افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد میدان مغناطیسی توانایی شبکه‌سازی آب را افزایش می‌دهد. تعداد بیشتری از پیوندهای هیدروژنی نشان می‌دهد که اندازه خوشه آب تحت یک میدان مغناطیسی افزایش می‌یابد. از این رو، ساختار مولکول‌های آب تحت یک میدان مغناطیسی اعمال شده منظم‌تر و پایدارتر است (چانگ و ونگ، ۲۰۰٦).

آنتال و همکاران (۲۰۱٤) تأثیر آب مغناطیسی بر ویژگی‌های خشک‌کردن سیب به روش انجمادی را موردمطالعه قراردادند. شواهد نشان داد که پیش‌تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش سرعت خشک شدن و کاهش زمان خشک شدن سیب‌های تحت خشک‌کردن انجمادی می‌شود. مکعب‌های سیب پیش‌تیمار شده بافت تردتری داشته و این روش سبب بهبود رنگ سیب‌های خشک شد. در پژوهشی دیگر مولائی و همکاران (۲۰۲۲) اثر آب مغناطیسی بر خصوصیات کیفی خمیر منجمد شده و نان تولیدی از آن را مورد مطالعه قرار دادند و بیان کردند که شدت مغناطیس تأثیر بسیاری بر کیفیت خمیر منجمد از لحاظ کاهش انجماد زدایی خمیر دارد و با توجه به میزان استخراج آرد می‌تواند اثر معنی‌داری بر میزان تولید گاز مخمر دارد. همچنین می‌تواند خصوصیات بافتی نان را نیز بهبود و در بیاتی نان نیز مؤثر باشد. ازلحاظ ویژگی‌های حسی نیز آب مغناطیسی می‌تواند تخلخل، قابلیت جویدن و طعم نان را بهبود بخشد.

در دهه‌های اخیر با افزایش پژوهش‌های مختلف، آگاهی افراد نسبت به اهمیت مصرف غذای سالم و ارتباط بین انواع غذای مصرفی و سلامت انسان افزایش‌یافته است (رازقی و همکاران ۱٤۰۳). محصولات غذایی سرخ‌شده به دلیل دارا بودن ویژگی‌های بافتی منحصربه‌فرد از محبوبیت بالایی در میان مصرف‌کنندگان برخوردار می‌باشند (اسدنهال و همکاران ۱٤۰۱). محصولات کشاورزی مختلف مانند سیب‌زمینی هنگام سرخ شدن در روغن‌های خوراکی مقدار زیادی روغن جذب می‌کنند. هر چقدر روغن جذب شده توسط این محصولات بیشتر باشد، ماندگاری و کیفیت آنها کمتر شده و باعث کاهش پذیرش محصول نهایی توسط مصرف‌کننده می‌شود. جذب زیاد روغن توسط محصولات سرخ‌شده را می‌توان با اعمال پیش‌تیمارهای مختلف کاهش داد (کورک و همکاران ۲۰۱۷؛ صالحی ۲۰۲۰).

خروج سریع آب و جذب روغن طی فرآیند سرخ‌کردن رخ می‌دهد (موسی ۲۰۱۸). شدت تغییر خصوصیات ظاهری و رنگ سطحی محصولات سرخ‌شده وابسته به پیش‌تیمارهای اعمال شده و شرایط انجام فرآیند است. بیک و میتال (۲۰۰۵) نشان دادند که تغییرات شاخص قرمزی در دماهای بالای سرخ‌کردن شدیدتر بوده و سپس به مقدار ثابت می‌رسد و از یک تابع‌نمایی تبعیت می‌کند. پدرسچی و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند که میزان شاخص قرمزی در نمونه‌های

سیب‌زمینی آنزیم بری شده نسبت به نمونه‌های آنزیم بری نشده هنگام سرخ‌کردن کمتر است. همچنین بیان کردند که شاخص روشنایی و شاخص زردی طی سرخ‌کردن تغییر چندانی نکرده و رنگ سیب‌زمینی طی سرخ‌کردن تابع شاخص قرمزی بوده که تغییرات آن بیشتر است.

در این پژوهش استفاده از پیش‌تیمار آب مغناطیسی شده بر مقدار رطوبت، جذب روغن، سفتی، پارامترهای رنگی، شاخص تغییرات رنگ، تغییرات سطح و خصوصیات حسی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه برش‌های سیب‌زمینی

در این پژوهش، سیب‌زمینی‌های رقم سانتا از شهرستان کبودرآهنگ (استان همدان، ایران)، با اندازه متوسط و یک شکل تهیه گردید. برای انجام فرآیند سرخ‌کردن ابتدا سیب‌زمینی‌ها به قطعاتی با ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر برش داده شدند و سپس توسط یک قالب فلزی، برش‌های به شکل استوانه از آنها جدا شد.

تهیه آب مغناطیسی شده

جهت مغناطیسی کردن آب و تهیه آب مغناطیسی شده از دستگاه تولید کننده آب مغناطیسی- قلیایی (مدل دوقطبی، شرکت مغناطیس سازان حیات، ایران) استفاده شد. برای تهیه آب مغناطیسی شده، ۲ لیتر آب شهری داخل ظرفی از جنس پلی‌اتیلن ریخته شد و ظرف آب به مدت ۲ ساعت داخل دستگاه قرار داده شد.

اعمال پیش‌تیمار بر برش‌های سیب‌زمینی

برای اعمال پیش‌تیمار بر برش‌های سیب‌زمینی، ابتدا برش‌ها به سه گروه تقسیم شدند. یک گروه به مدت ۲۰ دقیقه درون آب قرار گرفتند (نمونه شاهد). گروه دوم به مدت ۲۰ دقیقه درون آبی که از قبل توسط دستگاه مغناطیسی شده بود ، قرار گرفتند (خارج دستگاه). گروه سوم هم به مدت ۲۰ دقیقه درون آبی که داخل دستگاه مغناطیسی قرار داشت، ریخته شدند و در معرض میدان مغناطیسی قرار گرفتند (داخل دستگاه).

سرخ‌کردن برش‌های سیب‌زمینی

بعد از گذشت ۲۰ دقیقه، برش‌های سیب‌زمینی از آب خارج و بعد از حذف رطوبت سطحی، توسط سرخ‌کن (دلونگی، F18، ۱۸۰۰ وات، ایتالیا) با دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ دقیقه سرخ شدند. جهت سرخ‌کردن عمیق از روغن مایع مخصوص سرخ‌کردن بدون پالم (آفتابگردان-سویا، ورامین، ایران) استفاده شد. جهت کنترل دمای سرخ‌کن از دماسنج دیجیتالی تماسی دو کاناله لوترون[1] (تایوان) با دامنه دمایی ۵۰- تا ۱۲۳۰ درجه سلسیوس (با دقت ۰/۱°C±) و ترموکوپل دمایی نوع K با ضخامت یک میلی‌متر استفاده گردید.

درصد رطوبت و جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی

برش‌های سیب‌زمینی بعد از طی زمان سرخ‌کردن، از سرخ‌کن خارج و پس از حذف روغن سطحی توسط دستمال کاغذی، بلافاصله جهت بررسی تغییرات وزن، مقدار رطوبت و درصد روغن استفاده شدند. تغییرات وزن نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتالی (لوترون، GM-300p، تایوان) با دقت ۰/۰۱ ± گرم، ثبت گردید. مقدار ماده جامد و رطوبت برش‌های تازه و سرخ‌شده سیب‌زمینی با استفاده از آون (شیماز، ایران) با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و در مدت زمان ۵ ساعت اندازه‌گیری شد (با استفاده از رابطه ۱) (حسینی ۲۰۰۶).

$$MC = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه، MC: مقدار رطوبت[2] (درصد)، M_1: جرم نمونه قبل از قرارگیری در آون (گرم) و M_2: جرم نمونه بعد از خروج از آون (گرم) است. درصد روغن نمونه‌های سرخ‌شده از کسر ماده جامد برش‌های تازه سیب‌زمینی از مقدار ماده جامد برش‌های سرخ‌شده، تقسیم بر وزن محصول سرخ‌شده ضرب در ۱۰۰ به دست آمد (با استفاده از رابطه ۲).

$$OU = \frac{TS_2 - TS_1}{M_1} \times 100 \qquad (۲)$$

1- Lutron, TM-916
2- Moisture content (MC)

در این رابطه، OU: روغن جذب‌شده[1] (درصد)، TS_2: ماده جامد[2] برش‌های سرخ‌شده (گرم)، TS_1: ماده جامد برش‌های تازه (گرم) و M_1: جرم نمونه سرخ‌شده سیب‌زمینی (گرم) است.

ارزیابی بافت توسط بافت سنج

سفتی بافت سیب‌زمینی‌های سرخ‌شده توسط دستگاه بافت سنج (Santam, STM-5, Iran) اندازه‌گیری شد. آزمون نفوذ با استفاده از یک پروب استوانه‌ای با قطر ۲/۵ میلی‌متر انجام شد. سرعت نفوذ پروب به داخل نمونه ۱ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد (لی و همکاران ۲۰۲۲).

شاخص‌های رنگی

در این پژوهش ابتدا توسط یک اسکنر (اچ‌پی، Scanjet 300، چین) از نمونه‌های تازه و سرخ‌شده عکس در فرمت JPG تهیه و بعد از تبدیل به فرمت $L^*a^*b^*$ توسط نرم‌افزار Image J (ویرایش 1.42e، آمریکا)، شاخص‌های رنگی آنها شامل L^*، a^* و b^* محاسبه و گزارش شد. مقادیر تغییر رنگ (ΔE) برش‌های سیب‌زمینی در مقایسه با نمونه سرخ نشده با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد (صالحی و همکاران ۲۰۲۳).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (۳)$$

بررسی تغییرات سطح

درصد تغییرات اندازه سطح برش‌های سیب‌زمینی که معیاری از کاهش سطح محصول در طی فرآیند سرخ‌کردن می‌باشد با استفاده از روش پردازش تصویر و رابطه ٤ محاسبه و گزارش شد (صالحی و همکاران ۲۰۲۳).

$$\Delta A = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100 \quad (٤)$$

در این رابطه، ΔA: درصد تغییرات سطح، A_1: سطح نمونه تازه برش‌های سیب‌زمینی (سانتی‌متر مربع) و A_2: سطح نمونه سرخ‌شده برش‌های سیب‌زمینی (سانتی‌متر مربع) است.

ارزیابی حسی محصول سرخ‌شده

برای ارزیابی خصوصیات حسی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده از ۲۰ ارزیاب و آزمون رتبه‌بندی ۹ نقطه‌ای استفاده شد. در جدول ارزیابی حسی، شاخص‌ها شامل پذیرش ظاهر، پذیرش بو، پذیرش بافت، پذیرش طعم و پذیرش کلی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده بود (رازقی و همکاران ۱٤۰۳).

آنالیز آماری

کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت. تجزیه‌وتحلیل آماری بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. برای تجزیه‌وتحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ استفاده شد. مقادیر میانگین پاسخ‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقایسه شدند (صالحی و همکاران ۱٤۰۳).

نتایج و بحث

درصد رطوبت و جذب روغن

میانگین رطوبت برش‌های تازه سیب‌زمینی ۸٤/۸۵ درصد بود. شکل ۱ اثر تیماردهی با آب مغناطیسی شده و میدان مغناطیسی بر درصد رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. در این پژوهش، استفاده از آب مغناطیسی شده و قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی به‌صورت معنی‌داری باعث افزایش درصد رطوبت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده شدند ($p<۰/۰۵$) که می‌تواند به دلیل مغناطیسی شدن آب و تغییر ساختار آن باشد که در نتیجه طی فرآیند سرخ‌کردن رطوبت بیشتری در محصول حفظ شده است.

1- Oil uptake (OU)
2- Total solids (TS)

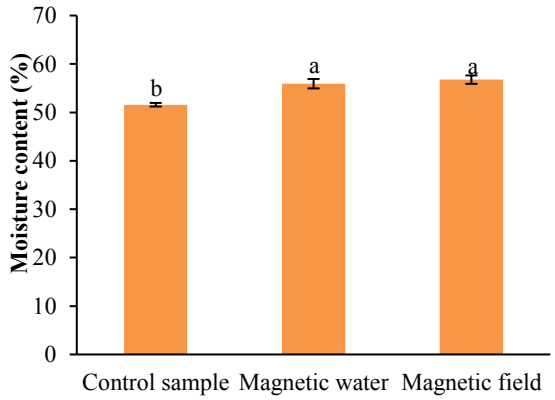


Figure 1. Effect of treatment with magnetized water and magnetic field on moisture content of fried potato slices

Different letters above the columns indicate significant difference ($p<0.05$)

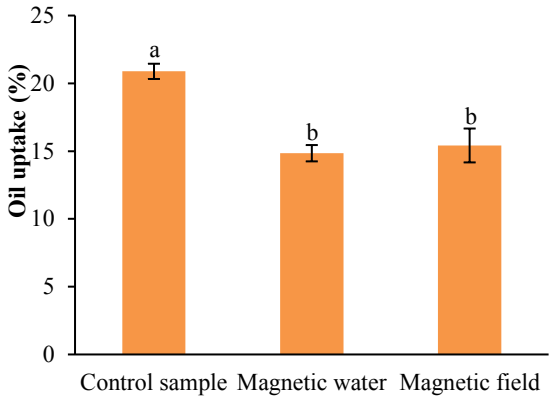


Figure 2. Effect of treatment with magnetized water and magnetic field on oil uptake of fried potato slices

Different letters above the columns indicate significant difference ($p<0.05$).

شکل ۲ اثر تیماردهی با آب مغناطیسی شده و میدان مغناطیسی بر درصد جذب روغن برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که استفاده از آب مغناطیسی شده و قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی به‌صورت معنی‌داری باعث کاهش جذب روغن توسط برش‌های سیب‌زمینی سرخ می‌شود ($p<۰/۰۵$). کمترین جذب روغن (۱٤/۸۵ درصد) نیز مربوط به نمونه قرار گرفته در آب مغناطیسی شده بود. تیماردهی با آب مغناطیسی باعث افزایش سرعت خروج رطوبت آزاد از محصول (آنتال و همکاران، ۲۰۱۲؛ آنتال و همکاران ۲۰۱٤) و در نتیجه جذب کمتر روغن هنگام فرآیند سرخ‌کردن می‌شود. البته، نمونه‌های قرار گرفته در معرض آب مغناطیسی شده و میدان مغناطیسی درصد رطوبت بیشتری هم داشتند که این موضوع نیز به کاهش جذب روغن توسط محصول کمک می‌کند.

نتایج آزمون نفوذ

با افزایش درصد رطوبت محصول، سفتی محصول کاهش می‌یابد (بلیغی و همکاران ۱٤۰۳). شکل ۳ اثر تیماردهی با آب مغناطیسی شده و میدان مغناطیسی بر سفتی بافت برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. در این پژوهش، استفاده از آب مغناطیسی شده و قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی باعث کاهش سفتی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده شدند و از نظر آماری بین سفتی نمونه شاهد و نمونه تیمار شده توسط آب مغناطیسی شده اختلاف معنادار مشاهده شد ($p<۰/۰۵$). سفتی نمونه شاهد (قرار گرفته در آب معمولی)، پیش‌تیمار شده توسط آب مغناطیسی و قرار گرفته در معرض میدان مغناطیسی به ترتیب برابر ۱/٦۷، ۱/۰۱ و ۱/۳۲ نیوتن بود. هم‌راستا با نتایج این پژوهش، آنتال و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که استفاده از پیش‌تیمار آب مغناطیسی باعث کاهش زمان خشک‌کردن، ایجاد بافت نرم‌تر (کاهش سفتی) و افزایش هیدراتاسیون سیب‌های خشک‌شده تحت خلأ می‌شود.

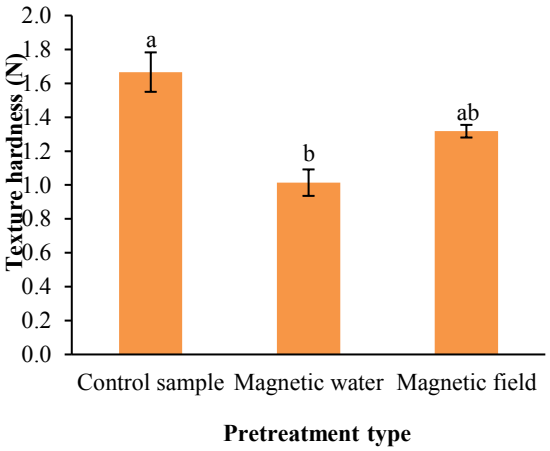


Figure 3. Effect of treatment with magnetized water and magnetic field on texture hardness of fried potato slices

Different letters above the columns indicate significant difference ($p<0.05$).

شاخص‌های رنگی محصول سرخ‌شده

شاخص‌های رنگی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده با استفاده از روش پردازش تصویر با سه مؤلفه زردی (b^*)، قرمزی (a^*) و روشنایی (L^*) اندازه‌گیری شد. در این سیستم مؤلفه L^* بیانگر شدت روشنایی با محدوده صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید)، مؤلفه a^* بیانگر شدت قرمزی با محدوده ۱۲۰- (سبز) تا ۱۲۰+ (قرمز) و مؤلفه b^* بیانگر شدت زردی با محدوده ۱۲۰- (آبی) تا ۱۲۰+ (زرد) است (صالحی، ۲۰۱۹). متوسط مقدار عددی شاخص‌های زردی/آبی، قرمزی/سبزی و روشنایی برای برش‌های تازه سیب‌زمینی به ترتیب برابر ۲۰/۷۸، ۳/۸۲- و ۷۳/۷۳ بود. در جدول ۱ اثر تیماردهی با آب مغناطیسی شده و میدان مغناطیسی بر شاخص‌های رنگی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده گزارش شده است. از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین قرمزی و زردی نمونه‌ها وجود نداشت ($p>0.05$)؛ اما از نظر شاخص روشنایی، نمونه شاهد با نمونه قرار گرفته در میدان مغناطیسی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم داشتند ($p<0.05$). از نظر عددی نمونه‌های تیمار شده با آب مغناطیسی شده و میدان مغناطیسی روشن‌تر بودند (شاخص روشنایی بیشتر نسبت به نمونه شاهد). همچنین قرمزی و زردی این نمونه‌ها از نمونه شاهد کمتر بود که نشان‌دهنده کاهش فرآیندهای قهوه‌ای شدن و در نتیجه تغییر رنگ کمتر برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده است (صالحی و همکاران ۲۰۲۳).

Table 1- Impact of treatment with magnetized water and magnetic field on color indexes of fried potato slices

Treatment	Lightness (L^*)	Redness (a^*)	Yellowness (b^*)
Control sample	62.04±1.86 ^{b}	6.25±1.39 ^{a}	33.73±1.08 ^{a}
Magnetic water	68.00±3.98 ^{ab}	4.77±2.78 ^{a}	26.08±3.80 ^{a}
Magnetic field	70.49±1.62 ^{a}	4.75±2.42 ^{a}	31.44±3.54 ^{a}

Different letters indicate significant differences within columns by Duncan's test at $p<0.05$.

شکل ٤ اثر تیماردهی با آب مغناطیسی شده و میدان مغناطیسی بر شاخص تغییرات رنگ برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده را نشان می‌دهد. در این پژوهش، استفاده از آب مغناطیسی شده و قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی به‌صورت معنی‌داری باعث کاهش تغییرات رنگ برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده شد (p<۰/۰۵) که حاکی از کاهش تغییرات رنگ نمونه‌های تیمار شده بعد از فرآیند سرخ‌کردن است.

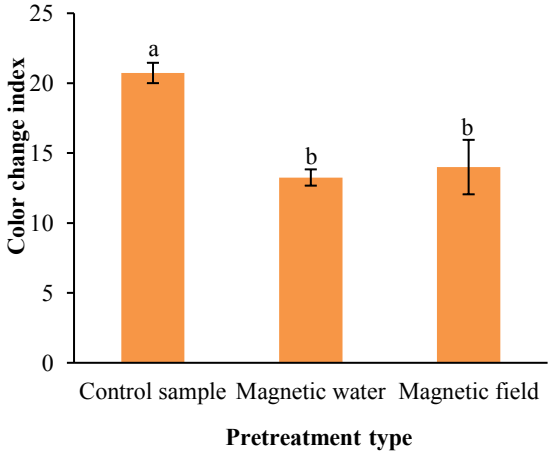


Figure 4. Effect of treatment with magnetized water and magnetic field on color change index of fried potato slices

Different letters above the columns indicate significant difference ($p<0.05$).

تغییر اندازه نمونه‌های سرخ‌شده

شکل ۵ اثر تیماردهی با آب مغناطیسی شده و میدان مغناطیسی بر تغییر سطح برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده را

نشان می‌دهد. استفاده از آب مغناطیسی شده و قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی باعث کاهش تغییر سطح و اندازه برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده شدند (اندازه بزرگتر محصول سرخ‌شده) و از نظر آماری بین شاخص تغییر سطح نمونه شاهد و این دو نمونه تیمار شده اختلاف معنادار مشاهده شد ($p<۰/۰۵$). تغییر سطح نمونه شاهد (قرار گرفته در آب معمولی)، پیش‌تیمار شده توسط آب مغناطیسی و قرار گرفته در معرض میدان مغناطیسی به ترتیب برابر ۱٤/٥٤، ۱۰/۷۷ و ۱۲/۹۷ درصد بود.

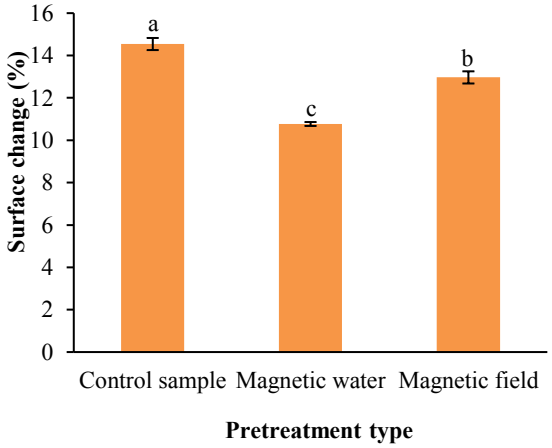


Figure 5. Effect of treatment with magnetized water and magnetic field on surface change of fried potato slices

Different letters above the columns indicate significant difference ($p<0.05$).

ارزیابی حسی

سرخ‌کردن عمیق به دلیل ایجاد ویژگی‌های حسی و ارگانولپتیکی جذاب در محصول از جمله تردی بافت، عطروطعم منحصربه‌فرد، ظاهر مورد پسند و افزایش سرعت و سهولت پخت‌وپز، مورد توجه قرارگرفته است (اصغری‌صحت و همکاران ۱٤۰۳). شکل ٦ میانگین نتایج ارزیابی حسی برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده تیمار نشده و تیمار شده با آب مغناطیسی و میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی باعث بهبود ویژگی‌های حسی محصول سرخ‌شده می‌شود. از نظر امتیاز پذیرش ظاهر، بو، بافت و طعم و همچنین پذیرش کلی، برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده تیمار شده با آب مغناطیسی بالاترین امتیاز را داشتند. البته از نظر آماری، اختلاف معنی‌داری بین امتیاز پذیرش ظاهر، پذیرش بافت، پذیرش طعم و پذیرش کلی دو گروه تیمار شده با آب مغناطیسی و میدان مغناطیسی وجود نداشت ($p>۰/۰۵$). هم‌راستا با نتایج این پژوهش، آنتال و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که استفاده از آب مغناطیسی می‌تواند سبب کاهش زمان خشک شدن میوه‌ها، افزایش کیفیت ازلحاظ رنگ، بافت و طعم نیز شود.

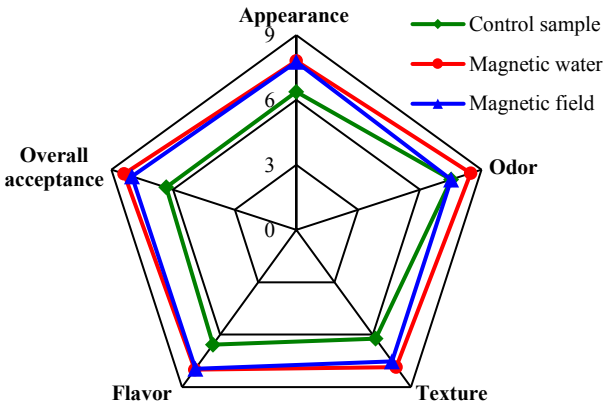


Figure 6. Effect of treatment with magnetized water and magnetic field on organoleptic acceptability of fried potato slices

نتیجه‌گیری

آب مغناطیسی شده به دلیل ساختار شش‌ضلعی خود می‌تواند تأثیرات خوبی بر مواد غذایی داشته باشد. در این پژوهش استفاده از آب مغناطیسی شده و میدان مغناطیسی برای کاهش جذب روغن و بهبود خصوصیات حسی و بافتی سیب‌زمینی سرخ‌شده بررسی شد. در مقایسه با نمونه شاهد، استفاده از آب مغناطیسی‌شده به‌صورت معنی‌داری باعث حفظ آب (درصد رطوبت بالاتر)، کاهش جذب روغن، کاهش سفتی، کاهش تغییرات رنگ و کاهش تغییرات سطح (اندازه بزرگتر) سیب‌زمینی سرخ‌شده گردید ($p<۰/۰۵$). از نظر امتیازهای پذیرش ظاهر، بو، بافت، طعم و مطلوبیت کلی، بالاترین امتیاز مربوط به برش‌های سیب‌زمینی پیش‌تیمار شده با آب مغناطیسی بود، البته در برخی از پارامترها مانند پذیرش ظاهر،

پذیرش بافت، پذیرش طعم و پذیرش کلی اختلاف معنی‌داری با نمونه‌های قرار گرفته در میدان مغناطیسی وجود نداشت ($p>0/05$). در مجموع استفاده از آب مغناطیسی شده قبل از سرخ‌کردن برش‌های سیب‌زمینی توصیه می‌شود. همچنین به‌عنوان پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های بیشتری در خصوص استفاده از آب مغناطیسی شده در فراوری مواد غذایی مختلف انجام گیرد.

تشکر و قدردانی

هزینه‌های انجام این پژوهش از محل پژوهانه به شماره ٤٠٢١٧٤، تأمین شده از سوی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا، پرداخت شده است. لذا نویسندگان از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا به خاطر حمایت مالی و معنوی از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

اصغری‌صحت م، بیگ محمدی ز و جهانبخشیان ن. ۱٤۰۳. تعیین و پیش بینی نقطه دورریز روغن سرخ کردنی صنف و صنعت طی سرخ کردن عمیق. پژوهش های صنایع غذایی، ۳٤(۲): ٦۰-٤٥.

بلیغی ف، اعلمی م و صادقی ع. ۱٤۰۳. تاثیر جایگزینی آرد برنج با آرد ماش خام و جوانه‌زده بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خمیرابه و کیک بدون گلوتن. پژوهش های صنایع غذایی، ۳٤(۳): ۱۳۲-۱۱۷.

رزاقی ا، صداقتی م و بیگ محمدی ز. ۱٤۰۳. بررسی خواص فیزیکی‌شیمیایی و آنتی‌اکسیدانی ماست فراسودمند حاوی عصاره گیاه پنیرک (*Malva sylvestris*). پژوهش های صنایع غذایی، ۳٤(۳): ۱٤-۱.

صالحی ف، رضوی کامران ه و گوهرپور ک. ۱٤۰۳. تأثیر پیش‌تیمار فراصوت بر سرعت خشک شدن جوانه‌های عدس در خشک‌کن‌های هوای داغ و فروسرخ. پژوهش های صنایع غذایی، ۳٤(۲): ٤۳-۳۱.

Antal T, Figiel A, Kerekes B, Sikolya L, Korzeniowska M, 2014. The effect of alkaline water pre-treatment on drying characteristics of apples. Australian Journal of Crop Science 8(7): 1056-1064.

Antal T, Kerekes B, Sikolya L, Szőllősi I, 2012. Effect of pre-treatment on the characteristics of dried apple varieties using alkaline-ionized water. Analele Universitátii Din Oradea, Fascicula Protectia Mediului 19: 231-240.

Asadnahal M, Salehi F, Rasouli M, 2022. The effect of coating with xanthan gum on the colour indexes and surface change of fried eggplant slice. Food Research Journal 32(1): 79-91.

Baik O-D, Mittal GS, 2005. Heat and moisture transfer and shrinkage simulation of deep-fat tofu frying. Food Research International 38(2): 183-191.

Chang K-T, Weng C I, 2006. The effect of an external magnetic field on the structure of liquid water using molecular dynamics simulation. Journal of Applied physics 100 (4): 043917.

Esmaeilnezhad E, Choi HJ, Schaffie M, Gholizadeh M, Ranjbar M, 2017. Characteristics and applications of magnetized water as a green technology. Journal of Cleaner Production 161: 908-921.

Holysz L, Szczes A, Chibowski E, 2007. Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions. Journal of Colloid and Interface Science 316(2): 996-1002.

Hosseini Z, 2006. Common Methods in Food Analysis. Shiraz University Pub.

Ignatov I, Mosin O, 2014. Basic concepts of magnetic water treatment. European journal of molecular biotechnology 4: 72-85.

Kurek M, Ščetar M, Galić K, 2017. Edible coatings minimize fat uptake in deep fat fried products: A review. Food Hydrocolloids 71: 225-235.

Li Y, Li Z, Guo Q, Kong B, Liu Q, Xia X, 2022. Inhibitory effect of chitosan coating on oil absorption in French fries based on starch structure and morphology stability. International Journal of Biological Macromolecules 219: 1297-1307.

Moulaei S, Ahmadi SM, Haghaiegh GH, Niknia S, Farahmandfar R, 2022. The effect of magnetic water on the quality characteristics of frozen dough and its produced bread, The Thesis Submitted for the Degree of M.Sc (in the field of Food industrial engineering, Food Microbiology Trend), Faculty of Agriculture, University of Zabol.

Mousa RMA, 2018. Simultaneous inhibition of acrylamide and oil uptake in deep fat fried potato strips using gum Arabic-based coating incorporated with antioxidants extracted from spices. Food Hydrocolloids 83: 265-274.

Nakagawa J, Hirota N, Kitazawa K, Shoda M, 1999. Magnetic field enhancement of water vaporization. Journal of Applied Physics, 86(5): 2923-2925.

Pang X, Deng B, 2008. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. Science in China Series G: Physics, Mechanics and Astronomy 51(11): 1621-1632.

Pedreschi F, Moyano P, Kaack K, Granby K, 2005. Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. Food Research International 38(1): 1-9.

Salehi F, 2019. Color changes kinetics during deep fat frying of kohlrabi (*Brassica oleracea var. gongylodes*) slice. International Journal of Food Properties 22(1): 511-519.

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 44(11): e14879.

Salehi F, Goharpour K, Razavi Kamran H, 2023. Optimization of sonication time, edible coating concentration, and osmotic solution °Brix for the dehydration process of quince slices using response surface methodology. Food Science & Nutrition 11(7): 3959-3975.

Food Research Journal
Online ISSN: 2676-5691 Print ISSN: 2008-515X
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Effect of moist and dry heating in different particle sizes of wheat flour on the quality characteristics of bread

Mohammad Fazli Rad[1], Jafar Mohammadzadeh Milani [2]✉ and Sepideh Haghighat-Kharazi [3]

[1] M.Sc. of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[2] Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[3] Ph.D. of Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
✉Corresponding author: jmilany@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: January 21, 2024
Accepted: November
November 12, 2024
Published: January 04, 2025

Keywords:
Wheat flour, Particle size, Dry heat, Moist heat

ABSTRACT

Background: Heat treatments and wheat flour particle size can play a role in improving the quality and staleness characteristics of bread. **Aims**: The aim of this study was to investigate the quality characteristics of bread made from wheat flour of different particle sizes and under the influence of dry and wet heat treatment. **Methods**: For this purpose, wheat flour was prepared in different particle sizes (180, 150, and 125 microns) and subjected to dry heat treatment for 10 minutes at 100 °C and wet heat treatment (humidity, 16%) for 5 minutes at 96°C and compared with control samples. **Results**: The results showed that the effect of heat treatments on the uniformity and symmetry index and weight loss was not significant, but the effect of particle size on the volume index was significant. Moist heat treatment and a particle size of 125 microns led to an increase in the specific volume, volume index, oven spring, and the ratio of the bread core to the crust. Differential scanning caloric analysis showed that the bread sample obtained from the moist heat treatment had the lowest retrogradation enthalpy during the storage period and led to improved bread quality and staleness. The highest amount of red color of the bread crust was obtained from the moist heat treatment. The samples from the moist heat treatment had the lowest firmness and chewiness in texture analysis. **Conclusion**: In general, using flour with a particle size of 125 microns and wet heat treatment were the best examples for improving the quality characteristics of bread.

CC BY NC

OPEN ACCESS

Introduction: Wheat is a staple food for most people in the world but it cannot be used without processing. The nutritional importance of wheat flour is due to the presence of gluten proteins that create viscoelastic properties (Sudha et al., 2016). Gluten is the most important factor in volume and texture uniformity, efficiency and water absorption, aroma, and flavor in wheat flour products. One of the most useful components of flour is the collection of gliadin and glutenin proteins, which form gluten after mixing with water. The gluten network is the main determinant of the important characteristics of the dough, including extensibility and resistance to stretching, tolerance to mixing and the ability to hold gas, which encloses starch granules and fibrous parts (Payan, 1393). Weak wheats have less protein and the flour, dough and bread produced from them are not of good quality. To solve this deficiency, chemical modifiers or improvers and physical modification of flour are used (shanmugavel et al., 2019). Physical modification of flour is a safe method without using any kind of chemicals. physical modification of flour includes heat treatment and particle size classification (Rosa zavareze et al., 2011). Particle size distribution is the most widely used technique for classifying solid particles, which is effective in improving rheological properties by affecting the physicochemical properties of flour during hydration, such as water absorption, solvent retention, sedimentation, and adhesion properties (Pang et al., 2021). Heat treatments, depending on the intensity of temperature and process time, by modifying starch granules, denaturing proteins, deactivating enzymes, reducing microbial load, and even modifying flavor and aroma are suggested as a suitable way to improve the quality of bread, especially for weak flour (Chakraborty et al., 2022). Considering that the interaction of particle size with moist and dry heating of wheat flour on the qualitative characteristics of bread has not been studied so far, in this research, by dividing wheat flour with different particle sizes and using moist and dry heat treatment for modification the functional characteristics of wheat flour and the improvement of the qualitative characteristics of bread were investigated.

Material and methods: The content of moisture, pH, ash, protein, and zelny of wheat flour was measured using AACC standard method (2000), and wet and dry gluten with standard numbers (9639-1,3) was measured. To classify the size of the particles, wheat flour was divided by a shaker sieve with different sizes of 180, 150, and 125 microns, then under the influence of dry heat treatment for 10 minutes at 100 degrees Celsius and moist heat treatment with humidity, 16% for 5 minutes at a temperature of 96 degrees Celsius was placed. To produce gluten with bread, the formulation used by Farhen in 2012 was used with a slight change. materials for gluten with bread formulation for 100 grams of wheat flour included 58 ml of water, 2.5 grams of sugar, 1 gram of salt, 1 gram of vegetable oil, and 2 grams of yeast. Bread tests, which include weight loss, specific volume, oven spring, Crumb to crust ratio and shape indexes, were studied to evaluate the quality of bread. Shape indexes include volume index and uniformity index and symmetry index. To check the staleness of bread during the storage period test DSC was used. Finally, the factorial test was used to investigate the effects of particle size and heat treatment of wheat flour, and Duncan's multiple range test was used to compare the means at the 5% probability level.

Results and Discussion: The results showed that the effect of thermal treatments on uniformity and symmetry index and weight loss was not significant ($p>0.05$). The effect of particle size on the uniformity index was not significant ($p>0.05$). Moist heat treatment and particle size of 125 microns led to an increase in specific volume, volume index, oven spring, and ratio of crumb to bread crust ($p<0.05$). Thermal analysis of bread showed that the sample of bread obtained from moist heat treatment during the storage period had the lowest amount of retrogradation enthalpy and led to the improvement of bread quality and staleness ($p<0.05$).

Conclusion: The results of the research showed that the use of moist heat treatment and the particle size of 125 microns improved the quality of bread, so that the moist heat treatment causes the dough to expand by keeping gas and air in the dough and causes the starch gelatinization temperature to increase and the delayed gelatinization to prolong the expansion period and further development of the dough during baking, this caused an increase in the volume and specific volume of the spring bread. The lower retrogradation enthalpy of the moist heat treatment sample led to improved bread quality and staleness. In general, the use of flour with a particle size of 125 microns and moist heat treatment were the best examples for improving the quality of bread.

پژوهش‌های صنایع غذایی
شاپا الکترونیکی: ۵۶۹۱-۲۶۷۶ ، شاپا چاپی ۵۱۵X- ۲۰۰۸
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

تاثیر حرارت دهی مرطوب و خشک در اندازه ذرات مختلف آرد گندم بر ویژگی های کیفی نان حجیم

محمد فضلی راد[۱]، جعفر محمدزاده میلانی[۲]، سپیده حقیقت خرازی[۳]

[۱] دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
[۲] استاد، گروه علوم وصنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
[۳] دانش آموخته مقطع دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
مسئول مکاتبه: jmilany@yahoo.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت:
۱۴۰۲/۱۱/۱
پذیرش:
۱۴۰۳/۸/۲۲
انتشار:
۱۴۰۳/۱۰/۱۵

کلید واژگان:
آرد گندم ، اندازه ذرات، حرارت خشک،حرارت مرطوب

چکیده

زمینه مطالعاتی: تیمارهای حرارتی و اندازه ذرات آرد گندم می توانند در بهبود ویژگی های کیفی و بیاتی نان نقش داشته باشند.

هدف: هدف از این پژوهش بررسی ویژگی های کیفی نان حاصل از آرد گندم در اندازه ذرات مختلف و تحت تاثیر تیمار حرارتی خشک و مرطوب بود.

روش کار: برای این منظور آرد گندم در اندازه ذرات مختلف (۱۸۰، ۱۵۰و ۱۲۵ میکرون) تهیه و تحت تیمار حرارتی خشک به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد و تیمار حرارتی مرطوب (رطوبت، ۱۶ درصد) به مدت ۵ دقیقه در دمای ۹۶ درجه سانتیگراد قرار گرفت و با نمونه های شاهد مقایسه شدند.

نتایج: نتایج نشان داد تاثیر تیمارهای حرارتی بر اندیس یکنواختی و تقارن و افت وزنی معنی دار نبود ولی تاثیر اندازه ذرات بر اندیس حجم معنی دار بود. تیمار حرارتی مرطوب و اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون منجر به افزایش حجم مخصوص، اندیس حجم، آون اسپرینگ و نسبت مغز به پوسته نان شد. آنالیز حرارتی روبشی تفاضلی نشان داد که نمونه نان حاصل از تیمار حرارتی مرطوب در طول مدت زمان نگه داری کمترین میزان آنتالپی رتروگراداسیون را به خود اختصاص داده و منجر به بهبود کیفیت و بیاتی نان شد. بیشترین میزان رنگ قرمزی پوسته نان را تیمار حرارتی مرطوب به خود اختصاص داد. نمونه های تیمار حرارتی مرطوب در آنالیز بافت کمترین سفتی و قابلیت جویدن را به خود اختصاص دادند.

نتیجه‌گیری: بطور کلی استفاده از آرد با اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون و تیمار حرارتی مرطوب با بهبود ویژگی‌های کیفی نان بهترین نمونه بودند.

مقدمه

گندم یک ماده غذایی اصلی برای اکثر مردم جهان است. اما بدون فراوری قابل استفاده نیست. اهمیت غذایی آرد گندم به دلیل خاصیت ویسکوالاستیک (وجود پروتئین های گلوتن) منحصر به فرد آن است (سودها و همکاران ۲۰۱۶). یکی از اجزای بسیار کاربردی آرد، مجموعه پروتئین هایی است (گلیادین و گلوتنین) که پس از مخلوط شدن با آب، گلوتن را تشکیل می دهند. شبکه گلوتن تعیین کننده اصلی ویژگیهای مهم خمیر (گسترش پذیری و مقاومت به کشش و تحمل به اختلاط و قابلیت نگهداشت گاز) است که گرانول های نشاسته و قطعات فیبری را محصور می کند. گلوتن مهمترین عامل در یکنواختی حجم و بافت، بازدهی و جذب آب و طعم و مزه در فراورده های آرد گندم است (پایان ۱۳۹۳). گندم های ضعیف مقدار پروتئین کمتری دارند و دارای کیفیت پایین (ضعیف بودن گلوتن) می باشند و آرد و خمیر و نان حاصل از آنها کیفیت مناسبی ندارد. برای رفع این نقصان از مواد اصلاح کننده یا بهبود دهنده شیمیایی و اصلاح فیزیکی آرد استفاده می شود (شانموگاول و همکاران ۲۰۱۹).

مزیت اصلی اصلاح فیزیکی نسبت به سایر روش ها این می‌باشد که یک روش ایمن و بدون استفاده از هر گونه مواد شیمیایی و غیره است. اصلاح فیزیکی آرد شامل عملیات حرارتی و طبقه بندی اندازه ذرات می باشد. عملیات حرارتی به عنوان روشی مناسب برای بهبود ویژگی های کیفی نان به ویژه در آرد ضعیف و نامرغوب پیشنهاد شده است (روسا زوارز و دیاس۲۰۱۱). اندازه ذرات می تواند به طور قابل توجهی عملکرد و کیفیت فناوری نان را تغییر دهد و با تاثیر بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آرد در هیدراتاسیون مانند جذب آب، احتباس حلال، ته نشینی، و خواص چسبندگی در بهبود خواص رئولوژیکی موثر باشد
(پانگ و همکاران ۲۰۲۱). تیمارهای حرارتی، بسته به شدت دما و زمان فرایند با اصلاح گرانول های نشاسته، دناتوراسیون پروتئین ها، غیرفعال کردن آنزیم ها، کاهش بار میکروبی و حتی اصلاح طعم و عطر روشی مناسب برای تغییر عملکرد آرد ضعیف پیشنهاد شده است (چاکرابورتی و همکاران ۲۰۲۲).

ناکامورا و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی اثر تیمار حرارتی خشک آرد گندم نرم در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد و مدت زمان ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه در افزایش حجم کیک اسفنجی ژاپنی متوجه شدند حجم کیک با مدت زمان گرمایش خشک افزایش یافته است. گلیناس و همکاران (۲۰۰۱) حرارت دهی مرطوب آردهای گندم ضعیف را در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه انجام دادند و دریافتند که این تیمار تاثیر مثبت بر حجم نان دارد. همچنین حالت ارتجاعی و ریز بودن مغز نان بعد از حرارت دهی آرد بهبود یافت. این محققین اظهار داشتند که حرارت دهی می تواند کیفیت آردهای ضعیف را برای تهیه نان بالا ببرد. لین و همکاران (۲۰۲۰) اثر اندازه ذرات آرد گندم کامل را بر خواص خمیر و ویژگی های کیفی نان و قابلیت هضم نشاسته بررسی کردند. اندازه ذرات شامل ذرات درشت و متوسط و ریز بود. خمیر ساخته شده با اندازه ذرات درشت انعطاف پذیری و پایداری کمتری از خود نشان داد و نان حاصله ساختار فشرده تر و حجم ویژه کمتر و بافت سفت تری داشت که به عنوان ویژگی های با کیفیت پایین در نظر گرفته شد. مشخص شد اندازه ذرات نقش مهمی در تعیین کیفیت و قابلیت هضم نان دارد.

با توجه به اینکه تاکنون تاثیر اندازه ذرات با حرارت دهی مرطوب و خشک آرد گندم بر ویژگی های کیفی نان مورد مطالعه قرار نگرفته است در این پژوهش با تقسیم بندی آرد گندم با اندازه ذرات مختلف (۱۸۰، ۱۵۰، ۱۲۵ میکرون) و استفاده از تیمار حرارتی (مرطوب و خشک) جهت اصلاح ویژگی های عملکردی آرد گندم و بهبود ویژگی‌های کیفی نان مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد

مواد مورد استفاده جهت تهیه نان شامل آرد ستاره گندم (کارخانه خانی در شهرستان ساری)، روغن مایع گیاهی آفتابگردان (از شرکت لادن، ایران)، مخمر نانوایی فوری (از شرکت رضوی، ایران) شکر، و نمک (از شرکت گلها، ایران) بود.

روش جدا سازی اندازه ذرات

جهت تعیین اندازه ذرات مقدار ۱۰۰ گرم آرد گندم برروی الک هایی با مش ۸۰، ۱۰۰و۱۲۰ که به ترتیب از بزرگ به کوچک روی شیکر الک قرار گرفته بود ریخته شد، بعد از ۱۰ دقیقه لرزش آرد حاصل به ۳ قسمت به ترتیب با اندازه ذرات ۱۸۰، ۱۵۰، ۱۲۵ میکرون تقسیم شد.

تعیین ترکیبات شیمیایی آرد گندم

آنالیز تقریبی آرد شامل رطوبت، pH، خاکستر، عددزلنی، پروتئین آرد گندم با استفاده از روش استاندارد (۲۰۰۰) AACC و گلوتن مرطوب و خشک (به شماره استاندارد ملی ۹۶۳۹-۱،۳) تعیین شد. میزان پروتئین ۱۱/٤٪، خاکستر ۰/۵۲ .٪، رطوبت ۱۱/٤٪، pH ٦/۲ ، گلوتن مرطوب ۲۸/۷٪ عدد زلنی ۲۳ cc بر مبنای وزن مرطوب و گلوتن خشگ ۹/٤ ٪ بر مبنای وزن خشک تعیین گردید.

عملیات حرارتی خشک و مرطوب آرد گندم

در این روش مقدار ۱۰۰ گرم آرد گندم الک شده در فلاسک حجمی شیشه ای (۵۰۰ میلی لیتر) ریخته شد و حرارت خشک به روش بوکسلا و همکاران (۲۰۱٦) به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد در آون (Memmert، مدل UFLLO، آلمان) گرم شدند. حرارت مرطوب نیز به روش بوکسلا و همکاران (۲۰۱٦) با رطوبت ۱٦ درصد که مقدار آب مورد نیاز برای تنظیم میزان رطوبت نمونه ها از اختلاف بین رطوبت نمونه و محتوای رطوبت مورد نظر محاسبه و اضافه شد، بعد عمل مخلوط شدن صورت گرفت و نمونه ها به مدت ۲٤ ساعت دردمای اتاق نگهداری شدند و سپس نمونه ها به مدت ۵ دقیقه در دمای ۹٦ درجه سانتیگراد در آون (Memmert، مدل UFLLO، آلمان) با رطوبت حاصل از بخار آب جوش گرم شدند.

فرمولا سیون نان حجیم

نان های حجیم پخته شده در این پژوهش با استفاده از روش فارهن و همکاران (۲۰۱۲) با کمی تغییر تهیه شدند. مواد لازم جهت خمیر نان شامل ۱۰۰ گرم آرد گندم، ۱ گرم نمک، ۲ گرم مخمر، ۲/۵ گرم شکر، ۱ گرم روغن گیاهی و ۵۸ میلی لیتر آب بود. خمیر حاصل جهت عمل تخمیر به مدت ٦۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد در آون قرار داده شد. عمل پخت در فر (مدل deo-il، صنایع پخت مشهد،ایران) در دمای ۱٦۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. نمونه ها پس از پخت، تا دمای محیط خنک و در کیسه های پلی اتیلن جهت انجام آزمایشات نگهداری شدند. در نامگذاری تیمارها، C= نان شاهد، DHT= نان نمونه تیمار حرارتی خشک، MHT= نان نمونه تیمار حرارتی مرطوب و اعداد نشان دهنده اندازه ذرات هستند.

شاخص های شکل نان

جهت محاسبه سه شاخص حجم، تقارن، یکنواختی از روش استاندارد AACC 010-90 استفاده می شود (AACC 2000). در این روش، نمونه به صورت عمودی از مرکز برش داده می شود و ارتفاع نمونه در سه نقطه مختلف (B,C,D) در ناحیه ای که برش داده شد اندازه گیری می شود. شاخص های حجم، تقارن و یکنواختی از روابط زیر محاسبه می گردند.

B+C+D =شاخص حجم

B-D =شاخص یکنواختی

2C-B-D =شاخص تقارن

C= ارتفاع نمونه در نقطه مرکزی

B وD= نقاطی به فاصله ۲/۵ سانتی متر دور از نقطه مرکز در دو سمت چپ و راست

نسبت مغز به پوسته نان

این نسبت بصورت نسبت وزنی، درصد وزنی بیان می‌شود. برای تعیین این نسبت نان کامل در نظر گرفته شد. پوسته براساس رنگ و با بکار بردن یک چاقو از نان جدا شد. قسمت های مغز و پوسته وزن می شود تا نسبت مغز به پوسته بدست آید. نسبت مغز به پوسته بر مبنای وزن خشک بیان می گردد (باقرزاده و همکاران ۱۳۹۷).

افت وزنی نان

با وزن کردن نان پس از ۲٤ ساعت پخت و با استفاده از رابطه زیر تعیین می شود (شیتو و همکاران ۲۰۰۸).

$$\text{درصد افت وزنی} = \frac{\text{وزن نان} - \text{وزن خمیر}}{\text{وزن خمیر}} \times 100$$

حجم مخصوص نان

حجم مخصوص نان (cm^3/g) با تقسیم کردن حجم نمونه به وزن آن تعیین شد. حجم نمونه با روش جابجایی دانه کلزا و وزن نمونه با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم دیجیتال اندازه گیری شد (AACC 2000).

آون اسپرینگ

آون اسپرینگ از اختلاف ارتفاع خمیرتخمیر شده و نان بلافاصله پس‌از پخت محاسبه شد (شیتو و همکاران ۲۰۰۸).

آنالیز حرارتی نان

آنالیز حرارتی نان ها (DSC) توسط دستگاه مدل SANAF-S500 ساخت ایران در فاصل زمانی روز اول، سوم و پنجم پس از پخت انجام گرفت. طبق این آزمون نمونه ۱۵ میلی گرم از مغز نان جدا در پن دستگاه قرار

گرفت. اسکن گرمایی با سرعت حرارت دهی ۱۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه و با برنامه دمایی ۲۵-۱۵۰ درجه سانتی گراد انجام گرفت (جی و همکاران ۲۰۰۷).

آزمون رنگ سنجی نان

جهت ارزیابی رنگ پوسته نان، یک ساعت پس از پخت با دوربین (مدل A510، ساخت مالزی) دیجیتال ۱۶ مگاپیکسل عکسبرداری انجام شد. تصاویر اسکن شده توسط نرم افزار Image J مورد پردازش قرار گرفت. اندیس L که نمایانگر میزان روشنایی نمونه می‌باشد. اندیس a که میزان قرمزی و سبزی رنگ نمونه می باشد. اندیس b که نشان دهنده میزان زردی و آبی بودن رنگ نمونه می‌باشد بررسی شد (سون، ۲۰۰۸).

ارزیابی بافت نان

ارزیابی بافت نان ها به روش TPA در روز اول و سوم پخت بوسیله دستگاه بافت سنج (Brookfield, USA) انجام شد. جهت انجام این آزمون نمونه با ابعاد 25×25×25 میلی متری از قسمت مرکزی نان برش داده شد، سپس پروب ۳۸/۱ میلی متری با سرعت ۱ میلیمتر بر ثانیه تا ۴۰ درصد ارتفاع اولیه نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت. فاکتور های مورد ارزیابی شامل سفتی، ارتجاعیت، بهم پیوستگی، فنریت و قابلیت جویدن توسط نرم افزار Texture Pro CTV 1.6 Build 26 محاسبه شد (لازاریدو و همکاران، ۲۰۰۷).

تجزیه و تحلیل آماری

جهت بررسی اثرات اندازه ذرات و تیمار حرارتی آرد گندم نتایج کلیه آزمایشات با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی و با سه تکرار آنالیز شد. مقایسه میانگین ها باآزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم افزار SPSS ورژن ۲۶ مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

حجم مخصوص نان

نتایج مربوط به حجم مخصوص نان ها در جدول ۱ آورده شده است. طبق نتایج به دست آمده میزان حجم مخصوص نمونه های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه های تیمار حرارتی خشک و شاهد بیشتر بوده است. در بین تیمارها نمونه های شاهد نسبت به نمونه های تیمار حرارتی مرطوب اختلاف معنی دار آماری داشتند ($p<۰/۰۵$). نمونه های شاهد نسبت به نمونه های تیمار حرارتی خشک اختلاف معنی دار آماری نداشت ($p>۰/۰۵$). نمونه های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه های تیمار حرارتی خشک به جزء در اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون اختلاف معنی دار آماری داشتند. تاثیر اندازه ذرات در شاهد نسبت به تیمار حرارتی خشک و مرطوب بر حجم مخصوص اختلاف معنی دار آماری را نشان داد ($p<۰/۰۵$)، به طوری که کمترین میزان حجم مخصوص مربوط به نمونه شاهد با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون می باشد، که علت آن به این دلیل است که ذرات درشت پروتئین کمتری دارند و آب کمتری را جذب می کنند و پایداری کمتری دارند در نتیجه حجم مخصوص محصول کاهش می یابد. لین و همکاران (۲۰۲۰) اثر اندازه ذرات آرد گندم کامل را بر خواص خمیر و کیفیت نان و قابلیت هضم نشاسته بررسی کردند. اندازه ذرات شامل ذرات درشت و متوسط و ریز بود. خمیر ساخته شده با اندازه ذرات درشت

انعطاف پذیری و پایداری کمتری از خود نشان داد و نان حاصله ساختار فشرده تر و حجم مخصوص کمتری داشت. بیشترین میزان حجم مخصوص مربوط به نمونه تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون می باشد. هاشمی و همکاران (۲۰۲۳) اثر فرایند حرارت خشک و مرطوب را در اندازه ذرات مختلف آرد برنج بر ویژگی کیفی نان بررسی کردند. آنها گزارش کردند حجم مخصوص نان های نمونه تیمار حرارتی مرطوب تفاوت معنی داری نسبت به نمونه های تیمار حرارت خشک و نمونه شاهد داشتند. فتحی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که آرد های ارزن تیمار شده حرارتی رطوبتی با رطوبت ۲۰ درصد در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد و با رطوبت ۳۰ درصد در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد در تهیه کیک استفاده شد و حجم مخصوص کیک افزایش یافت. این افزایش حجم مخصوص می تواند به دلیل افزایش ویسکوزیته و ورود و نگه داشت هوا در خمیر و انبساط خمیر باشد. مارستون و همکاران (۲۰۱۶) تاثیر تیمار حرارتی مرطوب بر پتانسیل پخت آرد سورگوم را برای نان و کیک بررسی کردند. گزارش کردند که حجم مخصوص با افزایش دما و زمان فرایند تیمار حرارتی مرطوب افزایش پیدا کرد.

Table 1- Specific volume of bread samples in different treatments

Treatment / Particle size	80	100	120
C	**0**.01^{Bb}±3/26	0.1^{Bb}±3/45	**0**.05^{Ab}± 3/71
DHT	0.21^{Aab}± 3/65	0.04^{Ab}± 3/49	0.05^{Ab}± 3/62
HMT	0.08^{Aa}±3/83	0.01^{Aa}± 3/86	0.1^{Aa}±3/95

Different uppercase letters in each row and different lowercase letters in each column indicate statistically significant differences ($p<0.05$).

نسبت مغز به پوسته نان

نتایج مربوط به اندازه گیری نسبت مغز به پوسته نان ها در جدول ۲ آورده شده است. طبق نتایج به دست آمده نمونه های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه های شاهد بر نسبت مغز به پوسته اختلاف معنی دار آماری نداشتند (p>۰/۰۵)، نمونه های تیمار حرارتی خشک نسبت به نمونه های تیمار حرارتی مرطوب و شاهد به جزء در اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون اختلاف معنی دار آماری نداشتند. تاثیر اندازه ذرات در تیمار حرارتی خشک نسبت به تیمار حرارتی مرطوب و شاهد اختلاف معنی دار آماری را نشان داد (p<۰/۰۵)، به طوری که بیشترین میزان نسبت مغز به پوسته مربوط به نمونه تیمار حرارتی خشک با اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون بود. تشکیل پوسته و نسبت پوسته به مغز نان تحت تاثیر شرایط و زمان پخت قرار دارد و یک عامل مهم در کیفیت پخت نان محسوب می‌شود. نسبت پوسته به مغز نان معیاری از مقدار قندهای احیا کننده در آرد می‌باشد به طوری که هر چه مقدار قند های احیا کننده آرد بیشتر باشد سبب افزایش واکنش قهوه ای شدن غیر آنزیمی (میلارد) در پخت می‌شود و در نتیجه نسبت پوسته به مغز افزایش می‌یابد (باقرزاده و همکاران۱۳۹۷). احتمالا تیمار حرارتی خشک سبب کاهش رطوبت و مقدار رطوبت کمتر منجر به ایجاد پوسته با ضخامت کمتر می‌شود و سبب افزایش نسبت مغز به پوسته می‌گردد.

Table 2- Crumb to crust ratio of bread samples in different treatments

Treatment / Particle size	80	100	120
C	0.12^{Aa}± 1/02	0.05^{Aa}± 1/02	0.03^{Ab}±0/9
DHT	0.01^{Ba}±0/86	0.06^{Ba}±0/92	0.03^{Aa}±1/07
HMT	0.04^{Aa}±0/92	0.09^{Aa}±0/97	0.07^{Ab}±0/9

Different uppercase letters in each row and different lowercase letters in each column indicate statistically significant differences ($p<0.05$).

افت وزنی نان

نتایج درصد افت وزنی نان ها در جدول ۳ آورده شده است. طبق نتایج به دست آمده تیمارهای حرارتی خشک و مرطوب و شاهد بر افت وزنی نان ها اختلاف معنی دار آماری نداشتند ($p>۰/۰۵$). تاثیر اندازه ذرات در شاهد نسبت به تیمار حرارتی خشک و مرطوب بر افت وزنی اختلاف معنی دار آماری را نشان داد ($p<۰/۰۵$)، به طوری که کمترین میزان افت وزنی در بین نمونه های شاهد مربوط به نمونه شاهد با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون می باشد. که علت آن می تواند احتمالا به دلیل بالا بودن رطوبت اولیه آن و حفظ رطوبت پس از فرایند پخت باشد. گسوامی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که ظرفیت اتصال آب بالاتر آرد گندم موجب می شود که رطوبت کمی در طول پخت تبخیر شود و بنابراین افت وزنی کمتری وجود داشته باشد. خمیر نان جهت رسیدن به قوام مناسب نیاز به هیدراتاسیون دارد و حفظ رطوبت بیشتر در نان ها پس از فرایند پخت با کاهش سفتی منجر به کاهش کمتر افت وزنی و بهبود کیفی نان می گردد.

Table 3- Weight loss of bread samples in different treatments

Treatment / Particle size	80	100	120
C	0.14^{Ba}±21/10	0.57^{Aa}±23/60	0.52^{Aa}±22/92
DHT	1.56^{Aa}±21/45	0.04^{Aa}±22/97	1.62^{Aa}±21/08
HMT	3.23^{Aa}±23/51	1.48^{Aa}±22/25	1.00^{Aa}±23/37

حروف بزرگ متفاوت در هر ردیف و حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار آماری (**$p<0.05$**) می باشد.

Different uppercase letters in each row and different lowercase letters in each column indicate statistically significant differences ($p<0.05$).

آون اسپرینگ

آون اسپرینگ به افزایش حجم نان طی پخت می گویند. نتایج آون اسپرینگ نان ها در جدول ٤ آورده شده است. طبق نتایج به دست آمده تیمارها و اندازه ذرات مختلف بر آون اسپرینگ اختلاف معنی دار آماری داشتند ($p<۰/۰۵$). نمونه های شاهد آون اسپرینگ بالاتری را نسبت به نمونه های تیمار حرارتی خشک نشان دادند و اختلاف معنی دار آماری داشتند. تیمار حرارتی مرطوب نسبت به تیمار حرارتی خشک اختلاف معنی دار آماری دارد ($p<۰/۰۵$). تیمار حرارتی مرطوب نسبت به تیمار حرارتی خشک و شاهد از آون اسپرینگ بیشتری برخوردار بود، به طوری که بیشترین میزان آون اسپرینگ مربوط به نمونه تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون بود. ساغر و همکاران (۲۰۱۳) تاثیر اندازه ذرات آرد بر ویژگی های حسی، ریز ساختاری و رئولوژیکی و فیزیکی نان و نان پاروتای جنوب هند را بررسی کردند. آرد گندم با اندازه ذرات ریز (۱۱۸–۷۵ میکرومتر) و درشت (۱۸۰–۱۵۰ میکرومتر) برای مشخصات شیمیایی و رئولوژیکی و ساختار نان پاروتا تجزیه و تحلیل شد. از نظر کیفیت پخت نان، آرد ذرات ریز نسبت به آرد ذرات درشت جذب آب بالاتری داشت و خمیرشان دارای قوام زیادی بود که در نتیجه موجب نگه داری گاز در خمیر شد و باعث افزایش آون اسپرینگ نان طی پخت شد. گومز و مارتینز (۲۰۱٦) گزارش کردند که فرآیند حرارتی مرطوب بر آرد غلات و نشاسته، سبب افزایش دمای ژلاتینه شدن نشاسته، ظرفیت اتصال آب و حساسیت گرانول نشاسته به هیدرولیز آنزیمی می‌شود که ژلاتینه شدن تأخیری ممکن است سبب افزایش آون اسپرینگ نان ها طی پخت و بهبود ویژگی بافتی و کیفی آنها شود.

Table 4- Oven spring of bread samples in different treatments

Treatment / Particle size	80	100	120
C	0.01^{Cb}±0/21	0.01^{Bab}± 0/31	0.02^{Aa}± 0/42
DHT	0^{Bc}±0/10	0.04^{ABb}±0/18	0.07^{Ab}± 0/25
HMT	0^{Ba}±0/30	0.07^{ABa}±0/35	0.01^{Aa}±0/46

حروف بزرگ متفاوت در هر ردیف و حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار آماری ($p<0.05$) می باشد.

Different uppercase letters in each row and different lowercase letters in each column indicate statistically significant differences ($p<0.05$).

اندیس های شکل نان

نتایج اندازه گیری اندیس های حجم و یکنواختی و تقارن نان ها به ترتیب در جدول ۵ و ٦ و ۷ آورده شده است. طبق نتایج به دست آمده تیمارها بر اندیس حجم اختلاف معنی دار آماری داشتند ($p<۰/۰۵$). تیمار حرارتی خشک نسبت به شاهد اختلاف معنی دار آماری ندارد ولی نسبت به تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون اختلاف معنی دار آماری دارد. تاثیر اندازه ذرات در تیمار حرارتی مرطوب و شاهد نسبت به تیمار حرارتی خشک اختلاف معنی دار آماری را نشان داد ($p<۰/۰۵$). تیمار حرارتی مرطوب نسبت به شاهد بر اندیس حجم اختلاف معنی دار آماری دارد. میزان اندیس حجم نمونه های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه های تیمار حرارتی خشک و شاهد بیشتر بوده است، و بیشترین میزان اندیس حجم مربوط به نمونه تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون بوده است، که علت بیشترین میزان حجم این است که هر قدر آرد دارای ذرات ریزتری باشد جذب آب بالاتری خواهد داشت و خمیرشان دارای قوام زیادی است که در نتیجه موجب نگه داری گاز در خمیر می شود که این عامل خود باعث افزایش حجم نان می شود. گلیناس و همکاران (۲۰۰۱) حرارت دهی مرطوب آردهای گندم ضعیف را در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه انجام دادند و دریافتند که این تیمار تاثیر مثبت بر حجم نان دارد. همچنین این محققین اظهار داشتند که حرارت دهی مرطوب می تواند کیفیت آردهای ضعیف را برای تهیه نان بالا ببرد. ناکاگاوا و همکاران (۲۰۱٦) بیان کردند تاثیر تیمار

حرارتی مرطوب بر آرد برنج احتمالا باعث ژلاتینه شدن جزئی مولکول نشاسته و ایجاد قوام مناسب می شود که موجب حفظ گاز تولید شده در طول تخمیر شده و از ادغام و از بین رفتن آن در حین تخمیر و پخت جلوگیری می کند و منجر به افزایش حجم نان می شود. اندیس یکنواختی شاخصی جهت اندازه گیری تقارن نان می‌باشد. گزارش شده که کمتر بودن شاخص یکنواختی به معنای اختلاف کمتر میان دو سمت نمونه نان و بهتر بودن کیفیت نان می باشد (باقرزاده و همکاران۱۳۹۷). طبق نتایج به دست آمده اندازه ذرات مختلف بر اندیس یکنواختی نمونه ها اختلاف معنی دار آماری نداشتند. همچنین تیمار حرارتی خشک و تیمار حرارتی مرطوب و شاهد بر اندیس یکنواختی نمونه ها اختلاف معنی دار آماری نداشتند ($p>۰/۰۵$). طبق نتایج به دست آمده تیمار حرارت خشک و مرطوب و شاهد بر اندیس تقارن اختلاف معنی دار آماری نداشتند ($p>۰/۰۵$). تاثیر اندازه ذرات در تیمار حرارت خشک نسبت به تیمار حرارت مرطوب و شاهد اختلاف معنی دار آماری را بر اندیس تقارن نشان داد ($p<۰/۰۵$). تیمار حرارتی مرطوب نسبت به تیمار حرارتی خشک و شاهد کمترین میزان تقارن را به خود اختصاص داد. بیشترین میزان تقارن مربوط به نمونه تیمار حرارتی خشک با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون می باشد. تقارن بیشتر به دلیل افزایش پایداری خمیر که بهتر می تواند حباب هوا را در خود نگه داشته، و توزیع یکنواخت و منظم حباب های هوا که به عنوان هسته های اولیه جهت توزیع گاز می باشند باعث‌تقارن‌بیشتری می‌شوند(پیغمبردوست‌و- همکاران ۱۳۹٤).

Table 5- Volume index of bread samples in different treatments

Treatment / Particle size	80	100	120
C	0.10^{Bb}±14/50	0.14^{ABb}±14/80	0.07^{Aa}±14/95
DHT	0.14^{Aab}±14/60	0.21^{Aab}±14/65	0.07^{Ab}±14/75
HMT	0.10^{Ba}±15/00	0^{Aa}±15/30	0.28^{Aa}±15/60

Different uppercase letters in each row and different lowercase letters in each column indicate tatistically significant differences ($p<0.05$).

Table 6- Uniformity index of bread samples in different treatments

Treatment / Particle size	80	100	120
C	0.07^{Aa}±0/15	0.21^{Aa}±0/25	0.14^{Aa}±0/20
DHT	0.14^{Aa}±0/20	0^{Aa}±0/10	0.07^{Aa}±0/15
HMT	0^{Aa}±0/10	0^{Aa}±0/10	0^{Aa}±0/10

Different uppercase letters in each row and different lowercase letters in each column indicate statistically significant differences ($p<0.05$).

Table 7- Symmetry index of bread samples in different treatments

Treatment / Particle size	80	100	120
C	0.21^{Aa}±0/45	0.21^{Aa}±0/45	0.28^{Aa}±0/50
DHT	0^{Aa}±0/70	0^{Ba}±0/30	0.21^{ABa}±0/45
HMT	**0**.14^{Aa}±0/40	0^{Aa}±0/30	0.14^{Aa}±0/40

Different uppercase letters in each row and different lowercase letters in each column indicate statistically significant differences ($p<0.05$).

آنالیز حرارتی روبشی تفاضلی

نتایج حاصل ازآزمون کالریمتری روبشی تفاضلی برای تیمارهای مختلف طی روزهای اول، سوم و پنجم نگهداری در جدول ۸ آورده شده است. آنتالپی رتروگراداسیون همه نمونه های نان در طی روزهای مختلف نگهداری روندی افزایشی داشت. بطورکلی در طول مدت زمان نگهداری همه نمونه های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه های تیمار حرارتی خشک و نمونه های شاهد از آنتالپی کمتری برخوردار بودند. تمام نمونه های حاصل از تیمار حرارتی خشک در روز اول و سوم و پنجم نگهداری میزان آنتالپی بیشتری را نسبت به نمونه های شاهد نشان دادند. تغییر در اندازه ذرات منجر به تغییر در میزان آنتالپی نمونه ها شد، بطوریکه نمونه با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون کمترین مقدار آنتالپی را در تمام روزهای نگهداری به خود اختصاص داد. نمونه تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون کمترین میزان آنتالپی را در بین نمونه ها در روز اول پخت و در طول مدت زمان نگهداری به خود اختصاص داد که در بهبود روند بیاتی نان موثرتر بود و علت آن ممکن است به دلیل ژلاتینه شدن جزئی مولکول های آمیلوپکتین باشد که در طول حرارت دادن پایداری کمتر دارند. هورمدوگ و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند کمتر بودن میزان آنتالپی نمونه های تیمار حرارتی مرطوب به دلیل تخریب و اختلال در زنجیره های نشاسته و تشکیل سایر مولکول های کوچک ممکن است ارتباط زنجیره نشاسته را مهار کرده و مانع رتروگراداسیون و در نتیجه کاهش آنتالپی و بیاتی نان شود.

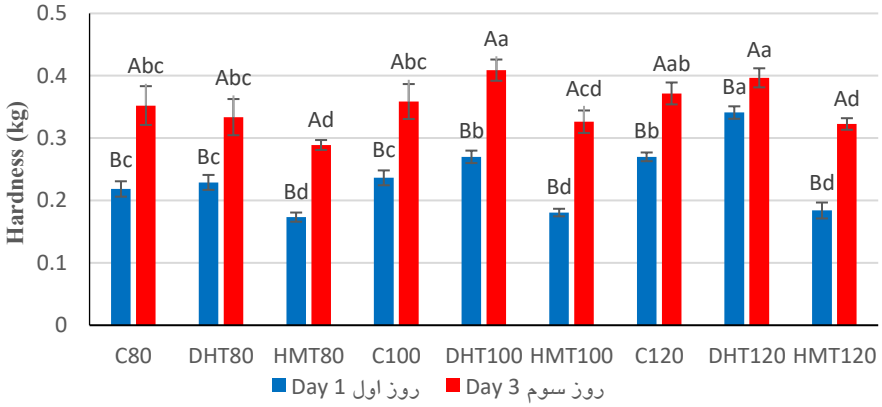
Table 8- Endotherm parameters of retrogradation of breads on the first, third and fifth days of storage

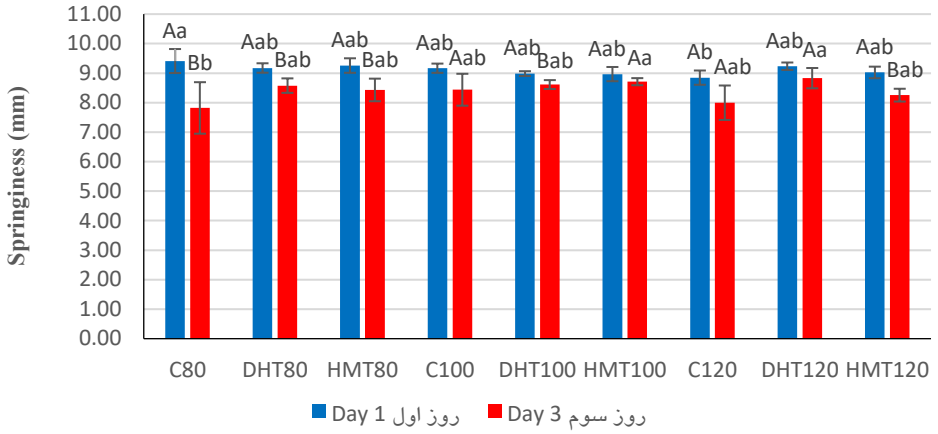
Breads	Storage time (days)	starting temperature	peak temperature	Final temperature	Enthalpy ΔH
C 80	1	20.1	78.3	111.2	212.82
	3	21	85.5	125.8	271.38
	5	21.4	77.3	126.9	311.64
DHT 80	1	23.3	81.5	119.5	236.52
	3	21.3	83.1	126.6	279
	5	22	77.2	125.9	341.1
HMT 80	1	22	81.9	120.1	198.66
	3	22.4	88	129.8	252.12
	5	21.6	80.9	125.1	304.5
C 100	1	20	82	117.9	216.18
	3	20.2	82.3	127.3	278.04
	5	22.8	78.9	125.2	322.86
DHT 100	1	22.1	82.3	122.8	252.06
	3	20.9	74.4	117.4	288
	5	21.7	76.3	123.7	343.2
HMT 100	1	23.3	84.9	121.8	200.7
	3	21.3	75.1	123.9	258.24
	5	21.2	74.3	128.1	307.26
C 120	1	25.4	82.8	123.1	222.72
	3	20.4	82.6	129.3	278.16
	5	21.2	70.7	125.7	326.4
DHT 120	1	25	82.7	120.5	252.18
	3	23.5	82.5	128.8	295.38
	5	20.7	73.4	124.5	395.52
HMT 120	1	23.5	79.3	118.7	202.2
	3	22.7	72.8	124.2	262.92
	5	21	71	136.7	309.24

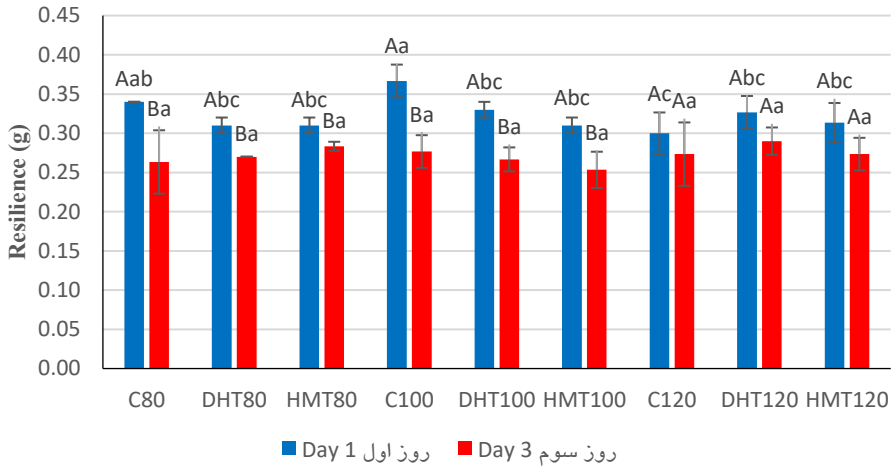
آنالیز پروفایل بافت

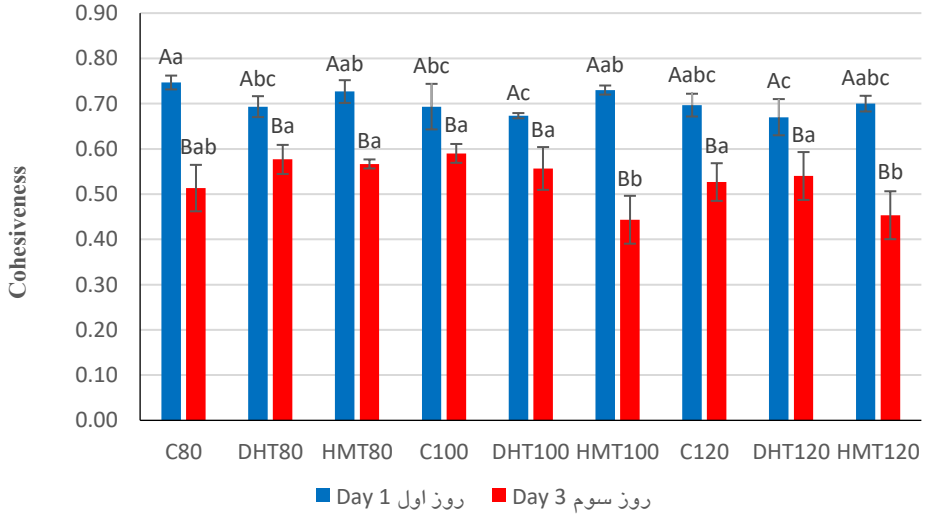
در شکل ۱ نتایج حاصل از آنالیز پروفایل بافت نمونه های مختلف در روز اول و سوم پس از پخت که شامل پارامترهای سفتی، فنریت، ارتجاعیت، بهم پیوستگی و قابلیت جویدن است آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد در روز اول تاثیر تیمارها بر فنریت معنی دار نبود و تاثیر اندازه ذرات معنی دار بود، به طوری که نمونه های تیمار حرارتی خشک و مرطوب نسبت به شاهد در اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون روند کاهشی داشتند و در اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون روند افزایشی داشتند. در روز سوم تاثیر تیمارهای حرارتی (خشک و مرطوب) و اندازه ذرات بر فنریت معنی دار نبود. در روز اول تاثیر تیمارها و اندازه ذرات بر ارتجاعیت معنی دار بود، به طوری که نمونه های تیمار حرارتی خشک و مرطوب نسبت به شاهد در اندازه ذرات ۱۸۰ و ۱۲۵ میکرون روند کاهشی داشتند و در اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون روند افزایشی داشتند. در روز سوم تاثیر تیمارها و اندازه ذرات بر ارتجاعیت معنی دار نبود ($p>۰/۰۵$)، چون در روز سوم با گذشت زمان و ماندگاری نان ها رطوبت نان ها کمتر و کاهش یافت و در نتیجه ارتجاعیت کمتر و معنی دار نبود. در روز اول و سوم تاثیر تیمارها و اندازه ذرات بر بهم پیوستگی و سفتی و قابلیت جویدن معنی دار بود

و تیمار حرارتی مرطوب نسبت به تیمار حرارتی خشک و شاهد اختلاف معنی دار آماری داشت($p<۰/۰۵$)،بطوریکه نمونه های تیمارحرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد و تیمار حرارتی خشک کمترین پیوستگی،سفتی و قابلیت جویدن را داشت. تاثیر زمان نگهداری بر پیوستگی،سفتی و قابلیت جویدن نان برای تمام نمونه ها معنی دار بود و با افزایش زمان نگهداری، پیوستگی نمونه ها کاهش و سفتی و قابلیت جویدن نمونه ها بطور معنی داری افزایش یافت ($p<۰/۰۵$). بیلیادریس و همکاران (۱۹۹۵)گزارش کردند سفت شدن مغز نان یکی از پارامترهای مهمی است که به طور کلی برای ارزیابی نرخ بیاتی استفاده می‌شود. به طوری که سفت شدن مغز نان در طی دوره نگهداری می تواند در نتیجه پدیده واپسگرایی و کاهش رطوبت باشد. در این پژوهش کمترین میزان سفتی و قابلیت جویدن در تیمار حرارتی مرطوب مشاهده شد، که این نتایج با پژوهش هاشمی و همکاران (۲۰۲۳) مشابهت داشت که اثر فرایند حرارت خشک و مرطوب را در اندازه ذرات مختلف آرد برنج بر کیفیت نان بررسی کردند. آنها گزارش کردند نمونه های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد وتیمار حرارت-خشک بطور معنی داری کمترین سفتی و قابلیت جویدن را دارا بودند، و احتمالا ویسکوزیته مناسب خمیر نمونه های تیمار حرارتی مرطوب با قابلیت بالا آمدن بهتر و نگهداری گاز حاصل از تخمیر ضمن افزایش حجم موجب نرم تر شدن نان حاصل شد. کاهش قابلیت‌جویدن نمونه تیمار حرارتی مرطوب (HMT 80) احتمالا می تواند به دلیل تاثیر این تیمار بر کاهش سفتی ورطوبت بیشتر نان های حاصل باشد. کیم و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند کیک حاصل از آرد برنج تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهدبهم پیوستگی، قابلیت جویدن و سفتی کمتری را نشان داد. مقادیر سفتی کمتر برای نمونه های تیمار حرارتی مرطوب می تواند به بازآرایی ساختاری نشاسته آرد در طول تیمار حرارتی مرطوب همراه باشد.زنجیره های نشاسته تخریب شده و سایر مولکولهای کوچک ایجاد شده در طول فرآیند حرارتی مرطوب ممکن است ارتباط زنجیره نشاسته را مهار کرده و مانع رترو گراد اسیون شود در نتیجه سفتی را کاهش دهند. بورکواو همکاران (۲۰۱۶) در بررسی که بر تاثیر تیمار هیدروترمال ذرت و برنج در کیفیت نان انجام دادند گزارش کردند تیمار هیدروترمال منجر به بهبود کیفیت نان شد.خصوصیات بافتی نان حاصل از نمونه تیمار شده ذرت و برنج قابلیت جویدن و سفتی کمتری را نسبت به نمونه های شاهد نشان داد.




Springiness (mm)
11.00
10.00
9.00
8.00
7.00
6.00
5.00
4.00
3.00
2.00
1.00
0.00
Aa Bb
Aab Bab
Aab Bab
Aab Aab
Aab Bab
Aab Aa
Ab Aab
Aab Aa
Aab Bab
C80 DHT80 HMT80 C100 DHT100 HMT100 C120 DHT120 HMT120
Day 1 روز اول
Day 3 روز سوم


Resilience (g)
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
Aab Ba
Abc Ba
Abc Ba
Aa Ba
Abc Ba
Abc Ba
Ac Aa
Abc Aa
Abc Aa
C80 DHT80 HMT80 C100 DHT100 HMT100 C120 DHT120 HMT120
Day 1 روز اول
Day 3 روز سوم


Cohesiveness
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
Aa Bab
Abc Ba
Aab Ba
Abc Ba
Ac Ba
Aab Bb
Aabc Ba
Ac Ba
Aabc Bb
C80 DHT80 HMT80 C100 DHT100 HMT100 C120 DHT120 HMT120
Day 1 روز اول
Day 3 روز سوم

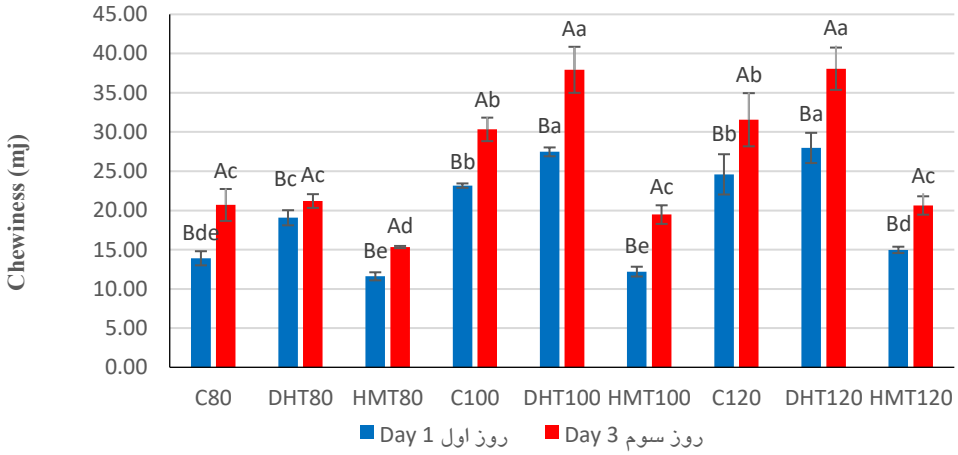


Figure 1- Results of texture profile analysis of bread samples

Different lowercase letters correspond to the comparison of samples on a specific day and different uppercase letters correspond to the comparison of samples over 3 days at the 5% probability level.

رنگ پوسته نان

نتایج پارامترهای رنگ (L، a و b) برای پوسته نان ها در جدول ۹ آورده شده است. طبق نتایج به دست آمده، در مورد پارامتر L پوسته، تیمارها و اندازه ذرات مختلف بر میزان رنگ روشنی پوسته اختلاف معنی دار آماری نداشتند (p>۰/۰۵). در مورد پارامتر a پوسته، نمونه های تیمار حرارتی خشک نسبت به نمونه های شاهد بر میزان رنگ قرمزی اختلاف معنی دار آماری نداشتند. نمونه های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه های تیمار حرارتی خشک و شاهد به جزء در اندازه ذرات ۱۵۰ میکرون بر میزان رنگ قرمزی اختلاف معنی دار آماری نداشتند. تاثیر اندازه ذرات در تیمار حرارتی مرطوب نسبت به تیمار حرارتی خشک و شاهد بر میزان رنگ قرمزی اختلاف معنی دار آماری را نشان داد (p<۰/۰۵).

Table 9- crust color parameters of breads

Breads	L	a	b
C 80	6.15^{a}±40.00	1.12^{b}±14.81	1.92^{ab}± 28.95
DHT 80	3.18^{a}± 37.09	0.40^{bc}± 14.53	0.25^{b}± 28.37
HMT 80	2.25^{a}± 36.53	0.74^{bc}± 14.26	0.22^{b}± 28.34
C 100	4.68^{a}± 39.57	0.56^{b}± 14.78	0.06^{ab}± 28.96
DHT 100	3.26^{a}± 39.76	0.09^{bc}± 13.55	0.45^{ab}± 28.99
HMT 100	1.05^{a}± 36.87	0.27^{a}± 16.55	0.24^{ab}± 29.04
C 120	3.26^{a}± 41.54	0.46^{bc}± 14.03	0.37^{a}± 29.73
DHT 120	1.99^{a}± 39.44	0.38^{bc}± 13.97	0.15^{ab}± 28.45
HMT 120	4.20^{a}± 36.60	0.90^{bc}± 14.36	0.21^{ab}± 28.65

Different letters in each column indicate significant differences between samples (p<0.05).

بیشترین میزان رنگ قرمزی مربوط به نمونه تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات ۱۵۰ میکرون می باشد. پیغمبردوست و همکاران (۱۳۹٤) اثر فرآیند حرارت دهی مرطوب و خشک آرد گندم نرم را بر ویژگی های خمیر کیک و کیفیت محصول نهایی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد رنگ پوسته کیک های تهیه شده از آردهای بخاردهی شده بهتر از سایر نمونه ها بود.

در مورد پارامتر b پوسته، نمونه های تیمارهای حرارتی خشک نسبت به تیمار حرارتی مرطوب بر میزان رنگ زردی اختلاف معنی دار آماری نداشتند (p>۰/۰۵). نمونه های تیمار حرارتی خشک و مرطوب نسبت به نمونه های شاهد بر میزان رنگ زردی اختلاف معنی دار آماری نداشتند. تاثیر اندازه ذرات بر میزان رنگ زردی اختلاف معنی دار آماری را نشان نداد

(p>۰/۰۵)، اما بیشترین میزان زردی مربوط به نمونه شاهد با اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون می باشد. که علت آن می تواند به این دلیل باشد که ذرات ریز تر دارای پروتئین بیشتری می باشند که منجر به تشدید واکنش مایلارد و افزایش میزان رنگ قرمزی و زردی می شود. چوالیر و همکاران (۲۰۰۰) دریافتند که جایگزینی آرد گندم با آرد برنج در کوکی ها به دلیل افزایش محتوای پروتئین که منجر به تشدید واکنش مایلارد می شود میزان رنگ قرمزی و زردی را افزایش داد.

نتیجه گیری

بطور کلی نتایج پژوهش نشان داد استفاده از تیمار حرارتی مرطوب و اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون باعث بهبود ویژگی های کیفی نان حجیم شد، به طوری که تیمار حرارتی مرطوب سبب انبساط خمیر از طریق نگه داشت گاز و هوا در خمیر و سبب افزایش دمای ژلاتینه شدن نشاسته و ژلاتینه شدن تاخیری موجب طولانی شدن دوره انبساط و توسعه بیشتر خمیر در حین پخت می گردد که این امر موجب افزایش حجم و حجم مخصوص و آون اسپرینگ نان شد. تاثیر تیمارهای حرارتی بر اندیس یکنواختی و تقارن و افت وزنی نان معنی دار نبود. میزان آنتالپی رتروگراداسیون کمتر وافزایش میزان رنگ قرمزی پوسته و کاهش سفتی و قابلیت جویدن نمونه تیمار حرارتی مرطوب منجر به بهبود کیفی و بیاتی نان شد.

References:

باقرزاده س، محمدزاده میلانی ج، کسایی م، ر، ۱۳۹۷. اثر آنزیم آلفا آمیلاز مالتوژنیک و امولسیفایر داتم بر ویژگی های کیفی و بیاتی نان قالبی. علوم و صنایع غذایی، شماره ٤، دوره ۲۸.

پایان ر، ۱۳۹۳. مقدمه ای بر تکنولوژی فرآورده های غلات، ویرایش چهارم، نشر آییژ، تهران، ایران.

پیغمبردوست ه، پورصفر ل، آزاد مرد دمیرچی ص، ۱۳۹٤. اثر فرآیند حرارت دهی خشک و مرطوب آرد گندم نرم بر ویژگیهای خمیر و کیفیت کیک. نشریه پژوهش های صنایع غذایی، جلد ۲۵، شماره ۱.

AACC 2000. American Association of cereal chemists. Approved methods of the AACC, 10 th ed. American Association of cereal chemists, St Paul, USA.

Biliaderis, C. G., Izydorczyk, M. S & Rattan, O, 1995. Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours. *Food Chemistry* 53(2): 165-171.

Bucsella, B., Takács, A., Vizer, V., Schwendener, U., Tömösközi, S, 2016. Comparison of the effects of different heat treatment processes on rheological properties of cake and bread wheat flours. Food Chemistry 190, 990–996.

Bourekoua, H., Benatallah, L., Zidoune, M. N., & Rosell, C. M, 2016. Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours. Lwt, 73, 342-350.

Chevallier, S., Colonna, P., Della Valle, G., Lourdin, D, 2000. Contribution of magor ingredients during baking of biscuit dough systems. journal of Cereal Science, 31 (3), 241-252.

Chakraborty, I., Mal, S. S., Paul, U. C., Rahman, M., & Mazumder, N, 2022. An Insight into the Gelatinization Properties Influencing the Modified Starches Used in Food Industry: A review. *Food and Bioprocess Technology* 1-29.

Farheen D, Jyothi Lakshmi A, Prakash J, Indrani D, 2012. Effect of ingredients on rheological, nutritional and quality characteristics of high protein, high fibre and low carbohydrate bread. Food Bioprocess Tech 5: 2998-3006.

Fathi, B., M. Aalami, M. Kashaninejad, and A. S. Mahoonak. 2016. Utilization of heat-moisture treated proso millet flour in production of gluten-free poung cake. Journal of Food Quality 39 (6):611–9.

Gelinas, P., Mckinnon, C. M., Rodrigue,N., Montpetit, D, 2001. Heating conditions and bread making potential of substandard flour. Journal of Food Science 66 (4): 627-632.

Goswami, D., Gupta, R. K., Mridula, D., Sharma, M., Tyagi, S. K, 2015. Barnyard millet based muffins: physical, textural and sensory properties. LWT- Food Science and Technology 64: 374-380.

Gomez, M., & Martinez, M. M, 2016. Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. *Journal of Cereal Science 67*, 68-74.

Hormdok R & Noomhorm A, 2007. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. LWT-Food science and Technology 40(10): 1723-1731.

Hashemi, A., Milani, J., Motamedzadehgan, A., Haghighat, S, 2023. The effect of hydrothermal process and dry heat on different particle sizes of waxy rice flour on the quality of gluten free bread. Master thesis of food industry, faculty of agricultural engineering, sari university of agricultural sciences and natural resources.

Iran institute of standards and industrial research, national standards, standards no 11545-9639-1,3.

Ji Y, Zhu K, Qian H & Zhou H, 2007.Staling of cake prepared from rice flour and sticky rice flour. Food Chemistry 104(1): 53-58.

Kim, M. J., Oh, S. G., & Chung, H. J, 2017. Impact of heat-moisture treatment applied to brown rice flour on the quality and digestibility characteristics of Korean rice cake. *Food Science and Biotechnology*, *26*(6),1579-1586.

Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N & Biliaderis, C. G, 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. Journal of food Engineering 79: 1033- 1047.

Lin, S., Gao, J., Jin, X., Wang, Y., Dong, Z., Ying, J., Zhou, W, 2020. Whole-wheat flour particle size influences dough properties bread structure and in vitro starch digestibility. Food & Function 11 (4), 3610-3620.

Marston, K., Khouryieh, H., & Aramouni, F, 2016. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. *LWT-Food Science and Technology 65*, 637-644**.**

Nakamura, C., Koshikawa, Y., & Seguchi, M, 2008. Increased volume of Kasutera cake (Japanese sponge cake) by dry heating of wheat flour. *Food Science and Technology Research 14* (5), 431-431.

Nakagawa, M., Tabara, A., Ushijima, Y., Matsunaga, K., & Seguchi, M, 2016. Hydrophobicity of stored (15, 35° C), or dry-heated (120° C) rice flour and deteriorated breadmaking properties baked with these treated rice flour/fresh gluten flour. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry 80* (5), 983-990.

Pang, J., Guan, E., Yang, Y., Li, M., & Bian, K, 2021. Effects of wheat flour particle size on flour physicochemical properties and steamed bread quality. *Food Science & Nutrition* 9 (9), 4691-4700.

Rosa Zavareze, E., & Dias, A. R. G, 2011. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A *Carbohydrate polymers* 83 (2), 317-328.

Shittu, T. A., Dixon, A., Awonorin, S. O., Sanni, L. O., & Maziya-Dixon, B, 2008. Bread from composite cassava–wheat flour. II: Effect of cassava genotype and nitrogen fertilizer on bread quality. *Food Research International 41* (6), 569-578.

Sun, D, 2008. Computer vision technology for food quality evaluation. Academic Press, New York.

Sakhare, S.D., Inamdar, A., Chandrashekhar, S., Dasappa, I. and Rao, G, 2013. Effect of flour particle size on microstructural, rheological and physico-sensory characteristics of bread and south indian parotta. Journal of food science and technology 51 (12), 4108-4113.

Sudha, M.L., Soumya, C. and Prabhasankar, P, 2016. Use of dry-moist heat effects to improve the functionality immunogenicity of whole wheat flour and its application in bread making. Journal of Cereal Science, 69,313-320.

Shanmugavel, V., Komala Santhi, K., Kurup, A.H., Kumar Kalakandan, S., Anandharaj, A. and Rawson, 2019. Potassium bromate: effects on bread components, health, environment and method of analysis: a review. Food Chemistry.

Food Research Journal
Online ISSN: 2676-5691 Print ISSN: 2008-515X
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Simultaneous effect of the packages designed for the precooling process with gamma irradiation on the shelf life of the strawberry

Sadegh Seyedlou [1]✉, Habibeh Nalbandi [1], Fakhredin Asaadi [2] and Mahdi Arzanlou [3]

[1] Professor and Associate Professor respectively, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[2] MSc student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[3] Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
✉Corresponding author: ss_seiedlo@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: February 20, 2024
Accepted: November 23, 2024
Published: Jan 4, 2024

Keywords:
Gamma, Irradiation, Packaging, Postharvest, Shelf life

ABSTRACT

Background: Gamma-ray irradiation is a novel method for controlling pathogen, effectively eliminating almost all microorganisms present on the fruit and the package surface. Moreover, precooling plays an effective role in prolonging the shelf life of fruits. The performance parameters of the gamma application and design specifications of the package can be attained through concurrently utilizing these processes.
Aims: The aim of this research was to examine the combined effects of packaging type and gamma irradiation at different doses on quality attributes, fruit decay during storage, and the determination of ideal performance conditions.
Methods: In this study, three types of packages were used, perforated polyethylene package designed for the strawberry precooling process, non-perforated polyethylene package with a top polymer film and non-perforated polyethylene packages without film. Moreover, three doses of gamma irradiation, namely 1, 2, and 3 kGy, were investigated, and their effect on the quality attributes of strawberry were assessed over a 16-day storage period.
Results: The finding showed that both package type and dose of gamma irradiation significantly affected the quality attributes of strawberry in comparison to the control treatment. The concurrent application of irradiation at a dose of 2 kGy along with precooling package effectively preserved the quality attributes of the fruit at a high level as long as 12 days. On the 12th day of storage, the decay index for the control treatment and the irradiated fruit were 4.33 and 1.6, respectively. At this dose of radiation, the firmness, decay index, ascorbic acid content, TSS, and TA were assessed in the precooling package and the non-perforated polyethylene package with a top film, with values of 0.97 N, 1.43, 45 mg/100 g, 6.2%, and 1.26 g/100 ml, respectively.
Conclusion: The shelf life of strawberry can be significantly extended by applying a precooling package and gamma radiation at 2 kGy since these processes delay the re-contamination of the fruit.

CC BY NC

OPEN ACCESS

Extended Abstract

Introduction: Fruits and vegetables are highly perishable products due to their high moisture content. Various technologies have been developed and used to prevent decay and increase the shelf life of agricultural products. However, many methods are not appropriate for fresh food products due to quality deterioration. Irradiation technology effectively reduces postharvest losses by prevent of insects and acts on the stored products. This technology does not create toxic or radioactive compounds in food. Gamma irradiation eliminates most microorganisms on the fruit and the package surface but does not guarantee the re-contamination. Consequently, the type of product packaging is critical to prevents re-contamination of the product during postharvest stage. Few studies examined the simultaneous effects of these two factors on the shelf life of perishable products such as strawberry, which is one of the most perishable fruits, and is susceptible to destruction by microorganisms, especially Botrytis cinerea, which causes extensive losses (40%) in the postharvest stage. Selecting appropriate packaging is the initial step in reducing the waste of this product. Strawberries come in various packaging, consist of perforated polyethylene packages and perforated packages designed for precooling operations. The type of packaging can play an essential role in irradiation and re-contamination after this operation. Consequently, both gamma irradiation and the precooling of fruits are cost-effective methods for controlling pathogens and preserving quality. This study evaluated the simultaneous effect of various packaging types, including commercial non-perforated polyethylene package with a top polymer film, non-perforated polyethylene package without a top polymer film, and specific precooling package, long with the effects of gamma irradiation at different doses on qualitative characteristics, contamination reduction, shelf life extension, and the subsequent contaminants throughout storage and decay control.

Material and methods: In this study, three types of packages were used, including perforated polyethylene package designed for the strawberry precooling operation, non-perforated polyethylene package with polymer film on top of that and non-perforated polyethylene package without a lid and film. Strawberry cv. *Gavita* was acquired from a greenhouse. Fruits with a uniform shape and no damage were selected and packed. Packages were situated in trays and then placed in five-layer thick cartons for irradiation in accordance with the suggestion of the Food and Agricultural Product Radiation Center. The prepared samples were immediately transferred to the irradiation center. The cartons were placed in the irradiation pallet and irradiated by a cobalt-60 source (Gamasel) with doses of 1, 2, and 3 kGy. Then, the irradiated samples were stored with the control samples at 1 ± 3 °C and relative humidity of 90 %. Qualitative changes in strawberry were evaluated in five phases, including days 1, 4, 8, 12, and 16 after process. In each step, the three packages of each treatment were removed from the cold storage, and quality characteristics were measured, such as fungal decay, fruit tissue firmness, ascorbic acid content, total soluble solid content (TSS), titratable acidity (TA), flavor index and the pH (acidity) of the juice. The results were analyzed using a randomized complete block design (as factorial experiments) in three replications. The mean comparison was performed by the Duncan test.

Results and discussion: Contamination and decay indices serve as the key indicators for assessing the shelf life and quality of fruits in the postharvest stage. The results indicated that the type of packaging and storage time had a significant effect on the decay index at a probability level of 1%.

The lowest decay was witnessed in fruits packed in precooling and polyethylene package with a film (1.44 and 1.42, respectively). In polyethylene package with a film, the fruit's surface area exposed to the outside is nonexistent, leading to no chance of

secondary contamination. Nonetheless, within these packages rising humidity and the condensation of moisture on the product create a suitable environment for the development of microorganisms present in the strawberry achenes and exacerbating their deterioration. In precooling packages, the storage conditions of the fruit were superior to those of the polyethylene packages with a film as moisture can exit these packages, leading to a reduced spoilage rate for the product. The irradiation dose has a non-significant effect, based on the results, the decay and its rate in treated samples were lower than in the control sample. After being stored for 12 days, the decay index of the treated strawberry was approximately 1.66 whereas 4.33 for the control sample. The type of Packaging type, the dose of irradiation, and duration of storage significantly influenced the firmness of strawberry texture. The fruits kept in the precooling package exhibited the greatest firmness (0.97 N). There was no significant effect between the precooling package and polyethylene package with a top film. The evaluation of the firmness between irradiated and control fruits showed that control samples were firmer than irradiated samples on the 4th and 8th days. In addition, maximum and minimum firmness were recorded at doses of 2 and 3 kGy with values of 0.966 and 0.918 N. Based on these findings, the use of 3 kGy is not advisable. Irradiation at doses of 1 and 2 kGy may preserve fruit firmness throughout storage. The firmness of fruit diminished the storage period, reaching its minimum after 16 days. Nonetheless, there was no difference between fruit firmness at the 8 and 12 day of storage. As a results, a storage period of 12 days was advised. The packaging type and storage duration influenced the ascorbic acid content of strawberry. The level of ascorbic acid was greater in the fruits kept in precooling and polyethylene package with a film, possibly because this package created optimal storage conditions that preserve the fruit quality. The greatest level of ascorbic acid was noted on the initial day of the storage (71.11 mg/100 g) which declines as the fruit is stored because this vitamin is utilized throughout the storage duration. Irradiation doses did not affect the ascorbic acid content. Nonetheless, the control samples contained more ascorbic acid than the treated samples. Although the amount of ascorbic acid was equal in all samples at the end of storage, the control samples shoed higher ascorbic acid levels on the 8th and 12th days of storage. The maximum pH (3.22) was observed at irradiation doses of 1 and 2 kGy and throughout the storage period, the pH showed a declining trend. Comparing control specimens with other samples demonstrated that the fruit in the control package exhibited a higher pH until the 8th day. However, no difference was noted between the control sample and the other samples following this duration. The polyethylene package with the film and the precooling package showed a more effective preservation of TSS, with no significant differences noted between the two. Thus, the type of packaging influenced the quality attributes of the fruit by regulating the rate of respiration and transpiration of the product. The irradiation dose also had a significant effect on the TSS in the samples. Raising the irradiation dose from 1 to 3 kGy led to increase TSS (from 6.29 to 6.59%). On the 1st, 4th, and 8th days of storage, the TSS was reduced, it rose over the storage period. The maximum TSS of 7.32% was associated with a 3 kGy treatment on the 16th day post-irradiation. The irradiation dose and storage duration influenced the TA of strawberry. It rose with increasing the irradiation dose and showed a downward trend over 16 days of storage. The maximum and minimum TA percentages of 1.51 % and 1.02 % were associated with the 2 kGy dose treatment on the first and 16th days following irradiation, respectively. the flavor index of the fruit increased over the storage period and there was no significant difference between the irradiation levels.

Conclusion: The finding indicated that the firmness, decay index, and ascorbic acid content of fruits stored in precooling packages and polyethylene packages with a protective top film were better preserved during storage.

The irradiated fruits with a dose of 2 kGy exhibited increased firmness and pH alongside a reduced decay index, which was significantly lower than that of non-irradiated control samples. In general, irradiating strawberry with gamma at a dose of 2 kGy and packing them in precooling packaging or polyethylene packaging with a top film can serves as an effective method in strawberry postharvest technology. These processes delay the re-contamination of the fruit and help to preserve the quality index of product at a high level for up 12 days, which is adequate for a perishable fruit like strawberry.

پژوهش‌های صنایع غذایی

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۵۶۹۱ ، شاپا چاپی ۲۰۰۸-۵۱۵x

https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

بررسی تاثیر کاربرد هم‌زمان جعبه‌هایی با طراحی مختص پیش‌سرمایش و پرتوتابی با اشعه گاما روی عمر انبارمانی توت‌فرنگی

صادق سیدلو[۱]✉، حبیبه نعلبندی[۱]، فخرالدین اسعدی[۲] و مهدی ارزنلو[۳]

[۱] به ترتیب استاد و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[۲] فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[۳] استاد گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

✉ مسئول مکاتبه: ss_seiedlo@yahoo.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱
پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۳
انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

کلید واژه:
اشعه گاما، بسته‌بندی، پرتودهی، پس از برداشت، توت‌فرنگی، عمر انبارمانی

چکیده

زمینه مطالعاتی: پرتودهی با اشعه گاما یک روش نوین برای کنترل عوامل بیماری‌زا می‌باشد و عملیات پیش‌سرمایش نیز در افزایش انبارمانی محصول موثر است. کاربرد توام این دو فرآیند به منظور دست‌یابی به پارامترهای عملکردی کاربرد این فرآیندها در توت‌فرنگی می‌تواند مفید باشد.

هدف: این تحقیق به منظور مطالعه تاثیر هم‌زمان نوع بسته‌بندی و تاثیر پرتودهی با اشعه گاما در دوزهای مختلف روی خصوصیات کیفی، کنترل پوسیدگی توت‌فرنگی در دوره نگهداری و تعیین بهترین شرایط عملکردی، انجام شد.

روش کار: در این تحقیق سه نوع بسته‌بندی شامل جعبه‌های پلی‌اتیلنی تجاری بدون منفذ با پوشش فیلم پلیمری و بدون پوشش فیلم پلیمری و جعبه‌های منفذدار مختص عملیات پیش‌سرمایش توت‌فرنگی و نیز سه دوز اشعه گاما شامل دوزهای ۱، ۲ و ۳ کیلوگری مورد استفاده قرار گرفت و اثر این تیمارها روی خواص کیفی توت‌فرنگی در طول ۱۶ روز نگهداری بررسی شد.

نتایج: استفاده هم‌زمان از پرتودهی با دوز ۲ کیلوگری و جعبه مختص پیش‌سرمایش، توانست شاخص‌های کیفی را تا ۱۲ روز، در حد بالایی حفظ کند. در روز ۱۲ام نگهداری، شاخص پوسیدگی میوه‌های شاهد ۴/۳۳ و میوه‌های پرتودهی شده ۱/۶ بود. در این دوز پرتودهی در جعبه‌های مختص پیش‌سرمایش و جعبه‌های با پوشش فیلم پلیمری مقدار سفتی، شاخص پوسیدگی، محتوی اسید اسکوربیک، محتوی کل ماده جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون به ترتیب ۰/۹۷ نیوتن، ۱/۴۳، ۴۵ میلی‌گرم در صد گرم، ۶/۲ درصد و ۱/۲۶ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد.

نتیجه‌گیری کلی: استفاده از جعبه‌های مختص پیش‌سرمایش و استفاده از اشعه گاما با دوز ۲ کیلوگری می‌تواند در افزایش عمر انبارمانی توت‌فرنگی (تا ۱۲ روز) موثر باشد.

مقدمه

محصولات باغی به ویژه میوه‌ها و سبزی‌ها محصولات بسیار حساسی بوده و به دلیل داشتن رطوبت بالا بسیار فسادپذیر می‌باشند. سهل‌انگاری و عدم دقت کافی در مراحل مختلف پس از برداشت از جمله بسته‌بندی، حمل و نقل و نگهداری محصول، موجب ضایعات و تلفات محصول شده و ضرر اقتصادی به بار خواهد آورد (کادر ۲۰۰۲). روش‌های متعددی برای جلوگیری از فساد و افزایش عمرانباری محصولات کشاورزی ابداع و مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولی اکثر این روش‌ها برای محصولات تازه‌خوری قابل کاربرد نبوده و یا موجب کاهش ارزش تغذیه‌ای و کیفیت آنها می‌شوند. هم‌چنین استفاده از مواد شیمیایی برای کاهش فساد محصول به دلیل اثرات مضر آن بر سلامت انسان و محیط زیست، با محدودیت‌های جدی مواجه می‌باشد. زیرا امروزه سالم بودن مواد غذایی، اولین و مهم‌ترین شاخص در ارزیابی آنها است. بنابراین محصولات تولید شده باید فاقد هر نوع بیماری، آفت و باقی‌مانده مواد شیمیایی باشند. از این‌رو یافتن روش‌های سالم و سازگار با محیط‌زیست برای استفاده در تکنولوژی پس از برداشت میوه‌ها و سبزی‌ها ضروری است.

فناوری‌های نوین مانند فشار هیدرواستاتیک بالا، میدان‌های پالس الکتریکی، استفاده از ازون و به ویژه پرتودهی، استفاده از پیش‌سرمایش و بسته‌بندی محصول روش‌های جدیدی هستند که برای کاهش فساد، افزایش عمر انبارمانی و به ویژه کاهش بار میکروبی و آلودگی محصولات استفاده می‌شوند و کاربرد آنها روز به روز در حال افزایش است. در عملیات پیش‌سرمایش با کاهش گرمای مزرعه‌ای و کاهش سریع متابولیسم طبیعی محصول، عمر انبارمانی محصول افزایش می‌یابد (چاکراورتی و پل ۲۰۰۱). کاربرد این روش نیازمند طراحی جعبه‌های مختص این عملیات است تا شاخص خنک‌شدگی در همه نقاط جعبه و پالت میوه یکنواخت‌تر و انرژی مصرفی کمینه شود. در این خصوص از روش‌های عددی مختلف برای شبیه‌سازی فرآیند به منظور حصول مناسب‌ترین طرح جعبه استفاده می‌شود. غالب این جعبه‌ها دارای منافذی برای عبور هوای سرد به داخل جعبه می‌باشند تا ضمن تماس هوای خنک با محصول داخل جعبه، عملیات پیش‌سرمایش تسهیل و تعجیل شود (نعلبندی و همکاران ۲۰۱۶). از طرف دیگر در عملیات پرتودهی، مواد غذایی در معرض یک مقدار انرژی به شکل ذرات با سرعت بسیار بالا و یا پرتوها قرار می‌گیرند. این روش ضمن داشتن نتایج سودمند، ترکیبات سمی و رادیواکتیو در ماده غذایی ایجاد نمی‌کند. تکنولوژی پرتودهی در کاهش تلفات پس از برداشت محصولات موثر است و باعث کنترل حشرات و میکروارگانیسم‌های موجود در محصولات انبار شده می‌گردد (ژنگ و همکاران ۲۰۲۱).

پرکاربردترین و به‌صرفه‌ترین روش اقتصادی پرتودهی، استفاده از اشعه‌ی گاما است زیرا از قدرت نفوذ بیشتری برخوردار بوده ولی قدرت آن در تولید یون کمتر است. این اشعه ارزان‌ترین شکل پرتودهی مواد غذایی می‌باشد (گئورگ و همکاران ۲۰۱۵). تحقیقات گسترده‌ای توسط اغلب محققین در خصوص پرتودهی محصولات کشاورزی صورت گرفته است که در اغلب این تحقیقات پرتوهای استفاده شده از نوع گاما و UVC[1] بوده به‌طوری‌که تاثیر دوز پرتو گاما و یا شدت UVC بر خصوصیات کیفی و کاهش بار آلودگی و میکروبی و آنزیمی محصولات مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. با اینکه تحقیقات مذکور در خصوص محصولات مختلف داخلی و ارقام متنوع آن در داخل کشور، صورت نگرفته است و دلیل اصلی آن نوپا بودن استفاده از انرژی هسته‌ای و عدم توسعه سیستم‌های تجاری پرتودهی در کشور در سال‌های گذشته بوده است، در چند سال اخیر خوشبختانه این نوع سیستم‌های پرتودهی در واحدهای تابعه سازمان انرژی اتمی تجاری‌سازی شده است.

پریمی دیوی و همکاران (۲۰۱۸) لیمو را تحت پرتودهی گاما با دوز های ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ کیلوگری قرار دادند. آنان نشـان دادند که محتوی رطوبت، خاکسـتر، چربی، فیبر خام و پروتئین میوه، در پرتودهی با دوزهای ۰/۲۵ الی ۰/۵ کیلوگری

[1] Ultraviolet C

تغییر چندانی نکرد، ولی در کاربرد دوزهای بالاتر (۰/۷۵ و ۱ کیلوگری) مقادیر آنها کاهش یافت. هم‌چنین محتوی اسید اسکوربیک میوه‌ها در دوزهای بالا کاهش یافت. مقدار کربوهیدرات‌ها نیز با افزایش دوز پرتودهی افزایش یافت. جابین و همکاران (۲۰۲۳) تاثیر دوز پرتودهی گاما را روی عمر ماندگاری انبه بررسی کردند. نتایج نشان داد که پرتودهی با دوز ۱/۵ کیلوگری می‌تولند سفتی بافت میوه را در مدت نگهداری سرد ۲ هفته ای حفظ کند. هم‌چنین پرتودهی اثر معنی‌داری روی کاهش خواص تغذیه‌ای میوه در مدت نگهداری نداشت. لی و همکاران (۲۰۲۳) اثر دوز پرتودهی با اشعه گاما را روی کیفیت فیزیکی- شیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پرتقال در طول ۷۰ روز نگهداری بررسی کردند. آنان نشان دادند در دوره اول نگهداری (از روز نخست تا روز ٤٢ ام) آهنگ فساد میوه‌های پرتودهی شده بیشتر از میوه‌های کنترل بود. اما در نگهداری طولانی‌تر، فساد در میوه‌های پرتودهی‌شده با دوز ۰/۳ و ۰/٦ کیلوگری کمتر از نمونه های شاهد بود. پرتودهی اثری روی اسیدیته کل و اسید قابل تیتراسیون نداشت. ولی این فرآیند میزان قند آزاد و TSS میوه را کاهش و محتوی فنولیک کل آن را افزایش داده بود. در نهایت دوز پرتودهی ۰/٦ کیلوگری دوز مناسب برای پرتودهی پرتقال معرفی شد. کیرکین و گونش (۲۰۲۲) اثر پرتودهی با اشعه گاما و بسته‌بندی تحت اتمسفر متعارف و اتمسفر اصلاح شده با ۱۰۰ درصد نیتروژن را روی خواص کیفی، حسی و ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی آویشن و فلفل سیاه بررسی کردند. نتایج نشان داد بدون به مخاطره افتادن خواص حسی و توسعه میکروبی محصول، پرتودهی تحت اتمسفر اصلاح شده می‌تواند ویژگی‌های عملکردی محصول را تا ٦ ماه حفظ کند. عبداله و همکاران (۲۰۱۸) تاثیر پرتودهی با اشعه گاما را روی خواص حسی و فیزیکوشیمیایی نارنگی در شرایط نگهداری در یخچال و محیط بررسی کردند. آنان نشان دادند با پرتودهی میوه‌ها با دوز ۱/۵ کیلوگری و نگهداری در یخچال، می‌توان عمر انباری میوه‌ها را به مدت یک هفته افزایش داد بدون اینکه خواص حسی و فیزیکوشیمیایی میوه‌ها تغییر کند. حیدر و همکاران (۲۰۲۳) اثر پرتودهی گاما را روی کیفیت پس از برداشت نارنگی در مدت ۹۰ روز نگهداری در دمای ۵ درجه سانتیگراد بررسی کردند. نتایج نشان داد استفاده از دوزهای بالای گاما، موجب کاهش افت جرم و کاهش توسعه بیماری‌ها، ممانعت از افزایش SSC، حفظ مقادیر بالای TA و نسبت پایین TA به SSC گردید. در نهایت استفاده از دوز ۰/۸ کیلوگری اشعه گاما برای حفظ خواص کیفی نارنگی در طول مدت نگهداری در سردخانه پیشنهاد شد. پانوا و همکاران (۲۰۲۰) اثر پرتودهی با اشعه گاما با دوز ۰/۵ و ۱ کیلوگری را روی خواص کیفی توت‌فرنگی در طول ۲۰ روز نگهداری در دمای ۵ درجه سانتیگراد بررسی کردند. آنان نشان دادند ویژگی‌های ظاهری و مزه میوه‌های پرتودهی شده با دوز ۰/۵ کیلوگری، در طول ۱۰ روز نگهداری بهتر حفظ شد. ولی اشعه‌دهی با دوز ۱ کیلوگری افت جرم میوه‌ها را افزایش داد. هم‌چنین شتاب توسعه فساد قارچی متناسب با دوز پرتودهی کاهش یافت. بر اساس نتایج تحقیقات می‌توان عنوان داشت شدت و سطح پرتودهی با گاما بایستی مختص هر محصول و رقم آن انتخاب شود.

تحقیقات مشابهی نیز روی روی سایر محصولات کشاورزی انجام شده است (وانگ و همکاران ۲۰۰٦؛ وانامالا و همکاران ۲۰۰۷؛ یوالەخان و همکاران ۲۰۱۸ و آنتونیو و همکاران ۲۰۱۳). به عنوان نمونه اثر اشعه‌دهی با دوزهای مختلف پرتو گاما روی حضور میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و ارزش غذایی گندم، جو، ذرت و سورگوم توسط عزیز و همکاران (۲۰۰٦) مطالعه شد. آنان نشان دادند که اشعه‌دهی با دوز ۱ کیلوگری موجب بازدارندگی فعالیت کلیفرم‌ها شده و دوز ۵ کیلوگری از فعالیت

قارچ‌ها جلوگیری می‌کند. هم‌چنین در دوز ۱۵ کیلوگری کلیه میکروارگانیسم‌های زنده از بین رفتند. کیرکین و همکاران (۲۰۱٤) نیز نشان دادند که در گیاهان دارویی، بار میکروبی باقی‌مانده پس از اشعه‌دهی با دوز ۱۲ کیلوگری اشعه گاما، در نمونه‌های آویشن، رزماری، فلفل‌سیاه و زیره‌سبز در حد صفر می‌باشد. ولی اشعه‌دهی موجب تغییرات در رنگ رزماری و فلفل سیاه شد. علی‌رغم نتایج خوب به دست آمده توسط محققین در اثر بخشی پرتودهی گاما، ذکر این نکته حائز اهمیت است که پرتودهی با اشعه گاما اغلب میکروارگانیسم‌های موجود در سطح میوه و رویه جعبه را از بین می‌برد ولی عدم آلودگی مجدد محصول را تضمین نمی‌کند. بنابراین نوع بسته‌بندی محصول برای ممانعت از آلودگی مجدد محصول از اهمیت به سزایی برخوردار است که مطالعه چندانی در خصوص تاثیر هم‌زمان این دو عامل بر عمر انبارمانی محصولات فسادپذیری مانند توت‌فرنگی انجام نشده است. در عملیات پیش‌سرمایش طراحی بسته مورد استفاده، با بسته‌های متداول متفاوت است چرا که وجود منافذ و شکاف‌های موجود در بدنه جهت امکان جریان هوا به داخل بسته الزامی است. تحقیقات گسترده‌ای در خصوص طراحی بسته مختص محصولات به ویژه توت‌فرنگی صورت گرفته است (نعلبندی و همکاران ۲۰۱٦، ۲۰۲۰؛ فوریا و سینگ ۲۰۱۱). حال سوال اصلی این است که با توجه به وجود شکاف‌هایی روی بسته مختص پیش‌سرمایش و انجام پرتودهی ثانویه روی این بسته‌ها، آیا عملیات توام پیش‌سرمایش و پرتودهی در عمر انبارمانی و خواص کیفی محصول موثر خواهد بود یا خیر و آلودگی ثانویه این بسته‌ها در مقایسه با بسته‌های متداول بازار که بدون منفذ هستد و عملیات پیش‌سرمایش روی آنها صورت نمی‌گیرد چگونه خواهد بود؟ آیا اثر بخشی عملیات پرتودهی در ادغام با عملیات پیش‌سرمایش به دلیل وجود شکاف‌های روی بسته از بین خواهد رفت؟ بنابراین هدف از این کار تحقیقاتی بررسی اثر پرتودهی با گاما روی خواص کیفی محصول توت‌فرنگی رقم گاویتا بود به‌طوری‌که محصول در داخل انواع بسته شامل جعبه‌های پلی‌اتیلنی تجاری بدون منفذ و پوشش فیلم پلیمری، جعبه‌های پلی‌اتیلنی تجاری بدون منفذ با پوشش فیلم پلیمری و جعبه‌های مختص عملیات پیش‌سرمایش تحت تاثیر پرتودهی با دوزهای مختلف قرار داده شد تا کاربرد هم‌زمان عملیات پیش‌سرمایش با پرتودهی امکان‌سنجی شود.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها

میوه‌های توت‌فرنگی رقم گاویتا از گلخانه‌ای واقع در شهرستان مراغه تهیه شدند. میوه‌ها در مرحله رسیدگی تجاری هنگامی که ۸۰ درصد رنگ گرفته و دارای اندازه مناسب بودند برداشت شدند. میوه‌های دارای شکل غیر طبیعی و صدمات فیزیکی حذف و میوه‌های سالم و یکنواخت انتخاب شدند. سپس با دقت و در زمان کم بسته‌بندی شده و تا زمان انجام آزمایش در دمای ٤ °C نگهداری شدند.

جعبه‌های مورد استفاده

جهت بررسی تاثیر نوع بسته‌بندی روی عملیات پرتودهی و در نهایت روی مدت ماندگاری محصول از سه نوع جعبه استفاده شد که شامل جعبه پلی‌اتیلنی منفذدار طراحی‌شده مختص عملیات پیش‌سرمایش توت‌فرنگی (P)، جعبه‌های پلی‌اتیلنی بدون منفذ و با پوشش فیلم پلیمری همانند بسته‌های سالاد (S) و جعبه‌های پلی‌اتیلنی بدون منفذ و درب و بدون پوشش فیلم پلیمری (R) بودند (شکل ۱).

چنانکه در مقدمه بیان شد دلیل انتخاب جعبه نوع اول، بررسی جعبه مختص پیش‌سرمایش در عملیات پرتودهی بود که آیا وجود منافذ و شکاف روی جعبه‌ها می‌تواند روی آلودگی ثانویه محصول توت‌فرنگی پس از پرتودهی موثر باشد. به عبارت دیگر آیا می‌توان هم‌زمان دو عملیات مهم پس از برداشت را به توالی هم روی توت‌فرنگی انجام داد. جعبه نوع دوم و سوم به کرات در بازار برای توت‌فرنگی و محصولات مشابه استفاده می‌شود. جعبه‌های حاوی توت‌فرنگی در سینی‌هایی از جنس کارتن‌پلاست قرار داده شدند. سپس برای پرتودهی در کارتن‌های ضخیم پنج لایه طبق استانداردهای پژوهشکده‌ی سازمان انرژی اتمی قرار داده شدند (شکل ۲).



Figure 1- Packages used for packing strawberries: I. Perforated polyethylene package for pre-cooling operation, II. Perforated polyethylene package with a polymer film, III. Non-perforated polyethylene package without a polymer film

پرتودهی نمونه‌ها با اشعه‌ی گاما

نمونه‌های آماده‌شده بلافاصله به سالن پرتودهی مجتمع کاربرد پرتوهای شمال‌غرب ایران انتقال داده شدند سپس کارتن‌های حاوی نمونه‌ها در پالت پرتودهی قرار داده شده و با چشمه‌ی کبالت ٦٠ (گاماسل) با شدت ۱، ۲ و ۳ کیلوگری پرتودهی شدند. در شکل ۳ مراحل انجام پرتودهی تجاری با اشعه گاما حاصل از کبالت ٦٠ نشان داده شده است. بعد از اتمام پرتودهی و انجام آزمایش‌های دوزی‌متری، نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه مهندسی پس از برداشت منتقل شدند. نمونه‌های پرتودهی شده در سردخانه (دمای ۳±۱°C و رطوبت نسبی ۹۰٪) نگهداری شدند

آزمون‌های کیفی میوه

تغییرات کیفی توت‌فرنگی در پنج مرحله شامل روز برداشت محصول (روز صفر) و ٤، ٨، ١٢و ١٦روز پس از پرتودهی ارزیابی شدند. به این ترتیب که در هر مرحله سه جعبه از هر تیمار از سردخانه بیرون آورده شدند و خصوصیات کیفی شامل شاخص پوسیدگی قارچی، سفتی بافت میوه، محتوای اسید آسکوربیک، محتوی کل مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) و اسیدیته کل (pH) آب‌میوه نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. در این تحقیق تاثیر شدت پرتودهی در سه سطح با شدت دوز جذبی ۱، ۲ و ۳ کیلوگری، نوع بسته‌بندی در سه سطح شامل P، R، S و زمان نگهداری میوه‌ها در پنج سطح شامل ۱، ٤، ٨، ١٢ و ١٦ روز پس از پرتودهی روی خواص کیفی توت‌فرنگی بررسی شد. برای مطالعه بهتر تاثیر پرتودهی روی خواص کیفی و عمر ماندگاری میوه‌ها، از نمونه شاهد نیز استفاده شد که میوه‌ها بدون پرتودهی در جعبه‌های پلی‌اتیلنی رو باز قرار بسته‌بندی شدند و همراه با سایر تیمارها در سردخانه نگهداری و خواص کیفی آنها اندازه‌گیری شد (نتایج نمونه شاهد در تجزیه واریانس آورده نشد).



Figure 2- Trays used for irradiation

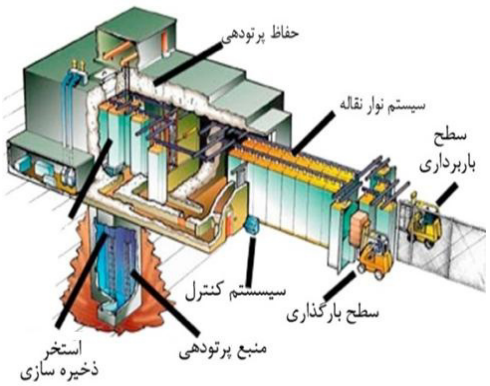


Figure 3- Gamma irradiation set up for food processing

نحوه ارزیابی میزان پوسیدگی نمونه‌ها و محاسبه شاخص آن

برای ارزیابی پوسیدگی توت‌فرنگی‌ها، از بررسی کیفی استفاده شد. برای این منظور، نمونه‌ها از لحاظ میزان پیشرفت پوسیدگی سطحی به پنج گروه تقسیم شدند و عدد ۱ برای توت فرنگی‌های فاقد پوسیدگی، عدد ۲، ۳، ٤ و ۵ به ترتیب برای نمونه‌هایی تا ۵ درصد، ۵ الی ۲۰ درصد، ۲۰ الی ۵۰ درصد و بیش از ۵۰ درصد پوسیدگی سطحی در نظر گرفته شد. در هر مرحله از زمان‌های نگهداری، سطح پوسیدگی هر یک از میوه‌های داخل جعبه‌ها با تصویربرداری از میوه‌ها و شمارش پیکسل‌های نواحی پوسیده، بررسی و میزان پوسیدگی آنها امتیازدهی شد. سپس میانگین امتیاز پوسیدگی همه میوه‌های درون هر جعبه مطابق رابطه ۱ محاسبه و به عنوان شاخص پوسیدگی (D) استفاده شد (ایالا-زاوالا و همکاران ۲۰۰۷). در این رابطه q امتیاز تعلق‌گرفته به هر میوه از لحاظ شدت پوسیدگی و n تعداد میوه‌های داخل هر جعبه می‌باشد.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i}{n} \times 100 \quad , \quad 1 \le q \le 5 \qquad (۱)$$

ارزیابی سفتی بافت میوه

برای اندازه‌گیری سفتی بافت توت‌فرنگی از آزمون فشار استفاده شد. این آزمون با استفاده از دستگاه کشش- فشار یونیورسال (مدل ۱۱٤۰ ساخت کمپانی اینسترون) مجهز به لودسل با قابلیت اندازه‌گیری نیرو در گستره‌ی صفر تا ۵ نیوتن، انجام شد. بارگذاری با سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه فک متحرک دستگاه انجام گرفت (بورن ۲۰۰۲). بدین منظور توت‌فرنگی به حالت طبیعی بر روی سکوی ثابت دستگاه قرار داده شد و حداکثر نیروی مورد نیاز برای فشردن میوه بر حسب نیوتن و تغییر ارتفاع آن به اندازه ۲۰ درصد ارتفاع اولیه میوه، به عنوان شاخص سفتی گزارش شد. آزمایش‌ها برای هر تیمار در سه تکرار انجام شدند.

اندازه‌گیری محتوی اسید آسکوربیک (ویتامین ث)

اندازه‌گیری محتوی اسید آسکوربیک با روش تیتراسیون با محلول ۲-٦ دی کلروفنل ایندوفنل انجام شد. میزان اسید آسکوربیک از رابطه ۲ محاسبه و بر حسب میلی‌گرم در صد گرم جرم ماده تر بیان شد. در این رابطه AA بیانگر مقدار اسید اسکوربیک موجود در عصاره (mg/100gr)، V حجم رنگ مورد استفاده در تیتراسیون حجم معینی از نمونه صاف شده (میلی‌لیتر)، W جرم نمونه در حجم معینی از محلول تیتر شده (گرم) و **J** اکی‌والان اسیدآسکوربیک (میلی‌گرم اسید آسکوربیک در میلی‌لیتر) می‌باشد.

$$AA = \frac{V \times J}{W} \times 100 \qquad (۲)$$

اندازه‌گیری کل مواد جامد محلول عصاره میوه (TSS)

برای اندازه‌گیری کل مواد جامد محلول عصاره میوه، چند قطره از آب میوه در دمای اتاق روی چشمی رفراکتومتر دیجیتال مدل ATAGO قرار گرفت و عدد مربوطه (برحسب بریکس) از روی صفحه دیجیتال آن قرائت شد.

اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون، عمل تیتراسیون توسط هیدروکسیدسدیم ۰/۱ نرمال (٤ گرم در لیتر) تا اسیدیته ۸/۲ (pH=۸/۲) صورت گرفت.. مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون برحسب معادل اسید سیتریک (اسید غالب توت‌فرنگی) مطابق رابطه ۳ محاسبه شد. در این رابطه TA بیانگر مقدار اسیدهای آلی موجود در عصاره میوه (g/۱۰۰ml)، S مقدار هیدروکسید-سدیم مصرف شده (ml)، N نرمالیته هیدروکسیدسدیم، F فاکتور هیدروکسیدسدیم، C مقدار عصاره میوه (ml) و E اکی‌والان اسید مورد نظر (اسید سیتریک) می‌باشد.

$$T.A = (\frac{S \times N \times F \times E}{C}) \times 100 \quad (۳)$$

محاسبه شاخص طعم توت‌فرنگی

از نسبت کل مواد جامد محلول (TSS) به اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) به عنوان شاخص طعم توت‌فرنگی استفاده شد.

اندازه‌گیری pH آب‌میوه

pH آب‌میوه با دستگاه pH متر دیجیتالی کالیبره‌شده با بافرهای ٤ و ٧ اندازه‌گیری شد. بعد از عصاره‌گیری نمونه‌های توت‌فرنگی و عبور دادن آن از صافی با قرار دادن سنسور pH متر در داخل آب میوه، مقدار pH ثبت گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایشی

نتایج حاصل از اندازه‌گیری خواص کیفی در تیمارها و تکرارهای مختلف، در قالب آزمایش‌های فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار با نرم‌افزار SAS تحلیل شدند. مقایسات میانگین نیز با آزمون دانکن انجام و بهترین تیمار تعیین شد.

نتایج و بحث

شاخص پوسیدگی میوه‌ها

پوسیدگی به دلیل آلودگی مجدد محصول به انواع قارچ‌ها، باکتری‌ها و اسپورها، یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در تعیین عمر ماندگاری و کیفیت میوه‌ها در مراحل پس از برداشت می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱)، از بین فاکتورهای مورد مطالعه نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری و اثر متقابل آنها، تاثیر معنی‌داری روی میزان شاخص پوسیدگی میوه‌ها (رابطه ۱) در سطح احتمال ۱٪ داشتند ولی اثر دوز پرتودهی روی این شاخص معنی‌دار نبود. به عبارت دیگر هر سه دوز مورد استفاده تاثیر نسبتا یکسانی روی عمر نگهداری محصول توت‌فرنگی داشتند. کمترین میزان شاخص پوسیدگی در میوه‌های بسته‌بندی شده در جعبه‌های مختص پیش‌سرمایش (P) با مقدار ١/٤٤ و میوه‌های بسته‌بندی شده در جعبه‌های پلی‌اتیلنی با فیلم پلیمری (S) با مقدار ١/٤٢ حادث شد. ولی میوه‌های بسته‌بندی شده در جعبه‌های پلی‌اتیلنی بدون فیلم پلیمری (R) با شاخص پوسیدگی ٢/٤٢ متحمل بیشترین پوسیدگی شدند. به این مفهوم که مقدار پوسیدگی در حد ۵ الی ۲۰ درصد سطح توت‌فرنگی‌ها بود (جدول ۲).

Table 1- ANOVA results for irradiation doses, packaging type, and storage time on the quality characteristics of the strawberry

SV	df	MS					
		Decay index	Firmness	Ascorbic acid	TSS	TA	pH
Packing type (A)	2	14.674 **	0.028 **	784.630 **	2.096 *	0.004 ns	0.004 ns
Irradiation dose (B)	2	0.049 ns	0.023 **	33.519 ns	1.680 **	0.068 **	0.035 **
Time (C)	4	9.696 **	0.784 **	6775.460 **	4.840 **	0.569 **	0.572 **
A×B	4	0.085 ns	0.007 ns	55.185 ns	0.296 ns	0.009 ns	0.002 ns
A×C	8	0.896 **	0.010 ns	58.930 ns	0.529 ns	0.008 ns	0.008 ns
B×C	8	0.163 ns	0.006 **	74.490 ns	3.485 **	0.05 **	0.120 **
A×B ×C	16	0.363 *	0.006 ns	50.670 ns	0.51 ns	0.007 ns	0.007 ns
Error	90	0.185	0.004	31.660	0.298	0.004	0.004
CV		24.41%	6.8%	13.04%	8.56%	5.13%	1.91%

ANOVA: Analysis of variance; SV: Source of variation; df: Degree of freedom; MS: Mean squares; TSS: Soluble solid content; TA: Titratable acidity. ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, and ns: non-significant difference

Table 2- Mean comparison of the packaging type on decay, firmness, ascorbic acid, and TSC of the strawberry

Box Type	Decay index	Firmness (N)	Ascorbic Acid (mg/100 g)	TSS (%)
P	1.444 [b]	0.975 [a]	45.780 [a]	6.380 [ab]
S	1.422 [b]	0.968 [a]	45.330 [a]	6.150 [b]
R	2.422 [a]	0.925 [b]	38.330 [b]	6.542 [a]

Different letters indicate a significant difference at the 1% probability level

وجود پوسیدگی پس از اعمال پرتودهی را می‌توان چنین توجیه نمود که این عملیات مانع آلودگی ثانویه میوه‌ها نمی‌شود. در جعبه‌های پلی‌اتیلنی بدون فیلم، سطح تماس میوه‌ها با محیط اطراف بیشتر بوده و میوه‌ها در معرض آلودگی بیشتری قرار می‌گیرند ولی در جعبه‌های پلی‌اتیلنی با فیلم سطح تماس محصول با اتمسفر محیط صفر بوده و احتمال آلودگی ثانویه به حداقل کاهش می‌یابد. ولی در این جعبه‌ها افزایش رطوبت داخل جعبه‌ها و تقطیر رطوبت روی محصول، محیط مناسبی برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم کرد و فساد محصول را تشدید می‌کند. در جعبه‌های پیش‌سرمایش علی‌رغم وجود منافذ و شکاف‌ها روی دیواره‌های جانبی و درب جعبه، سطح تماس میوه‌ها با محیط مجاور محدود بوده و احتمال آلودگی ثانویه به حداقل می‌رسد. ضمن اینکه شرایط نگهداری میوه در این جعبه‌ها بهتر از جعبه‌های پلی‌اتیلنی با فیلم پلیمری بود زیرا در این جعبه‌ها امکان خروج رطوبت و گرمای حاصل از تنفس محصول از داخل جعبه‌ها به بیرون در طول مدت نگهداری وجود داشته و میزان فساد محصول کمتر می‌باشد.

میزان پوسیدگی میوه‌ها به شدت تحت تاثیر مدت زمان نگهداری قرار داشت به‌طوری‌که با گذشت زمان نگهداری، میزان پوسیدگی محصول افزایش یافته است و بیشترین میزان شاخص پوسیدگی مربوط به روز شانزدهم نگهداری بود (جدول ۳). در روز ۱۶ام نگهداری، شاخص پوسیدگی میوه‌ها نسبت به روز اول نگهداری حدود ۱۴۵ درصد افزایش داشت یعنی سطح پوسیدگی میوه‌ها به حدود ۲۰ درصد رسیده است.

Table 3- Mean comparison of the storage time on decay, firmness, ascorbic acid, TSS, TA, and pH of the strawberry

Storage Time	Decay index	Firmness (N)	Ascorbic Acid (mg/100 g)	TSS (%)	TA (g/100ml)	pH
1	1.074 [e]	1.214 [a]	71.110 [a]	6.120 [b]	1.450 [a]	3.370 [a]
4	1.407 [d]	0.977 [b]	40.010 [b]	5.920 [b]	1.370 [b]	3.280 [b]
8	1.667 [c]	0.913 [c]	36.110 [c]	6.180 [b]	1.270 [c]	3.210 [c]
12	2.037 [b]	0.9005 [c]	35.740 [cd]	6.800 [a]	1.260 [c]	3.170 [d]
16	2.63 [a]	0.745 [d]	32.780 [d]	6.850 [a]	1.060 [d]	2.280 [e]

Different letters represent a significant difference at the probability level of 1%

شکل ٤-I اثر متقابل تاثیر نوع جعبه و زمان نگهداری بر میزان شاخص پوسیدگی توت‌فرنگی را نشان می‌دهد. در روز اول نگهداری پس از پرتودهی تفاوت معنی‌داری در میزان پوسیدگی میوه‌ها در جعبه‌های مختلف مورد مطالعه وجود نداشت ولی مقدار پوسیدگی در جعبه شاهد بدون پرتودهی بالاتر بود. با گذشت زمان روند توسعه میزان شاخص پوسیدگی میوه‌ها در جعبه‌های مختلف متفاوت بود. میوه‌های موجود در جعبه پلی-اتیلنی بدون فیلم در همه مدت نگهداری بیشترین پوسیدگی و فساد را متحمل شدند. در پایان روز ۱۶ ام نگهداری، کمترین مقدار شاخص پوسیدگی توت‌فرنگی با مقدار ۲ مشترکا در بسته پلی‌اتیلنی با فیلم و بسته مختص پیش‌سرمایش و بیشترین مقدار آن (۳/۷۷) مربوط به بسته پلی‌اتیلنی بدون فیلم بود. در این زمان مقدار شاخص پوسیدگی نمونه شاهد برابر ۵ بود. به عبارت دیگر پس از ۱۶ روز نگهداری محصول مقدار سطح پوسیدگی محصول شاهد بدون پرتودهی در حدود بیش از ۵۰ درصد سطح آنها بود.

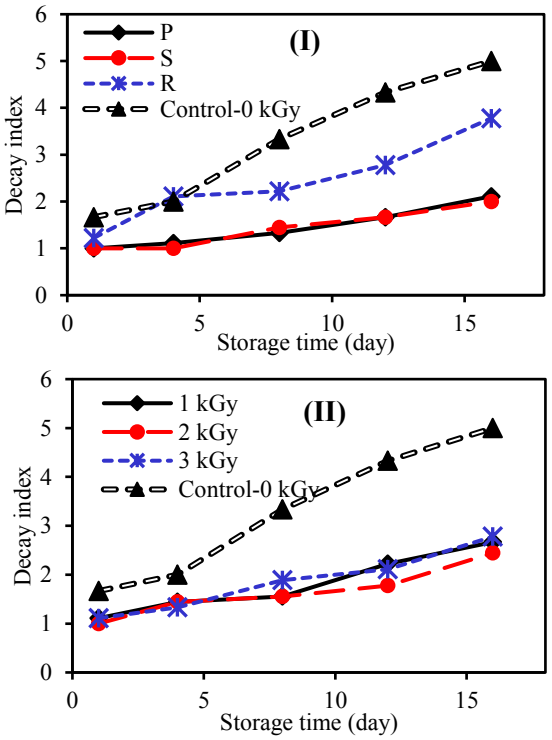


Figure 4- Variations in the strawberry decay index during the storage time as a function of I. Type of packaging and II. Irradiation dose

مطالعه بیشتر نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان پوسیدگی در روز ۱۶ ام نگهداری میوه‌های پرتودهی شده در جعبه پیش‌سرمایش و پلی‌اتیلنی با فیلم پلیمری، معادل میزان پوسیدگی در جعبه پلی‌اتیلنی بدون فیلم در روز ٤ ام نگهداری است. این نتایج نشان می‌دهد عمر انبارمانی میوه‌ها در جعبه‌های پیش‌سرمایش و پلی‌اتیلنی با فیلم، به مراتب بیش از جعبه‌های بدون فیلم است. هر چند اثر متقابل دو عامل اصلی دوز پرتودهی و زمان نگهداری روی شاخص پوسیدگی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ولی مطالعه بیشتر اثرات آنها و مقایسه آنها با تیمار شاهد بدون پرتودهی (دوز صفر) نشان داد که پوسیدگی در همه تیمارها در طول زمان رشد می‌یابد ولی میزان پوسیدگی و آهنگ افزایش آن در نمونه‌های تیمار شده به وسیله اشعه گاما، به مراتب کمتر از نمونه شاهد بود (شکل II-٤).

به عنوان مثال متوسط شاخص پوسیدگی پس از ۱۲ روز نگهداری در نمونه‌های پرتودهی شده به حدود ۲ رسید درحالی که در نمونه شاهد فقط ٤ روز طول کشید تا شاخص پوسیدگی به مقدار ۲ برسد. پرتوهای گاما از طریق صدمه به DNA میکروارگانیسم‌ها، آن‌ها را غیر فعال می‌سازند و میزان کنترل-کنندگی آن، به شدت پرتودهی بستگی دارد. هم‌چنین مقایسه بین دوزهای مختلف پرتودهی نیز نشان داد که در دوز ۲ کیلوگری میزان پوسیدگی کمتر از سایر دوزهای مورد مطالعه می‌باشد. دوزهای پایین‌تر از ۲ کیلوگری احتمالا توانایی پاک-سازی مناسب میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا را ندارد و به همین دلیل میزان پوسیدگی نمونه‌های توت‌فرنگی رقم گاویتا در پایان زمان نگهداری کمی بیشتر بود. کاهش اثر بازدارنگی اشعه در دوزهای بالا احتمالا به خاطر آسیبی است که پرتو به بافت میوه وارد می‌سازد و به عنوان عامل ثانویه فساد محسوب می شود (مستوفی و اصغری، ۱۳۸۹). بنابراین در دوزهای بالاتر از ۲ کیلوگری به علت قدرت اشعه در تخریب دیواره سلولی گسترش پوسیدگی در سطح میوه افزایش یافته است ولی اثر آن معنی‌دار نمی‌باشد. هم‌چنین پرتوها از طریق فعال کردن مکانیسم‌های دفاعی باعث القای مقاومت در برابر عوامل قارچی می‌شود القای مقاومت از طریق فعال کردن یک‌سری مواد ضد قارچی بنام فیتوالکسین‌ها صورت می‌گیرد که متابولیت‌های ثانویه گیاهی بوده و در کنترل فساد محصولات کشاورزی و باغی نقش دارند (گونزالس و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج فوق با نتایج آزمایش‌های پژوهشگران متعددی هم‌خوانی دارد. مستوفی و اصغری (۱۳۸۹) گزارش کردند که پرتودهی توت-فرنگی با اشعه فرابنفش از رشد کپک خاکستری جلوگیری می-کند. این در حالی است که قدرت میکروب‌کشی پرتوهای گاما به مراتب بیشتر از پرتوهای UV است. بر اساس یافته‌های پانوا و همکاران (۲۰۲۰) توسعه فساد قارچی در پایان ۲۰ روز نگهداری توت‌فرنگی‌های پرتودهی شده با دوزهای ۰/۵ و ۱ کیلوگری اشعه گاما، به ترتیب ۳۱ و ٤۳ درصد نسبت به نمونه-های پرتودهی نشده کمتر بود.

تغییرات سفتی بافت توت‌فرنگی

تاثیر هر سه عامل نوع جعبه، دوز پرتودهی و زمان نگهداری و نیز اثر متقابل زمان نگهداری و دوز پرتودهی روی مقدار سفتی بافت توت‌فرنگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. میوه‌های نگهداری شده در جعبه‌های مختص پیش‌سرمایش (P)

و جعبه‌های پلی‌اتیلنی با فیلم (S) دارای بیشترین سفتی بودند (به ترتیب ۰/۹۷۵ و ۰/۹٦۸ نیوتن) و کمترین مقدار سفتی در میوه‌های ذخیره شده در جعبه پلی‌اتیلنی بدون فیلم با مقدار ۰/۹۲ نیوتن به‌دست آمد (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهد که میوه‌های ذخیره شده در جعبه پیش‌سرمایش ضمن اینکه دارای کمترین مقدار پوسیدگی هستند متناسب با آن، به دلیل سطح باز کمتر این جعبه‌ها نسبت به جعبه‌های بدون فیلم و تماس کمتر با هوای سردخانه، کمتر دچار تغییرات بافت شده و سفتی خود را بیشتر حفظ نموده‌اند. دوز پرتودهی نیز تاثیر معنی‌داری روی سفتی بافت میوه‌ها داشت. بیشترین سفتی در دوز ۱ و ۲ کیلوگری و کمترین مقدار آن در دوز ۳ کیلوگری به مقدار ۰/۹۱۸ نیوتن به‌دست آمد. بنابراین با توجه به اینکه کاربرد شدت ۳ کیلوگری روی شاخص پوسیدگی تاثیر معنی‌داری نداشت (شکل ٤-II) و تا حدودی نسبت به ۲ شدت دیگر شاخص پوسیدگی هم بیشتر بود و از طرف دیگر مقدار سفتی بافت هم در شدت ۳ کیلوگری کمتر است (جدول ٤)، بنابراین هیچ توجیحی برای کاربرد شدت ۳ کیلوگری از نظر این دو مشخصه وجود ندارد. هم‌چنین نتایج نشان داد که در طول مدت نگهداری، میزان سفتی محصول کاهش یافته است که امری طبیعی است (جدول ۳). بیشترین میزان سفتی مربوط به روز اول نگهداری به مقدار ۱/۲۱٤ نیوتن و کمترین مقدار آن مربوط به روز شانزدهم نگهداری (۰/۷٤ نیوتن) بود که کاهش ۳۹ درصدی سفتی در طول نگهداری ملاحظه می‌شود. روند کاهش سفتی از روز ۱۲ام نگهداری به بعد، بسیار سریع می‌باشد.

Table 3- Mean comparison of the average effect of irradiation dose on firmness, TSS, TA, and pH of strawberry

Irradiation Dose (kGy)	Firmness (N)	TSS (%)	TA (g/100ml)	pH
1	0.965 [a]	6.310 [b]	1.260 [b]	3.220 [a]
2	0.966 [a]	6.330 [b]	1.270[b]	3.210 [a]
3	0.918 [b]	6.590 [a]	1.330 [a]	3.170 [b]

Different letters indicate a significant difference at the probability level of 1%

تغییرات سفتی بافت توت‌فرنگی تابعی از دوز پرتودهی و زمان نگهداری در شکل ۵ نشان شده است. در همه دوزهای پرتودهی مورد مطالعه با افزایش زمان نگهداری از سفتی نمونه‌ها کاسته شده است. تا روز ۱۲ام نگهداری محصول، مقدار سفتی محصول شاهد بدون پرتودهی، بیشتر از مقدار سفتی محصول پرتودهی شده بود ولی بعد از روز ۱۲، تفاوتی بین سفتی شاهد با بقیه تیمارها وجود نداشت. مقدار سفتی از روز ۱۲ به بعد کاهش زیادی دارد. بنابراین به دلیل اینکه سفتی جزء خواص کیفی اصلی محصول بود و از دیدگاه مشتری از جایگاه بالاتری دارد، بنابراین کاربرد شدت ۳ کیلوگری و نگهداری بیشتر از ۱۲ روز توجیه اقتصادی و فنی ندارد.

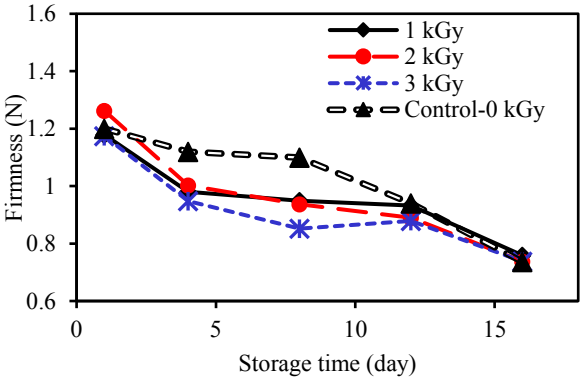


Figure 5- Variations in strawberry firmness during the storage time as a function of irradiation dose

همایونی‌راد و همکاران (۱۳۹۳) توت‌فرنگی را با پرتو الکترونی با شدت صفر، ۱ و۲ کیلوگری تحت تابش قرار دادند. نتایج آنها حاصل نشان داد که با افزایش دوز پرتودهی استحکام میوه کاهش می‌یابد. هم‌چنین در مدت یک روز بعد از اشعه‌دهی، پکتین محلول در آب نمونه‌های اشعه‌دهی شده با دوز ۱و۲ کیلوگری افزایش و مقدار اگزالات نمونه ها کاهش یافته بود.

کاهش سفتی میوه‌های پرتودهی شده به‌دلیل تجزیه ترکیبات سلولی مثل پکتین، همی‌سلولز، سلولز، تغییرات غشای سلولی و از دست دادن تورژسانس سلولی بود. مورنو و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که اشعه‌دهی در دوزهای بیش از ۱/٦ کیلوگری موجب تغییرات بافتی نامطلوب در زغال اخته شد. بوینتن و همکاران (۲۰۰٦) نیز نشان دادند که اشعه‌دهی با دوزهای کمتر از ۱ کیلوگری بافت قطعات تازه‌ی طالبی را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. پانوا و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند سفتی بافت توت‌فرنگی‌های اشعه‌دهی شده با پرتو گاما با دوز ۱ کیلوگری، کمتر از نمونه‌های پرتودهی شده با دوز ۰/۵ کیلوگری بود. مندس و همکاران (۲۰۲۰) نیز کاهش سفتی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی پرتودهی شده با اشعه گاما نسبت به نمونه‌های شاهد را گزارش نمودند. آنان نشان دادند تفاوت بین سفتی نمونه‌های پرتودهی شده با دوزهای ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ کیلوگری تا روز ۷ ام بعد از پرتودهی بیشتر بود و استفاده از دوزهای بالاتر اشعه گاما موجب کاهش بیشتر سفتی گوجه‌فرنگی شد. ولی در پایان ۲۸ روز نگهداری، تفاوت معنی‌داری بین سفتی نمونه‌های پرتودهی شده با دوزهای مختلف اشعه گاما وجود نداشت. نتایج تحقیقات آنها، هم سو با نتایج تحقیق حاضر بیانگر این است که دوزهای بالا اشعه موجب تخریب بافت و کاهش سفتی محصولات می‌شود.

محتوی اسید آسکوربیک

محتوی اسید آسکوربیک میوه‌های توت‌فرنگی تحت تاثیر نوع بسته‌بندی و مدت زمان نگهداری قرار داشت (جدول ۱). مقدار اسید آسکوربیک میوه‌های نگهداری شده در جعبه‌های پیش‌سرمایش و پلی‌اتیلنی با فیلم، بیشتر از میوه‌های نگهداری شده در جعبه‌های پلی‌اتیلنی بدون فیلم بود که علت آن می‌تواند شرایط بهینه نگهداری در این جعبه‌ها و حفظ کیفیت میوه‌ها باشد که از زایل شدن محتوی اسید اسکوربیک جلوگیری کرده است (جدول ۲). بیشترین مقدار اسید آسکوربیک در روز اول نگهداری به مقدار ۷۱/۳۲ و کمترین مقدار آن در روز شانزدهم نگهداری به مقدار ۳۲/٦٦ میلی‌گرم در صد گرم ثبت شد (جدول ۳). اسید آسکوربیک یکی از آنتی‌اکسیدان‌های مهم توت‌فرنگی است که در طول مدت نگهداری میوه‌ها، مقدار آن افت پیدا می‌کند که دلیل آن مصرف این ویتامین بعنوان دهندهٔ الکترون به اکسیدان‌ها برای خنثی کردن رادیکال‌های آزاد می‌باشد (سمیموف، ۱۹۹۵).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تفاوتی بین محتوی اسید اسکوربیک میوه‌های پرتودهی شده با دوزهای مختلف پرتو-دهی ۱، ۲ و ۳ کیلوگری وجود ندارد. ولی نمونه‌های شاهد دارای اسید اسکوربیک بیشتری نسبت به نمونه‌های پرتودهی شده می‌باشند (شکل ٦-I). هرچند در انتهای مدت نگهداری (روز ۱٦ام) میزان اسید اسکوربیک همه نمونه‌ها با یکدیگر برابر بود ولی در روزهای ۸ام و ۱۲ام نگهداری، نمونه‌های شاهد دارای اسید اسکوربیک بیشتری بودند. بنابراین از دیدگاه سفتی و پوسیدگی و هم از دیدگاه محتوی اسید اسکوربیک، کاربرد ۳ کیلوگری و نگهداری بیشتر از ۱۲ روز توجیه فنی، اقتصادی و کیفی ندارد.

کاهش محتوی اسید آسکوربیک میوه‌ها در اثر پرتودهی در برخی از میوه‌ها نیز گزارش شده است. پرتودهی با دوز ۰/۷ کیلوگری اثر خاصی بر محتوی اسید آسکوربیک گریپفروت زودرس نداشت، اما گریپفروت دیررس زمانی‌که در معرض اشعه با دوز ۰/۲ کیلوگری و بیشتر از آن قرار گرفت متحمل کاهش محسوس اسید آسکوربیک بعد از ۳۵ روز نگهداری شد (پاتیل و همکاران، ۲۰۰٤). مندس و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند که گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده با دوزهای ۰/۵ و ۱ کیلوگری اشعه گاما، در روز نخست پرتودهی از محتوی اسید آسکوربیک بالاتری نسبت به نمونه‌های شاهد برخوردار بودند، اما با افزایش مدت زمان نگهداری، محتوی اسید آسکوربیک در همه نمونه‌ها (اشعه‌دهی شده با دوزهای مختلف و شاهد) یکسان بود. فن و سوکورای (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که تخریب اسید اسکوربیک با افزایش میزان دوز پرتودهی افزایش می‌یابد.

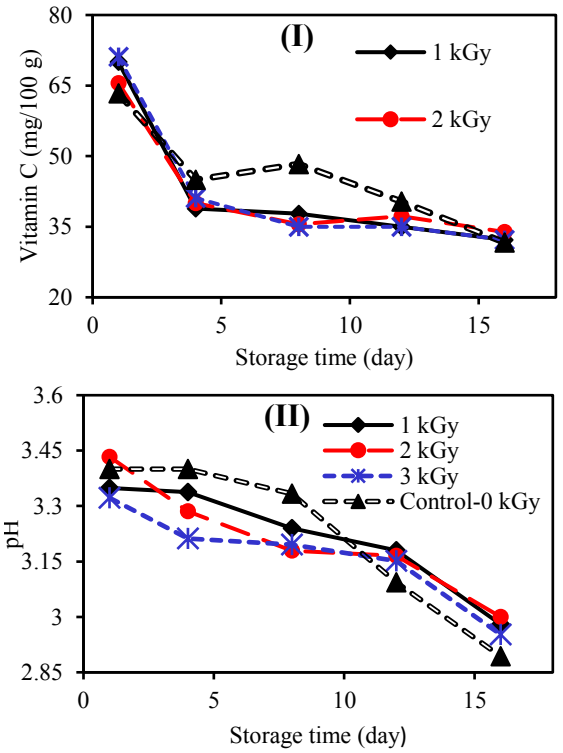


Figure 6- Variations in I: ascorbic acid and II: pH of strawberry during storage as a function of irradiation dose

میزان اسیدیته کل

از میان فاکتورهای مورد مطالعه اثر ساده دوز پرتودهی و زمان نگهداری و اثر متقابل دوز پرتودهی با زمان نگهداری، در سطح احتمال ۱٪ بر میزان اسیدیته کل (pH) آب‌میوه توت‌فرنگی معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین pH با مقدار ۳/۲۲ در دوز پرتودهی ۱ و ۲ کیلوگری مشاهده شد (جدول ٤). در طول دوره نگهداری میزان pH نمونه‌ها روند نزولی داشت به‌طوری‌که در پایان روز شانزدهم، میزان pH به ۲/۹۷ افت پیدا کرد (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین تاثیر متقابل دوز پرتودهی و زمان نگهداری نیز نشان داد بیشترین مقدار pH مربوط به تیمار دوز ۲ کیلوگری در روز اول بعد از پرتودهی (۳/٤٤) و کمترین مقدار آن با مقدار ۲/۹٦ مربوط به تیمار دوز ۳ کیلوگری در روز شانزدهم نگهداری بود (شکل ٦-**II**). به‌طورکلی می‌توان بیان نمود که تا روز ۸ام نگهداری، تیمارهای ۱ و ۲ کیلوگری دارای pH بیشتری هستند ولی بعد از آن تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود ندارد. تا روز ۸ام نمونه‌های شاهد که پرتودهی نشده بودند دارای pH بیشتری بودند ولی بعد از آن تفاوتی با نمونه‌های پرتودهی شده نداشتند.

این نتایج با یافته‌های استیونس و همکاران (۱۹۷۸) و هم‌چنین مستوفی و اصغری (۱۳۸۹) مطابقت دارد. آنها نشان دادند که با افزایش شدت پرتودهی با اشعه‌ی فرابنفش میزان pH آب میوه در نمونه‌های هلو و توت‌فرنگی کاهش پیدا می‌کند. این در حالی است که پانوا و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که پرتودهی با اشعه گاما اثر معنی‌داری روی pH توت‌فرنگی ندارد. نتایج مشابهی نیز توسط مندس و همکاران (۲۰۲۰) در مورد pH گوجه‌فرنگی گیلاسی گزارش شده است.

محتوی کل مواد جامد محلول (TSS)

همانند سایر خصوصیات کیفی مورد مطالعه، تاثیر پارامترهای مورد مطالعه روی محتوی کل مواد جامد محلول (TSS) نیز معنی‌دار بود (جدول ۱). TSS در جعبه‌های پلی‌اتیلنی بدون فیلم بیشترین مقدار (٦/٥٨ درصد) و در جعبه پلی‌اتیلنی با فیلم و جعبه‌های پیش‌سرمایش کمترین مقدار بود (جدول ۲). جعبه پلی‌اتیلنی با فیلم و جعبه‌های پیش‌سرمایش در TSS میوه توت‌فرنگی، تاثیر بهتری داشتند. به عبارت دیگر نوع بسته‌بندی در TSS اثرگذار بود. نوع بسته‌بندی با کنترل میزان تنفس و تعرق نمونه‌ها خصوصیات کیفی میوه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. دوز پرتودهی نیز اثر معنی‌داری روی TSS نمونه‌ها داشت به‌طوری‌که با افزایش دوز پرتودهی مقدار TSS افزایش یافت. در دوزهای ۱ و ۲ کیلوگری مقدار TSS به ترتیب برابر ٦/٢٩ و ٦/٢٣ درصد بود که بین آنها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ولی در دوز ۳ کیلوگری مقدار TSS برابر ٦/٥٩ درصد بود (جدول ٤). همان‌طوری‌که قبلا بیان شد استفاده از دوز ۳ کیوگری به دلیل اثرات منفی آن روی سفتی توجیه فنی ندارد. با افزایش مدت نگهداری توت‌فرنگی TSS افزایش یافت. به طوری‌که بیشترین مقدار آن (٦/٨٥ درصد) در روز ١٦ام ملاحظه شد (جدول ۳). به این ترتیب جعبه پلی‌اتیلنی با فیلم و جعبه‌های پیش‌سرمایش و دوز پرتودهی ۱ و ۲ کیلوگری در TSS میوه توت‌فرنگی، تاثیر بهتری داشتند.

پانوا و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که TSS توت‌فرنگی تا ۱۵ روز نگهداری سرد به دلیل مصرف قند کاهش و بعد از

آن به دلیل کاهش رطوبت محصول افزایش می‌یابد. تفاوت قابل ملاحظه‌ای در TSS میوه‌های پرتودهی شده با دوزهای مختلف اشعه گاما با میوه‌های شاهد وجود نداشت. مندس و همکاران (۲۰۲۰) نیز به نتایج مشابهی در خصوص **TSS** گوجه‌فرنگی دست یافتند.

میزان اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

میزان اسیدیته قابل تیتراسیون توت‌فرنگی تحت تاثیر دوز پرتودهی و زمان نگهداری قرار دارد (جدول ۱). هم‌چنین اثر دوز پرتودهی در زمان نگهداری نیز معنی‌دار بود. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که TA نمونه‌ها در طول شانزده روز نگهداری روند نزولی داشت و بیشترین TA در روز اول (۱/٤٥ گرم در صد میلی‌لیتر) و کمترین مقدار آن در روز شانزدهم (۱/۰٦ گرم در صد میلی‌لیتر) ثبت گردید (جدول ۳). نتایج مطالعات حاکی از آن است که TA میوه توت‌فرنگی در تمام سطوح دوزهای پرتودهی از گروه شاهد بیشتر بود و مقدار آن با افزایش دوز پرتودهی افزایش یافت (جدول ٤). به‌طوری‌که بیشترین مقدار مربوط به دوز ۳ کیلوگری بود (۱/۳۳ گرم در صد میلی‌لیتر). مطالعه اثر متقابل دوز پرتودهی و زمان نگهداری روی TA نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب با مقادیر ۱/۵۱ و ۱/۰۲ گرم در صد میلی‌لیتر به ترتیب مربوط به تیمار دوز ۲ کیلوگری در روز اول و ۲ کیلوگری در روز شانزدهم بعد از پرتودهی بود (شکل۷-I). به این ترتیب دور پرتودهی ۲ کیلوگری برای پرتودهی میوه‌ها مناسب‌تر می‌باشد. نتایج هم‌چنین نشان داد TA میوه‌های پرتودهی شده همواره بیشتر از میوه‌های گروه شاهد بود. نتایج تحقیقات پانوا و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد TA توت‌فرنگی‌های پرتودهی شده با اشعه گاما بیشتر از نمونه‌های شاهد بود ولی تفاوت معنی‌داری در TA میوه‌های پرتودهی شده با دوز ۰/۵ و ۱ کیلوگری وجود نداشت. مندس و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیشترین TA گوجه‌فرنگی را در پرتودهی با دوز ۱ کیلوگری اشعه گاما تا روز ۷ ام بعد از پرتودهی مشاهده نمودند. اما در پایان ۲۸ روز نگهداری، تفاوت معنی‌داری بین TA نمونه‌های تیمارشده با دوزهای مختلف و تیمار شاهد وجود نداشت.

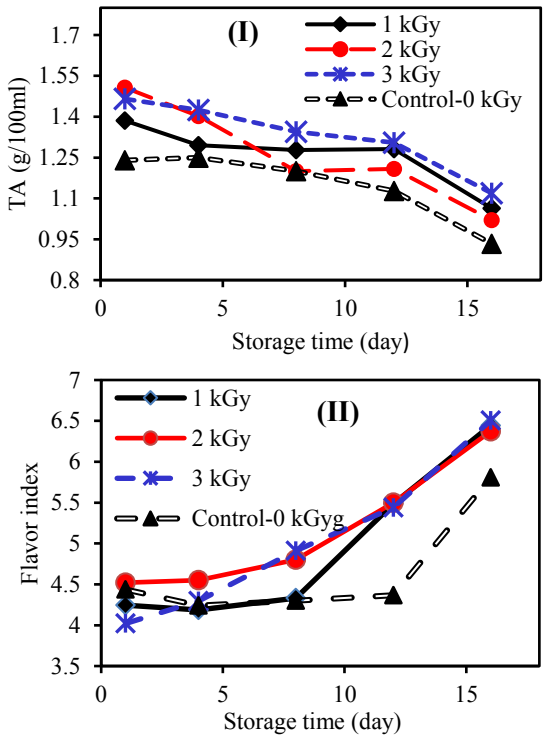


Figure 7- Variations of I: TA and II: Flavor index of strawberry during storage as a function of irradiation dose

شاخص طعم توت‌فرنگی

از نسبت TSS روی TA به عنوان شاخص طعم استفاده گردید که مطالعه این شاخص بهتر از مطالعه انفرادی TSS و TA می‌تواند تغییرات طعم میوه‌ها را نشان دهد. همان‌طوری‌که در شکل II-۷ نشان داده شده است با افزایش زمان نگهداری، شاخص طعم توت‌فرنگی افزایش یافت. شاخص طعم در میوه‌های پرتودهی‌شده بالاتر از نمونه‌های شاهد بود. هم‌چنین بعد از روز ۱۲ام نگهداری تفاوت محسوسی بین شاخص طعم میوه‌ها در دوزهای مختلف پرتودهی مشاهده نشد. بنابراین با توجه به اینکه دوز پرتودهی ۳ کیلوگری قبلا توصیه نشده بود، می‌توان دوز پرتودهی ۲ کیلوگری و مدت زمان نگهداری ۱۲ روز را برای شاخص طعم مطلوب توصیه نمود.

مندس و همکاران (۲۰۲۰) گزارش نمودند که شاخص طعم گوجه‌فرنگی در نمونه‌های پرتودهی شده با دوز ۱ کیلوگری اشعه گاما در روز ۷ ام بعد از پرتودهی، کمتر از نمونه‌های تیمار شده با دور ۰/۲۵ و ۰/۵ کیلوگری بود. اما در پایان ۲۸ روز نگهداری، تفاوت معنی‌داری بین شاخص طعم

نمونه‌های تیمارشـــده با دوزهای مختلف اشـــعه گاما وجود نداشت.

نتیجه گیری

علاوه بر طعم، وضعیت ظاهری محصول مهم‌ترین شاخص ارزیابی بازارپسندی محصول است و وجود هر گونه علایم آلودگی و پوسیدگی و نرم‌شدن میوه باعث کاهش بازارپسندی محصول می‌شود. بنابراین هر عاملی که سرعت پیری و فساد را کاهش داده و از توسعه علایم پوسیدگی جلوگیری کند باعث بازارپسندی محصول خواهد شد. پرتودهی محصولات کشاورزی با اشعه گاما یک روش پرکاربرد برای کنترل عوامل بیماری‌زا و فساد می‌باشد. مطالعه تاثیر هم‌زمان نوع بسته‌بندی، دوز پرتودهی با اشعه گاما و مدت زمان نگهداری روی خصوصیات کیفی و کنترل پوسیدگی نشان داد که همه این عوامل اثر معنی‌داری بر خواص مورد مطالعه دارند. نتایج تحقیق نشان داد که پوسیدگی و TSS میوه‌های نگهداری‌شده در جعبه‌های پیش‌سرمایش و پلی‌اتیلنی با فیلم، در طول مدت نگهداری از مقادیر پایین و سفتی و اسید اسکوربیک بالایی نسبت به سایر تیمارها برخوردار بودند. پرتودهی با دوز ۲ کیلوگری نیز موجب حفظ بهتر سفتی، TSS و pH میوه‌ها شده و میزان پوسیدگی میوه‌ها را کاهش داد. TA میوه‌ها نیز در این دوز پرتودهی، کمتر از سایر دوزهای مورد مطالعه بود. میوه‌های نگهداری شده تا روز ۸ام و ۱۲ام نگهداری از کیفیت خوبی برخوردار بوده و میزان پوسیدگی آنها کمتر از ۱/۸٦ بود. در نهایت پرتودهی با اشعه گاما با دوز ۲ کیلوگری و بسته‌بندی در جعبه پیش‌سرمایش و یا پلی‌اتیلن با فیلم پلیمری به عنوان بهترین تیمار برای نگهداری توت‌فرنگی تا ۱۲ روز پیشنهاد شد.

References

مستوفی ی و اصغری مرجانلو ا، ۱۳۸۹. تأثیر پرتو تابی با UVC بر کنترل پوسیدگی خاکستری و کیفیت پس از برداشت توت فرنگی (سلوا). مجله علوم باغبانی ایران، دوره ٤١، شماره ١. صفحه‌های ٣٩ تا ٤٦.

همایونی‌رادع و طبیبیان م، ۱۳۹۳. افزایش ماندگاری قطعات تازه میوه‌ها وسبزیجات بوسیله‌ی پرتودهی. اولین همایش کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم صنایع غذایی و کشاورزی، دانشگاه تبریز.

Abdullah R, Rashid S, Naz Sh, Iqtedar M and Kaleem A. 2018. Postharvest preservation of citrus fruits (Kinnow) by gamma irradiation and its impact on physicochemical characteristics. Progress in Nutrition 20 (1): 133-145.

Ayala-Zavala, JF, Wang ShY, Wang ChY and Gonzalez-Aguilar GA. 2007. Oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. Food Technology and Biotechnology. 42(2): 166-173.

Antonio AL, Fernandes A, Bento A, Ferreira A, Trigo MJ, Botelho ML, Quintana B and Ramalhosa E. 2013. Gamma irradiation preservation of chestnut fruits: effects of color and texture. European Scientific Journal 3: 1857 – 7881.

Aziz NH, Souzan RM and Shahin Azza A. 2006. Effect of g-irradiation on the occurrence of pathogenic microorganisms and nutritive value of four principal cereal grains. Applied Radiation and Isotope 64: 1555–1562.

Bourne MC. 2002. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Elsevier Science and Technology Books.

Boynton BB, Welt BA, Sims CA, Balaban MO, Brecht JK and Marshall MR. 2006. Effects of Low-dose Electron Beam Irradiation on Respiration, Microbiology, Texture, Color, and Sensory Characteristics of Fresh-cut Cantaloupe Stored in Modified-atmosphere Packages. Journal of Food Science 71: 149-155.

Chakraverty A and Paul SR. 2001. Postharvest Technology: Cereals, Pulses and Vegetables. Sci. Publ., India.

Fan X and Sokorai KJB. 2011. Changes in quality, liking, and purchase intent of irradiated fresh-cut spinach during storage. Journal of Food Science 76: 363-368.

Ferrua MJ and Singh RP. 2011. Improved airflow method and packaging system for forced-air cooling of strawberries. International Journal of Refrigeration 34: 1162–1173.

George DS, Razali Z, Santhirasegaram V and Somasundram C. 2015. Effects of ultraviolet light (UV-C) and heat treatment on the quality of fresh-cut Chokanan mango and Josephine pineapple. Journal of Food Science 80(2): 426-434.

Gonzalez A, Zavaleta R and Tiznado ME. 2007. Improving postharvest quality of mango Haden by UV-C treatment. Postharvest Biology and Technology 45: 108-116.

Haider ST, Azam M, Naz S, Hussain S, Ali S, Liaquat M, Umer MA, Asif M, Nasir M, Mustafa Z, Hussain R, Iqbal MA, Masih Sh, Akram MT and Naveed Kh. 2023. Postharvest application of gamma irradiation affects fruit quality and antioxidant enzymes activities of 'kinnow' mandarin fruits during cold storage. Food Science and Technology 43: 1-10.

Jabin T, Kamal S, Islam Sh, Razu MH, Paul G K, Karmaker P, Huda M, Rahman M, Moniruz zaman M, Uddin M S, Saleh M A, Khan M and Zaman Sh. 2023. Effect of gamma irradiation on chemical composition, antioxidant activity, antibacterial activity, shelf life, and cytotoxicity in the peels of two mango varieties grown in Bangladesh. Arabian Journal of Chemistry 16: Article 104708.

Kader AA. 2002. Postharvest Technology of Horticultural Crops, third ed. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Publication, Oakland, CA. p. 3311.

Kirkin C and Gunes G. 2022. Quality of thyme (Thymus vulgaris L.) and black pepper (Piper nigrum L.) during storage as affected by the combination of gamma-irradiation and modified atmosphere packaging. South African Journal of Botany 150: Article 978985.

Kirkin C, Mitrevski B, Gunes G and Marriott PJ. 2014. Combined effects of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on quality of some spices. Food Chemistry 154: 255-261.

Lu Q, Yang D and Xue Sh. 2023. Effects of postharvest gamma irradiation on quality maintenance of Cara Cara navel orange (Citrus sinensis L. Osbeck) during storage. LWT - Food Science and Technology 184: Article 115017.

Mendes KF, Mendes KF, Guedes SF, Santos Silva LCA and Arthur V. 2020. Evaluation of physicochemical characteristics in cherry tomatoes irradiated with 60Co gamma-rays on post-harvest conservation. Radiation Physics and Chemistry 177: 1-9.

Moreno MA, Castell-Perez ME, Gomes C, Da Silva PF and Moreira RG, 2007. Quality of electron beam irradiation of blueberries (Vaccinium corymbosum L.) at medium dose levels (1.0–3.2 kGy). LWT - Food Science and Technology 40: 1123–1132.

Nalbandi H and Seiiedlou S. 2020. Sensitivity analysis of the precooling process of strawberry: Effect of package designing parameters and the moisture loss. F*ood Science and Nutrition* 8: 2458-2471.

Nalbandi H, Seiiedlou S, Ghassemzadeh HR and Ranjbar F. 2016. Innovative parallel airflow system for forced-air cooling of strawberries. Journal of Food and Bioproducts Processing 100: 440–449.

Panou AA, Karabagias IK and Riganakos KA. 2020. Effect of Gamma-Irradiation on Sensory Characteristics, Physicochemical Parameters, and Shelf Life of Strawberries Stored under Refrigeration 20(2): 191–206.

Patil BS, Vanamala J and Hallman G. 2004. Irradiation and storage influence on bioactive components and quality of early and late season ''Rio Red'' grapefruit (Citrus) paradisi Macf. Postharvest Biology and Technology 34: 53–64.

Premi Devi M, Sahoo MR, Kuna A, Deb P, Dasgupta M and Prakash N. 2018. Effect of gamma irradiation on nutritional properties and antinutrient contents of Citrus jambhiri Lush. Fruits. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 7(4): 2833-2836

Smirnoff N. 1995. Antioxidant systems and plant response to the environment, In: Smirnoff N, ed. Environment and plant metabolism. Flexibility and acclimation. Oxford: Bios Scientific Publishers. Pp: 217-243.

Stevens C, Khan VA, Lu JY, Wilson CL, Pusey PL, Kabwe MK, Igwegbe ECK, Chalutz E and Droby, S. 1998. The germicidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast micro flora of peaches. Crop Protection 17(14): 75-84.

Ullah Khan Q, Mohammadzai I, Shah Z, Ullah I, Khattak TN, Noreen H and Hassan W. 2018. Effect of Gamma Irradiation on Nutrients and Shelf Life of Peach (Prunus persical) Stored at Ambient Temperature. The Open Conference Proceedings Journal 9(1): 8-15

Vanamala J, Cobb G, Loaiza J, Yoo K, Pike LM and Patil BS. 2007. Ionizing radiation and marketing simulation on bioactive compounds and quality of grapefruit (Citrus paradisi c.v. Rio Red). Food Chemistry 105: 1404–1411.

Wang Z, Ma Y, Zhao G, Liao X, Chen F, Wu J, Chenand J and Hu X. 2006. Influence of gamma irradiation on enzyme, microorganism, and flavor of cantaloupe (Cucumis melo L.) juice. Journal of Food Science 71(6): 215–220.

Zhang Q, Yang W, Liu J, Liu H, Lv Z, Zhang Chen D, Zhonggao J. 2021. Postharvest UV-C irradiation increased the flavonoids and anthocyanins accumulation, phenylpropanoid pathway gene expression, and antioxidant activity in sweet cherries (Prunus avium L.). Postharvest Biology and Technology 175, Article 111490.

Food Research Journal

FACULTY OF AGRICULTURE, UNIVERSITY OF TABRIZ

License Holder: Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

Managing Director:
Ayaseh A — Associate Professor, Department of Food Science and Technology, University of Tabriz

Editor:
Ghanbarzadeh B — Professor, Department of Food Science and Technology, University of Tabriz

Executive officer:
Sadeghi M H — Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Scope of Journal Food Science and Technology

Editorial Board:

Khodaiyan Chegini F	Associate Professor, Department of Food Science and Technology, university of Tehran
Razavi M A	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad
Alizadeh Khaledabad M	Professor, Department of Food Science and Technology, University of Urmia
Moosavy M H	Professor, Department of food hygiene and aquatics, University of Tabriz
Hejazi M A	Associate Professor, Agriculture Biotechnology Research Institute of Iran, ABRII
Hamdami N	Professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan University Of Technology
Dehghannya J	Professor, Department of Food Science and Technology, University of Tabriz
Ghanbarzadeh B	Professor, Department of Food Science and Technology, University of Tabriz
Pasquale Massimiliano Falcone	Food Science and Engineering University of Foggia
Vasfiye Hazal OZYURT	Mugla Sıtkı Kocman University -Turkey
Lama Ismaiel	Postdoctoral researcher, università politecnica delle marche, Italy
Mohammadamin Mohammadifar	Associate Professor, Technical University of Denmark
Hossein Baniasadi	Metallurgical Engineering, Aalto University, Finland

Email: foodresearch@tabrizu.ac.ir

Website: http://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Food Research Journal
2025, 34 (4)

List of contents

Nastaran Khodadadi, Zeynab Raftani Amiri, Reza Esmaielzadeh Kenari and Somayeh Rezaei Erami 1
Investigating the effect of sucrose with a suitable level of licorice as a native Iranian …….

Maryam Mirkhaghani Haghighi, Mohammad Vahid Sadeghi Sarvestani , Seyed Saeed Sekhavatizadeh and Morteza Moharreri 15
Production of meat analogue product and investigation of texture characteristics and …….

Mohammad Noshad*, Mohammad Hojjati, Parisa Ghasemi 35
Using foam mat drying in the production of sugarcane molasses powder: optimization ….

Bahram Fathi-Achachlouei , Hakimeh Rezaei jafarloo , Hossein Abdi-Benemar, Rezvan Shaddel 55
Enrichment of Milk powder with encapsulated conjugated linoleic acid (CLA) by ……

Fakhreddin Salehi and Kimia Samary 77
Application of magnetized water to reduce oil absorption and improve sensory ……..

Mohammad Fazli Rad, Jafar Mohammadzadeh Milani and Sepideh Haghighat-Kharazi 91
Effect of moist and dry heating in different particle sizes of wheat flour on the ……...

Sadegh Seyedlou, Habibeh Nalbandi , Fakhredin Asaadi and Mahdi Arzanlou 109
Simultaneous effect of the packages designed for the precooling process with gamma ……..

FOOD RESEARCH JOURNAL

University of Tabriz

(AGRICULTURAL SCIENCE)

Faculty of Agriculture, University of Tabriz, IRAN