

عنوان مقالات

- مقایسه اثر نیتريت سدیم و نانوکپسول های حامل آستاگزانتین میکروکپسول هماتوکوکوس (*Haematococcus pluvialis*) با پوشش ترکیبی مالتودکسترین-کازئینات سدیم در کنترل فساد اکسیداتیو و میکروبی سوسپیس معمولی ۳۵۳
سهیل ریحانی پول - سکینه یگانه - رضا صفری
- تولید سس مایونز با چربی کاهش یافته با استفاده از نانوامولسیون پایدار شده با پیکرینگ های کمپلکس کازئین و صمغ قدومه شیرازی ۳۷۱
آتنا مدیری دوم - اکرم آریان فر - سارا ناجی طبسی - وحید حکیم زاده
- بهبود سازی شرایط استخراج رنگ از جغندر قرمز ۳۸۳
مهشاد لوارستانق - نفیسه زمین دار - یاسمن اسمعیلی
- تأثیر فناوری پخت اکستروژن بر ویژگی های کیفی کوکی فاقد گلوتن حاوی آرد کامل نخود، برنج شکسته و صمغ زانتان ۳۹۷
زهرا دهقان - الناز میلانی - ندا هاشمی
- بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ترکیبات آنتی اکسیدانی میوه و هسته ای ارقام خرماي شاهانی و خاصویی منطقه زرین دشت فارس ۴۱۱
زهرا خداکرمی فرد - حنان لشکری
- تولید فیلم هوشمند کنسانتره پروتئین آب پنیر حاوی آنتوسیانین انار و انگور قرمز و نانو ذرات اکسید روی: بررسی ویژگی های فیزیکوشیمیایی و ساختاری ۴۱۹
ابراهیم تقی زاده - محمد علیزاده خالدآباد - حامد حسن زاده
- تأثیر تخمیر کنترل شده عدس جوانه زده حاوی عصاره رازیانه بر ویژگی های نان گندم ۴۳۵
مینا رسولی فر - علیرضا صادقی - فهیمه حاجی نیا - مریم ابراهیمی - محمد قربانی
- بررسی اثر پوشش کیتوزان به همراه روغن فرار گیاه زنجبیل بر روی ماندگاری ماهی قزل آلا در دمای یخچال ۴۴۹
الناز مهرابی - مجتبی بنیادیان - عزیز اله فلاح
- تأثیر پوشش خوراکی آلژینات و اسانس آویشن شیرازی بر صفات کیفی میوه کنار هندی (*Ziziphus mauritiana* Lam.) در طول انبار .. ۴۶۷
عالیه سادات رفعت حقیقی - لیلا جعفری - عبدالمجید میرزا علیان دستجردی - فرزین عبدالهی
- بررسی تغییرات کیفی سیب رقم گلدن دلشیز در شرایط انبارداری با استفاده از تصویربرداری اشعه ایکس ۴۸۷
بهشاد طحانی - بابک بهشتی - محسن حیدری سلطان آبادی - احسان حکمتیان

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران

با شماره پروانه ۱۲۴/۸۴۷ و درجه علمی-پژوهشی شماره ۳/۱۱/۸۱۰ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
"براساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند."

مهر - آبان ۱۴۰۳

شماره ۴

جلد ۲۰

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر ناصر شاهنوشی

سر دبیر: دکتر مسعود پاورمنش

اعضای هیئت تحریریه:

استاد، میکروبیولوژی و بیوتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر سید علی مرتضوی
استاد، میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر فخری شهیدی
استاد، میکروبیولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر محمدباقر حبیبی نجفی
دانشیار، میکروبیولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان	دکتر مرتضی خمیری
استاد، مهندسی و خواص بیوفیزیک مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر سید محمد علی رضوی
استاد، شیمی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر رضا فرهوش
استاد، میکروبیولوژی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد	دکتر بی بی صدیقه فضلی بزاز
استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان	دکتر مهدی کاشانی نژاد
استاد، تکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر آرش کوچکی
استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر محبت محبی
استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه تبریز	دکتر بابک قنبرزاده
استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف	دکتر ایران عالمزاده
دانشیار، نانو فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد	دکتر قدیر رجبزاده اوغاز
دانشیار، زیست مولکولی، بیمارستان زنان و بزرگام، ایالت متحده آمریکا	دکتر مهیار حیدرپور
دانشیار، میکروبیولوژی غذایی، دانشگاه متروپولیتن لندن	دکتر حمید بهادر قدوسی
استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی	دکتر کیانوش خسروی
استاد، مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه آریزونا	دکتر مرتضی عباسزادگان
استاد، مهندسی تولید مواد غذایی، دانشگاه فنی دانمارک	دکتر محمدامین محمدیفر
استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف	دکتر منوچهر وثوقی
دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه	دکتر هادی الماسی
دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان	دکتر میلاد فتحی
استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس	دکتر سلیمان عباسی
استاد، گروه علوم تغذیه و مواد غذایی، دانشگاه پورتو، پرتغال	دکتر نونو بورخس
دانشیار، گروه علوم مولکولی، دانشکده منابع طبیعی و علوم کشاورزی، دانشگاه سوئد	دکتر علی عطا معظمی
دانشیار گروه میکروبیولوژی، دانشگاه کشاورزی مایکل اوکپارا، ایالت ابیا، نیجریه	دکتر کلیفورد نکمناسو اوبی
دانشیار گروه فناوری غذایی، مؤسسه تکنولوژی و علم هندوستان، چنای، تامیل نادو، هند	دکتر ساموئل ایوفمی اولالکان آدیبه

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

این نشریه در پایگاههای زیر نمایه شده است:

AGRIS, Scopus, CABI, DOAJ, EBSCO, Google scholar, Internet Archive, پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC), سامانه نشریات علمی ایران, پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID), بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN), مرجع دانش CIVILICA

پست الکترونیکی: ifstrj@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت <https://ifstrj.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

این نشریه به تعداد ۶ شماره در سال و به صورت آنلاین منتشر می شود.

مندرجات

مقالات پژوهشی

- ۳۵۳ مقایسه اثر نیتريت سدیم و نانوکپسول های حامل آستاگزانتین میکروجلبک هماتوکوکوس (*Haematococcus pluvialis*) با پوشش ترکیبی مالتودکسترین-کازئینات سدیم در کنترل فساد اکسیداتیو و میکروبی سوسیس معمولی سهیل ریحانی پول- سکینه یگانه- رضا صفری
- ۳۷۱ تولید سس مایونز با چربی کاهش یافته با استفاده از نانوامولسیون پایدار شده با پیکرینگ های کمپلکس کازئین و صمغ قدومه شیرازی آتنا مدیری دوم- اکرم آریان فر- سارا ناجی طبسی- وحید حکیم زاده
- ۳۸۳ بهینه سازی شرایط استخراج رنگ از چغندر قرمز مهشاد لوارستاق- نفیسه زمین دار- یاسمن اسمعیلی
- ۳۹۷ تأثیر فناوری پخت اکستروژن بر ویژگی های کیفی کوکی فاقد گلوتن حاوی آرد کامل نخود، برنج شکسته و صمغ زانتان زهرا دهقان- الناز میلانی- ندا هاشمی
- ۴۱۱

مقاله پژوهشی کوتاه

- بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ترکیبات آنتی اکسیدانی میوه و هسته ای ارقام خرمای شاهانی و خاصویی منطقه زرین دشت فارس زهرا خداکرمی فرد- حنان لشکری
- ۴۱۹

مقالات پژوهشی

- تولید فیلم هوشمند کنسانتره پروتئین آب پنیر حاوی آنتوسیانین انار و انگور قرمز و نانوذرات اکسید روی: بررسی ویژگی های فیزیکوشیمیایی و ساختاری ابراهیم تقی زاده- محمد علیزاده خالدآباد- حامد حسن زاده
- ۴۳۵ تأثیر تخمیر کنترل شده عدس جوانه زده حاوی عصاره رازیانه بر ویژگی های نان گندم مینا رسولی فر- علیرضا صادقی- فهیمه حاجی نیا- مریم ابراهیمی- محمد قربانی
- ۴۴۹ بررسی اثر پوشش کیتوزان به همراه روغن فرار گیاه زنجبیل بر روی ماندگاری ماهی قزل آلا در دمای یخچال الناز مهربانی- مجتبی بنیادیان- عزیز اله فلاح
- ۴۶۷ تأثیر پوشش خوراکی آلژینات و اسانس آویشن شیرازی بر صفات کیفی میوه کنار هندی (*Ziziphus mauritiana* Lam.) در طول انبار عالیہ سادات رفعت حقیقی- لیلا جعفری- عبدالمجید میرزاعلیان دستجردی- فرزین عبدالمهی
- ۴۸۷ بررسی تغییرات کیفی سیب رقم گلدن دلشیز در شرایط انبارداری با استفاده از تصویربرداری اشعه ایکس بهشاد طحانی- بابک بهشتی- محسن حیدری سلطان آبادی- احسان حکمتیان

Comparison of the Effect of Sodium Nitrite and Nanocapsules Carrying Astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* with Maltodextrin-sodium Caseinate Combined Coating in Controlling Oxidative and Microbial Spoilage of Common Sausage

S. Reyhani Poul¹, S. Yeganeh^{2*}, R. Safari³

1- Ph.D. Graduate, Department of Processing of Fishery Products, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2- Professor, Department of Fisheries, Faculty of Animal Science and Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(*- Corresponding Author Email: s.yeganeh@sanru.ac.ir)

3- Assistant Professor, Caspian Sea Ecology Research Institute, Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research Education And Extension Organization, Sari, Iran

Received: 11.09.2022

Revised: 20.04.2023

Accepted: 28.04.2023

Available Online: 29.04.2023

How to cite this article:

Reyhani Poul, S., Yeganeh, S., & Safari, R. (2023). Comparison of the effect of sodium nitrite and nanocapsules carrying astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* with maltodextrin-sodium caseinate combined coating in controlling oxidative and microbial spoilage of common sausage. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(4), 351-367. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.78749.1202>

Introduction

One of the synthetic and harmful preservatives used in sausage formulation is sodium nitrite. This compound helps to increase the shelf life and marketability of meat products by preventing the growth of anaerobic bacteria, especially clostridium, exerting an antioxidant effect, stabilizing the red color of meat and improving the taste. Despite these benefits, sodium nitrite is very dangerous for health and it can cause malignant diseases. For this reason, it is necessary to replace this substance using a natural preservative. Pigments extracted from aquatics such as astaxanthin due to having antioxidant activity, antimicrobial properties and pink color may be a good substitute for sodium nitrite. However, these pigments must be nanoencapsulated at first due to their sensitivity to food processing conditions, including high temperatures. The aim of the current research at the first was to extract astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* microalgae using the acid-acetone method and pigment nanoencapsulation using maltodextrin-sodium caseinate combined coating. Then, sodium nitrite in the sausage formulation was replaced by the carrier nanocapsules with different proportions and oxidative and microbial spoilage tests, color and sensory evaluations were performed for different treatments.

Materials and Methods

At first, astaxanthin pigment was extracted from *Haematococcus pluvialis* using the acid-acetone technique. Then, the extracted pigment was nanoencapsulated using maltodextrin-sodium caseinate combined coating and the resulting (carrier) nanocapsules in the form of treatments A (120 mg/kg sodium nitrite), B (120 mg/kg nanocapsules carrying astaxanthin), C (90 mg/kg sodium nitrite+30 mg/kg nanocapsules carrying astaxanthin), D (60 mg/kg sodium nitrite+60 mg/kg nanocapsules carrying astaxanthin) and E (30 mg/kg sodium nitrite+90 mg/kg nanocapsules carrying astaxanthin) were replaced sodium nitrite in the sausage formulation. These treatments were evaluated in terms of oxidative and microbial spoilage, color indices and sensory properties during 28 days of storage at refrigerator along with the control (without sodium nitrite and carrier nanocapsules). This research was conducted in a completely randomized design. Data were analyzed by one-way analysis of variance and the difference between the means was evaluated by Duncan's test at 95% confidence level.



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.78749.1202>

Results and Discussion

According to the results, the lowest levels of thiobarbituric acid and peroxide value during the storage period were related to treatments B, E and D ($p>0.05$). Treatments A and C had no significant difference in terms of thiobarbituric acid and peroxide value until day 14 ($p>0.05$), but with increasing storage time, this difference became significant and treatment A showed higher values ($p<0.05$). The results of this section showed that the power of astaxanthin in controlling oxidative spoilage is significantly greater than sodium nitrite, and if the purpose is only to control this type of spoilage, there is no need to replace or use sodium nitrite. The results also showed that in terms of controlling microbial spoilage, sodium nitrite has more power than nanocapsules carrying astaxanthin. So that, the lowest amount of total volatile basic nitrogen (TVB-N) and the most standardized pH were related to treatments A, C and D ($p>0.05$) during the storage period ($p<0.05$). Treatments B and E ($p>0.05$) were ranked next ($p<0.05$) in terms of the two mentioned indicators. The results of this section showed that if sodium nitrite reduced from 120 mg/kg to 60 mg/kg and replaced by nanocapsules carrying astaxanthin in the sausage formulation, the resulting product has the same antimicrobial power as the product containing 120 mg/kg sodium nitrite. Evaluation of the color and sensory properties of treatments showed that A, C and D treatments are at a higher level than B, E (treatments) and control in terms of color indices and general acceptance ($p<0.05$). The comparison of the color indices and sensory properties of the treatments on days 0 and 28 of storage at refrigerator showed that the color and sensory indices remained constant in the formulated treatments, unlike the control.

Conclusion

Nanocapsules carrying astaxanthin with maltodextrin-sodium caseinate combined coating as a natural product with many properties in health, control and prevention of various diseases, have a high efficiency to replace the sodium nitrite in sausage formulation. So that, if 30 to 60 mg/kg of the permissible limit of 120 mg/kg of sodium nitrite in the sausage formulation is replaced by nanocapsules carrying astaxanthin, the resulting product will be similar to the product containing 120 mg/kg of sodium nitrite in terms of shelf life, resistance to oxidative and microbial spoilage, color indices and sensory properties.

Keywords: *Haematococcus* microalgae, Nanocapsules carrying astaxanthin, Oxidative spoilage, Sausage, Sodium nitrite

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۳، ص. ۳۶۷-۳۵۱

مقایسه اثر نیتريت سدیم و نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین میکروجلبک هماتوکوکوس (*Haematococcus pluvialis*) با پوشش ترکیبی مالتودکسترین-کازئینات سدیم در کنترل فساد اکسیداتیو و میکروبی سوسیس معمولی

سهیل ریحانی پول^۱ - سکینه یگانه^{۲*} - رضا صفری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۸

چکیده

هدف تحقیق حاضر امکان‌سنجی جایگزینی نیتريت سدیم در فرمولاسیون سوسیس معمولی با استفاده از نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین بود تا از این طریق از مضرات سوسیس کاسته و به ارزش غذایی آن افزوده شود. به همین منظور پس از استخراج رنگدانه آستاگزانتین از میکروجلبک هماتوکوکوس پلویالیس با استفاده از تکنیک اسید-استون و نانو ریزپوشانی آن با پوشش ترکیبی مالتودکسترین-کازئینات سدیم، نانوکپسول‌های حامل با نسبت‌های مختلف، جایگزین نیتريت سدیم در فرمولاسیون سوسیس معمولی شدند و تیمارهای حاصل از نظر اکسیداسیون، فساد میکروبی، شاخص‌های رنگی و خواص حسی طی ۲۸ روز نگهداری در دمای یخچال مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد اثرگذاری نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین در زمینه کنترل دو شاخص فساد اکسیداسیونی یعنی تیوباریتوریک‌اسید و عدد پراکسید به صورت معنی‌داری بیشتر از نیتريت سدیم است ($p < 0.05$) و کمترین حد این دو شاخص در تیمارهای دارای بیشترین میزان نانوکپسول‌های حامل ثبت شد. عکس این نتیجه در مورد بازهای ازته فرار و pH مشاهده شد؛ به این صورت که قدرت نیتريت سدیم در کنترل این دو شاخص به صورت قابل ملاحظه‌ای بیشتر از نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین بود ($p < 0.05$). مطابق یافته‌ها، وقتی ۳۰ تا ۶۰ mg/kg از ۱۲۰ mg/kg حد مجاز نیتريت سدیم در فرمولاسیون سوسیس با نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین جایگزین شد، تیمارهای حاصل از نظر میزان و روند بازهای ازته فرار و pH طی دوره نگهداری با تیماری که صرفاً حاوی ۱۲۰ mg/kg نیتريت سدیم است، فاقد اختلاف معنی‌دار بودند ($p > 0.05$). در ادامه مشخص شد همین تیمارها از نظر شاخص‌های رنگی و ارزیابی حسی (رنگ، بو، طعم و بافت) تفاوت قابل ملاحظه‌ای با تیمار حاوی ۱۲۰ mg/kg نیتريت سدیم ندارند ($p > 0.05$) و بیشترین پذیرش کلی هم مربوط به همین تیمارها می‌باشد ($p < 0.05$). بنابراین یافته‌های تحقیق حاضر، نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین پتانسیل مطلوبی جهت جایگزینی نیتريت سدیم در فرمولاسیون سوسیس دارند.

واژه‌های کلیدی: سوسیس، فساد اکسیداتیو، میکروجلبک هماتوکوکوس، نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، نیتريت سدیم

مقدمه

نوبه خود به بازایابی و افزایش فروش محصول کمک شایانی می‌نماید. امروزه با افزایش ساعات کاری افراد و به دنبال آن کمبود وقت جهت طبخ انواع غذا، مصرف فرآورده‌های مختلفی از جمله سوسیس و کالباس افزایش چشمگیری یافته است. این محصولات نیز به لحاظ دارا بودن نگهدارنده‌های سنتتیک و مضر مستثنی نیستند. نیتترات و نیتريت سدیم از جمله این نگهدارنده‌ها هستند که در سوسیس و کالباس کاربرد

با پیشرفت تکنولوژی در علوم و صنایع غذایی، همواره دغدغه حذف نگهدارنده‌های سنتتیک و مضر و جایگزینی آن‌ها با ترکیبات طبیعی وجود داشته و دارد. با حذف این ترکیبات مضر، نگرانی مصرف‌کنندگان در استفاده از انواع مختلف مواد غذایی کاهش می‌یابد که این امر به

۱- دانش آموخته دکتری تخصصی، گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- استاد، گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- استادیار، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

(Email: s.yeganeh@sanru.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

گسترده‌ای دارند که این مورد افزایش نگرانی مصرف‌کنندگان و کاهش تمایل به خرید را موجب می‌شود. سوسیس و کالباس مانند سایر فرآورده‌های گوشتی دارای پایداری اکسیداتیو پائین و به تند شدن چربی در طی دوره نگهداری بسیار حساس هستند. بنابراین به‌منظور کنترل بار میکروبی و تغییرات اکسیداتیو، استفاده از برخی افزودنی‌ها (نیترات و نیتريت سدیم) در این فرآورده‌ها ضروری است (Sebranek et al., 2005). نیترات و نیتريت سدیم در فرآورده‌های گوشتی با جلوگیری از رشد باکتری‌های بی‌هوازی به‌ویژه کلوستریدیوم‌ها، اعمال اثر آنتی اکسیدانی، تثبیت رنگ قرمز گوشت و بهبود طعم به افزایش دوره نگهداری و بازارپسندی محصول کمک می‌کنند (Toldra et al., 2009).

با همه مزایایی که از نیتريت سدیم ذکر شد، این ترکیب ممکن است در معده انسان با ترکیبات قابل نیتروژنه‌شدن واکنش دهد که حاصل آن بروز انواع بیماری‌های خطرناکی است که بشر در قرن حاضر با آن‌ها رو به رو است (Ferguson et al., 2004). به همین دلیل سازمان‌های استاندارد، حد مشخصی را برای استفاده از نیتريت در فرآورده‌های گوشتی تعیین کرده‌اند. بر اساس استاندارد ملی شماره ۲۳۰۳ حداکثر مقدار مجاز نیتريت قابل استفاده در انواع سوسیس و کالباس ۱۲ ppm می‌باشد. با توجه به نگرانی‌هایی که در زمینه استفاده از نیتريت سدیم در فرآورده‌های گوشتی وجود دارد، بنابراین پرداختن متخصصین حوزه صنایع غذایی برای یافتن جایگزینی مناسب، امری ضروری می‌باشد.

آستاگزانتین ($C_{40}H_{52}O_4$) رنگدانه‌ای از خانواده کاروتنوئیدها (از دسته ترپن‌ها) است و در حالت آزاد به رنگ‌های صورتی تا قرمز دیده می‌شود. این رنگدانه در جانوران دریایی مانند ماهی آزاد، ماهی قزل‌آلا، خرچنگ و میگو وجود دارد. ارزش اقتصادی آستاگزانتین بسیار بالا بوده و از آن بعنوان یک رنگ‌دهنده طبیعی، مکمل غذایی، عامل آنتی اکسیدان و ضد سرطان استفاده می‌شود (Ambati et al., 2014). آستاگزانتین رنگدانه محلول در چربی است و در حلال‌هایی مانند استن، اتانول، کلروفرم و ... حل می‌شود. این رنگدانه بیشترین فعالیت بیولوژیکی در مقایسه با سایر کاروتنوئیدها را داراست. آستاگزانتین حاوی زنجیره بلند از پیوند دوگانه کونژوگه و گروه‌های کتونی و کربوکسیل می‌باشد. این ویژگی در آستاگزانتین موجب می‌گردد که فعالیت آنتی اکسیدانی آن افزایش یافته و رادیکال‌های آزاد به سرعت غیر فعال شوند. در مقایسه فعالیت آنتی اکسیدانی آستاگزانتین با سایر آنتی اکسیدان‌های طبیعی، محققان به این نتیجه رسیدند که آستاگزانتین در

خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد قوی‌تر از کاروتنوئیدهای دیگر نظیر بتاکاروتن عمل می‌کند و در جلوگیری از پراکسیداسیون استرهای متیلی اسیدهای چرب اشباع‌نشده مؤثرتر است. مطابق نتایج تحقیقات، فعالیت آنتی اکسیدانی آستاگزانتین ۱۰ برابر بیشتر از زاگزانتین^۱، لوتئین^۲، کانتاگزانتین^۳، بتاکاروتن^۴ و ۱۰۰ برابر بیشتر از آلفا توکوفرول^۵ می‌باشد (Miki, 1991). از کاربردهای آستاگزانتین در صنعت غذا علاوه بر تولید رنگ طبیعی در فرآورده‌های غذایی (Chen & Meyers, 1982) می‌توان به نقش آنتی اکسیدانی (Ambati et al., 2014; Safari et al., 2022a) و ضد میکروبی آن (Irma et al., 2017; Suganya & Asheeba, 2015) اشاره کرد. تحقیقات مختلف، اثرات درمانی و دارویی آستاگزانتین را بررسی و نتایج مثبتی گزارش کرده‌اند. این رنگدانه دارای فعالیت ضد سرطانی (Tanaka et al., 1994) است و در پیشگیری از بیماری قلبی-عروقی و التهابی (Tracy, 1999) و همچنین بهبود سلامت چشم (Jacques, 1999) کارایی دارد. اثرات ضد التهابی (Liu & Lee, 2003) و ضد دیابتی (Uchiyama et al., 2002) آستاگزانتین نیز ثابت شده است.

با توجه به ویژگی‌های ذکرشده برای آستاگزانتین و مزایای آن، لازم است استفاده از آن به‌عنوان جایگزینی برای نیتريت سدیم در فرمولاسیون سوسیس مورد بررسی دقیق قرار گیرد. چرا که مطابق موارد ذکر شده در بالا، این رنگدانه می‌تواند با فساد اکسیداتیو و میکروبی مقابله کند. ضمن اینکه رنگی صورتی متمایل به قرمز دارد و احتمالاً در ترکیب با سوسیس، به تثبیت رنگ صورتی (مانند نیتريت سدیم) کمک خواهد کرد. اما از آنجا که ساختار آستاگزانتین در فرم خالص ممکن است تحت تأثیر تیمارهای دمایی، آنزیمی، اسیدی، بازی و ... اعمال‌شده در روند تولید و نگهداری مواد غذایی (سوسیس) تخریب و در نتیجه عملکردش تغییر کند، استفاده از روشی جهت حفاظت از آن بسیار ضروری است. در صنعت غذا و دارو در چنین مواردی از تکنیک نانو ریزپوشانی استفاده می‌شود (Safari et al., 2022b). طی این فرایند کپسولی اطراف رنگدانه را احاطه کرده و آن را در شرایط نامساعد از تغییرات احتمالی حفاظت می‌کند. ضمن اینکه کپسول‌های تشکیل‌شده اطراف رنگدانه در این تکنیک، محتویات خود را با سرعت کنترل‌شده و شرایط ویژه رها می‌کنند.

هدف تحقیق حاضر در ابتدا استخراج آستاگزانتین از میکروجلبلک هماتوکوکوس پلوویالیس با استفاده از روش اسید-استون و نانو ریزپوشانی رنگدانه با پوشش ترکیبی مالتودکسترین-کازئینات است. سپس نانو کپسول‌های تولیدشده با نسبت‌های مختلف جایگزین نیتريت

4- Beta Carotene
5- Alfa Tocopherol

1- Zeaxanthin
2- Lutein
3- Canthaxanthin

سدیم در فرمولاسیون سوسیس شده و آزمون‌های سنجش فساد اکسیداتیو و میکروبی برای تیمارهای مختلف انجام خواهد شد.

مواد و روش‌ها

استخراج، صابونی‌کردن و تخلیص آستاگزانتین

در تحقیق حاضر، بعد از تهیه پودر خالص میکروجلبک همتوکوکوس پلوویالیس از شرکت پرتوغذای آزیان سورنا (مازندران) و خرید مواد شیمیایی مورد نیاز، با استفاده از روش ترکیبی (پیش‌تیمار اولیه با اسیدکلریدریک و سپس استخراج با استون خالص) به استخراج آستاگزانتین اقدام شد (Sarada et al., 2006; Dong et al., 2014; Liu et al., 2018). پس از استخراج رنگدانه مذکور، به‌منظور هیدرولیز یا صابونی‌کردن آستاگزانتین و تبدیل فرم‌های مونواستر و دی‌استر آن به فرم آزاد، از روش دعوتی و همکاران (Dewati et al., 2020) استفاده گردید. بدین ترتیب که مخلوط حاوی سود ۰/۰۲ نرمال و عصاره حاوی رنگدانه به‌مدت ۳ ساعت در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد و مکان تاریک قرار داده شد. بعد از پایان فرآیند هیدرولیز، غلظت آستاگزانتین با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر و طول موج ۴۷۸ نانومتر قرائت گردید. به‌منظور خالص‌سازی آستاگزانتین از تکنیک کروماتوگرافی ستونی و روش‌های ارائه‌شده در تحقیقات یوکان و چن (Yuan & Chen, 2000)، کنگ و سیم (Kang & Sim, 2007) و سان و همکاران (Sun et al., 2015) استفاده شد.

نانو ریزپوشانی‌کردن آستاگزانتین

به‌منظور نانو ریزپوشانی آستاگزانتین، از پوشش ترکیبی مالتودکسترین و کازئینات سدیم با نسبت برابر استفاده و نسبت پوشش‌ها به هسته نیز ۴ به ۱ در نظر گرفته شد. ابتدا سوسپانسیون همگنی از مالتودکسترین در آب مقطر (۴ گرم در ۵۰ میلی‌لیتر) تهیه شد. سپس جهت تهیه پوشش دوم، سوسپانسیونی از کازئینات سدیم در آب مقطر (۴ گرم در ۵۰ میلی‌لیتر) ایجاد و با قراردادن بر روی همزن مغناطیسی و دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه، سوسپانسیون همگنی از آن حاصل شد. محلول حاوی کازئینات سدیم (پس از کاهش دما به

۲۵ درجه سانتی‌گراد) به محلول دارای مالتودکسترین اضافه و ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد جهت افزایش جذب آب نگهداری گردید. در مرحله انتهایی، ۲ گرم آستاگزانتین به محلول حاوی پوشش‌ها اضافه و پس از حل‌شدن آن، جهت تولید نانوکپسول، از دستگاه اولتراسوند (Hilscher, UP200، آلمان) با طول موج ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۱۵ دقیقه و تعداد ۶ سیکل (زمان هر سیکل ۳۰ ثانیه و زمان استراحت ۱۵ ثانیه بین سیکل‌ها، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) استفاده شد. برای کاهش بیشتر اندازه ذرات و افزایش راندمان ذرات نانوکپسوله، از دستگاه هموژنایزر با دور بالا (اولتراتوراکس، IKA، ایتالیا) با دور ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه برای مدت ۱۵ دقیقه استفاده گردید. محلول حاصل از فرآیند، در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد منجمد و با استفاده از دستگاه خشک‌کن انجمادی (Vaco 2 Zirbus، آلمان) در فشار ۰/۰۵۱ میلی‌بار و دمای ۵۰- درجه سانتی‌گراد خشک گردید (Yan et al., 2014; Machado et al., 2014; Safari et al., 2022).

تولید سوسیس

در مجموع ۶ نمونه سوسیس با مقادیر مشخص از نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین و نیتريت سدیم تولید شد (جدول ۱). ترکیبات اصلی سوسیس شامل گوشت سر و گردن گوساله (۶۰ درصد)، آب و یخ (۱۸/۵۱ درصد)، روغن سویا (۱۴ درصد)، نمک (۱/۵ درصد)، نشاسته (۲/۸ درصد)، ایزوله سویا (۱/۸ درصد)، فسفات سدیم (۰/۴ درصد)، آسکوربیک‌اسید (۰/۰۵ درصد) و ادویه (۰/۹ درصد) بود. تمام مواد مذکور با یکدیگر در کاتر (Seydelmann, Aalen) مخلوط و خمیر حاصله در بچ‌های جداگانه در کاتر به همراه نیتريت سدیم، نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین و آب و یخ باقیمانده ترکیب شد. در مرحله بعد، بچ‌ها در بسته‌های استریل پلی‌آمیدی به‌صورت جداگانه بسته‌بندی و به‌مدت یک ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد پخته شدند. نهایتاً محصول تولیدشده بوسیله دوش آب سرد خنک و به یخچال با دمای 4 ± 1 منتقل شد. دوره نگهداری ۲۸ روز بود و نمونه‌گیری جهت انجام آزمایشات میکروبی با فاصله ۷ روز انجام گردید (Khaleghi et al., 2013).

جدول ۱- تیمارهای تحقیق

Table 1- Research treatments

Treatments	Sodium nitrite (mg/kg)	Nanocapsules carrying astaxanthin (mg/kg)
تیمارها	نیتريت سدیم	نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین
Control	-	-
A	120	-
B	-	120
C	90	30
D	60	60
E	30	90

ترکیب شیمیایی نمونه‌های سوسیس

سنجش ترکیب شیمیایی سوسیس‌های فرموله‌شده با مقادیر مختلف نیتريت سدیم و نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین شامل پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر (در روز صفر) بر اساس روش AOAC انجام شد (AOAC, 2016).

ارزیابی شاخص تیوباربیټوریک‌اسید (TBARS)

به منظور اندازه‌گیری شاخص تیوباربیټوریک‌اسید، ابتدا ۵ گرم نمونه در لوله‌هایی با حجم ۵۰ میلی‌لیتر با ۱۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه هموژن گردید. یک میلی‌لیتر از محلول حاصل جداسازی و در لوله‌ای جداگانه با ۵۰ میکرولیتر بوتیل‌هیدروکسی‌تولون و ۲ میلی‌لیتر تیوباربیټوریک‌اسید/تری‌کلرواستیک‌اسید (۲۰ میلی‌مولار تیوباربیټوریک‌اسید + ۱۵ درصد وزنی حجمی تری‌کلرواستیک‌اسید) مخلوط شد. مخلوط حاصل پس از ورتکس، به مدت ۱۵ دقیقه در بن ماری با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد انکوبه گردید. پس از طی شدن زمان مذکور، به مخلوط اجازه داده شد تا در دمای محیط خنک شود. در مرحله بعد، مخلوط مذکور ابتدا ورتکس و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و جذب نوری لایه بالایی در طول موج ۵۳۱ نانومتر قرائت شد. شاهد نیز حاوی ۱ میلی‌لیتر آب دیونیزه و ۲ میلی‌لیتر محلول تیوباربیټوریک‌اسید/تری‌کلرواستیک‌اسید بود. مقادیر تیوباربیټوریک‌اسید تیمارها بر حسب میلی‌گرم مالون دی‌آلدید بر کیلوگرم سوسیس گزارش شد (Nam & Ahn, 2003).

تعیین عدد پراکسید تیمارها (PV)

به منظور سنجش عدد پراکسید تیمارها، ابتدا ۶۰ میلی‌لیتر کلروفرم و ۶۰ میلی‌لیتر متانول به دکانتور حاوی ۱۵ گرم نمونه اضافه گردید. بعد از ۲۴ ساعت با افزودن ۳۶ میلی‌لیتر آب مقطر به دکانتور اجازه داده شد تا سه فاز تشکیل شود. ۲۰ میلی‌لیتر از فاز زیرین به یک ارلن منتقل و با ۲۵ میلی‌لیتر کلروفرم و استیک‌اسید (با نسبت ۳ به ۲) ترکیب شد. در مرحله بعد ۰/۵ میلی‌لیتر یدور پتاسیم و ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر به ترکیب حاصل اضافه شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر معرف نشاسته ۱٪ وارد ارلن و درب آن بسته شد. بعد از تکان دادن ارلن، ید آزاد شده رنگ محلول را تغییر داد. در انتها محلول حاصل با تیوسولفات ۰/۰۱ نرمال تیترو و عدد پراکسید از رابطه زیر بر حسب میلی‌اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم چربی محاسبه شد. در این رابطه V حجم تیوسولفات مصرفی، N نرمالیت و W وزن نمونه روغن است (Egan et al., 1997).

$$(1) \quad 100 \text{ VN/W} = \text{عدد پراکسید (meqO}_2\text{/kg)}$$

تعیین مواد ازته فرار (TVB-N)

به منظور اندازه‌گیری میزان مواد ازته فرار در تیمارها، ابتدا ۱۰ گرم نمونه، ۲ گرم اکسید منیزیم و ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و چند عدد گوی شیشه‌ای به بالن هضم دستگاه کلدال اضافه شد. سپس در ارلن گیرنده (زیر مبرد) مقدار ۲۵ میلی‌لیتر اسیدبوریک ۲ درصد و چند قطره معرف اضافه شد. در مرحله بعد بالن دستگاه تحت حرارت به مدت ۱۰ دقیقه به جوش آمد و عمل تقطیر از همین زمان تا ۲۵۰ دقیقه انجام شد. پس از قطع حرارت، محلول تقطیرشده به وسیله اسیدسولفوریک ۰/۱ نرمال تیترو شد. در نهایت میزان مواد ازته فرار در سوسیس‌ها فرموله‌شده از رابطه زیر محاسبه شد. در این رابطه، V حجم اسید ۰/۱ نرمال مصرفی است (Goulas et al., 2005).

$$(2) \quad \text{TVB-N (mg/100g)} = 14 \times V$$

اندازه‌گیری pH تیمارها

به منظور سنجش pH نمونه‌های سوسیس، ابتدا ۸ میلی‌لیتر آب مقطر به ۲ گرم نمونه اضافه و به مدت یک دقیقه هموژن شد. اندازه‌گیری pH محلول حاصل با استفاده از دستگاه پی‌اچ متر دستی (Oakton, Malaysia) انجام شد (AOAC, 2016).

ارزیابی رنگ و تغییرات آن در سوسیس

آنالیز رنگ برای نمونه‌های سوسیس با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (IMG- pardazesh cam- system XI) در سیستم CIE انجام گرفت. شاخص‌های مورد استفاده L^* ، a^* ، b^* (به ترتیب شاخص روشنی، قرمزی، زردی) بودند (Kunte et al., 1997).

ارزیابی ویژگی‌های حسی سوسیس فرموله‌شده

به منظور ارزیابی خواص حسی از تعداد ۱۵ نفر از کارشناسان صنایع غذایی متشکل از ۷ مرد و ۸ زن با بازه سنی ۲۵ تا ۴۰ سال (شاغل در کارخانه) استفاده شد (ارزیابان از قبل، آموزش‌های تئوری و عملی لازم جهت امتیازدهی و تشخیص ویژگی‌های حسی را گذرانده بودند). تیمارهای تحقیق پس از سرخ‌شدن در روغن سرخ‌کردنی در دمای محیط سرد شدند. سوسیس‌ها به قطعات با ضخامت ۵ سانتی‌متر برش و در ظروف یکبار مصرف قرار داده شدند. ارزیابی حسی به وسیله آزمون هدونیک ۹ نقطه‌ای (۹: بسیار مناسب، ۸: تا حدود زیادی مناسب، ۷:

مناسب، ۶: نسبتاً مناسب، ۵: نه مناسب و نه نامناسب، ۴: نسبتاً نامناسب، ۳: نامناسب، ۲: تا حدود زیادی نامناسب، ۱: بسیار نامناسب) انجام شد (Khaleghi et al., 2013).

تجزیه و تحلیل آماری

پژوهش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا و به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از آنالیز واریانس یک طرفه (One way Anova) و آزمون دانکن (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) استفاده شد. از نرم افزار آماری SPSS (نسخه ۲۲) برای آنالیز داده‌ها و نرم افزار EXCEL (نسخه ۲۰۱۹) جهت رسم جداول و اشکال استفاده گردید. لازم به ذکر است که آزمون‌های مورد بررسی به منظور ارزیابی خصوصیات مختلف تیمارها در سه تکرار انجام شدند.

نتایج

جدول ۲- خواص فیزیکی نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین

Table 2- Physical properties of nanocapsules carrying astaxanthin

Physical properties	Level
خواص فیزیکی	سطح
Average particle size (nm)	269.1±3.95
میانگین سایز ذرات	
Particle dispersity index	0.423±1.28
شاخص توزیع اندازه ذره‌ای	
Zeta potential (mv)	+46.71±2.88
پتانسیل زتا	
Encapsulation efficiency (%)	85.19±4.09
بازده ریزپوشانی	

۱۴/۵ و ۶۱ درصد گزارش شد که میزان پروتئین این سوسیس‌ها از تیمارهای تحقیق حاضر کمتر است (Mohammadpourfard et al., 2021). سوسیس‌های تولیدشده (گوشت گوساله) در پژوهش نوربهشت و همکاران (Nourbehesht et al., 2019) به ترتیب دارای حدود ۳۳، ۱۹ تا ۳۰، ۵۴ تا ۶۱ و ۶ درصد پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر بودند که مقادیر پروتئین و چربی این سوسیس‌ها از سوسیس‌های تحقیق حاضر بیشتر است. ترکیب شیمیایی سوسیس به میزان و نوع مواد اولیه (بخصوص گوشت و چربی) جهت تولید بستگی دارد و احتمالاً علت اختلاف در ترکیب شیمیایی تیمارهای تحقیق حاضر با سوسیس‌های تولیدشده در دو پژوهش مذکور مربوط به این مورد است.

ترکیب شیمیایی تیمارها

جدول ۳، ترکیب شیمیایی شاهد و سوسیس‌های فرموله شده با مقادیر مختلف نیتريت سدیم و نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین را نشان می‌دهد (مربوط به روز صفر). مطابق این جدول، میزان تقریبی پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر سوسیس‌ها به ترتیب ۱۸/۱، ۱۵، ۶۱ و ۵/۱ درصد است. ضمن اینکه شاهد و تیمارهای فرموله شده از نظر ترکیب شیمیایی اختلاف قابل ملاحظه‌ای نداشتند ($p > 0.05$). در تحقیقی که از آستاگزانتین در فرمولاسیون سوسیس‌های گوشت خوک استفاده شد، مقادیر پروتئین، چربی و رطوبت تیمارها به ترتیب حدود ۱۵،

جدول ۳- ترکیب شیمیایی تیمارهای تحقیق

Table 3- Chemical composition of research treatments

Treatments	Protein	Fat	Moisture	Ash
تیمارها	پروتئین	چربی	رطوبت	خاکستر
Control	18.21±0.75 ^a	14.95±0.28 ^a	61.12±1.19 ^a	5.12±0.14 ^a
A	18.01±1.66 ^a	14.89±0.63 ^a	60.98±1.49 ^a	5.18±0.15 ^a
B	18.25±0.98 ^a	14.93±0.81 ^a	61.08±0.52 ^a	5.15±0.27 ^a
C	18.09±0.84 ^a	15.03±0.24 ^a	61.01±0.74 ^a	5.16±0.31 ^a
D	18.1±0.57 ^a	14.9±1.39 ^a	60.92±1.15 ^a	5.14±0.29 ^a
E	18.24±0.63 ^a	15.02±0.21 ^a	61.04±0.11 ^a	5.19±0.46 ^a

حروف یکسان در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار بین داده‌ها است ($p > 0.05$).

Control: بدون نیتريت سدیم و نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، A: حاوی ۱۲۰ mg/kg نیتريت سدیم، B: حاوی ۱۲۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، C: حاوی ۹۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۳۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، D: حاوی ۶۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۶۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، E: حاوی ۳۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۹۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین

The same letters in each column indicate that there is no difference between the data ($p > 0.05$).

Control: without sodium nitrite and nanocapsules carrier astaxanthin, A: 120 mg/kg sodium nitrite, B: 120 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, C: 90 mg/kg sodium nitrite + 30 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, D: 60 mg/kg sodium nitrite + 60 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, E: 30 mg/kg sodium nitrite + 90 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin

بررسی روند فساد اکسیداتیو سوسیس‌ها

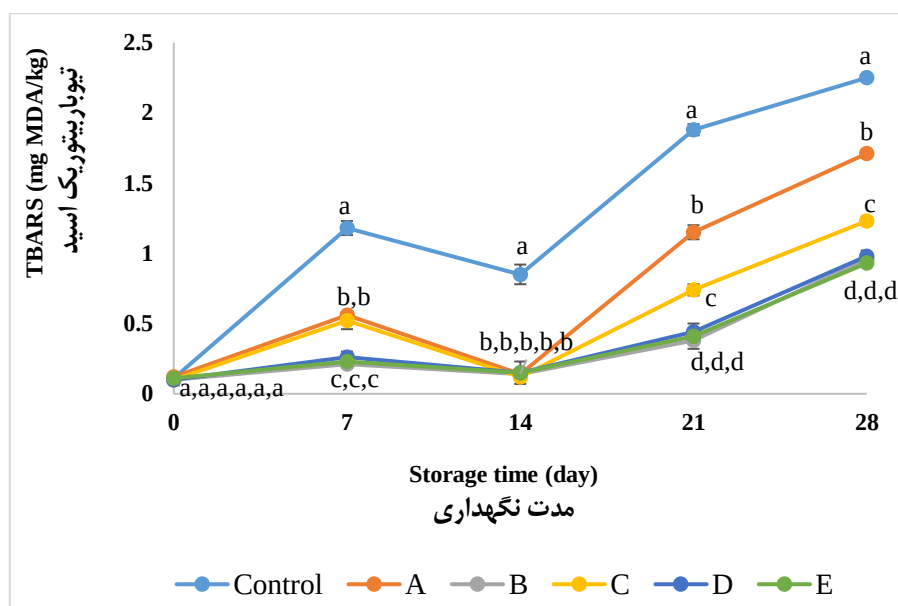
عدد تیوباریتوریک اسید (TBARS)

عدد تیوباریتوریک اسید، شاخصی جهت سنجش اکسیداسیون چربی‌ها و در واقع میلی گرم مالون‌دی‌آلدهید تولیدشده در یک کیلوگرم نمونه است که در پایان اکسیداسیون چربی‌ها تولید می‌گردد. شکل ۱ روند تغییرات شاخص تیوباریتوریک اسید را در تیمارهای تحقیق نشان می‌دهد. مطابق این شکل طی روزهای نگهداری، حداکثر ($p < 0.05$) شاخص تیوباریتوریک اسید در تیمار شاهد و حداقل ($p < 0.05$) آن در تیمارهای B، D و E ثبت شد. در واقع تیمارهای مذکور از نظر شاخص مورد بررسی طی دوره نگهداری فاقد اختلاف معنی‌دار بودند ($p > 0.05$). در ادامه مشخص شد در روز ۱۴، همه تیمارهای فرموله‌شده از نظر عدد تیوباریتوریک اسید در یک سطح قرار دارند ($p > 0.05$). مطابق نتایج، دو تیمار A و C تا اواسط دوره (روز ۱۴)، مقادیر تیوباریتوریک اسید برابری داشتند و نمودار آن‌ها بر هم منطبق بود ($p > 0.05$) اما از روز ۱۴ به بعد، اختلاف این دو تیمار از نظر شاخص مورد نظر معنی‌دار شد و تیمار C سطح تیوباریتوریک اسید کمتری نشان داد ($p < 0.05$). یافته‌های این بخش نشان داد که نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین در زمینه جلوگیری از فساد اکسیداتیو (کاهش تیوباریتوریک اسید)، قوی‌تر از نیتريت سدیم هستند. به این صورت که تیمار حاوی ۱۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین (B) نسبت به تیمار دارای ۱۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم نیتريت سدیم (A) در طول دوره نگهداری همواره حاوی تیوباریتوریک اسید کمتری بوده است. همچنین مقادیر تیوباریتوریک اسید دو تیمار A و C در روزهای ۱۴ به بعد نشان داد که اگر فقط ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم از ۱۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم حد مجاز نیتريت سدیم کم و با نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین جایگزین شود (C)، نتایج مطلوب‌تری در زمینه کنترل فساد اکسیداتیو ثبت خواهد شد.

این یافته‌ها مؤید آن هستند که آستاگزانتین یک آنتی‌اکسیدان بسیار قوی است که در مقدمه به تفصیل به آن اشاره شد (Miki, 1991). اگرچه تیمارهای حاوی ۳۰ و ۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم نیتريت سدیم (E و D) هم با تیمار حاوی صرفاً نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین از نظر مقابله با فساد اکسیداتیو توانایی یکسانی داشتند اما به دلیل مضر بودن نیتريت سدیم برای سلامتی، دیگر نیازی به این جایگزینی نیست (البته اگر هدف صرفاً مقابله با فساد اکسیداتیو باشد). نتایج پژوهشی که طی آن از آستاگزانتین خالص در فرمولاسیون سوسیس خوک جهت افزایش ماندگاری در دمای یخچال استفاده شد نشان داد که تیمار حاوی آستاگزانتین در کل دوره، محتوی تیوباریتوریک اسید کمتری است که این یافته با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Seo et al., 2021). در تحقیق دیگری از آستاگزانتین در فرمولاسیون سوسیس پروبیوتیک استفاده شد و طی ۴۵ روز نگهداری در دمای یخچال، فرآیند فساد اکسیداتیو ارزیابی گردید. یافته‌ها حاکی از کاهش معنی‌دار عدد تیوباریتوریک اسید در تیمار حاوی آستاگزانتین نسبت به شاهد بود (Mohammadpourfard et al., 2021). عبدالمالک و همکاران (Abdelmalek et al., 2016) طی تحقیقی از آستاگزانتین استخراج شده از میگو جهت تأخیر در فساد استیک مرغ نگهداری‌شده در دمای یخچال (به مدت ۷ روز) استفاده کردند. نتایج نشان داد که تیمار حاوی آستاگزانتین نسبت به شاهد به صورت معنی‌داری حاوی مقادیر کمتری از تیوباریتوریک اسید است و لذا این رنگدانه می‌تواند فساد اکسیداتیو را به تأخیر بیندازد که این نتیجه هم یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می‌کند. حد مجاز تیوباریتوریک اسید در فرآورده‌های گوشتی ۱ یا ۲ میلی گرم مالون‌دی‌آلدهید بر کیلوگرم است (Moarefian et al., 2011). البته برخی از محققین معتقدند در مواد غذایی با کیفیت بالا، خوب و قابل مصرف، میزان این شاخص به ترتیب باید کمتر از ۳، ۵ و

۸ میلی گرم مالون‌دی‌آلدهید بر کیلوگرم باشد. در مورد فرآورده‌های شیلاتی (دریایی)، میزان تیوباریتوریک‌اسید کمتر از ۳ میلی گرم در کیلوگرم نمونه قابل قبول است (Cadun et al., 2005). بنابراین اطلاعات، همه تیمارهای فرموله شده تا روز ۲۸ از نظر شاخص مذکور در حد استاندارد قرار دارند. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، شاخص تیوباریتوریک‌اسید همه تیمارها در روز ۱۴ کاهش محسوسی داشته است. این یافته با سایر تحقیقات انجام شده در این زمینه مطابقت دارد (Ghiretti et al., 1997; Georgantelis et al., 2007). این مورد می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد. مورک و بال (Moerck &

Ball, 1974) اعتقاد دارند که تخریب مالون‌دی‌آلدهید حد فاصل روزهای ۹ تا ۲۳ بوسیله برخی از میکروارگانیسم‌ها علت کاهش تیوباریتوریک‌اسید است. دلیل احتمالی دیگر مربوط به اکسیداسیون مالون‌دی‌آلدهید به الکل و اسید می‌باشد که در نتیجه آن مالون‌دی‌آلدهید لازم برای واکنش با تیوباریتوریک‌اسید کاهش می‌یابد (Fernández-López, 1997). ضمن اینکه واکنش مالون‌دی‌آلدهید با ترکیبات قندی و پروتئینی سوسیس می‌تواند موجب کاهش ماده جهت واکنش با تیوباریتوریک‌اسید شود (Georgantelis et al., 2007).



شکل ۱- مقادیر تیوباریتوریک‌اسید تیمارهای تحقیق طی دوره نگهداری (میلی گرم مالون‌دی‌آلدهید بر کیلوگرم)

حروف متفاوت در هر روز نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها است ($p < 0.05$).

Control: بدون نیتريت سدیم و نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، A: ۱۲۰ mg/kg نیتريت سدیم، B: ۱۲۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، C: حاوی ۹۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۳۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، D: حاوی ۶۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۶۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، E: حاوی ۳۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۹۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین

Fig. 1. TBARS value of research treatments during the storage period (mg MDA/Kg)

Different letters in each day indicate significant difference between the data ($p < 0.05$).

Control: without sodium nitrite and nanocapsules carrier astaxanthin, A: 120 mg/kg sodium nitrite, B: 120 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, C: 90 mg/kg sodium nitrite + 30 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, D: 60 mg/kg sodium nitrite + 60 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, E: 30 mg/kg sodium nitrite + 90 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin

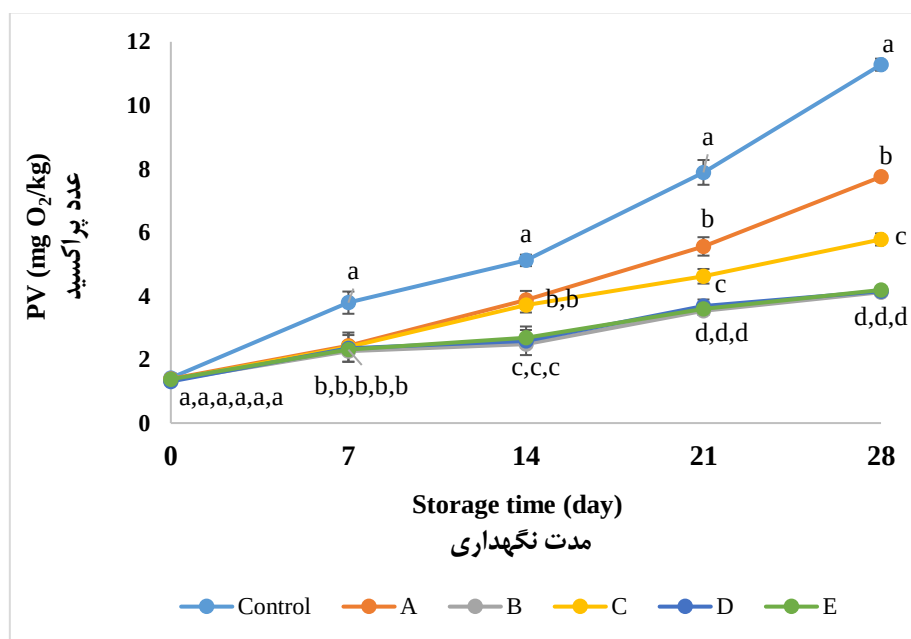
این زمینه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند ($p > 0.05$). البته تا روز ۷، تیمارهای A و C نیز با سه تیمار مذکور از نظر عدد پراکسید اختلاف معنی‌داری نشان ندادند ($p > 0.05$). اما از روز ۷ به بعد، این اختلاف معنی‌دار شد ($p < 0.05$). مطابق شکل ۲، دو تیمار A و C در روز ۱۴ هم عدد پراکسید یکسانی داشتند ($p > 0.05$) اما در روزهای ۲۱ و ۲۸، اختلاف عدد پراکسید این دو تیمار معنی‌دار شد و تیمار A، عدد پراکسید بیشتری نشان داد ($p < 0.05$). یافته‌های عدد پراکسید نیز مانند

عدد پراکسید (PV)

عدد پراکسید شاخصی جهت تشخیص میزان هیدروپراکسیدها که محصولات اولیه اکسیداسیون چربی‌ها هستند، می‌باشد. در شکل ۲ مقادیر عدد پراکسید سوسیس‌های فرموله شده و شاهد ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، بیشترین ($p < 0.05$) مقادیر عدد پراکسید طی دوره نگهداری مربوط به شاهد و کمترین ($p < 0.05$) حد این شاخص مربوط به تیمارهای B، D و E است و این تیمارها در

تحقیق مذکور نشان داد که عدد پراکسید تیمار حاوی آستاگزانتین در طول دوره نگهداری به صورت معنی داری کمتر از شاهد و از ۲/۱۴ در روز یک تا ۶/۵۲ میلی‌اکی‌والان پراکسید بر کیلوگرم لیپید در روز ۲۱ متغیر بود. در تحقیق حاضر، حداکثر مقادیر پراکسید در تیمارهای فرموله شده (روز ۲۸) حدود ۴/۱۵ (در تیمارهای B، D و E)، ۵/۷۸ (تیمار C) و ۷/۷۵ (تیمار A) میلی‌اکی‌والان پراکسید بر کیلوگرم لیپید ثبت شد. این شاخص در شاهد از ۱/۴۲ (روز صفر) تا ۱۱/۲۸ (روز ۲۸) میلی‌اکی‌والان پراکسید بر کیلوگرم لیپید متفاوت بود. حد مجاز عدد پراکسید برای مواد غذایی چرب مانند سوسیس، ۲۵ میلی‌گرم پراکسید در کیلوگرم لیپید است (Sallam et al., 2004). بنابراین همه تیمارهای تحقیق (حتی شاهد) در طول مدت نگهداری از نظر عدد پراکسید در بازه استاندارد قرار دارند. ضمن اینکه هیدروپراکسیدها به تنهایی موجب تغییرات در طعم، بو و مزه محصول نمی‌شوند اما تجزیه آن‌ها به ترکیبات ثانویه مانند آلدهیدها، خواص حسی سوسیس‌ها را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

تیوباربیتوریک‌اسید مؤید آن است که کارائی نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین در مهار فرایند فساد اکسیداتیو بسیار بیشتر از نیتريت سدیم است. نتایج نشان داد که اگر از ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، تا حد ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم با نیتريت سدیم در فرمولاسیون سوسیس جایگزین شود، قدرت این محصول در مقابله با فساد اکسیداتیو تغییری نخواهد کرد. اما از آنجا که در شاخص پراکسید هم تیمار حاوی صرفاً نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین (۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت به تیمار دارای صرفاً نیتريت سدیم (۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در زمینه مقابله با فساد اکسیداتیو مؤثرتر بود، و با توجه به مضرات نیتريت سدیم، دیگر نیازی به جایگزینی نیست (البته اگر هدف صرفاً مقابله با فساد اکسیداتیو باشد). سئو و همکاران (Seo et al., 2021) در پژوهشی به منظور مقابله با فساد اکسیداتیو سوسیس خوک طی ۲۱ روز نگهداری در دمای یخچال (4 ± 1 درجه سانتی‌گراد)، از آستاگزانتین در فرمولاسیون محصول استفاده کردند. یافته‌های



شکل ۲- عدد پراکسید تیمارهای تحقیق طی دوره نگهداری (میلی‌گرم اکسیژن بر کیلوگرم)

حروف متفاوت در هر روز نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها است ($p < 0.05$).

Control: بدون نیتريت سدیم و نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، A: ۱۲۰ mg/kg نیتريت سدیم، B: ۱۲۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، C: ۹۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین + ۳۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، D: ۶۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین + ۶۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، E: ۳۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین + ۹۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین

Fig. 2. Peroxide value of research treatments during the storage period (mg O₂/Kg)

Different letters in each day indicate significant difference between the data ($p < 0.05$).

Control: without sodium nitrite and nanocapsules carrier astaxanthin, A: 120 mg/kg sodium nitrite, B: 120 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, C: 90 mg/kg sodium nitrite + 30 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, D: 60 mg/kg sodium nitrite + 60 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, E: 30 mg/kg sodium nitrite + 90 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin

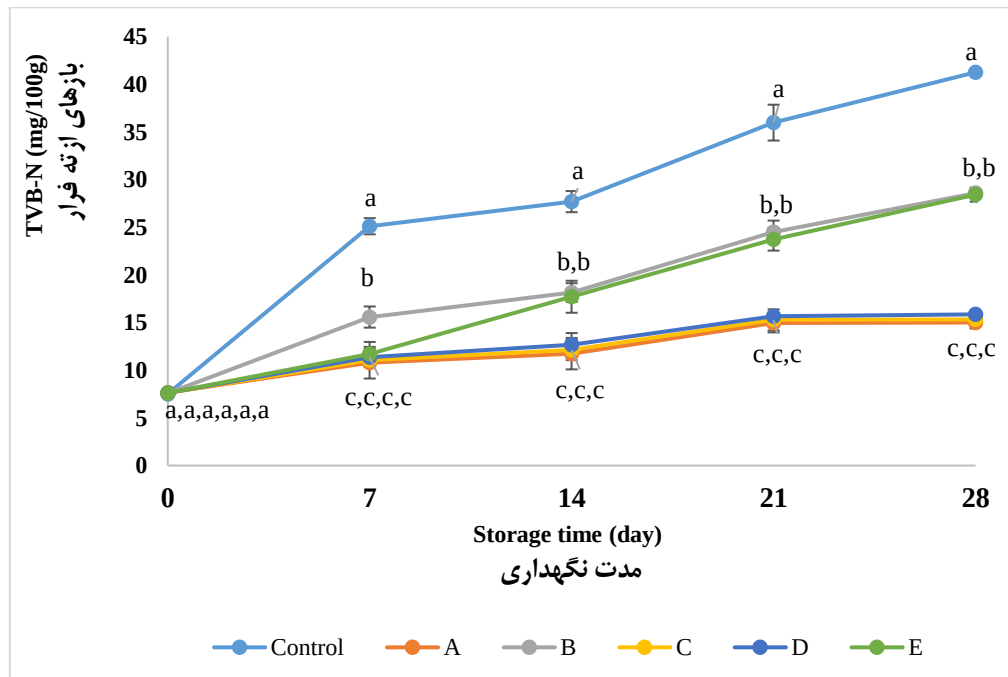
بازهای ازته فرار (TVB-N)

بازهای ازته فرار حاصل فساد و تجزیه مولکول‌های پروتئینی و اسیدهای آمینه هستند که در اثر فعالیت‌های میکروبی و آنزیم‌های اتولیتیک تولید می‌شوند. از جمله این بازها می‌توان به آمونیاک، آمونیوم، مونومتیل‌آمین، دی‌متیل‌آمین، تری‌متیل‌آمین، نوکلئوتیدها و ... اشاره که تجمع آن‌ها در سوسیس می‌تواند ویژگی‌های کیفی آن (طعم، بو و مزه) را تحت تأثیر قرار دهد (Duan et al., 2010). شکل ۳، میزان بازهای ازته فرار تیمارهای تحقیق را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، بیشترین میزان مواد ازته فرار در طول دوره نگهداری در تیمار شاهد و کمترین مقادیر این شاخص در تیمارهای A، C و D ($p > 0.05$) ثبت شد ($p < 0.05$). در واقع سه تیمار مذکور از نظر مواد ازته فرار در کل دوره نگهداری اختلاف معنی داری نداشتند ($p > 0.05$). تیمار E نیز تا روز ۷ از این نظر با سه تیمار مذکور اختلاف قابل ملاحظه‌ای ارائه نکرد ($p > 0.05$). اگر چه مقادیر بازهای ازته فرار در تیمار E نسبت به تیمار B کمتر بود اما این اختلاف فقط در روز ۷ به صورت معنی‌دار ثبت شد ($p < 0.05$). در تیمار شاهد، میزان بازهای ازته فرار از روز ۷ به بعد از حد مجاز که در واقع ۲۵ میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم نمونه است (Gimenez et al., 2002; Kilincceker et al., 2009) عبور کرد. حتی اگر حداکثر مجاز این شاخص را ۳۵-۳۰ میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم نمونه در نظر بگیریم (Jeya et al., 2005)، باز هم در روزهای مذکور تیمار شاهد برای مصرف، استاندارد نیست چرا که در روزهای ۲۱ و ۲۸ میزان شاخص مورد بررسی به ترتیب ۳۵/۹۸ و ۴۱/۲۶ میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم نمونه اندازه گیری شده است. اما در تیمارهای فرموله‌شده در کل دوره نگهداری مقادیر بازهای ازته فرار در بازه استاندارد قرار دارد که این یافته مؤید آن است که نیتريت سدیم و نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین چه به صورت منفرد و چه به صورت ترکیبی قادر به مهار فعالیت‌های میکروبی فسادزا هستند. حداکثر مقادیر بازهای ازته فرار در تیمارهای فرموله‌شده تحقیق پیش‌رو (روز ۲۸) حدود ۱۵/۵ (تیمارهای A، C و D) و ۲۸/۵ میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم نمونه (تیمارهای B و E) ثبت شد. برخلاف دو شاخص سنجش فساد اکسیداتیو که یافته‌های مربوطه نشان از کارایی بیشتر نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین نسبت به نیتريت سدیم داشت، در شاخص بازهای ازته فرار مشخص شد که نیتريت سدیم قدرت بالاتری برای مقابله با فساد میکروبی دارد. با توجه به این نتیجه و همچنین کارایی نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین در کنترل بازهای ازته فرار، جایگزینی بخشی از نیتريت سدیم با نگهدارنده طبیعی مورد بررسی توجیه‌پذیر است. نتایج تحقیق پیش‌رو نشان داد که اگر از ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم حد مجاز نیتريت سدیم تا حد ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آن با نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین جایگزین گردد، ترکیب حاصل، همان قدرت ضد میکروبی ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیتريت سدیم را دارد. نکته مهم در این بخش

این است که با توجه به مفید بودن آستاگزانتین برای سلامتی و متعاقباً عدم وجود محدودیت در میزان مصرف، اگر نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین در غلظتی بالاتر از ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در سوسیس استفاده شوند (به شرط عدم تغییر خواص حسی)، شاید دیگر نیازی به نیتريت سدیم و جایگزینی نباشد. البته این احتمال می‌تواند به عنوان موضوعی برای تحقیقات آتی محققین مورد ارزیابی قرار گیرد. بر فرض که اگر چنین نتیجه‌ای تأیید گردد، باید مقرون به صرفه بودن تولید نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین نسبت به قیمت تجاری نیتريت سدیم نیز بررسی شود. در تحقیقی که خصوصیات میکروبی سوسیس پروبیوتیک حاوی مقادیر مختلف آستاگزانتین، تیمول و نیتريت بررسی شد، مشخص شد که میزان بازهای ازته فرار در تیمار دارای آستاگزانتین به صورت قابل ملاحظه‌ای کمتر از شاهد است که این یافته هم مانند تحقیق حاضر، قابلیت آستاگزانتین را برای مقابله با فساد میکروبی تأیید کرد (Mohammadpourfard et al., 2021).

pH

نتایج مربوط به pH تیمارهای تحقیق طی دوره نگهداری در شکل ۴ ارائه شده است. مطابق این شکل بیشترین میزان pH ($p < 0.05$) در کل دوره مربوط به تیمارهای A، C و D است و این سه تیمار با یکدیگر اختلاف معنی‌داری از نظر pH ندارند ($p > 0.05$). البته دو تیمار B و E نیز تا روز ۷، مقادیر برابر با سه تیمار مذکور ارائه کردند ($p > 0.05$) اما در روزهای بعد، اختلافات این دو دسته تیمار معنی‌دار شد و تیمارهای B و E ضمن عدم اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ($p > 0.05$)، pH کمتری نسبت به تیمارهای A، C و D نشان دادند ($p < 0.05$). کمترین میزان pH نیز در کل دوره نگهداری در شاهد ثبت شد ($p < 0.05$). در تیمارهای فرموله‌شده در طول دوره نگهداری میزان pH در بازه ۵/۸۵ تا ۶/۲۵ قرار داشت که این یافته با پژوهش نوربهشت و همکاران (Nourbehesht et al., 2019) مطابقت دارد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، میزان pH شاهد و تیمارهای فرموله‌شده در روز ۲۱ با شیب تندی کاهش یافت. دلیل احتمالی این مورد می‌تواند تولید اسیدهای آلی توسط باکتری‌ها و همچنین اکسیداسیون لیپید و ایجاد ترکیبات اسیدی باشد (Liu et al., 2009). افزایش pH پس از روز ۲۱ را می‌توان به افزایش فعالیت باکتری‌هایی نظیر انتروباکتریاسه و سودوموناس‌ها و همچنین مخمرها و کپک‌ها نسبت داد که در نتیجه فعالیت‌های این میکروارگانیسم‌ها، پروتئین‌ها تجزیه و ترکیبات افزایش‌دهنده pH مانند آمونیوم، آمونیاک، تری‌متیل‌آمین تولید می‌شوند (Georgantelis et al., 2007; Kilincceker et al., 2009). کاهش تند pH در میانه دوره نگهداری و سپس افزایش آن در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است (Sallam et al., 2004; Georgantelis et al., 2007).



شکل ۳- مقادیر بازهای ازته فرار تیمارهای تحقیق طی دوره نگهداری (میلی گرم بر ۱۰۰ گرم)

حروف متفاوت در هر روز نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین داده‌ها است ($p < 0.05$).

Control: بدون نیتريت سدیم و نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، A: حاوی ۱۲۰ mg/kg نیتريت سدیم، B: حاوی ۱۲۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، C: حاوی ۹۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۳۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، D: حاوی ۶۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۶۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، E: حاوی ۳۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۹۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین

Fig. 3. TVB-N value of research treatments during the storage period (mg/100g)

Different letters in each day indicate significant difference between the data ($p < 0.05$).

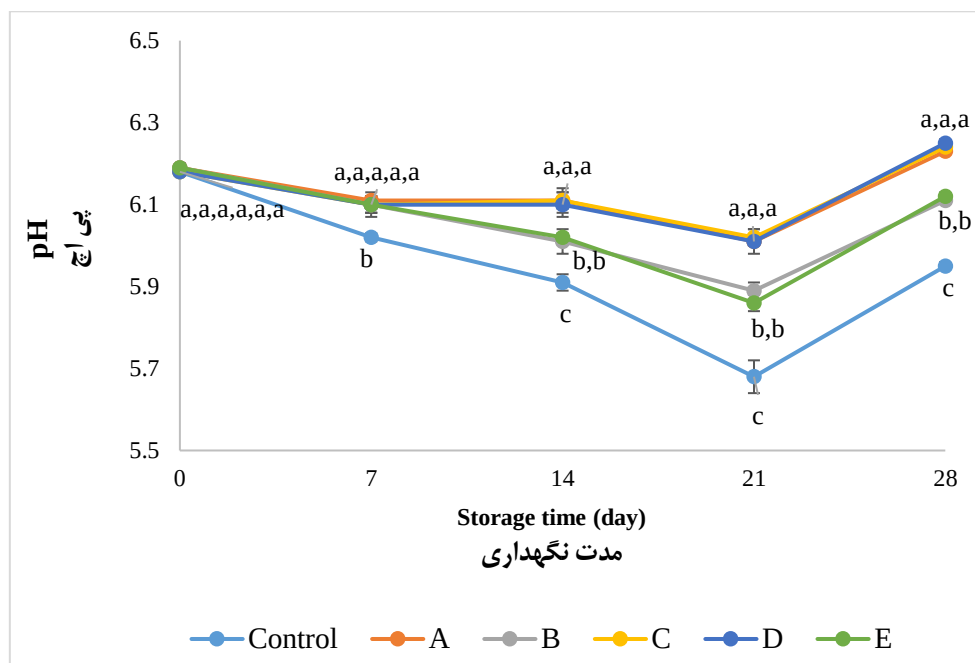
Control: without sodium nitrite and nanocapsules carrier astaxanthin, A: 120 mg/kg sodium nitrite, B: 120 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, C: 90 mg/kg sodium nitrite + 30 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, D: 60 mg/kg sodium nitrite + 60 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, E: 30 mg/kg sodium nitrite + 90 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin

دوره نگهداری، ثابت و بدون تغییر معنی دار باقی ماندند ($p > 0.05$) اما این شاخص‌ها در شاهد به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یافتند ($p < 0.05$). احتمالاً عدم تغییر رنگ در تیمارهای فرموله شده به دلیل حضور ترکیبات آنتی اکسیدان و ضد میکروب است که از فساد محصول و متعاقباً از تغییر رنگ آن طی دوره نگهداری جلوگیری می‌کنند.

نتایج این بخش نشان داد که اولاً؛ نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین به تنهایی می‌توانند به ارتقا و بهبود شاخص رنگی سوسیس کمک کنند اما از این نظر قابلیت کمتری نسبت به نگهدارنده سنتتیک نیتريت سدیم دارند. دوماً؛ اگر از ۱۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم نیتريت سدیم (حد مجاز) تا حد ۳۰ و ۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم با نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین جایگزین شود، شاخص‌های رنگی محصول حاصل با تیماری که صرفاً حاوی ۱۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم نیتريت سدیم است، برابری می‌کنند؛ ضمن اینکه از مضرات نیتريت سدیم کم و به ایمنی سوسیس برای سلامتی اضافه می‌شود.

ارزیابی رنگ تیمارها

رنگ فرآورده‌های گوشتی و به طور کلی محصولات غذایی بر بازارپسندی آن تأثیر بسزایی دارد. جدول ۴، شاخص‌های رنگی سوسیس‌های فرموله شده و شاهد را در روزهای صفر و ۲۸ نشان می‌دهد. مطابق این جدول با اضافه کردن نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین و نیتريت سدیم به فرمولاسیون، شاخص‌های روشنایی (L^*) و زردی (b^*) در همه تیمارهای فرموله شده نسبت به شاهد (روز صفر) کاهش یافتند ($p < 0.05$). اما شاخص قرمزی (a^*) به صورت معنی داری بیشتر شد ($p < 0.05$). در بین تیمارهای فرموله شده، دو تیمار B و E از نظر هر سه شاخص رنگی اختلاف معنی داری نداشتند ($p > 0.05$). وضعیت مشابهی بین تیمارهای A، C و D ثبت شد ($p > 0.05$) اما مقادیر هر سه شاخص رنگی در این سه تیمار، بیشتر از تیمارهای B و E بود ($p < 0.05$). مقایسه شاخص‌های رنگی تیمارها در روزهای صفر و ۲۸ نشان داد که در تیمارهای فرموله شده، شاخص‌های رنگی در طول



شکل ۴- pH تیمارهای تحقیق در طول دوره نگهداری

حروف متفاوت در هر روز نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها است ($p < 0.05$).

Control: بدون نیتريت سدیم و نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، A: ۱۲۰ mg/kg نیتريت سدیم، B: ۱۲۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، C: حاوی ۹۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۳۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، D: حاوی ۶۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۶۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، E: حاوی ۳۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۹۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین

Fig. 4. pH of research treatments during the storage period

Different letters in each day indicate significant difference between the data ($p < 0.05$).

Control: without sodium nitrite and nanocapsules carrier astaxanthin, A: 120 mg/kg sodium nitrite, B: 120 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, C: 90 mg/kg sodium nitrite + 30 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, D: 60 mg/kg sodium nitrite + 60 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, E: 30 mg/kg sodium nitrite + 90 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin

اعمال نکند. به همین دلیل همواره در صنعت غذا ارزیابی حسی فرآورده‌های غذایی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. نتایج ارزیابی حسی سوسیس‌های فرموله‌شده با مقادیر مختلف نیتريت سدیم و نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین در جدول ۵ ارائه شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود سه تیمار A، C و D از نظر شاخص‌های رنگ، بو، طعم، بافت و پذیرش کلی اختلاف قابل ملاحظه‌ای نشان دادند ($p > 0.05$). در مورد شاخص بافت، تیمارهای B و E ($p > 0.05$) نیز با سه تیمار مذکور اختلاف معنی‌داری نداشتند ($p > 0.05$). این دو تیمار از نظر رنگ، بو، طعم و پذیرش کلی، امتیازهای تقریباً برابری کسب کردند ($p > 0.05$). همچنین از نظر ارزیابان، این دو تیمار و شاهد از نظر شاخص‌های بو و طعم فاقد اختلاف معنی‌داری بودند ($p > 0.05$). مطابق جدول ۵، همه تیمارهای فرموله‌شده در شاخص‌های رنگ، بافت و پذیرش کلی نسبت به شاهد امتیازات بیشتری کسب کردند ($p < 0.05$). این وضعیت در تیمارهای A، C و D برای شاخص‌های بو و طعم نیز برقرار بود. به صورت خلاصه و مطابق

عبدالمالک و همکاران (Abdelmalek et al., 2016) طی تحقیقی به منظور بهبود رنگ استیک مرغ (نگهداری‌شده در دمای یخچال به مدت ۷ روز) از آستاگزانتین استخراج‌شده از ضایعات میگو^۱ در فرمولاسیون استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از آستاگزانتین تغییر معنی‌داری در شاخص‌های رنگی ایجاد نمی‌کند که این یافته مغایر با نتیجه تحقیق حاضر است. در پژوهش دیگری که از آستاگزانتین در فرمولاسیون سوسیس امولسیون‌شده استفاده شد، کاهش شاخص روشنایی و افزایش شاخص قرمزی گزارش شد که این نتیجه با پژوهش پیش رو مطابقت دارد (Seo et al., 2021).

ارزیابی حسی سوسیس‌ها

هر ترکیب سودمندی که با اهداف مختلف (آنتی‌اکسیدان، ضد میکروب، غنی‌کننده و ...) در فرمولاسیون مواد غذایی استفاده می‌شود تا جایی کارایی دارد که بر ویژگی‌های حسی آن ماده غذایی اثرات منفی

یافته‌ها، تیمارهای A، C و D در همه شاخص‌های حسی مورد مطالعه قرار داشتند (به غیر از شاخص بافت که همه تیمارهای فرموله‌شده از نظر ارزیابان ارزش و امتیاز برابری داشتند).

جدول ۴- ارزیابی شاخص‌های رنگی تیمارهای تحقیق

Table 4- Color indices evaluation of research treatments

Treatments	Time (day)	L*	a*	b*
تیمارها	زمان	روشنایی	قرمزی	زردی
Control	0	65.28±0.05 ^a	6.84±0.01 ^c	25.63±0.21 ^a
	28	41.73±0.64 ^d	4.21±0.08 ^d	15.34±0.09 ^c
A	0	59.15±0.61 ^b	14.38±0.19 ^a	18.42±0.33 ^b
	28	58.97±0.76 ^b	14.11±0.69 ^a	18.21±0.84 ^b
B	0	54.12±0.47 ^c	11.14±0.44 ^b	12.14±0.48 ^d
	28	53.93±0.85 ^c	11.12±0.71 ^b	12.29±0.26 ^d
C	0	58.98±1.03 ^b	14.33±0.64 ^a	18.45±0.62 ^b
	28	58.95±0.77 ^b	14.12±0.45 ^a	18.11±0.84 ^b
D	0	59.12±1.06 ^b	14.26±0.51 ^a	18.15±0.39 ^b
	28	58.99±0.38 ^b	14.21±0.85 ^a	18.29±1.01 ^b
E	0	54.19±0.23 ^c	11.11±0.75 ^b	12.1±0.41 ^d
	28	54.1±0.87 ^c	11.15±0.42 ^b	11.96±0.53 ^d

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

Control: بدون نیتريت سدیم و نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، A: حاوی ۱۲۰ mg/kg نیتريت سدیم، B: حاوی ۱۲۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، C: حاوی ۹۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۳۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، D: حاوی ۶۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۶۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، E: حاوی ۳۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۹۰ mg/kg نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین

Different letters in each column indicate significant difference between the data ($p < 0.05$).

Control: without sodium nitrite and nanocapsules carrier astaxanthin, A: 120 mg/kg sodium nitrite, B: 120 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, C: 90 mg/kg sodium nitrite + 30 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, D: 60 mg/kg sodium nitrite + 60 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, E: 30 mg/kg sodium nitrite + 90 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin

حاوی صرفاً نیتريت سدیم (A) بهبود می‌یابد و در واقع بالاترین امتیاز در پذیرش کلی نیز مربوط به همین نسبت‌ها (تیمارها) می‌باشد. مطابق امتیازدهی ارزیابان، هیچ اختلافی بین تیمارهای فرموله‌شده از نظر بافت وجود نداشت. البته اگر پارامترهای بافتی با دستگاه بافت‌سنج مورد ارزیابی قرار گیرد، شاید نتیجه دیگری در این زمینه گزارش گردد. جمع بندی بخش ارزیابی حسی نشان داد که به‌طور کلی همه تیمارهای فرموله‌شده از نظر شاخص‌های ارزیابی حسی و همچنین پذیرش کلی در وضعیت مناسب و تا حدود زیادی مناسب قرار داشتند که این نتیجه مؤید کارایی بالای نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین در جایگزینی نیتريت سدیم و کاهش اثرات مضر این نگهدارنده سنتتیک است. مقایسه شاخص‌های حسی مورد مطالعه در سوسیس‌ها در دو روز صفر و ۲۸ مؤید آن بود که خواص حسی تیمارهای فرموله‌شده بر خلاف شاهد در طول دوره نگهداری ثابت و بدون تغییر باقی می‌ماند ($p > 0.05$). اما در تیمار شاهد، شاخص‌های رنگ و بافت در طول دوره نگهداری (۲۸ روز) با افت کیفیت و کاهش امتیاز مواجه شدند. با توجه به مثبت شدن نتایج تست‌های سنجش ایمنی سوسیس‌ها و ثبت انواع فساد در شاهد طی دوره نگهداری، دو شاخص بو و طعم در سوسیس‌ها در روز ۲۸ به‌دلیل احتمال آلودگی و انتقال بیماری مورد بررسی قرار نگرفتند.

نتایج این بخش مؤید آن است که بدون استفاده از ترکیب‌های بهبوددهنده و تثبیت‌کننده رنگ مانند نیتريت سدیم و نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین، رنگ سوسیس از نظر مصرف‌کننده قابل قبول نیست. همچنین وقتی از نسبت‌های ۳ (۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم) به ۱ (۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم) و ۱ (۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم) به ۱ (۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم) نیتريت سدیم به نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین جهت بهبود رنگ سوسیس استفاده گردد (تیمارهای C و D)، از نظر ارزیابان، تأثیر آن (بر رنگ) با زمانی که نیتريت سدیم به تنهایی (۱۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم) وارد فرمولاسیون شود، برابر است. این مورد نه تنها از نظر ارزیابان، بلکه از طریق رنگ‌سنجی با دستگاه هم تأیید شد که نتایج آن در بخش قبل ارائه گردید. به این طریق می‌توان نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین را جایگزین نیتريت سدیم کرد و مضرات این نگهدارنده سنتتیک و خطرناک را کاهش داد. نتایج دو شاخص بو و طعم نشان داد که اضافه کردن نانوکپسول‌های حامل آستاگزانتین به تنهایی (تیمار B) و با نسبت ۳ به ۱ به نیتريت سدیم (تیمار E) نمی‌تواند تغییر قابل توجهی در این دو شاخص نسبت به شاهد ایجاد کند. اما وقتی نسبت نانوکپسول به نیتريت سدیم به نسبت‌های ۱ به ۳ (C) و ۱ به ۱ (D) تغییر داده شود، دو شاخص مذکور مانند تیمار

جدول ۵- ارزیابی حسی تیمارهای تحقیق

Table 5- Sensory evaluation of research treatments

Treatments	Time (day)	Color	Smell	Taste	Texture	General acceptance
تیمارها	زمان	رنگ	بو	طعم	بافت	پذیرش کلی
Control	0	3.61±0.45 ^c	7.05±0.19 ^b	6.29±0.23 ^b	5.25±0.04 ^a	5.44±0.39 ^c
	28	2.26±0.32 ^d	-	-	3.82±0.57 ^c	-
A	0	8.12±0.24 ^a	7.91±0.35 ^a	8.23±0.12 ^a	7.35±0.19 ^b	7.95±0.21 ^a
	28	8.1±0.32 ^a	7.87±0.24 ^a	8.2±0.14 ^a	7.31±0.34 ^b	7.93±0.23 ^a
B	0	7.15 ±0.1 ^b	7.08±0.1 ^b	6.33±0.18 ^b	7.21±0.57 ^b	7.06±0.25 ^b
	28	7.11 ±0.07 ^b	7.03±0.09 ^b	6.36±0.09 ^b	7.32±0.71 ^b	7.02±0.21 ^b
C	0	8.11±0.06 ^a	7.88±0.11 ^a	8.26±0.14 ^a	7.25±0.43 ^b	7.99±0.1 ^a
	28	8.12±0.08 ^a	7.92±0.12 ^a	8.23±0.16 ^a	7.28±0.51 ^b	7.96±0.12 ^a
D	0	8.14±0.09 ^a	7.85±0.28 ^a	8.25±0.11 ^a	7.29±0.86 ^b	7.92±0.15 ^a
	28	8.11±0.12 ^a	7.89±0.19 ^a	8.21±0.17 ^a	7.3±0.62 ^b	7.95±0.17 ^a
E	0	7.18±0.11 ^b	7.02±0.36 ^b	6.31±0.32 ^b	7.28±0.84 ^b	7.09±0.08 ^b
	28	7.14±0.18 ^b	7.05±0.15 ^b	6.28±0.26 ^b	7.24±0.49 ^b	7.04±0.1 ^b

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین داده ها است ($p < 0.05$).

Control: بدون نیتريت سدیم و نانوکپسول های حامل آستاگزانتین، A: حاوی ۱۲۰ mg/kg نیتريت سدیم، B: حاوی ۱۲۰ mg/kg نانوکپسول های حامل آستاگزانتین، C: حاوی ۹۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۳۰ mg/kg نانوکپسول های حامل آستاگزانتین، D: حاوی ۶۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۶۰ mg/kg نانوکپسول های حامل آستاگزانتین، E: حاوی ۳۰ mg/kg نیتريت سدیم + ۹۰ mg/kg نانوکپسول های حامل آستاگزانتین

Different letters in each column indicate significant difference between the data ($p < 0.05$).

Control: without sodium nitrite and nanocapsules carrier astaxanthin, A: 120 mg/kg sodium nitrite, B: 120 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, C: 90 mg/kg sodium nitrite + 30 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, D: 60 mg/kg sodium nitrite + 60 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin, E: 30 mg/kg sodium nitrite + 90 mg/kg nanocapsules carrier astaxanthin

نتایج، آستاگزانتین در این زمینه کارائی بیشتری نسبت به نیتريت سدیم دارد.

میزان مشارکت

سهیل ریحانی پول: انجام آزمایشات، نگارش، مدیریت و تحلیل داده ها، سکینه یگانه: مدیریت پروژه و داده ها، بررسی و ویرایش، رضا صفری: کنترل آزمایشات

منابع تأمین مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تحت قرارداد با شماره ۰۳-۱۴۰۱-۰۳ انجام شد که به این وسیله سپاسگزاری می شود.

نتیجه گیری

نانوکپسول های حامل آستاگزانتین با پوشش ترکیبی مالتودکسترین-کازئینات سدیم به عنوان یک محصول طبیعی و دارای خواص بسیار زیاد در حفظ سلامتی، کنترل و پیشگیری از بیماری های مختلف، کارائی بالایی جهت جایگزینی نگهدارنده مضر و شیمیایی نیتريت سدیم در فرمولاسیون سوسیس دارند. به این صورت که اگر ۳۰ تا ۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم از ۱۲۰ mg/kg حد مجاز نیتريت سدیم در فرمولاسیون سوسیس با نانوکپسول های حامل آستاگزانتین جایگزین شود، محصول حاصل از نظر زمان ماندگاری، مقابله با فساد اکسیداتیو و میکروبی، شاخص های رنگی و خواص حسی همانند محصول حاوی ۱۲۰ mg/kg نیتريت سدیم است. البته اگر صرفاً هدف مقابله با فساد اکسیداتیو باشد، دیگر نیازی به نیتريت سدیم نیست؛ چرا که مطابق

References

- Ambati, R.R., Siew Moi, P., Ravi, S., & Aswathanarayana, R.G. (2014). Astaxanthin: Sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications—A review. *Marine Drugs*, 12(1), 128-152. <https://doi.org/10.3390/md12010128>
- AOAC. (2016). *Official Method of Analysis*, 20th Edition. International AOAC, Virginia 2016.
- Abdelmalek, B.E., Sila, A., Ghilissi, Z., Taktak, M.A., Ayadi, M.A., & Bougatef, A. (2016). The influence of natural astaxanthin on the formulation and storage of marinated chicken steaks. *Journal of Food Biochemistry*, 40(4), 393-403. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12224>
- Cadun, A., Cakli, S., & Kislal, D. (2005). A study of marination of deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*, Lucas, 1846) and its shelf life. *Food Chemistry*, 90(1-2), 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.024>

5. Duan, J., Jiang, Y., Cherian, G., & Zhao, Y. (2010). Effect of combined chitosan-krill oil coating and modified atmosphere packaging on the storability of cold-stored lingcod (*Ophiodon elongates*) fillets. *Food Chemistry*, 122(4), 1035-1042.
6. Dong, S., Huang, Y., Zhang, R., Wang, S., & Liu, Y. (2014). Four different methods comparison for extraction of astaxanthin from green alga *Haematococcus pluvialis*. *The Scientific World Journal*, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2014/694305>
7. Dewati, P.R., Rohman, A., & Budiman, A. (2020). A preliminary study of extraction and purification processes of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* as a natural antioxidant. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 778, No. 1, p. 012032). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/778/1/012032>
8. Egan, H., & Sawyer, R. (1997). *Pearson's chemical Analysis of food*. 9th. Edition, Edinburgh, Scotland, Churchill. Livingstone, UK, 609-634.
9. Fernández, J., Pérez-Álvarez, J.A., & Fernández-López, J.A. (1997). Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. *Food Chemistry*, 59(3), 345-353.
10. Ferguson, L.R., Philpott, M., & Karunasinghe, N. (2004). Dietary cancer and prevention using antimutagens. *Toxicology*, 198(1-3), 147-159. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2004.01.035>
11. Ghiretti, G.P., Zanardi, E., Novelli, E., Campanini, G., Dazzi, G., Madarena, G., & Chizzolini, R. (1997). Comparative evaluation of some antioxidants in salame Milano and mortadella production. *Meat Science*, 47(1-2), 167-176.
12. Gimenez, B., Roncales, P., & Beltran, J.A. (2002). Modified atmosphere packaging of filleted rainbow trout. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(10), 1154-1159. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1136>
13. Goulas, A.E., & Kontominas, M.G. (2005). Effect of salting and smoking-method on the keeping quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry*, 93(3), 511-520. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.09.040>
14. Georgantelis, D., Ambrosiadis, I., Katikou, P., Blekas, G., & Georgakis, S.A. (2007). Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocopherol on microbiological parameters and lipid oxidation of fresh pork sausages stored at 4 C. *Meat Science*, 76(1), 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.10.026>
15. Irna, C., Jaswir, I., Othman, R., & Jimat, D.N. (2017). Document details. *International Food Research Journal*, 24, 508-513.
16. Jeya, S.R., Jeyasekaran, G., & Vijayalakshmi, S.K. (2005). Effect of vacuum packaging on the quality characteristics of seer fish (*Scomberomorus commersonii*) chunks during refrigerated storage. *Journal of Food Science and Technology*, 42(5), 438-443.
17. Kunte, L.A., Gennadios, A., Cuppett, S.L., Hanna, M.A., & Weller, C.L. (1997). Cast films from soy protein isolates and fractions. *Cereal Chemistry*, 74(2), 115-118. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.2.115>
18. Kang, C.D., & Sim, S.J. (2007). Selective extraction of free astaxanthin from *Haematococcus* culture using a tandem organic solvent system. *Biotechnology Progress*, 23(4), 866-871. <https://doi.org/10.1021/bp0700354>
19. Kilincceker, O., Dogan, I.S., & Kucukoner, E. (2009). Effect of edible coatings on the quality of frozen fish fillets. *LWT-Food Science and Technology*, 42(4), 868-873. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.11.003>
20. Khaleghi, A., Rezaei K., Kasai, M., Khosravi, K., & Soleymani, M. (2013). Evaluation of antioxidant properties of *Berberis crataegina* extract on fat oxidation of beef sausages during refrigerated storage. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 7(5), 345-353. (In Persian)
21. Liu, B.H., & Lee, Y.K. (2003). Effect of total secondary carotenoids extracts from *Chlorococcum* sp. on *Helicobacter pylori*-infected BALB/c mice. *International Immunopharmacology*, 3(7), 979-986. [https://doi.org/10.1016/S1567-5769\(03\)00096-1](https://doi.org/10.1016/S1567-5769(03)00096-1)
22. Liu, D.C., Tsau, R.T., Lin, Y.C., Jan, S.S., & Tan, F.J. (2009). Effect of various levels of rosemary or Chinese mahogany on the quality of fresh chicken sausage during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 117(1), 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.083>
23. Liu, Z.W., Zeng, X.A., Cheng, J.H., Liu, D.B., & Aadil, R.M. (2018). The efficiency and comparison of novel techniques for cell wall disruption in astaxanthin extraction from *Haematococcus pluvialis*. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(9), 2212-2219. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13810>
24. Moerck, K.E., & Ball Jr, H.R. (1974). Lipid autoxidation in mechanically deboned chicken meat. *Journal of Food Science*, 39(5), 876-879. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1974.tb07265.x>
25. Miki, W. (1991). Biological functions and activities of animal carotenoids. *Pure and Applied Chemistry*, 63(1), 141-146. <https://doi.org/10.1351/pac199163010141>
26. Moarefian, M., Barzegar, M., & Sattari, M. (2013). *Cinnamomum zeylanicum* essential oil as a natural antioxidant and antibacterial in cooked sausage. *Journal of Food Biochemistry*, 37(1), 62-69. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2011.00600.x>

27. Machado, A.R., Assis, L.M., Costa, J.A.V., Badiale-Furlong, E., Motta, A.S., Micheletto, Y.M.S., & Souza-Soares, L.A. (2014). Application of sonication and mixing for nanoencapsulation of the cyanobacterium *Spirulina platensis* in liposomes. *International Food Research Journal*, 21(6), 2201-2206.
28. Mohammadpourfard, I., Khanjari, A., Akhonzadeh Basti, A., Herrero-Latorre, C., Shariatifar, N., & Hosseini, H. (2021). Evaluation of microbiological, chemical, and sensory properties of cooked probiotic sausages containing different concentrations of astaxanthin, thymol, and nitrite. *Food Science & Nutrition*, 9(1), 345-356. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2000>
29. Nam, K.C., & Ahn, D.U. (2003). Use of antioxidants to reduce lipid oxidation and off-odor volatiles of irradiated pork homogenates and patties. *Meat Science*, 63(1), 1-8. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00043-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00043-8)
30. Nourbehesht, N., Shekarchizadeh, H., & Soltanizadeh, N. (2019). Production and evaluation of low-fat frankfurter sausage by emulsion filled gel based on inulin and rice bran oil. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 14(2), 85-94. (In Persian with English abstrat)
31. Sallam, K.I., Ishioroshi, M., & Samejima, K. (2004). Antioxidant and antimicrobial effects of garlic in chicken sausage. *LWT-Food Science and Technology*, 37(8), 849-855. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.04.001>
32. Sebranek, J.G., Sewalt, V.J.H., Robbins, K., & Houser, T.A. (2005). Comparison of a natural rosemary extract and BHA/BHT for relative antioxidant effectiveness in pork sausage. *Meat Science*, 69(2), 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.07.010>
33. Sarada, R., Vidhyavathi, R., Usha, D., & Ravishankar, G.A. (2006). An efficient method for extraction of astaxanthin from green alga *Haematococcus pluvialis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20), 7585-7588. <https://doi.org/10.1021/jf060737t>
34. Sun, W., Lin, H., Zhai, Y., Cao, L., Leng, K., & Xing, L. (2015). Separation, purification, and identification of (3S, 3' S)- trans-astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. *Separation Science and Technology*, 50(9), 1377-1383. <https://doi.org/10.1080/01496395.2014.976873>
35. Suganya, V., & Asheeba, S. (2015). Antioxidant and antimicrobial activity of astaxanthin isolated from three varieties of crabs. *International Journal of Recent Scientific Research*, 6(10), 6753-6758.
36. Seo, J.K., Parvin, R., Park, J., & Yang, H.S. (2021). Utilization of astaxanthin as a synthetic antioxidant replacement for emulsified sausages. *Antioxidants*, 10(3), 1-11. <https://doi.org/10.3390/antiox10030407>
37. Safari, R., Mirbakhsh, M., Ghaffari, H., Reyhani Poul, S., Rahmati, R., & Ebrahimzadeh, M. (2022a). Effect of temperature, pH, and time factors on the stability and antioxidant activity of the extracted astaxanthin from *Haematococcus* microalgae (*Haematococcus pluvialis*). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 31(1), 109-120. (In Persian). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.10261354.1401.31.1.10.2>
38. Safari, R., Raftani Amiri, Z., Reyhani Poul, S., & Ghaffari, H. (2022b). Nanoencapsulation of phycocyanin extracted from the alga *Spirulina* (*Spirulina platensis*) and use of resulting nanoparticles in ice cream formulation. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 123(19), 145-159. (In Persian with English abstrat). <http://dx.doi.org/10.52547/fsct.19.123.145>
39. Tanaka, T., Morishita, Y., Suzui, M., Kojima, T., Okumura, A., & Mori, H. (1994). Chemoprevention of mouse urinary bladder carcinogenesis by the naturally occurring carotenoid astaxanthin. *Carcinogenesis*, 15(1), 15-19. <https://doi.org/10.1093/carcin/15.1.15>
40. Tracy, R.P. (1999). Inflammation markers and coronary heart disease. *Current Opinion in Lipidology*, 10(5), 435-441. <https://doi.org/10.1097/00041433-199910000-00008>
41. Toldrá, F., Aristoy, M.C., & Flores, M. (2009). Relevance of nitrate and nitrite in dry-cured ham and their effects on aroma development. *Grasas y Aceites*, 60(3), 291-296.
42. Uchiyama, K., Naito, Y., Hasegawa, G., Nakamura, N., Takahashi, J., & Yoshikawa, T. (2002). Astaxanthin protects β -cells against glucose toxicity in diabetic db/db mice. *Redox Report*, 7(5), 290-293. <https://doi.org/10.1179/135100002125000811>
43. Yuan, J.P., & Chen, F. (2000). Purification of trans-astaxanthin from a high-yielding astaxanthin ester-producing strain of the microalga *Haematococcus pluvialis*. *Food Chemistry*, 68(4), 443-448. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00219-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00219-8)

Production of Reduced Fat Mayonnaise Using Stabilized Nano Emulsion with Casein Complex Pickerings and Shirazi Gadomeh Gum

A. Modiri-dovom¹, A. Arianfar^{2*}, S. Naji-Tabasi³, V. Hakimzadeh⁴

1, 2 and 4- Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

(*- Corresponding Author Email: a_aria_1443@yahoo.com)

3- Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST) PO Box, 91895-157.356, Mashhad, Iran

Received: 23.12.2022

Revised: 05.02.2023

Accepted: 25.02.2023

Available Online: 28.02.2023

How to cite this article:

Modiri-dovom, A., Arianfar, A., Naji-Tabasi, S., & Hakimzadeh, V. (2024). Production of reduced fat mayonnaise Using stabilized nano emulsion with casein complex Pickerings and Shirazi Gadomeh gum. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(4), 369-380. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.80077.1227>

Introduction

Mayonnaise is a products which is widely popular in most countries. Apart from the desirable taste of this product as a seasoning, plays an effective role in providing nutrients and energy for humans. Dietary mayonnaise, is semi-solid or liquid product prepared from emulsification fat substitutes and vegetable oils with vinegar and other additives with less energy and fat. Fat has more calories (9 kcal/g) compared to protein and carbohydrates (4 kcal/g). Mayonnaise is an oil-in-water emulsion and due to having high amounts of fat it causes cardiovascular diseases. Gums are part of construction formula in low fat products to create texture. Due to the great desire to consume low-fat products and also the wide use of this sauce, production of low-fat mayonnaise is important. The purpose of this research was to develop reduced fat mayonnaise using stabilized nano emulsion with casein complex Pickering and Gadomeh Shirazi gum.

Materials and Methods

Mayonnaise with reduced oil contains 30, 40 and 50 percent Pickering emulsion replacement oil respectively at the level of 42, 32 and 22 percent produced and compared with the control sample. Centrifugal and time stability tests, textural features, color characteristics, morphology, organoleptic properties were evaluated.

Results and Discussion

The results showed as the replacement percentage increases nano emulsion containing Pickering particles and reducing the percentage of fat in mayonnaise emulsion stability she found her mayonnaise sauce although at a replacement level of 30% nano emulsion, this decrease in stability was not significant ($P < 0.05$). In the time stability test low-fat mayonnaise with an increase in the percentage of nano emulsion replacement, After 90 day's significant difference between the control sample and mayonnaise no significant difference was observed with oil reduced by 30 and 40%. In the colorimetry test it showed that among the factors L^* , a^* , b statistically with the sample there was a significant difference ($P \leq 0/05$). Brightness In the witness sample, it was 48/85 in connection with RFM50% the least complex of particles Gadomeh Shirazi gum and casein protein and in relation to RFM30% the most complex of particles Gadomeh Shirazi gum and casein were used. Due to the presence of nanoemulsion contains complex particles Gadomeh Shirazi gum particles and protein. The brightness has decreased in general, from the RFM50% sample up to RFM 30% samples simultaneous with increasing amount of nanoemulsion and reduce the amount of fat the brightness is reduced.



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.80077.1227>

Conclusion

By replacing the nano emulsion and reducing the amount of fat in the structure of the sauce the amount of tissue stiffness decreased and pheneritis increased. The sensory test of the samples showed, the witness sample has the most general acceptance but there is a significant difference between the samples there was no reduced-fat mayonnaise with the control. Investigating the characteristics of mayonnaise with reduced fat using nanoemulsion stabilized with complex Pickerings casein and Shirazi Gadomeh gum the results showed that with the increase, reduce the amount of oil up to 30%, Sensory and texture characteristics in a meaningful way decreased. But oil reduction up to 50% in the presence of Pickering nanoemulsion preserve textural features and promoted in some cases. All emulsions produced of favorable stability during storage and centrifugation had. Best stability in control and sample RFM-30% was observed. Based on the results, use of nanoemulsion maintains quality characteristics mayonnaise with oil especially reduced in the sample RFM 30%, it was. Also note to the point that Pickering emulsion structure in the digestive system high stability against digestion, is hope Pickering nanoemulsion structure in the production of food products various low-fat items be investigated further.

Keywords: Casein, Gaduma Shirazi, Mayonnaise sauce, Nano emulsion, Pickering

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۳، ص. ۳۸۰-۳۶۹

تولید سس مایونز با چربی کاهش یافته با استفاده از نانوامولسیون پایدار شده با پیکرینگ های کمپلکس کازئین و صمغ قدومه شیرازی

آتنا مدیری دوم^۱ - اکرم آریان فر^۲ - سارا ناجی طبسی^۳ - وحید حکیم زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۶

چکیده

سس مایونز، امولسیون روغن در آب است و با توجه به دارا بودن مقادیر بالای چربی موجب بروز بیماری های قلبی - عروقی در مصرف کنندگان می گردد. با توجه به تمایل زیاد به مصرف محصولات کم چرب و همچنین استفاده گسترده از این محصول، تولید سس مایونز کم چرب حائز اهمیت است. هدف از انجام این پژوهش تولید سس مایونز با چربی کاهش یافته با استفاده از نانوامولسیون پایدار شده با پیکرینگ های کمپلکس کازئین و صمغ قدومه شیرازی است. سس مایونز با روغن کاهش یافته ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد روغن با جایگزینی امولسیون پیکرینگ به ترتیب در سطح ۴۲، ۳۲ و ۲۲ درصد تولید و با نمونه شاهد مقایسه شد. پایداری سانتیفیوژی و زمانی، ویژگی های بافتی، خصوصیات رنگی، مورفولوژی، خصوصیات ارگونولپتیکی نمونه های سس مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش درصد جایگزینی نانوامولسیون حاوی ذرات پیکرینگ و کاهش درصد چربی، میزان پایداری امولسیون سس کاهش یافت. اگرچه در سطح جایگزینی ۳۰ درصد نانوامولسیون این کاهش پایداری معنادار نبود ($P < 0.05$). در آزمون پایداری زمانی سس مایونز کم چرب با افزایش درصد جایگزینی نانو امولسیون، پس از ۹۰ روز تفاوت معنی داری بین نمونه شاهد و سس مایونز با روغن کاهش یافته ۳۰ و ۴۰ درصد تفاوت معنی داری مشاهده نشد. با جایگزینی نانوامولسیون و کاهش میزان چربی در ساختار سس میزان سفتی بافت کاهش و فتریت افزایش یافت. آزمون حسی نمونه ها نشان داد، نمونه شاهد بیشترین پذیرش کلی را داراست ولی تفاوت معنی داری بین نمونه های سس مایونز با چربی کاهش یافته با شاهد وجود نداشت.

واژه های کلیدی: پیکرینگ، سس مایونز، کازئین، قدومه شیرازی، نانوامولسیون

مقدمه

(Yazdanpanah, 2020 &). چربی بیشترین کالری (۹ kcal/g) را در مقایسه با پروتئین و کربوهیدرات (۴ kcal/g) فراهم می نماید (Seyfoddin et al., 2017). از طرف دیگر افزایش آگاهی مردم به عنوان مصرف کننده محصولات دارای چربی نسبت به مسائل مربوط به سلامتی، تولیدکنندگان را بر آن داشته تا به دنبال راهکاری مؤثر برای غلبه بر این مشکل باشند. بنابراین مصرف کنندگان تمایل به مصرف سس مایونز کم چرب پیدا کرده اند. مهندسی مواد غذایی، جایگزین های کم کالری و بدون کالری متعددی را به منظور تولید محصولات کم چرب توسعه دادند.

سس مایونز از جمله محصولاتی است که در اکثر کشورها مصرف فراوانی دارد. این محصول، گذشته از طعم مطلوبی که به عنوان یک چاشنی در غذا ایجاد می نماید، نقش مؤثری در تأمین مواد مغذی و انرژی لازم برای انسان دارد. سس مایونز رژیمی، فرآورده غذایی نیمه جامد یا سیال است که از امولسیون شدن جانشین های چربی و روغن های گیاهی به همراه سرکه و افزودنی های دیگر آماده می شود و دارای انرژی و چربی کمتر از سس مایونز و سس سالاد می باشد (Dadpour).

۱، ۲ و ۴- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران
(*)- نویسنده مسئول: Email: a_aria_1443@yahoo.com

۳- گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

نانو دارد. برهمکنش پروتئین و پلی ساکاریدها نقش مهمی در ساختار مواد غذایی و پایداری آنها در توسعه فرمولاسیون جدید دارد. برهمکنش پلیمرهای ماکرومولکولی موضوع مهمی در تهیه نانوذرات است (Sarraf et al., 2021).

قدومه شیرازی با نام علمی *Alyssum homolocarpum* شناخته می شود و جنسی متشکل از ۱۷۰-۱۰۰ گونه و از خانواده Cruciferae می باشد. دانه قدومه پس از قرار گرفتن در آب، لعابی تولید می کند که به عنوان نرم کننده سینه، رفع درد گلو و گرفتگی صدا، ضد سرفه و سنگ شکن مصرف سنتی دارد. صمغ بدست آمده از دانه قدومه شیرازی کاربردهای مختلفی به عنوان قوام دهنده و تثبیت کننده امولسیون دارد (Alipour et al., 2015). صمغ قدومه شیرازی با جذب آب می تواند خصوصیات سطحی از خود نشان دهد که این قابلیت توانایی کاهش کشش سطحی را دارد. تحقیقات پیشین نشان داده است که این صمغ قادر به تشکیل نانوذرات است. خوش اخلاق و همکاران (Khoshakhlagh et al., 2017) با استفاده صمغ قدومه شیرازی، د-لیمونن را با روش الکترواسپری ریزپوشانی کردند و ذراتی در حدوده نانو بدست آوردند (Khoshakhlagh et al., 2017).

با توجه به ضررات اثرات زیان بار چربی در سس مایونز و اهمیت استفاده از ذرات بیوپلمری به عنوان جایگزین امولسیفایرهای کلاسیک، هدف از این مطالعه استفاده از نانوامولسیون پایدار شده با ذرات پیکرینگ کمپلکس پروتئین کازئین-صمغ قدومه شیرازی جهت تولید سس مایونز با چربی کاهش یافته است. در این تحقیق ویژگی های بافتی، رنگی، میزان پایداری و ویژگی های حسی سس مایونز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

مواد اولیه

پروتئین کازئین از شرکت سیگما (آلمان) تهیه شد و روغن تجاری آفتابگردان لادن، تخم مرغ، سرکه، نمک، شکر از بازار محلی و دانه های قدومه شیرازی از فروشگاه گیاهان دارویی در شهر مشهد و مواد آزمایشگاهی مورد استفاده (SDS، HCL، NaOH، نمک کلسیم کلراید) از شرکت مرک (آلمان) خریداری شدند. برای تهیه کلیه محلول ها از آب دیونیزه استفاده شد.

روش استخراج قدومه شیرازی

جهت استخراج صمغ دانه قدومه شیرازی، دانه ها به مدت ۲۰ دقیقه با آب مقطر (نسبت آب به دانه ۲۰ به ۱) در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد و pH=۶ مخلوط شدند. در نهایت جداسازی موسیلاژ با عبور دانه های

در صورت استفاده از مقادیر کمتر روغن جهت ایجاد بافت مناسب نیاز به استفاده قوام دهنده ها در سس مایونز به وجود می آید. صمغ ها جزئی از فرمول ساخت اکثر سس ها هستند (Aslanzadeh et al., 2014). این پلی ساکاریدها با افزایش غلظت فاز پیوسته موجب کاهش چسبندگی و متراکم شدن قطرات چربی و کاهش احتمال برخورد اتصال این قطرات به یکدیگر از طریق کاهش آزادی حرکت قطرات پراکنده امولسیون گردیده و در نتیجه موجب ثبات امولسیون می شود (Dadpour & Yazdanpanah, 2020). روش دیگر ابرای کاهش چربی استفاده از ساختار امولسیونی است. امولسیون ها به طور گسترده در صنایع غذایی از جمله نوشیدنی ها، نانوائی ها، لبنیات ها و فرآورده های گوشتی مختلف استفاده می شوند. موضوع مهمی که در عوامل تثبیت کننده نقش محوری دارند پایداری سیستم امولسیون است. در مطالعات متعددی از ساختارهایی چون ساختار امولسیون دوگانه، نانوامولسیون (Silva et al., 2018) و میکروامولسیون (Mahmoud et al., 2016) به عنوان جایگزین چربی استفاده نمودند. علاوه بر این تحقیقات پیشین از نانوامولسیون برای کاهش چربی در محصولات غذایی چون کیک و بستنی استفاده نمودند (Aswathanarayan & Vittal, 2019; Dadpour & Yazdanpanah, 2020; Meral et al., 2022). از این رو هدف از این پژوهش استفاده از نانوامولسیون پایدار شده با ذرات پیکرینگ کازئین-صمغ قدومه شیرازی به عنوان جایگزین چربی در سس مایونز است.

یکی از روش های جدید تشکیل امولسیون، امولسیون پیکرینگ است، در این روش به جای استفاده از عوامل فعال کننده سطحی از ذرات جامد برای پایداری امولسیون استفاده می شود (Linke & Drusch, 2018). این امولسیون ها با توجه به ایجاد مانع فیزیکی در برابر پدیده ادغام شدن پایداری بالایی دارند. در امولسیون پیکرینگ ها^۲ برعکس امولسیون های کلاسیک برای پایداری نیاز به امولسیفایرهای سنتزی ندارد و از بیوپلیمرهای طبیعی مثل پروتئین و پلی ساکارید استفاده می شود (Hedjazi et al., 2019). از این رو هدف اول این پژوهش، استفاده از نانوذرات کازئین-صمغ قدومه شیرازی^۳ به عنوان ذرات پیکرینگ برای پایداری نانوامولسیون است.

کازئین نوعی از پروتئین شیر است و همان چیزی است که به شیر رنگ سفید می دهد. حدود ۸۰٪ از پروتئین موجود در شیر گاو، از نوع کازئین است. پروتئین کازئین در محیط آبی به شکل کروی هست که سطح آن آبدوست و هسته آن آبگریز است بنابراین قابلیت تشکیل میسل پایدار را دارد (Haratifar & Guri, 2017). با افزودن اتصال دهنده می توان موجب تجمع ذرات پروتئینی شده و تشکیل ساختارهای

3- *Alyssum homolocarpum*

1- casein

2- Pickering

و ساخت کشور آلمان) به خوبی مخلوط گردید. جهت تولید سس مایونز با روغن کاهش یافته، نانوامولسیون به تدریج به مخلوط فوق در حین مخلوط شدن اضافه گشت و به مدت ۵ دقیقه با همزن مخلوط شد و سپس تخم مرغ اضافه شد و کاملاً مخلوط گردید تا ترکیبی یکنواخت حاصل شد. در این مرحله روغن با ریزش مداوم و به صورت یکنواخت اضافه گردید. در همه نمونه ها شکر، سرکه سفید، زرده تخم مرغ، نمک به میزان ثابت در تمام فرمول ها اضافه شد. سس مایونز با روغن کاهش یافته حاوی ۳۰ (RFM30%)، ۴۰ (RFM40%) و ۵۰ (RFM50%) درصد روغن با جایگزینی امولسیون پیکرینگ به ترتیب در سطح ۴۲، ۳۲ و ۲۲ درصد تولید و با نمونه شاهد (روغن ۶۸ درصد) مقایسه شد. در نهایت نمونه های سس مایونز تهیه شده جهت انجام آزمون های بعدی در دمای یخچال نگهداری شدند (Dadpour & Yazdanpanah, 2020).

پایداری سانتریفیوژی

آزمون پایداری سانتریفیوژی براساس روش اکبری و همکاران (Akbari et al., 2016) با کمی تغییرات انجام شد. نمونه ها درون لوله های استریل مدرج شده ریخته با دور ۴۵۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (Hettich, Germany) گردید. سپس براساس حجم فازهای جدا شده، پایداری امولسیون براساس رابطه ۱ اندازه گیری شد (Akbari et al., 2016).

$$ES = \frac{VF}{Vi} \quad (1)$$

Vi؛ حجم اولیه امولسیون و Vf، حجم بعد از سانتریفیوژ است.

آزمون پایداری زمانی سس مایونز کم چرب

پس از تهیه نمونه های مایونز، ۱۰ میلی لیتر از امولسیون در لوله فالکون ۱۵ میلی لیتر ریخته شد و پس از بستن درب آن ها، به مدت ۲ ماه در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شد. میزان این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Khorrami et al., 2014).

$$\text{ارتفاع لایه خامه ای} / \text{ارتفاع کل امولسیون} = \text{خامه ای شدن} \quad (2)$$

آزمون بررسی ویژگی های بافتی

آزمون بافت سنجی براساس روش ناجی طبسی و همکاران (Naji-Tabasi et al., 2021) جهت اندازه گیری ویژگی های بافتی نمونه های سس مایونز (نظیر سفتی، قوام و چسبندگی)، از آزمون اکستروژن پسرود انجام گرفت. دستگاه آنالیز بافت (TAXT PLUS/ stable micro system ساخت کشور انگلیس) با پروب دیسکی شکل با قطر ۳۵ میلی

متورم شده از یک اکستراکتور (استخراج کننده آزمایشگاهی پارس خزر، ساخت ایران) صورت گرفت. صمغ جمع آوری شده در آن با جریان هوای ۴۵ درجه سانتی گراد خشک گردید (Alipour et al., 2015). صمغ دانه قدومه شیرازی دارای ۰/۰۶ درصد پروتئین، ۶/۳ درصد خاکستر و ۷/۲ درصد رطوبت بود.

تهیه پیکرینگ های کمپلکس صمغ قدومه شیرازی و پروتئین کازئین

تهیه ذرات پیکرینگ براساس روش مدیری دوم و همکاران (Modiri-Dovom et al., 2023) انجام شد. محلول پروتئین کازئین ۲ درصد و صمغ قدومه شیرازی ۰/۰۵ درصد تهیه و به منظور بیشینه جذب آب به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شد. پروتئین کازئین داخل بن ماری (F26ED – JULABO و ساخت کشور آمریکا) در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد به مدت نیم ساعت قرار داده و سپس سرد شد. محلول کازئین با دور ۶۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (Z23HK -HERMIE و ساخت کشور آلمان) و سرم آن با صمغ قدومه شیرازی مخلوط شد. جهت تشکیل کمپلکس PH محلول پروتئین-پلی ساکارید روی ۶/۵ تنظیم گردید و سپس برای تشدید تشکیل ذرات، نمک کلسیم کلرید ۰/۵ مولار اضافه شد. در نهایت عمل صوت دهی ذرات با قدرت ۴۰ به صورت پالسی و به مدت ۶۰ ثانیه (VCX750- SONICS، ساخت انگلستان) انجام شد، در این مرحله پیکرینگ کمپلکس صمغ قدومه شیرازی و پروتئین کازئین تشکیل شد.

روش تهیه امولسیون پیکرینگ

تهیه امولسیون بر اساس روش ناجی طبسی و همکاران (Naji-Tabasi et al., 2021) با کمی تغییرات انجام شد برای تهیه امولسیون پیکرینگ از ذرات پیکرینگ کمپلکس کازئین-صمغ قدومه شیرازی استفاده شد. در ادامه روغن آفتابگردان به آرامی به محلول ذرات جامد تحت هموژنایزر (اولتراکس تی ۲۵، IKA آلمان) با سرعت ۶۰۰ دور در دقیقه اضافه شد. همگن سازی امولسیون در ۱۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳ دقیقه انجام و در ادامه تحت صوت دهی با قدرت ۴۰ به مدت ۶۰ ثانیه ۱- ثانیه پالسی با پروب ۱۹ (VCX750- SONICS و ساخت انگلیس) قرار گرفت (Naji-Tabasi et al., 2021).

تهیه سس مایونز

برای تهیه سس مایونز، نمک، شکر، سرکه سفید و آب را با هم مخلوط کرده و با استفاده از دستگاه همزن (EUROSTAR – digital)

قوام، مالش پذیری و پذیرش کلی اعلام نظر نمایند. همچنین از داوران خواسته شد جهت از بین رفتن طعم ناشی از هر نمونه، در بین هر دو نمونه اندکی از آبی که در اختیار آنها قرار گرفته بود استفاده کنند.

آنالیز آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری نتایج از طرح کاملاً تصادفی ساده استفاده گردید. داده‌ها توسط آنالیز واریانس (ANOVA) و اختلاف بین میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج آزمون پایداری سانتریفیوژی

نتایج آزمون پایداری سانتریفیوژی در جدول ۱ خلاصه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش درصد نانوامولسیون و کاهش میزان چربی پایداری امولسیون سس مایونز کاهش یافته است. اگرچه اختلافات معنی‌داری بین درصد پایداری تیمارهای نمونه کنترل و RFM-50% مشاهده نشد ($P \geq 0.05$). با کاهش میزان چربی می‌توانایی پایداری کاهش معنی‌دار بود ($P < 0.05$). پایداری امولسیون به توانایی یک امولسیون در مقابله با ایجاد تغییر در خصوصیاتش اشاره دارد؛ بدین معنی که خصوصیات یک امولسیون بسیار پایدار به کندی تغییر می‌کند. ممکن است امولسیون به دلایل متفاوتی از قبیل فرایندهای شیمیایی و فیزیکی ناپایدار شود. سس مایونز شاهد، یک امولسیون غلیظ است. در این سس، قطرات امولسیون به هم نزدیک هستند، از این رو تا وقتی که نیروی پایدارکننده قوی‌تر از نیروی جاذب میان قطرات هستند، حرکت قطرات محدود بوده و امولسیون پایدار می‌ماند (McClements, 2004).

متر با سرعت ۱/۵ میلی‌متر بر ثانیه و میزان فشردگی ۵۰ درصد ارتفاع نمونه برای بررسی خصوصیات بافت سس مایونز استفاده شد. تمام آزمون‌ها در دمای محیط ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام گردید (Liu et al., 2007).

آزمون رنگ‌سنجی

آزمون رنگ‌سنجی براساس روش بنیتایب و همکاران (Benbettaïeb et al., 2014) با کمی تغییرات انجام شد. جهت انجام آزمون رنگ‌سنجی، تصویربرداری از نمونه‌های سس مایونز با دستگاه اسکنر (CanoScan LiDE 220) ساخت کشور ویتنام انجام شد. سپس شاخص‌های رنگی L^* ، a^* و b^* با نرم‌افزار ImageJ استخراج شد (Benbettaïeb et al., 2014).

آزمون مورفولوژی ذرات سس مایونز کم‌چرب

برای بررسی ساختار سس مایونز، میکروسکوپ نوری (Labomed- IX400 و ساخت کشور آمریکا) مجهز به دوربین عکاسی استفاده شد. نمونه‌ها توسط محلول SDS ۰/۱ درصد به نسبت ۱ به ۱۰ رقیق شد، سپس یک قطره از نمونه روی یک اسلاید قرار گرفت و در بزرگنمایی ۴۰۰ تصویرها تهیه شد (Koocheki et al., 2011).

آزمون ارزیابی حسی

جهت بررسی ویژگی‌های حسی سس مایونز کم‌چرب از گروه داوران چشایی متشکل از ۱۴ نفر در بازه سنی ۲۵ تا ۳۵ سال مذکر و مؤنث از دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته علوم و صنایع غذایی انتخاب شدند. برای این منظور نمونه‌ها در اختیار داوران چشایی قرار گرفت و از آنها خواسته شد در مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای نسبت به امتیازدهی سس مایونز در خصوص پارامترهای رنگ، ظاهر، طعم، بافت،

جدول ۱- پایداری سانتریفیوژی و زمانی سس مایونز

Table 1- Centrifugal stability and sometimes mayonnaise

Sample نمونه	1 day ۱ روز (%)	14 days ۱۴ روز (%)	30 days ۳۰ روز (%)	60 days ۶۰ روز (%)	90 days ۹۰ روز (%)	Centrifugation stability (%) پایداری سانتریفیوژی
Control	100.00±0.00 ^{aA}	100.00±0.00 ^{aA}	100.00±0.00 ^{aA}	95.05±1.06 ^{aB}	92.20±0.98 ^{aC}	83.65±0.77 ^a
RFM-50%	100.00±0.00 ^{aA}	100.00±0.00 ^{aA}	100.00±0.00 ^{aA}	93.60±0.98 ^{bB}	90.75±1.06 ^{aC}	83.55±0.63 ^a
RFM-40%	100.00±0.00 ^{aA}	100.00±0.00 ^{aA}	96.50±0.98 ^{bB}	91.56±1.90 ^{cC}	90.70±1.00 ^{aD}	82.95±0.21 ^a
RFM-30%	100.00±0.00 ^{aA}	100.00±0.00 ^{aA}	95.05±1.06 ^{bB}	90.75±1.06 ^{cC}	88.50±0.70 ^{bD}	81.95±0.21 ^a

* حروف کوچک و بزرگ به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها و طی زمان نگهداری می‌باشد (آزمون دانکن، $P \leq 0.05$).

* Centrifugal stability And sometimes mayonnaise Uppercase and lowercase letters In order of indication Significant difference between samples and During the storage period (Duncan's test, $P \geq 0.05$).

با کاهش چربی و افزودن نانوامولسیون فربیت و قوام نیز روند کاهشی داشت. چسبندگی نمونه‌های کم‌چرب نسبت به نمونه کنترل بیشتر بود که بیشترین مقدار در نمونه RFM30% مشاهده شد ($P \leq 0.05$). به علت دو شاخص چسبندگی و انسجام جهت گسترش پذیرگی سس مایونز بر روی مواد غذایی و حفظ ساختار در حین اعمال تنش‌های کوچک حائز اهمیت می‌باشند بهبود و برتری این دو فاکتور در نمونه RFM50% بسیار مطلوب و ناشی از ایجاد ساختار مناسب می‌باشد. بدین‌صورت که نانوامولسیون به‌عنوان یک روان‌ساز عمل کرده که این باعث انعطاف‌پذیری بیشتر شده است. دادپور و یزدان‌پناه (Dadpour & Yazdanpanah, 2020) نیز با جایگزینی نانوامولسیون میوه سپستان در سس مایونز کم‌چرب به‌عنوان جایگزین چربی شاهد کاهش مقادیر خصوصیات بافتی بودند. این محققین گزارش کردند که با توجه به اینکه مایونز نوعی امولسیون با ساختار ویسکوالاستیک است، با کاهش میزان روغن قادر به ایجاد ساختار منسجم برای ایجاد خصوصیات بافتی مطلوب با نانوامولسیون نخواهد بود. همان‌طور که در تصویر ۱ نیز مشاهده می‌شود با کاهش چربی میزان ترامن قطرات روغن کاهش یافته است که بر ویژگی‌های بافتی سس مایونز اثر گذار است. اردستانی و همکاران (Ardestani et al., 2018)، بررسی خواص رئولوژیکی و بافتی سس مایونز کم‌چرب تهیه شده با استفاده از منو و دی‌گلسیرید و صمغ‌های گوار و زانتان نتایج نشان داد با افزایش استفاده از صمغ گوار به میزان ۰/۶۶۷ در ترکیب با صمغ زانتان به میزان ۰/۱۶۷ درصد باعث کاهش شاخص قوام تیمارهای سس مایونز گردید (Ardestani et al., 2018).

نتایج آزمون رنگ‌سنجی

شاخص L^* معرف میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است. شاخص a^* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (سبز خالص) تا ۱۲۰+ (قرمز خالص) متغیر است. شاخص b^* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (آبی خالص) تا ۱۲۰+ (زرد خالص) متغیر می‌باشد (Zhou et al., 2018). ظاهر مایونز عمدتاً با میزان سفیدی (روشنی) آن سنجیده می‌شود، زیرا این فاکتور تأثیر بسزایی در میزان پذیرش مصرف‌کننده دارد. نتایج آزمون رنگ‌سنجی نشان داد (جدول ۳)، میان فاکتورهای a^* ، b^* ، L^* نمونه‌های سس مایونز از لحاظ آماری با نمونه شاهد تفاوت معناداری وجود داشت ($P \leq 0.05$).

با کاهش میزان چربی و ورود نانوامولسیون به سیستم سس، حرکت قطران امولسیون بیشتر خواهد شد که باعث افزایش ناپایداری سیستم می‌شود. اگرچه با توجه به استفاده از نانوامولسیون که توسط ذرات پیکرینگ پایدار شده اند به داخل ساختار امولسیون، از ناپایداری سیستم جلوگیری و این ذرات خود در ایجاد ساختار مستحکم‌تر در امولسیون می‌توانند شرکت کنند.

پایداری زمانی

نتایج آزمون پایداری زمانی نشان داد، تمامی نمونه‌ها تا دو هفته اول پایداری کامل داشتند (جدول ۱). با افزایش کمپلکس صمغ قدومه شیرازی و پروتئین کازئین پایداری امولسیون در مدت زمان ۹۰ روز نگهداری افزایش یافته است. به‌طور کلی پایداری سیستم امولسیونی روغن در آب طی نگهداری آنها، به نوع و عملکرد لایه تشکیل شده بر سطح فصل مشترک قطرات روغن با آب مربوط می‌شود. چرا که این ترکیب ماکرومولکول با گذشت زمان فرصت کافی خواهد داشت تا با تشکیل یک غشاء ضخیم بر سطح قطرات روغن از طریق مکانیسم دافعه، فضایی پایداری بیشتری فراهم کند. یکی از دلایل این امر افزایش ویسکوزیته امولسیون و احتمال تشکیل شبکه سه بعدی به علت حضور قطرات پایدار شده توسط ذرات باشد، با توجه به قانون استوکس، سرعت روبه بستان با گرانیروی رابطه عکس داشته و با افزایش ویسکوزیته سرعت رو به بستان کاهش می‌یابد. اگرچه کاهش چربی و افزایش نانوامولسیون گرانیروی سیستم را کاهش می‌دهد. می‌توان دریافت که حضور نانو امولسیون باعث ایجاد امولسیون با ثبات‌تر با استحکام مکانیکی بالاتری می‌شود. دادپور و همکاران (Dadpour et al., 2020)، با بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی تولید سس مایونز کم‌چرب با استفاده از نانو امولسیون عصاره میوه سپستان دریافتند که با افزودن نانوامولسیون پایداری سیستم امولسیون سس مایونز افزایش یافته است، اگرچه نمونه با جایگزینی ۱۰۰ درصد چربی با نانوامولسیون نسبت به سایر تیمارها پایداری حرارتی کمتری داشته که دلیل کاهش پایداری را به افزایش میزان فاز آبی و کاهش غلظت و در نتیجه آن کاهش گرانیروی نسبت داده‌اند (Dadpour & Yazdanpanah, 2020).

ویژگی‌های بافتی

ویژگی‌های بافتی نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب در جدول ۲ گزارش شده است ($P \leq 0.05$). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سختی نمونه کنترل و RFM50% وجود ندارد. با افزایش جایگزینی چربی با نانوامولسیون سختی کاهش یافت.

جدول ۲- بافت‌سنجی سس مایونز
Table 2- Histology mayonnaise sauce

Sample نمونه	Hardness (g) سفتی	Springiness (mm) فنریت	Consistency (g.s) قوام	Adhesiveness (g.s) چسبندگی	Apparent modulus of elasticity (g/s) مدول ظاهری الاستیسیته
Control شاهد	68.61 ± 4.41 ^a	18.60 ± 1.08 ^a	1125.85 ± 124.51 ^a	-678.59 ± 85.53 ^c	3.92 ± 0.43 ^b
RFM-50%	66.82 ± 9.40 ^a	11.61 ± 1.58 ^b	612.17 ± 2.01 ^b	-454.20 ± 41.05 ^b	5.67 ± 1.08 ^a
RFM-40%	32.68 ± 2.52 ^b	13.72 ± 1.23 ^b	393.77 ± 69.54 ^c	-269.08 ± 35.77 ^a	4.24 ± 0.34 ^{ab}
RFM-30%	19.90 ± 0.16 ^b	14.23 ± 1.63 ^b	254.73 ± 34.83 ^c	-179.10 ± 13.23 ^a	3.27 ± 0.00 ^b

* حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها می‌باشد (آزمون دانکن، $P \leq 0.05$).

*Different letters the indicator Significant difference It is between samples (Duncan's test, $P \geq 0.05$).

تصاویر میکروسکوپی (شکل ۱)، با کاهش روغن میزات ذرات روغن در فاز آبی کاهش یافته است و فاز آبی که حاوی ذرات کمپلکس پروتئین و پلی‌ساکاریدی است نقش اصلی را در افتراق نور و ایجاد پارامترهای رنگی دارد. با بررسی فاکتور a با توجه به این که محدوده اعداد منفی بیانگر گرایش محصول به سمت رنگ سبز می‌باشد مشخص می‌گردد نمونه RFM 50 % که a آن -0.83- و نمونه RFM 40% که a آن -0.97- می‌باشد بیشترین تمایل را به سمت رنگ سبز دارد این امر نشان می‌دهد با افزایش کمپلکس ذرات صمغ قدومه شیرازی و پروتئین کازئین به شاهد تمایل نمونه‌ها به سمت قرمز افزایش می‌یابد. اگرچه همه پارامترها نزدیک به صفر است (-0.83 تا -1.79). مقادیر b^* در تمامی نمونه‌ها مثبت بود که بیانگر تمایل به سمت رنگ زرد است. با کاهش مقدار چربی و افزایش درصود نانوامولسیون مقدار b^* افزایش یافت ($P < 0.05$).

میزان روشنایی در نمونه شاهد ۸۵/۴۸ بوده در ارتباط با RFM50% کمترین کمپلکس ذرات صمغ قدومه شیرازی و پروتئین کازئین و در ارتباط با RFM30% بیشترین کمپلکس ذرات صمغ قدومه شیرازی و کازئین استفاده شد. به دلیل حضور نانوامولسیون حاوی ذرات کمپلکس ذرات صمغ قدومه شیرازی و پروتئین، میزان روشنایی کاهش یافته است به‌طور کلی که از نمونه RFM 50% تا نمونه RFM 30% همزمان با میزان افزایش نانوامولسیون و کاهش چربی میزان روشنایی کاهش یافته است. اگرچه میزان روشنایی نمونه کنترل و RFM50% تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0.05$). دادپور و یزدانپناه (Dadpour & Yazdanpanah, 2020) نیز به نتایج مشابهی با استفاده از نانوامولسیون عصاره میوه سپستان در ساختار سس مایونز کم چرب دست یافتند. آنها گزارش کردند که علت کاهش L^* سس‌های کم‌چرب، کم بودن شفافیت عصاره میوه نسبت به روغن مورد استفاده است (Dadpour & Yazdanpanah, 2020). از سوی دیگر براساس

جدول ۳- ویژگی‌های رنگی سس مایونز با روغن کاهش یافته
Table 3- Color features mayonnaise sauce with reduced oil

Sample نمونه	L^*	a^*	b^*
control	85.48 ± 0.09 ^a	1.79 ± 0.01 ^a	13.59 ± 0.21 ^d
RFM-50%	85.61 ± 0.24 ^a	-0.83 ± 0.07 ^d	14.72 ± 0.37 ^c
RFM- 40%	84.38 ± 0.18 ^b	-0.97 ± 0.04 ^c	16.20 ± 0.00 ^b
RFM- 30%	82.68 ± 0.27 ^c	1.20 ± 0.02 ^b	17.05 ± 0.06 ^a

* حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها می‌باشد (آزمون دانکن، $P \leq 0.05$).

* Different letters the indicator Significant difference It is between samples (Duncan's test, $P \geq 0.05$).

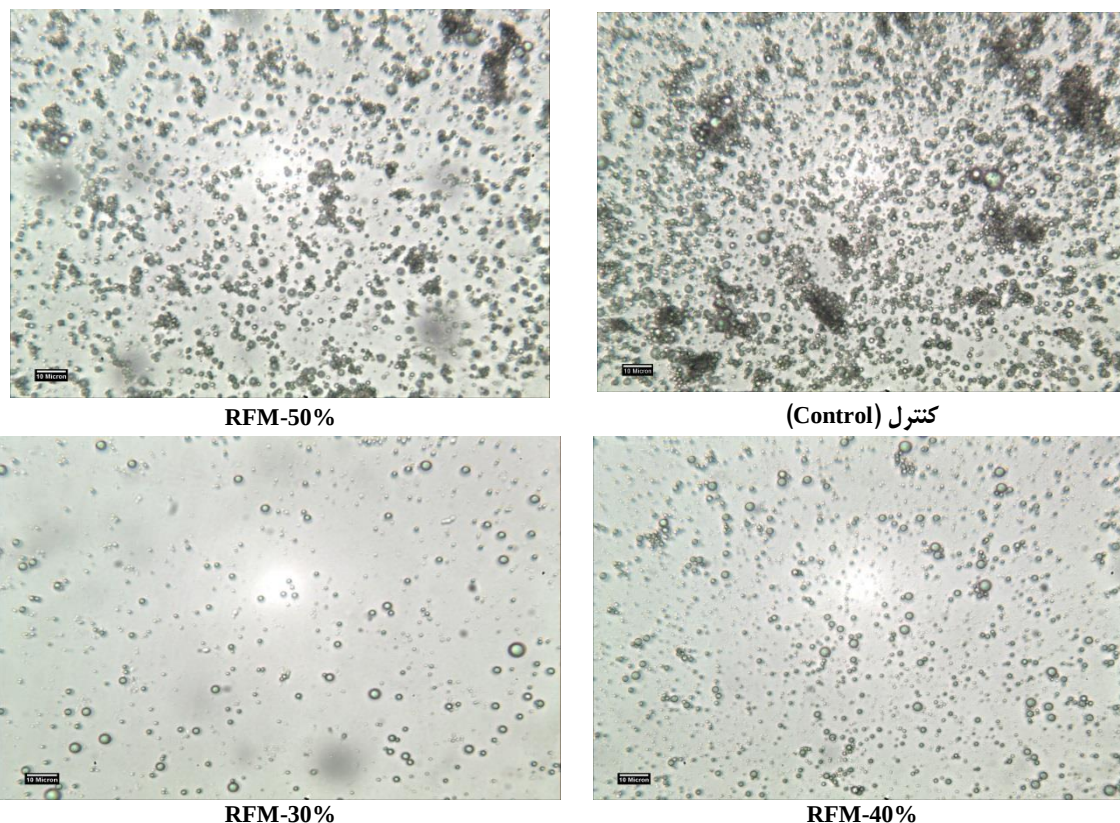
قطرات روغن فلکولاسیون‌های بزرگی قابل مشاهده است. با کاهش مقدار قطرات روغن، این فلکول‌ها کوچکتر شدند. ریز ساختار مایونز می‌تواند تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله نوع و غلظت امولسیفایر و عوامل پایدارکننده و نیز غلظت و ویسکوزیته فاز روغنی تغییر کند. به‌علاوه شرایط عملیاتی نظیر روش و شدت هموژنیزاسیون نیز مهم است

مورفولوژی امولسیون سس مایونز

میکروسکوپ نوری برای تعیین اندازه ذرات و ریز ساختار نمونه‌هایی ساخته شده مورد استفاده قرار گرفت. همه نمونه‌ها شامل قطرات چربی توزیع شده در یک محیط آبی بودند. از نظر اندازه ذرات، تفاوت قابل توجهی بین نمونه‌ها مشاهده نشد. اگرچه در نمونه کنترل، بین

(*et al.*, 2019)، بررسی ویژگی های رئولوژیکی و فیزیکوشیمیایی سس مایونز کم چرب بدون کلسترول با استفاده از نشاسته اکتینیل سوکسینات و صمغ فارسی نتایج نشان داد با افزایش صمغ پراکندگی بین ذرات بیشتر است (*Pishan et al.*, 2019).

(*Mun et al.*, 2009). با افزایش درصد نانوامولسیون و کاهش روغن (RFM 30%)، ذرات کاملاً مجزا از یکدیگر شدند. استفاده از نانوامولسیون و مقدار کمتر چربی، همزمان با افزایش قابلیت دستگاه برای همگن کردن امولسیون، فلکول ها شکسته و در نمونه RFM 30%، قطرات کاملاً مجزا مشاهده گردید. پیشان و همکاران (*Pishan*



شکل ۱- مورفولوژی امولسیون سس مایونز

Fig. 1. Emulsion morphology mayonnaise sauce

فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی سس مایونز کم چرب حاوی اینولین و پکتین انجام دادن گزارش کردند که نمرات ارزیابی گسترش پذیری نمونه های مایونز با افزایش میزان جایگزین کاهش می یابد (*Toluee et al.*, 2011). حضور ساختار نانوامولسیون پیکرینگ کاربئن-قدومه توانسته بود خصوصیات بافتی شامل گسترش پذیری و قوام را افزایش دهد، اگرچه در مقادیر بالای کاهش روغن توانایی کمی برای ایجاد بافت مناسب داشته است. دادپور و یزدان پناه (*Dadpour & Yazdanpanah*, 2020) در بررسی ویژگی های حسی سس مایونز کم چرب حاوی نانوامولسیون عصاره میوه سپستان روند مشابهی گزارش کردند و کمترین سطح جایگزینی تفاوت معناداری با شاهد نداشت (*Dadpour & Yazdanpanah*, 2020).

ارزیابی حسی

نتایج به دست آمده از پارامترهای حسی تیمارهای مایونز شامل ظاهر، رنگ، طعم، گسترش پذیری، قوام، بافت و پذیرش کلی در جدول ۴ گزارش شده است. تمام نمونه ها از نظر ویژگی های حسی دارای اختلاف معنادار بودند ($P < 0/05$). نمونه کنترل بیشترین امتیاز را در تمام ویژگی های حسی دارا بود. اگرچه امتیازهای RFM-50% تفاوت معناداری با کنترل نداشت و از نظر ارزیابان مورد تأیید بود. کمترین امتیاز مربوط به RFM30% بود که بیشترین میزان کاهش روغن را داشت. شمسایی و همکاران (*Shamsaei et al.*, 2017)، اثر صمغ دانه ی ریحان و زانتان به عنوان جایگزین چربی بر خصوصیات سس مایونز کم چرب مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که کاهش میزان چربی و افزودن صمغ باعث کاهش پذیرش حسی می شود. طلوعی و همکاران (*Toluee et al.*, 2011)، در تحقیقی که بر روی ویژگی های

جدول ۴- ویژگی‌های حسی سس مایونز کم‌چرب حاوی نانوامولسیون در مقایسه با کنترل

Table 4- Sensory properties Low fat mayonnaise Contains nanoemulsion compared to control

Sample نمونه	Appearance ظاهر	Color رنگ	Flavour طعم	Consistency قوام	Texture بافت	Spread ability گسترش پذیری	Overall acceptance پذیرش کلی
Control	4.63±0.37 ^a	4.62±0.42 ^a	4.53±0.51 ^a	4.76±0.43 ^a	4.96±0.63 ^a	4.61±0.50 ^a	4.86± 0.37 ^a
RFM-50%	4.44±0.66 ^{ab}	4.42±0.66 ^{ab}	4.30±0.63 ^{ab}	4.23±0.92 ^a	4.23±0.72 ^a	4.23±0.72 ^a	4.38± 0.65 ^a
RFM-40%	4.24±0.70 ^b	4.11±0.95 ^b	4.23±0.86 ^b	3.61±0.76 ^b	4.23±0.76 ^a	4.23±0.77 ^a	4.38 ±0.63 ^b
RFM-30%	4.12±0.81 ^b	4.15±0.80 ^b	3.76±0.73 ^b	3.23±0.59 ^b	3.30±0.62 ^b	3.07±0.75 ^b	3.46 ±0.66 ^b

* حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها می‌باشد (آزمون دانکن، $P \leq 0.05$).* Different letters the indicator Significant difference It is between samples (Duncan's test, $P \geq 0.05$).

نتیجه‌گیری

بررسی ویژگی‌های سس مایونز با چربی کاهش یافته با استفاده از نانوامولسیون پایدارشده با پیکرینگ‌های کمپلکس کازئین و صمغ قدومه شیرازی نتایج نشان داد که با افزایش کاهش میزان روغن تا ۳۰ درصد، ویژگی‌های حسی و بافتی به صورت معنی‌داری را کاهش یافت. اما کاهش روغن تا ۵۰ درصد در حضور نانوامولسیون پیکرینگ ویژگی‌های بافتی را حفظ و در مواردی ارتقا داد. تمام امولسیون‌های تولید شده از پایداری مطلوبی طی نگهداری و سانتیفیوژ برخوردار بودند. بهترین پایداری در نمونه کنترل و RFM-30% مشاهده شد. براساس نتایج، استفاده از نانوامولسیون باعث حفظ خصوصیات کیفی سس مایونز با روغن کاهش یافته بخصوص در نمونه RFM-30% شد. همچنین باتوجه به این نکته که ساختار امولسیون پیکرینگ‌ها در دستگاه گوارش پایداری بالایی در برابر هضم دارند، امید است ساختار نانوامولسیون

پیکرینگ در تولید محصولات غذایی کم‌چرب مختلف مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

میزان مشارکت

آتنا مدیری دوم: مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، تحلیل رسمی، تأمین مالی، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، منابع، نرم‌افزار، اکرم آریان‌فر: نوشتن - پیش‌نویس اصلی، نوشتن - بررسی و ویرایش، نظارت، مدیریت پروژه؛ **سارا ناجی طبسی:** نوشتن - پیش‌نویس اصلی، نوشتن - بررسی و ویرایش، نظارت، مدیریت پروژه؛ **وحید حکیم‌زاده:** اعتبارسنجی، تجسم.

منابع تأمین مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرد.

References

- Akbari, E., Ghorbani, M., Sadeghi Mahoonak, A., Alami, M., & Kashaninejad, M. (2016). Effect of sage seed gum and soybean protein isolates on the oil in water emulsion stability. *Innovative Food Technologies*, 3(2), 23-32. (In Persian). <https://doi.org/10.22104/jift.2016.283>
- Alipour, A., Kochehi, A., & Varidi, M. (2015). The effect of *Alyssum homolocarpum* seed gum-whey protein concentrate on stability of oil-in-water emulsion. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 12(48), 163-174. (In Persian)
- Ardestani, M., Rajaei, P., & Hashemi Ravan, M. (2018). Investigation on rheological and textural properties of low-fat mayonnaise prepared using mono- and di-glyceride, guar and xanthan gums. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 15(80), 319-333. (In Persian)
- Aslanzadeh, M., Mizani, M., Gerami, A., & Alimi, M. (2014). Evaluation of produced dietary fiber from wheat bran as a fat replacer in mayonnaise.
- Aswathanarayan, J.B., & Vittal, R.R. (2019). Nanoemulsions and their potential applications in food industry. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 95. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00095>
- Benbettaieb, N., Kurek, M., Bornaz, S., & Debeaufort, F. (2014). Barrier, structural and mechanical properties of bovine gelatin-chitosan blend films related to biopolymer interactions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(12), 2409-2419. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6570>

7. Dadpour, S., & Yazdanpanah, S. (2020). Production of low-fat mayonnaise with using nanoemulsion of *Cordia myxa* fruit extract. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 17(104), 135-147. (In Persian). <https://doi.org/10.52547/fsct.17.104.135>
8. Haratifar, S., & Guri, A. (2017). Nanocapsule formation by caseins. In *Nanoencapsulation technologies for the food and nutraceutical industries* (pp. 140-164). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809436-5.00005-7>
9. Hedjazi, S., Razavi, S.H., Kordjazi, M., & Khodaiyan, F. (2019). Preparing pickering emulsion of canthaxanthin and stabilization with cellulose nanocrystals. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 50(1), 179-190. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2018.229319.664918>
10. Khorrami, M., Hosseini-Parvar, S.H., & Motamedzadegan, A. (2014). The influence of Basil seed gum concentration on the stability, particle size and rheological properties of oil-in-water emulsion stabilized by whey protein isolate. *Journal of Food Processing and Preservation*, 5(2), 91-114. (In Persian). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.24233544.1392.5.2.6.6>
11. Khoshakhlagh, K., Koocheki, A., Mohebbi, M., & Allafchian, A. (2017). Development and characterization of electrosprayed *Alyssum homolocarpum* seed gum nanoparticles for encapsulation of d-limonene. *Journal of Colloid and Interface Science*, 490, 562-575. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.11.067>
12. Koocheki, A., Shahidi, F., Mortazavi, S.A., Karimi, M., & Milani, E. (2011). Effect of Qodume Shirazi (*Alyssum homolocarpum*) seed and xanthan gum on rheological properties of wheat flour dough and quality of bread. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*, 7(1), 9-16. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v7i1.9359>
13. Linke, C., & Drusch, S. (2018). Pickering emulsions in foods-opportunities and limitations. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(12), 1971-1985. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1290578>
14. Liu, H., Xu, X., & Guo, S.D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT-Food Science and Technology*, 40(6), 946-954. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.007>
15. Mahmoud, K., Abo-Zeid, W., El Shattory, Y., El Kinawy, O., & Salama, M. (2016). Micro sunflower oil-water-emulsion as fat replacer in biscuits. *American Journal Food Technology*, 11(1-2), 54-62. <https://doi.org/10.3923/ajft.2016.54.62>
16. McClements, D.J. (2004). *Food emulsions: principles, practices, and techniques*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781420039436>
17. Meral, R., Ekin, M.M., Kutlu, N., & Kose, Y.E. (2022). The nanoemulsions: A new design and fat-reducing strategy for the bakery industry. Their effects on some quality attributes of fat-reduced cakes. *Journal of Food Processing and Preservation*, e17160. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17160>
18. Modiri-Dovom, A., Arianfar, A., Naji-Tabasi, S., & Hakimzadeh, V. (2023). Production and investigation of Pickering emulsion stabilized by casein-Qodume Shirazi (*Alyssum homolocarpum*) seed gum complex particles: gastrointestinal digestion. *Journal of Microencapsulation*, 1-21. <https://doi.org/10.1080/02652048.2023.2282987>
19. Mun, S., Kim, Y.-L., Kang, C.-G., Park, K.-H., Shim, J.-Y., & Kim, Y.-R. (2009). Development of reduced-fat mayonnaise using 4αGTase-modified rice starch and xanthan gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 44(5), 400-407.
20. Naji-Tabasi, S., Mahdian, E., Arianfar, A., & Naji-Tabasi, S. (2021). Nanoparticles fabrication of soy protein isolate and basil seed gum (*Ocimum bacilicum* L.) complex as pickering stabilizers in emulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 42(5), 633-640. <https://doi.org/10.1080/01932691.2019.1703736>
21. Pishan, M., Askari, G., Jamshidian, M., & Emam Jomeh, Z. (2019). Investigating the rheological and physicochemical characteristics of low fat-free cholesterol mayonnaise using sodium octenyl succinate starch and Persian gum. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 50(1), 191-201. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijbse.2018.260728.665069>
22. Sarraf, M., Naji-Tabasi, S., & Beig-babaei, A. (2021). Influence of calcium chloride and pH on soluble complex of whey protein-basil seed gum and xanthan gum. *Food Science & Nutrition*, 9(12), 6728-6736. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2624>
23. Seyfoddin, H., Koocheki, A., Razavi, S., & Milani, E. (2017). Time-dependent behavior of low fat mayonnaise prepared with *Lepidium perfoliatum* seed gum and whey protein concentrate. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 13(59), 97-107. (In Persian)
24. Shamsaei, S., Razavi, S.M.A., Emadzadeh, B., & Ataei, S.E. (2017). The effect of basil seed gum and xanthan on the physical and rheological characteristics of low fat mayonnaise. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*, 17(1(43)), 65-45. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1395i0.37356>
25. Silva, W., Torres-Gatica, M.F., Oyarzun-Ampuero, F., Silva-Weiss, A., Robert, P., Cofrades, S., & Giménez, B. (2018). Double emulsions as potential fat replacers with gallic acid and quercetin nanoemulsions in the aqueous phases. *Food Chemistry*, 253, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.128>

26. Toluee, O., Mortazavi, S., Aelami, M., & Sadeghi, M.A. (2011). Physico-chemical, texture, and organoleptic properties of low fat mayonnaise containing inulin and pectin. *Innovation in Food Science and Technology (Journal of Food Science and Technology)*, 3(1(7)), 35-42. (In Persian)
27. Zhou, Y., Sun, S., Bei, W., Zahi, M. R., Yuan, Q., & Liang, H. (2018). Preparation and antimicrobial activity of oregano essential oil Pickering emulsion stabilized by cellulose nanocrystals. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 7-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.102>

Optimization of Pigment Extraction from Red Beet

M. Lavarestagh¹, N. Zamindar^{ID 2*}, Y. Esmaeili^{ID 1}

1 and 2- Graduated Master and Associate Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: n.zamindar@khuif.ac.ir)

Received: 21.02.2023

Revised: 26.08.2023

Accepted: 19.11.2023

Available Online: 20.11.2023

How to cite this article:

Lavarestagh, M., Zamindar, N., & Esmaeili, Y. (2024). Optimization of pigment extraction from red beet. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(4), 381-393. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.81079.1235>

Introduction

The first quality attribute about food evaluated by consumer is visual characteristics. The apparent attributes of a product include its shape, color, packaging, size, and uniformity. The consumer considers the product's appearance in the first step before any other information about other characteristics, such as taste or smell, especially in the first purchase. Color is the most crucial indicator of the quality of food that affects consumer acceptance. To replace the color lost during the process, increasing the existing color and minimizing variation during processing; natural colors, synthetic and inorganic colorants are added to food. Red beet is one of the most important natural sources of color; the essential pigment in this plant is betalain, composed of two subunits, betacyanin, and betaxanthine. Considering the growing demand to develop more effective methods for extracting active compounds present in vegetable materials, including naturally occurring betalain and other nutritious compounds, this research was conducted to optimize the extraction conditions of this pigment from red beet.

Materials and Methods

Preparation of red beet

The red beets were washed, peeled, and grated to prepare the sample. Then, red beets were dried in an oven at 30 °C for 48 hours and milled. For extraction, 10 grams of red beet powder was mixed with 200 ml of solvent (water-ethanol in a ratio of 1:1) and subjected to ultrasonication at 37 kHz. Experiments in 27 runs were performed based on a historical data design, randomized subtype and quadratic model. After the implementation with the edition of Design Expert 7 software, the range of variables pH (3-5), temperature (15-25 °C), and time (10-20 min) were applied for extraction. The pulp was dried using a Wattman filter paper in an oven at 35 °C and used for subsequent tests.

Yield measurements

The efficiency of the extraction process was calculated by dividing the weight of the extract obtained by the weight of the beetroot.

Measurement of pigments

The betacyanin and betaxanthine pigments show maximum absorption in 522-559 nm and 474-480 nm, respectively. To measure betacyanin and betaxanthine in extracts, a certain amount of powder was dissolved in distilled water, and its absorbance was measured at 530 and 480 nm. The amount of pigments obtained from different extraction conditions was compared.

Results and Discussion



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.81079.1235>

In this study, the overall results showed that an increase in the extraction pH and time increased the extraction of betacyanine and betaxanthine. It would be better to extract betacyanine at temperatures below 25 °C since this pigment is sensitive to high temperatures. The maximum yield was observed when pH value, temperature, and time were 5, 21 °C, and 20 min, respectively. Comparison of experimental and predicted values of the proposed responses at the proposed optimal points by t-test showed no significant difference ($p < 0.05$). A quadratic model was suggested for the responses, and the lack of fit was not significant ($p < 0.05$). The extraction of betalain from red beet using the ultrasonic assisted method causes a reduction in time, temperature, energy, and solvent consumption.

Conclusion

The maximum yield was observed when pH value, temperature, and time were 5, 21 °C, and 20 min, respectively. Comparison of experimental and predicted values of the optimal points showed no significant difference by t-test ($p < 0.05$). According to the results obtained from this research, ultrasonic assisted extraction can be considered an efficient and fast method. Extraction of betalain from red beetroot with ultrasonic assisted method is more efficient. It can replace the regular practice of extraction in the industry due to the reduction of time, temperature, energy, and solvent consumption, thus reducing cost and increasing profit.

Keywords: Betacyanine, Betaxanthin, Red beet, Response surface method

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۳، ص. ۳۹۳-۳۸۱

بهینه‌سازی شرایط استخراج رنگ از چغندر قرمز

مهشاد لوارستاق^۱ - نفیسه زمین‌دار^{۲*} - یاسمن اسمعیلی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۸

چکیده

به تازگی استفاده از رنگدانه‌های طبیعی به‌عنوان افزودنی غذایی، رنگ‌های خوراکی و دارو بسیار مورد توجه قرار گرفته است. چغندر قرمز سرشار از رنگدانه‌های بتالاین است. در این پژوهش به بررسی تأثیر متغیرهای مستقل دما، زمان و pH بر استخراج رنگدانه‌های بتالاین از چغندر قرمز پرداخته شده است. به‌منظور آماده سازی نمونه چغندر شست و شو، پوست‌گیری و رنده شد. سپس چغندره‌های قرمز به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس آسیاب و آماده عصاره‌گیری شدند. عصاره‌گیری با استفاده از آب:تانول با نسبت ۱:۱ به‌عنوان حلال انجام شد. تأثیر پارامترهای فرآیند استخراج شامل pH (۳-۵)، دما (۱۵-۲۵) درجه سانتی‌گراد و زمان (۱۰-۲۰) دقیقه بر بتاسیانین، بتاگزانتین و بازده کل مورد ارزیابی قرار گرفت. امواج فراصوت با فرکانس ۳۷kHz برای تسهیل استخراج به کار برده شد. جهت انتخاب شرایط از الگوریتم بهینه‌سازی روش سطح پاسخ استفاده شد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که افزایش pH و زمان استخراج باعث افزایش در مقادیر بازده، مواد جامد محلول کل، بتاسیانین، بتاگزانتین و بازده کل مورد ارزیابی قرار گرفت. امواج فراصوت با فرکانس ۳۷kHz برای تسهیل استخراج به کار برده شد. جهت انتخاب شرایط از الگوریتم بهینه‌سازی روش سطح پاسخ استفاده شد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که افزایش pH و زمان استخراج باعث افزایش در مقادیر بازده، مواد جامد محلول کل، بتاسیانین، بتاگزانتین و بازده کل مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای اندازه‌گیری شده با مقادیر پیش‌بینی شده تفاوت معنی‌داری نداشت ($p < 0.05$).

واژه‌های کلیدی: بتاسیانین، بتاگزانتین، چغندر قرمز، روش سطح پاسخ

مقدمه

اولین خصوصیت کیفی که توسط یک مصرف‌کننده ماده غذایی دریافت می‌شود و مورد توجه قرار می‌گیرد خصوصیات ظاهری محصول می‌باشد. خصوصیات ظاهری یک محصول شامل خصوصیات مانند رنگ، شکل، نوع بسته‌بندی، اندازه، یکنواختی می‌باشند. در حقیقت مصرف‌کننده قبل از آن که هیچ گونه اطلاعی از سایر خصوصیات ماده غذایی از قبیل طعم یا بوی آن داشته باشد، در درجه اول ظاهر محصول را مورد توجه قرار می‌دهد. بنابراین خصوصیات ظاهری عامل مهم و تعیین کننده‌ای، مخصوصاً در اولین خرید از یک محصول یا عدم خرید آن هستند. در این میان رنگ مهمترین شاخص کیفی مواد غذایی است که پذیرش مصرف‌کننده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌منظور جایگزین کردن رنگ از دست رفته در طول فرآیند، افزایش رنگ موجود، به

حداقل رساندن تغییرات در حین فرآوری و رنگ کردن غذای بدون رنگ؛ رنگ‌های طبیعی، شبه طبیعی، سنتزی و غیر آلی به مواد غذایی افزوده می‌شوند (Aberoumand, 2011).

اخیراً محدودیت بسیاری از جانب سازمان بین‌المللی و انستیتوهای تحقیقاتی در مورد استفاده از مواد رنگ‌زای مصنوعی خوراکی به‌ویژه رنگ قرمز مصنوعی بیان شده است (Downham et al., 2000). به همین دلیل تحقیقات وسیعی برای تهیه مواد رنگ‌زای قرمز طبیعی به عنوان افزودنی‌های مجاز آغاز گردیده است و علاقه به مصرف رنگ های طبیعی را افزایش داده است زیرا رنگدانه‌های طبیعی معمولاً سالم-تر یا بی‌ضررتر از رنگ‌های مصنوعی هستند (Cardoso-Ugarte et al., 2014). استفاده از رنگ‌های طبیعی علی‌رغم ثبات و قدرت رنگی کم‌تر نسبت به رنگ‌های مصنوعی؛ به‌دلیل ایمن‌تر بودن و داشتن

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: n.zamindar@khuif.ac.ir)

افزایش جرم انتقالی، پایداری رنگ طبیعی و سازگاری با محیط زیست می شود، تشویق می کند. استخراج با استفاده از فراصوت یکی از این روش هاست (Cardoso-Ugarte et al., 2014).

مکانیسم اصلی استخراج با امواج فراصوت به پدیده کاویتاسیون مربوط می شود. با توجه به حساسیت رنگدانه ها نسبت به دماهای بالا، از مزایای روش فراصوت این است که استخراج در دماهای پایین را امکان پذیر می سازد (Zohuri et al., 2016). از طرف دیگر، بالا بردن کارایی و بازده سیستم ها در فرآیند استخراج بدون افزایش هزینه ها بسیار حائز اهمیت است. روش اجرایی که بدین منظور استفاده می گردد، بهینه سازی نامیده می شود و این عمل، یکی از مهمترین مراحل در طراحی و تحلیل سیستم ها است. روش سطح پاسخ مجموعه ای از تکنیک های ریاضی و آماری است که جهت توسعه، پیشبرد و بهینه کردن فرآیندهایی به کار می رود که در آنها سطح مورد نظر تحت تأثیر متغیرهای بسیاری قرار داشته و هدف، بهینه کردن پاسخ مزبور است. روش سطح پاسخ کاربرد قابل توجهی در طرح ریزی، توسعه، فرموله کردن محصولات جدید غذایی و همچنین ارتقای طراحی محصولات موجود دارد (Bas et al., 2007).

لاکوی ویلکا و همکاران (Laqui-Vilca et al., 2018) بتالاین را از پوسته کینوا رنگی (تیره تاج خروسیان) از طریق استخراج آبی با کمک فراصوت استخراج و به وسیله روش سطح پاسخ بهینه کردند سپس پایداری حرارتی بتالاین ها را بررسی کردند. آن ها به این نتیجه رسیدند که استخراج بتالاین از پوسته کینوا رنگی می تواند در زمان فرآیند بسیار کوتاه ۹/۲ و ۴۰ ثانیه به ترتیب برای نمونه های حاوی بتاسیانین و بتاگزانتین انجام شود. عصاره های تهیه شده به وسیله فراصوت نیز به همان میزان پایدار یا پایداتر از نمونه های استخراج شده از ریشه چغندر هستند و حاوی مقادیر کمی ساپونین می باشند (Laqui-Vilca et al., 2018).

با توجه به تقاضای رو به رشد برای توسعه روش های کارآمدتر و مؤثرتر برای استخراج ترکیبات فعال موجود در مواد گیاهی همچنین ارزان قیمت بودن کشت چغندر قرمز در ایران و اینکه عصاره چغندر قرمز غنی از رنگدانه طبیعی بتالاین و سایر ترکیبات مغذی است، استخراج بتالاین از چغندر قرمز با استفاده از روش فراصوت، به حداکثر رساندن بازده و بهینه سازی شرایط استخراج این رنگدانه ارزشمند به روش سطح پاسخ بسیار مهم و هدف از این پژوهش می باشد.

مواد و روش ها

آماده سازی چغندر قرمز

ارزش غذایی و مواد زیست فعال از جمله ویتامین های مختلف و همچنین داشتن خاصیت آنتی بیوتیکی و عدم اثرات مسمومیت زایی آن ها ترجیح داده می شوند. رنگ های طبیعی آنتی اکسیدان های تغذیه ای هستند و حضور آن ها در رژیم غذایی باعث کاهش خطر بیماری های قلبی عروقی، سرطان و بیماری های مرتبط با پیری می شود (Zohuri et al., 2016). رنگ های طبیعی همه جا در طبیعت به خصوص در میوه ها و سبزیجات موجود هستند (Esmaeili et al., 2021). با این حال انواع رنگ های طبیعی که به صورت تجاری در دسترس هستند نسبتاً کم هستند (Cardoso-Ugarte et al., 2014). یکی از مهم ترین منابع طبیعی رنگ، چغندر قرمز می باشد که می توان از آن مواد رنگ زای قرمز طبیعی را به منظور استفاده در فرآورده های غذایی تهیه کرد. مهم ترین رنگدانه موجود در این گیاه بتالاین است. بتالاین ها رنگدانه های نیتروژن دار محلول در آب هستند که در غلظت های بالا در چغندر قرمز یافت می شوند. رنگدانه بتالاین از دو زیر واحد بتاسیانین^۱ (رنگدانه قرمز) و بتاگزانتین^۲ (رنگدانه زرد) تشکیل شده است (Delgado-Vargas et al., 2000). بتالاین رنگ قرمز مطلوبی را به غذا اضافه می کند و کاربردهای زیادی در صنعت غذا مانند افزودنی در ژلاتین ها، دسر ها، قنادی، محصولات نانوائی و غیره دارد. بتالاین به دلیل فعالیت های ضد ویروسی، ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Ranjbar Nedamani, 2022). در مورد ایجاد رنگ زرد متمایل به نارنجی نیز بتاگزانتین می تواند جایگزین کاروتنوئیدها شود (Changizi-ashtiyani et al., 2018). بتاسیانین ها نیز یک گروه از ترکیبات هستند که فعالیت آنتی اکسیدانی و مهار رادیکال آزاد دارند (Escibano et al., 1998). با توجه به ارزان قیمت بودن کشت چغندر قرمز در ایران، استفاده از آن برای استخراج رنگدانه های طبیعی به صرفه است. مهم ترین کاربرد ماده رنگ زای تهیه شده در محصولات سرد مانند بستنی، ماست، شربت یخی، رنگ کردن مسقطی، پوشش شیرینی ها و کرم های وسط شیرینی می باشد، به دلیل قدرت رنگی زیاد این ماده، میزان افزودن آن در محصولات غذایی بسیار کم است. حد مجاز برای مصرف روزانه بتالاین از ۱۰ تا ۵۰ میلی گرم به ازای یک کیلوگرم غذا بیان شده است (Pavlov et al., 2005).

استخراج رنگدانه های طبیعی از جمله بتالاین ها معمولاً به وسیله استخراج جامد-مایع انجام می شود در این روش رنگدانه ها با آب و همچنین از طریق استفاده از محلول های متانول یا اتانول استخراج می شوند. با این حال معایب مربوط به این روش مانند زمان استخراج طولانی، آلودگی حلال و تولید نسبی پایین، محققان را به استفاده از تکنیک های فرآیند جدید که باعث بهبود کارآمدی فرآیند از طریق

رنگدانه‌های بتالاین از چغندر قرمز به روش فراصوت به کار برده شد. تیمارها در ۲۷ آزمایش بر اساس طرح مورد مطالعه چیده شدند و نوع مدل مورد بررسی درجه دو (کوآدراتیک) در نظر گرفته شد. متغیرهای مستقل مورد استفاده شامل pH (۳-۵)، دما (۱۵-۲۵ درجه سانتی‌گراد) و زمان (۱۰-۲۰ دقیقه) و پاسخ‌های اندازه‌گیری شده شامل بتاسیانین، بتاگزانتین و بازده کل بودند. آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نسخه ۷ نرم‌افزار Design Expert صورت پذیرفت. تجزیه واریانس برای ارزیابی اثرات معنی‌دار متغیرهای فرآیند بر هر یک از پاسخ‌ها انجام شد. با انجام آنالیز رگرسیون چند متغیره، مدل‌های مختلف بر اساس R^2 پیش‌بینی شده و R^2 اصلاح شده مقایسه شد، به‌صورتی که مدلی که دارای بیشترین مقادیر این فاکتورها باشد دارای دقت بیشتری خواهد بود. آنالیز واریانس برای تعیین عدم برازش و معنی‌دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و برهمکنش متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته نیز صورت گرفت اگر مقدار P برای آزمون عدم برازش بزرگتر مساوی ۰/۰۵ بود به معنای کافی بودن مدل برای پیش‌بینی پاسخ مورد نظر بود. سطوح متغیرهای مورد بررسی و تیمارهای مورد استفاده در آزمایش به‌ترتیب در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. پس از بهینه‌سازی شرایط برای بیشترین میزان بتاگزانتین و بتاسیانین و بازده (با درجه اهمیت یکسان) در محدوده آزمون برای متغیرهای مستقل با توجه به نقاط بهینه بدست آمده برای استخراج، مجدداً استخراج انجام شد و فاکتورهای مورد بررسی برای فرمولاسیون بهینه پیشنهادی با مطلوبیت ۰/۹۷ طبق جدول ۴ تعیین شد. مقایسه بین پاسخ‌های آزمایشگاهی بدست آمده برای نقاط بهینه با پاسخ پیش‌بینی شده نرم‌افزار با آزمون تی استیوننت^۱ ($p < 0.05$) انجام شد. به‌منظور کاهش خطا کلیه آزمایش‌ها برای هر نقطه در ۳ تکرار انجام شد.

نتایج و بحث

پس از آنالیز داده‌ها توسط برنامه Design expert جهت تعیین بهترین مدل پیشنهادی از میان پنج مدل موجود با توجه به جدول تجزیه واریانس، مدلی که مقدار میانگین مربعات^۲ آن دارای اختلاف معنی‌دار بوده و مقدار عدم برازش^۳ آن معنی‌دار نشود به‌عنوان بهترین مدل انتخاب می‌شود. با توجه به این موضوع و پس از بررسی نتایج بدست آمده و مقایسه میان مدل‌های رگرسیونی نتایج حاکی از آن بود که مدل کوآدراتیک (درجه دو)^۴ برای تمامی آزمون‌های اندازه‌گیری شده در این مطالعه، دارای اختلاف معنی‌دار با سایر مدل‌ها بود.

به‌منظور آماده‌سازی نمونه؛ ابتدا شست و شو، جداسازی آلودگی‌ها، پوست‌گیری و رنده کردن چغندر قرمز انجام شد سپس چغندرهای قرمز به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس آسیاب و آماده عصاره‌گیری شدند. جهت عصاره‌گیری ۱۰ گرم پودر چغندر قرمز به همراه ۲۰۰ میلی‌لیتر از حلال آب:اتانول با نسبت ۱:۱ مخلوط و سپس به مدت ۲۰ دقیقه بدون اعمال حرارت در معرض فراصوت (مدل Parsonic30s، ساخت کشور ایران) با فرکانس ۳۷ کیلوهرتز قرار داده شد. تیمارها در ۲۷ آزمایش به روش سطح محدوده متغیرهای pH، دما و زمان به صورت جدول ۱ برای استخراج مورد بررسی قرار گرفت. تفاله چغندر بدست آمده با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ جدا شد و در آون با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد و برای آزمون‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفت (De Sotillo et al., 1994).

اندازه‌گیری بازده

بازده فرآیند استخراج از طریق تقسیم وزن عصاره بدست آمده بر وزن ریشه چغندر استفاده شده محاسبه گردید (Lee et al., 2006).

$$(1) \quad \text{بازده} = \frac{\text{وزن عصاره}}{\text{وزن ریشه چغندر}} \times 100$$

اندازه‌گیری میزان رنگدانه‌ها

رنگدانه بتاسیانین در حدود ۵۳۴-۵۲۲ نانومتر و رنگدانه بتاگزانتین در محدوده ۴۸۰-۴۷۴ نانومتر دارای حداکثر جذب می‌باشند. برای اندازه‌گیری میزان بتاسیانین و بتاگزانتین در عصاره‌ها مقدار مشخصی از پودر حاصل در آب دوبار تقطیر حل شد و جذب آن در طول موج‌های ۵۳۰ و ۴۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان رنگدانه‌های بدست آمده از شرایط مختلف با هم مقایسه شد. در این معادله برای اندازه‌گیری بتاسیانین از طول موج ۵۳۰ نانومتر و ضریب جذب مولکولی و برای بتاگزانتین از طول موج ۴۸۰ نانومتر و ضریب جذب مولکولی استفاده شده است (Hendry et al., 1996).

$$(2) \quad C = \frac{A}{ab}$$

C: میزان رنگدانه ($\mu\text{g/g}$)

A: جذب نمونه

a: ضریب جذب مولکولی:

b = 1cm

جامعه آماری و روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

در این مطالعه روش سطح پاسخ در قالب طرح هیستوریکال دیتا از نوع تصادفی برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای فرآیند بر استخراج

بازده

دارای اثر معنی‌داری در مدل بودند ($p < 0.05$) بنابراین با توجه به پارامترهای معنی‌دار شده، معادله ۳ مدل پیشنهادی برای این پاسخ به صورت چند جمله‌ای درجه دوم است.

$$Yield = 254/17 + 12/09A + 6/01B + 24/38C + 0/032AB + 0/58AC + 7/70 \times 10^{-3}BC - 2/03A^2 - 0/15B^2 - 0/68C^2$$

در این معادله متغیرهای (A) pH، (B) دما و (C) زمان می‌باشند.

مقدار بازده بدست آمده در مرحله آزمایشگاهی با مقدار پیشگویی شده توسط مدل به طریق آماری مقایسه شد در این بررسی مقادیر مشاهده شده (Y_0) با مقادیر پیش‌بینی شده (Y) مقایسه گردید و نتایج بیانگر همبستگی بسیار خوب بین نتایج بدست آمده با روش تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده با روش آماری بود. با توجه به اینکه کلیه پارامترها

جدول ۱- نمایش متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آنها

Table 1- Levels of independent variables in different treatments

سطح Levels			
متغیرهای مستقل Independent variables	-1	۰	+1
pH	3	4	5
دما Temperature	15	20	25
زمان Time	10	15	20

جدول ۲- تیمارهای مربوط به استخراج عصاره از چغندر قرمز

Table 2- Treatments for red beetroot extraction

تیمار Treatment	pH	دما (°C) Temperature	زمان (min) Time	تیمار Treatment	pH	دما (°C) Temperature	زمان (min) Time
1	3	15	10	15	4	20	20
2	3	15	15	16	4	25	10
3	3	15	20	17	4	25	15
4	3	20	10	18	4	25	20
5	3	20	15	19	5	15	10
6	3	20	20	20	5	15	15
7	3	25	10	21	5	15	20
8	3	25	15	22	5	20	10
9	3	25	20	23	5	20	15
10	4	15	10	24	5	20	20
11	4	15	15	25	5	25	10
12	4	15	20	26	5	25	15
13	4	20	10	27	5	25	20
14	4	20	15				

بازده چغندر هستند اما دما اثر معنی‌داری بر پاسخ بازده ندارد. مقدار P-value مربوط به آثار متقابل جمله AC کمتر از ۰/۰۵ است (< 0.05) بنابراین تأثیر معناداری بر مدل دارد. در مورد جمله درجه دوم C^2 (درجه دوم پارامتر زمان) B^2 (درجه دوم پارامتر دما) مقدار P-value کمتر از ۰/۰۵ است و تأثیر معناداری بر مدل دارد.

جدول ۳ نتایج آنالیز واریانس را برای ارزیابی پارامتر پاسخ بازده چغندر قرمز در مورد مدل درجه دوم با آثار متقابل نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌گردد مقدار ضریب تبیین (R^2) برابر با ۰/۹۹۶۶ بیانگر تطبیق زیاد نتایج مدل با نتایج تجربی است. R^2 متعادل شده در این مدل ۰/۹۹۴۹ می‌باشد که نشان می‌دهد تنها ۰/۵۱ درصد از متغیرهای کل به وسیله مدل توجیه نشده‌اند. R^2 پیش‌بینی شده در این مدل برابر ۰/۹۸۹۵ است که متناسب با R^2 متعادل شده می‌باشد. همچنین عدم برازش در این مدل ۴/۱۵ است و بیانگر آن است که عدم برازش مدل معنادار نیست ($P > 0.05$). به عبارت دیگر مدل، داده‌های تجربی را برازش می‌کند. پارامترهای pH و زمان دارای اثر معنی‌داری بر پاسخ

جدول ۳- آنالیز واریانس پاسخ بازده، استخراج رنگدانه بتاسیانین و بتاگزانتین
Table 3- Variance analysis of yield, β -Cyanine and β -Xanthine extraction

منبع تغییرات Source of changes	بازده Yield	بتاسیانین β -Cyanine	بتاگزانتین β -Xanthine
Degree of Freedom درجه آزادی	Mean squares میانگین مربعات	Degree of Freedom درجه آزادی	Mean squares میانگین مربعات
مدل	9	9	9
A-pH	1	1	1
B-دما	1	1	1
C-زمان	1	1	1
AB	1	1	1
AC	1	1	1
BC	1	1	1
A ²	1	1	1
B ²	1	1	1
C ²	1	1	1
Residual باقی‌مانده	17	17	17
Total مجموع	26	26	26
Lack of fit عدم برازش	7	7	7

****: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱ درصد ****: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱ درصد، **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

****: significant difference at the 0.1%, **: significant difference at the 1% level, *: Significant difference at the 5%. ns: no significant difference

می‌باشد. تحت این شرایط، غلظت بتاسیانین (۲/۴ میلی گرم در گرم) و بتاگزانتین (۲/۸۰ میلی گرم در گرم) همچنین غلظت ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر از غلظت‌های موجود در عصاره‌گیری‌های معمولی بود.

بتاسیانین

معادله ۴ مدل پیشنهادی برای این پاسخ به صورت چند جمله‌ای درجه دوم است.

$$Betacyanine = 3/73 + 0/32A + 0/18B + 0/ (۴) \\ 15C + 4/66 \times 10^{-3}AB + 0/014AC - 6/66 \times \\ 10^{-5}BC - 0/66A^2 - 5/17 \times 10^{-3}B^2 - 1/51 \times \\ 10^{-3}C^2$$

در این معادله متغیرهای (A) pH، (B) دما و (C) زمان می‌باشند. جدول ۳ نتایج آنالیز واریانس را برای ارزیابی پارامتر پاسخ استخراج رنگدانه بتاسیانین چغندر قرمز در مورد مدل درجه دوم با آثار متقابل نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌گردد پارامترهای pH و زمان اثر معنی‌داری بر پاسخ استخراج رنگدانه بتاسیانین از چغندر قرمز دارند اما دما اثر معنی‌داری بر پاسخ استخراج رنگدانه بتاسیانین ندارد. جمله درجه

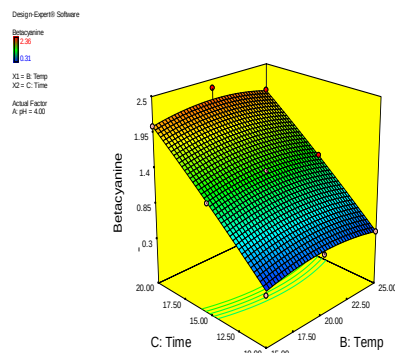
در فرآیند استخراج از ماتریس گیاهی، با گذشت زمان همواره میزان ترکیبات استخراج شده (بازدهی کل) که شاخص کمی است، افزایش می‌یابد علت آن است که باید برای ایجاد حفره در غشای سلول‌های چغندر زمان کافی داده شود تا با ایجاد حفره در غشا استخراج راحت‌تر صورت گیرد به همین دلیل در این پژوهش هر چه زمان افزایش پیدا کرد استخراج بیشتری صورت گرفت همچنین افزایش دما تا ۲۰ درجه باعث افزایش استخراج رنگدانه‌ها شد و در دمای بالاتر از ۲۰ درجه کاهش استخراج مشاهده شد زیرا رنگدانه‌ها به حرارت حساس هستند و حرارت بالا باعث تخریب رنگدانه‌ها می‌شود. این در حالی است که، اگر چه میزان ترکیبات زیست‌فعال که شاخص کیفی است، در ابتدای استخراج افزایش می‌یابد اما پس از آن ممکن است به دلیل تخریب حرارتی کاهش ترکیبات زیست‌فعال و در نتیجه خاصیت آنتی‌اکسیدانی رخ دهد. در این پژوهش، حداکثر بازدهی در pH برابر ۵، دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۲۰ دقیقه حاصل شده است. سیلوا و همکاران (Silva et al., 2018) مشاهده کردند شرایط بهینه برای استخراج بتاسیانین‌ها و بتاگزانتین‌ها در دماهای ۵۲ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد، با زمان استخراج ۹۰ دقیقه، با استفاده از ۲۵ درصد اتانول در آب به‌عنوان حلال

پیدا کرده و کاهش میزان استخراج رنگدانه بتاسیانین را نشان می‌دهد. بیشترین میزان استخراج رنگدانه بتاسیانین در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و زمان ۲۰ دقیقه می‌باشد.

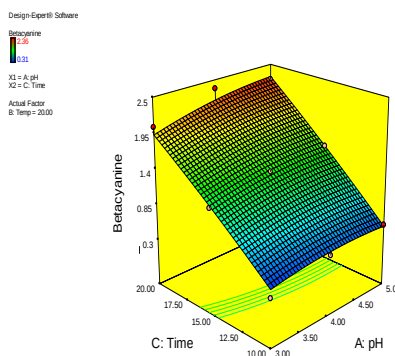
شکل ۲ اثر متقابل pH و زمان بر استخراج رنگدانه بتاسیانین را در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. افزایش pH از ۳ به ۵ سبب افزایش استخراج رنگدانه بتاسیانین شده است و افزایش زمان از ۱۰ به ۲۰ همین نتیجه را به دنبال داشته و سبب افزایش استخراج رنگدانه بتاسیانین از چغندر قرمز شده است. طبق نتایج به دست آمده بیشترین استخراج رنگدانه در pH برابر ۵ و زمان ۲۰ دقیقه بوده است.

دوم B^2 (درجه دوم پارامتر دما) دارای مقدار P-value کمتر از ۰/۰۵ است ($P < ۰/۰۰۳۱$) و تأثیر معناداری بر مدل دارد. عدم برازش مدل با مقدار ۴/۳۹، معنادار نیست ($P > ۰/۰۵$) و به عبارت دیگر مدل داده‌های تجربی را برازش می‌کند. مقدار ضریب تبیین (R^2) برابر با ۰/۹۸۸۶ است و بیانگر تطبیق زیاد نتایج مدل با نتایج تجربی است. R^2 متعادل شده در این مدل ۰/۹۸۲۶ می‌باشد که نشان می‌دهد تنها ۱/۷۴ درصد از متغیرهای کل به وسیله مدل توجیه نشده‌اند. R^2 پیش‌بینی شده در این مدل برابر ۰/۹۶۶۶ است که متناسب با R^2 متعادل شده می‌باشد.

در **شکل ۱** اثر متقابل دما و زمان در pH ثابت ۴ بر روی استخراج بتاسیانین مشاهده می‌شود. نمودار از دمای ۲۰ درجه به بعد حالت نزولی



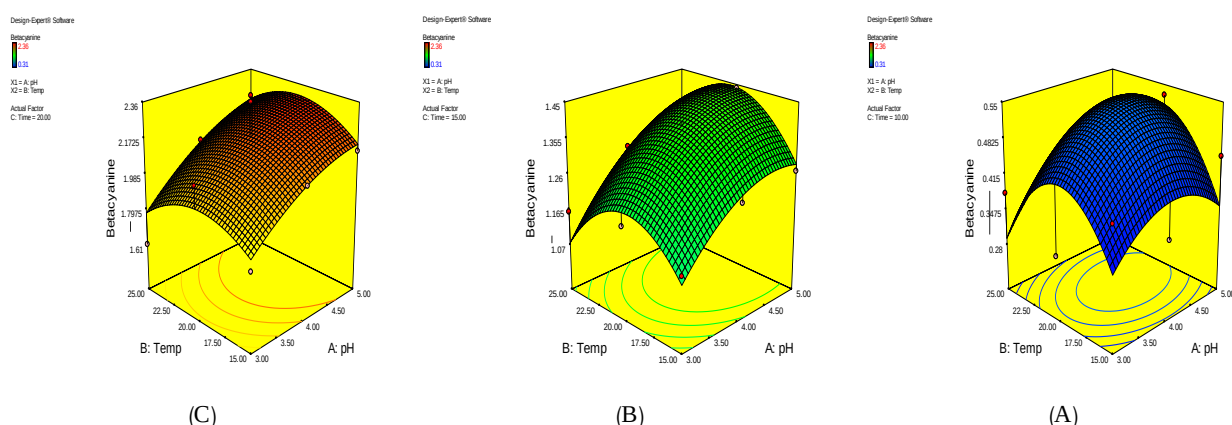
شکل ۱- اثر متقابل دما و زمان بر استخراج رنگدانه بتاسیانین در pH ثابت ۴
Fig. 1. The interaction of temperature and time on the extraction of β -cyanin at pH=4



شکل ۲- اثرات متقابل pH و زمان بر استخراج رنگدانه بتاسیانین در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد
Fig. 2. The interaction of pH and time on the extraction of β -cyanin at 20 °C

یابد (از ۳ به ۵) میزان استخراج رنگدانه بیشتر می‌شود. در زمان ثابت ۱۵ دقیقه هر چه دما افزایش یافته است میزان استخراج رنگدانه بتاسیانین بیشتر شده است. **شکل (۳-ج)** اثرات متقابل pH و دما بر استخراج رنگدانه بتاسیانین را در زمان ثابت ۲۰ دقیقه نشان می‌دهد. هر چه pH افزایش می‌یابد میزان استخراج رنگدانه بیشتر می‌شود و بیشترین استخراج در pH برابر ۵ مشاهده گردید. در زمان ثابت ۲۰ دقیقه هر چه دما افزایش می‌یابد میزان استخراج رنگدانه بتاسیانین بیشتر می‌شود.

شکل (۳-الف) اثرات متقابل pH و دما بر استخراج رنگدانه بتاسیانین را در زمان ثابت ۱۰ دقیقه نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که افزایش pH سبب افزایش میزان استخراج رنگدانه می‌شود. در افزایش pH از ۳ به ۵ بیشترین میزان استخراج رنگدانه مشاهده گردید. با افزایش دما از ۱۵ درجه به ۲۰ درجه بیشترین استخراج رنگدانه و از ۲۰ درجه به بعد کاهش استخراج رنگدانه مشاهده گردید. **شکل (۳-ب)** اثرات متقابل pH و دما بر استخراج رنگدانه بتاسیانین را در زمان ثابت ۱۵ دقیقه نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که هر چه pH افزایش می‌



شکل ۳- اثرات متقابل pH و دما بر استخراج رنگدانه بتاسیانین در (الف) زمان ثابت ۱۰ دقیقه (ب) زمان ثابت ۱۵ دقیقه و (ج) زمان ثابت ۲۰ دقیقه
Fig. 3. The interaction of pH and temperature on the extraction of β -cyanin at A) 10 min B) 15 min and C) 20 min

نتایج نشان داد که بالاترین پایداری عصاره استخراج شده در pH برابر ۵ بدست می‌آید زیرا این رنگدانه‌ها در pH ۳ تا ۷ بیشترین پایداری را نشان می‌دهند. بتاسیانین‌ها در شرایط اسیدی بیشترین پایداری را دارند. در pH ۳ تا ۷ رنگ بتالانین‌ها تغییر نمی‌کند. وقتی که pH به زیر ۳ می‌رسد ساختار بتالانین‌ها از رنگ قرمز آنیونی به بنفش کاتیونی تبدیل می‌شود. شرایط قلیایی (pH بالاتر از ۷) موجب هیدرولیز پیوند آلدیمین می‌شود که نتیجه تخریب سریع بتالانین‌ها به بتالامیک اسید و سیکلودوپا-O-5-گلوکوزید و تغییر رنگ به زرد-قهوه‌ای است. نتایج به‌دست آمده درمورد اثر pH و دما روی رنگدانه با نتایج فخاری زواره و همکاران (Fakhari et al., 2009) مطابقت داشت. آن‌ها در مورد اثر pH بر رنگ بتانین مشاهده کردند که در pH کمتر از ۴ رنگ قرمز بتانین به بنفش تبدیل می‌شود و در pH بالاتر از ۶ رنگ محلول‌های حاوی بتانین آبی می‌شود. بیشترین اثر آبی شدن در pH برابر ۸ رخ می‌دهد، تحت شرایط قلیایی قوی‌تر به سرعت به رنگ قهوه‌ای تغییر کرده و بتانین از بین می‌رود. زمان همواره میزان ترکیبات استخراج شده را افزایش می‌دهد علت آن است که باید برای ایجاد حفره در غشای سلول‌های چغندر زمان کافی داده شود تا با ایجاد

در میان فاکتورهای مختلف دما بحرانی‌ترین فاکتور است که روی تجزیه بتالانین‌ها اثر می‌گذارد. نتایج نشان می‌دهد بهترین دما برای استخراج دمای ۲۰ درجه است از این رو در دماهای پایین‌تر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین پایداری مشاهده می‌شود زیرا رنگدانه موجود در چغندر به حرارت حساس بوده و تجزیه می‌گردد. بنابراین می‌توان بیان کرد که افزایش میزان بتاسیانین که با افزایش دما در ابتدا شاهد آن هستیم می‌تواند به دلیل نرم شدن بافت گیاه، ترشح مؤثرتر ترکیبات زیست‌فعال از اجزای ماتریکس و افزایش نفوذپذیری دیواره سلولی در سلول‌ها باشد. پس افزایش دما به افزایش حلالیت رنگدانه و افزایش ضریب انتشار کمک می‌کند که به افزایش سرعت استخراج نیز منجر می‌شود (Maran et al., 2013). اما کاهش میزان بتاسیانین که در دماهای بالاتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود می‌تواند به دلیل تجزیه رنگدانه‌ها باشد. دما به طور اغلب باعث اکسیداسیون (مانند دهیدروژنه شدن در حضور اکسیژن)، هیدرولیز پیوند آلدیمین و دکربوکسیله شدن بتالانین‌ها می‌شود که در نتیجه رنگ آن‌ها به نارنجی-زرد تغییر می‌کند.

و به عبارت دیگر مدل داده‌های تجربی را برازش می‌کند. مقدار ضریب تبیین (R^2) برابر با ۰/۹۹۲۶ است و بیانگر تطبیق زیاد نتایج مدل با نتایج تجربی است. R^2 متعادل شده در این مدل ۰/۹۸۸۷ می‌باشد که نشان می‌دهد تنها ۱/۱۳ درصد از متغیرهای کل به وسیله مدل توجیه نشده‌اند. R^2 پیش‌بینی شده در این مدل برابر ۰/۹۷۹۲ است که متناسب با R^2 متعادل شده می‌باشد.

در شکل ۴ اثر متقابل دما و زمان در pH ثابت ۴ بر روی استخراج بتاگزانتین مشاهده می‌شود. افزایش دما تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد اثر معناداری بر میزان استخراج رنگدانه بتاگزانتین دارد و از دمای ۲۰ درجه به بعد، افزایش دما باعث کاهش استخراج بتاگزانتین می‌شود. همچنین افزایش زمان اثر معناداری بر میزان استخراج رنگدانه بتاگزانتین دارد. بیشترین میزان استخراج رنگدانه بتاگزانتین در زمان ۲۰ دقیقه می‌باشد. بیشترین میزان استخراج رنگدانه در دمای ۲۰ درجه می‌باشد.

شکل ۵ اثر متقابل pH و زمان بر استخراج رنگدانه بتاگزانتین را در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. در نتایج آنالیز واریانس نیز مشاهده گردید افزایش pH اثر معنی‌داری ($P < 0.05$) بر مدل و میزان استخراج رنگدانه بتاگزانتین دارد. افزایش pH از ۳ به ۵ سبب افزایش استخراج رنگدانه بتاگزانتین شده است و افزایش زمان از ۱۰ به ۲۰ همین نتیجه را به دنبال داشته و سبب افزایش استخراج رنگدانه بتاگزانتین از چغندر قرمز شده است. چنانچه مشاهده می‌شود افزایش pH و افزایش زمان سبب افزایش استخراج رنگدانه بتاگزانتین شده است و بیشترین استخراج این رنگدانه در pH برابر ۵ و زمان برابر ۲۰ دقیقه مشاهده شد.

حفره در غشا استخراج راحت‌تر صورت گیرد به همین دلیل در این پژوهش هر چه زمان افزایش پیدا کرد استخراج بیشتری صورت گرفت. لاکوی ویلکا و همکاران (Laqui-Vilca et al., 2018) در ارتباط با اثر زمان روی استخراج بتالائین از میوه کینوا بیان کردند که با افزایش زمان استخراج میزان بتالائین استخراج شده نیز افزایش می‌یابد.

بتاگزانتین

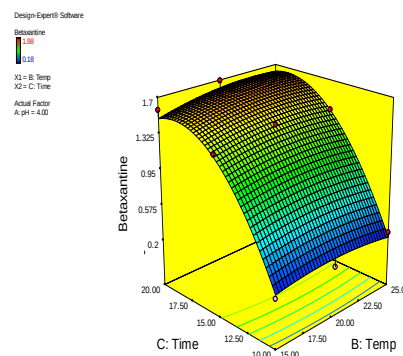
معادله ۵ مدل پیشنهادی برای این پاسخ به صورت چند جمله‌ای درجه دوم است.

(۵)

$$\begin{aligned} \text{Betaxantine} = & -4/63 - 0/13A + 0/07B + 0/56C \\ & + 1/66 \times 10^{-3}AB + 0/016AC \\ & + 1/6 \times 10^{-3}BC - 2/77 \times 10^{-3}A^2 \\ & - 2/51 \times 10^{-3}B^2 - 0/017C^2 \end{aligned}$$

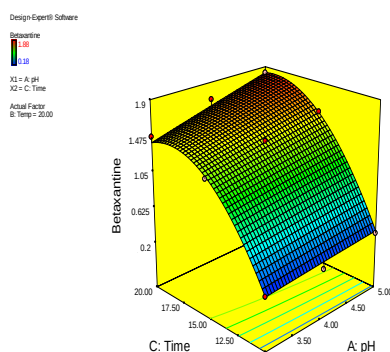
در این معادله متغیرهای (A) pH، (B) دما و (C) زمان می‌باشند.

جدول ۳ نتایج آنالیز واریانس را برای ارزیابی پارامتر پاسخ استخراج رنگدانه بتاگزانتین چغندر قرمز در مورد مدل درجه دوم با آثار متقابل نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد پارامترهای pH و زمان اثر معنی‌داری بر پاسخ استخراج بتاگزانتین از چغندر قرمز دارند اما دما اثر معنی‌داری بر این پاسخ ندارد. مقدار P-value مربوط به آثار متقابل جمله AC کمتر از ۰/۰۵ است ($p < 0.003$). بنابراین تأثیر معناداری بر مدل دارد. جمله درجه دوم C^2 (درجه دوم پارامتر زمان) دارای مقدار P-value کمتر از ۰/۰۵ است ($p < 0.001$) و تأثیر معناداری بر مدل دارد. عدم برازش در این مدل با مقدار ۴/۲۵ معنادار نیست ($P > 0.05$)



شکل ۴- اثر متقابل دما و زمان بر استخراج رنگدانه بتاگزانتین در pH ثابت ۴

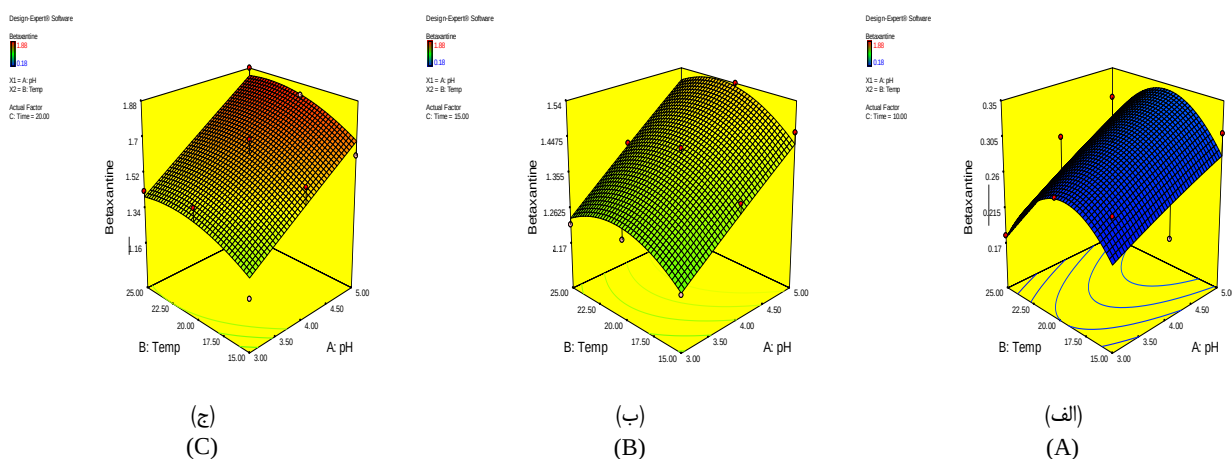
Fig. 4. The interaction of temperature and time on the extraction of β -Xanthine at pH=4



شکل ۵- اثرات متقابل pH و زمان بر استخراج رنگدانه بتاگزانتین در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد
Fig. 5. The interaction of pH and time on the extraction of β -Xanthine at 20 °C

را در زمان ثابت ۱۵ دقیقه نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که هر چه pH و دما افزایش می‌یابد میزان استخراج رنگدانه بیشتر می‌شود. شکل (ج-۶) اثرات متقابل pH و دما بر استخراج رنگدانه بتاگزانتین را در زمان ثابت ۲۰ دقیقه نشان می‌دهد. هر چه pH افزایش می‌یابد میزان استخراج رنگدانه بیشتر می‌شود و بیشترین استخراج در pH برابر ۵ مشاهده گردید. در زمان ثابت ۲۰ دقیقه هر چه دما افزایش می‌یابد میزان استخراج رنگدانه بتاگزانتین بیشتر می‌شود.

شکل (۶-الف) اثرات متقابل pH و دما بر استخراج رنگدانه بتاگزانتین را در زمان ثابت ۱۰ دقیقه نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که افزایش pH سبب افزایش میزان استخراج رنگدانه می‌شود و بیشترین میزان استخراج رنگدانه در افزایش pH از ۳ به ۵ مشاهده گردید. با افزایش دما از ۱۵ درجه به ۲۰ درجه بیشترین استخراج رنگدانه و از ۲۰ درجه به بعد کاهش استخراج رنگدانه مشاهده گردید. شکل (۶-ب) اثرات متقابل pH و دما بر استخراج رنگدانه بتاگزانتین



شکل ۶- اثرات متقابل pH و دما بر استخراج رنگدانه بتاگزانتین در (الف) زمان ثابت ۱۰ دقیقه (ب) زمان ثابت ۱۵ دقیقه و (ج) زمان ثابت ۲۰ دقیقه
Fig. 6. The interaction of pH and temperature on the extraction of β -Xanthine at A) 10 min B) 15 min and C) 20 min

به‌وسیله فراصوت با دما تغییر پیدا می‌کند. این به‌دلیل اثر حفره‌سازی روی تورم و بزرگ شدن خلل و فرج در مواد است که کارایی استخراج را افزایش می‌دهد. افزایش دما، کشش سطحی و ویسکوزیته حلال را

در بررسی اثر متغیرهای فرآیند روی میزان استخراج بتاگزانتین دما تأثیر معنی‌داری روی استخراج بتاگزانتین ندارد، با این حال با افزایش دما محتوای بتاگزانتین افزایش می‌یابد زیرا مقدار رنگدانه استخراج شده

معتبرسازی مدل

برای تأیید صحت شرایط بهینه شده، مقایسه نتایج آزمایشگاهی و مقادیر پیش‌بینی شده پاسخ‌های مورد بررسی بر اساس نقطه بهینه پیشنهادی توسط الگوریتم بهینه‌سازی روش سطح پاسخ از طریق آزمون تی استیودنت؛ بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بود. **جدول ۴**، مقادیر میانگین بازده، بتاسیانین و بتاگزانتین آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده بدست آمده در نقاط بهینه را نشان می‌دهد.

کاهش می‌دهد. بنابراین نه تنها روی حفره‌سازی فراصوت بلکه همچنین روی سرعت انتقال جرم نیز اثر می‌گذارد. نتایج بدست آمده از پژوهش نشان داد که زمان استخراج بسیار مهم است به دلیل اینکه اگر بیش از حد کوتاه یا بیش از حد طولانی باشد احتمالاً باعث عدم استخراج شایسته ترکیبات یا تجزیه آن‌ها می‌گردد و بهترین دما برای استخراج دمای ۲۰ درجه نشان داده شده است. همچنین افزایش pH باعث افزایش رنگدانه بتاگزانتین می‌شود زیرا بتاگزانتین‌ها در شرایط خنثی بیشترین بازدهی را دارند.

جدول ۴- مقادیر بتاگزانتین، بتاسیانین و بازده پیش‌بینی شده و آزمایشگاهی به دست آمده در نقطه بهینه

Table 4- Experimental and predicted values of yield, β -Cyanine and β -Xanthine in optimum point

سطوح بهینه پارامترهای فرآیند Parameter levels for optimum point			مقادیر آزمایشگاهی	مقادیر پیش‌بینی	مقادیر	مقادیر پیش	مقادیر	
زمان (min)	دما (°C)	P H	بازده (وزن ریشه چغندر/ وزن عصاره) Experimental yield (%)	شده بازده (وزن ریشه چغندر / وزن عصاره) Predicted yield (%)	آزمایشگاهی β- Cyanine (µg/g)	بینی شده β- Cyanine (µg/g)	آزمایشگاهی بتاگزانتین Experimented β-Xanthine (µg/g)	پیش‌بینی شده بتاگزانتین Predicted β-Xanthine (µg/g)
20	21	5	89.20±3.26 ^a	91.26 ^a	2.112±0.21 ^a	2.298 ^a	1.72±0.14 ^a	1.837 ^a

حروف غیر مشترک در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون T-Test در سطح احتمال ۵ درصد است.
Different letters in each row indicate significant difference at 5% level of the T test.

چغندر قرمز به کمک دستگاه فراصوت به دلیل کاهش زمان، دما، انرژی مصرفی، کاهش مصرف حلال و به طبع آن کاهش هزینه بازیابی روشی اقتصادی است که می‌تواند جایگزین روش‌های متداول استخراج در صنعت گردد.

میزان مشارکت

مهشاد لوارستاق و یاسمن اسمعیلی: روش‌شناسی و مدیریت داده‌ها، تنظیم پیش‌نویس اصلی، نفیسه زمین‌دار: مدیریت پروژه، نظارت، نوشتن و بررسی و ویرایش مقاله.

منابع تأمین مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق نتایج به‌طور کلی نشان داد هر چه میزان pH و زمان فرآیند استخراج افزایش یابد، استخراج بتاسیانین و بتاگزانتین نیز افزایش می‌یابد همچنین برای استخراج رنگدانه‌های بتاسیانین بهتر است از دماهای کمتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شود زیرا رنگدانه‌های بتاسیانین به حرارت بالا حساس هستند و در دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد تخریب می‌شوند. در این پژوهش در pH برابر ۵، دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد و زمان ۲۰ دقیقه حداکثر بازدهی مشاهده شد. مقایسه مقادیر بدست آمده آزمایشگاهی و مقادیر پیش‌بینی شده پاسخ مورد بررسی در نقطه بهینه پیشنهادی الگوریتم بهینه‌سازی از طریق آزمون تی استیودنت، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بود. با توجه به نتایج حاصل شده از این پژوهش می‌توان استخراج به کمک دستگاه فراصوت را روشی کارآمد و سریع دانست. استخراج بتالائین از

References

1. Aberoumand, A. (2011). A review article on edible pigments properties and sources as natural biocolorants in foodstuff and food industry. *World Journal Dairy Food Science*, 6(1), 71-78.
2. Bas, D., & Boyac, I. (2007). Modeling and optimization II: Comparison of estimation capabilities of response surface methodology with artificial neural networks in a biochemical reaction. *Journal of Food Engineering*, 78, 846-854. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.025>
3. Cardoso-Ugarte, G., Sosa-Morales, M., Ballard, T., Liceaga, A., & San Martín-González, M. (2014). Microwave-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris*). *LWT-Food Science and Technology*, 59(1), 276-282. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.025>

4. Changizi-Ashtiyani S, Ramezani, M., Poorcheraghi, H., Afzali, S.M., Pirouzi, P., & Atashi, S. (2019). The effectiveness of *Rosa canina* plant in treatment of some diseases: A brief review. *Journal Arak University Medicenal Science*; 22(5), 6-17. <https://doi.org/10.32598/JAMS.22.5.6>
5. De Sotillo, D.R., Hadley, M., & Holm, E. (1994). Phenolics in aqueous potato peel extract: extraction, identification and degradation. *Journal of Food Science*, 59(3), 649-651. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb05584.x>
6. Delgado-Vargas, F., Jiménez, A., & Paredes-López, O. (2000). Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains—characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Critical reviews in Food Science and Nutrition*, 40(3), 173-289. <https://doi.org/10.1080/10408690091189257>
7. Downham, A., & Collins, P. (2000). Colouring our foods in the last and next millennium. *International Journal of Food Science & Technology*, 35(1), 5-22. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2000.00373.x>
8. Escribano, J., Pedreño, M.A., García-Carmona, F., & Muñoz, R. (1998). Characterization of the antiradical activity of betalains from *Beta vulgaris* L. roots. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*, 9(3), 124-127.
9. Esmaili, Y., Zamindar, N., Paidari, S., Ibrahim, S.A., & Mohammadi Nafchi, A. (2021). The synergistic effects of aloe vera gel and modified atmosphere packaging on the quality of strawberry fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(12), e16003. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16003>
10. Fakhari, A.R., & Baghipour, S. (2009). Extraction of a food colorant from red beet and evaluation of its stability. *Journal of Color Science and Technology*, 3(4), 243-250.
11. Hendry, G.A.F., & Houghton, J. (1996). *Natural food colorants*: Springer Science & Business Media.
12. Kooshesh, S., & Golmakani, M.T. (2015). Optimization of microwave-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris*) and evaluation the antioxidant activity of obtained. *Electronic Journal of Food Processing and Preservation*, 7(2), 39-60.
13. Laqui-Vilca, C., Aguilar-Tuesta, S., Mamani-Navarro, W., Montañó-Bustamante, J., & Condezo-Hoyos, L. (2018). Ultrasound-assisted optimal extraction and thermal stability of betalains from colored quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) hulls. *Industrial Crops and Products*, 111, 606-614. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.034>
14. Lee, W., Yusof, S., Hamid, N., & Baharin, B. (2006). Optimizing conditions for hot water extraction of banana juice using response surface methodology (RSM). *Journal of Food Engineering*, 75(4), 473-479. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.062>
15. Maran, J.P., Manikandan, S., & Mekala, V. (2013). Modeling and optimization of betalain extraction from *Opuntia ficus-indica* using Box–Behnken design with desirability function. *Industrial Crops and Products*, 49, 304-311. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.05.012>
16. Pavlov, A., Georgiev, V., & Ilieva, M. (2005). Betalain biosynthesis by red beet (*Beta vulgaris* L.) hairy root culture. *Process Biochemistry*, 40(5), 1531-1533. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.01.001>
17. Ranjbar Nedamani, A. (2022). Stability enhancement of natural food colorants- A review. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 10(4), 369-388. <https://doi.org/10.22101/JRIFST.2022.277772.1235>
18. Righi Pessoa da Silva, H., da Silva, C., & Bolanho, B.C. (2018). Ultrasonic-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Food Process Engineering*, 41(6), p.e12833. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12833>
19. Stintzing, F.C., & Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, 15(1), 19-38. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.004>
20. Zohuri, A., Tabatabai Yazdi, F., Mortazavi, S.A., & Shahidi, F. (2016). Comparison of efficiency and extraction of color and natural compounds from red beet by maceration and ultrasonic extraction methods. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 13(52), 47-54.

The Effect of Extrusion Technology on the Quality Characteristics of Gluten-free Cookies Based on Whole Chickpea Flour-xanthan Gum-broken Rice

Z. Dehghan¹, E. Milani^{ID}^{2*}, N. Hashemi³

1- Department of Food Science and Technology, ACECR Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran

2- Associate Professor, Food Science and Technology Research Institutet, ACECR, Khorasan Razavi, Iran

(*- Corresponding Author Email: e.milani@jdm.ac.ir)

3- University of Applied Science and Technology, Center of Pardisan Hospitality & Tourism Managment, Mashhad, Iran

Received: 29.04.2023

Revised: 20.06.2023

Accepted: 12.07.2023

Available Online: 12.07.2023

How to cite this article:

Dehghan, Z., Milani, E., & Hashemi, N. (2024). The effect of extrusion technology on the quality characteristics of gluten-free cookies based on whole chickpea flour-xanthan gum-broken rice. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(4), 395-407. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.81819.1247>

Introduction

Gastrointestinal diseases are very important among human societies, especially in developing countries. Celiac disease is one of these diseases, caused by the interference of gluten in food, the body's immune system, genetics and environmental factors. Therefore, it is necessary to provide a solution for the production of gluten-free products and also to improve their quality. The tremendous growth in the nutritional knowledge of the public has caused the development and production of healthy food products for certain groups. Baked products such as cookies are very popular among the society because of their textural characteristics as well as flavoring and attractive colors. Therefore, their enrichment is of interest. Most commercial gluten-free bakery products are based on pure starch or the combination of corn starch with gluten-free flour, which is associated with dryness and sandiness in the product.

Materials and Methods

The aim of this research was to investigate the functional characteristics of non-extruded and extruded chickpea flour samples and then the effect of adding different levels of it (0, 20 and 40%) on physicochemical, Lightness, porosity and sensory characteristics using completely randomized factorial design. The blend of chick pea flour-xanthan gum was extruded by a parallel twin-screw extruder (Jinan Saxin, China). Process was performed with die of 3 mm, and extrusion temperature of 140 °C. The chemical composition of raw materials was measured by standard AOAC (2000) methods. The hardness of cookies was measured using Texture Analyzer (TA plus Ametek, UK). The cylinder steel probe (2 mm diameter) was set to move at a speed of 1 mm/s. Samples were punctured by the probe to a distance of 10 mm. The color values of L* (lightness), a*(redness), b*(yellowness) of the samples were determined by the Hunterlab instrument (Reston VA, US) (Rhee *et al.*, 2004). Water absorption index in terms of grams of bonded water was calculated per gram of dry material in percent. Sensory evaluation was performed using a 5-point hedonic test.

Results and Discussion

In general, gluten-free products are unable to maintain carbon dioxide gas due to the lack of a coherent and uniform gluten network, which causes an increase in volume. As a result, the product is small in volume and the structure of the crumb is compressed. The extrusion baking process had a high potential to improve cookie quality. In such a way that the addition of extruded chickpea flour increased the porosity of the cookie samples. The results of the texture analysis show that the addition of extruded chickpeas up to a 40% improved the texture of the cookie and also increased its shelf life. Also, the sensory test results showed that the favorable effect of adding extruded chickpea



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.81819.1247>

flour up to 20%. Consequently, by summarizing the results of physical and sensory tests, it was determined that cookies with appropriate sensory and quality characteristics can be produced using 40% of extruded chickpea flour. Peas, and especially extruded peas, rich in protein and dietary fiber content and high water absorption ability, led to increase the moisture and reduced the hardness of the cookie texture. Considering the increase in demand for gluten-free products, it seems that enriching these products with nutrients such as chickpea flour can be an alternative method to improve the nutritional value of these products. Adding legumes is a good way to increase the consumption of legumes, which are rich in the amino acid lysine. Legumes, especially peas, have high nutritional value and functional characteristics, and including them in the diet by adding them to bakery products is a good way to increase their consumption. The use of chickpea flour as a nutrient source in cookie formulation increases the nutritional value, reduces the glycemic index and improves the variety of such products.

Keywords: Chickpeas, Extrusion, Functional properties, Gluten free

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۳، ص. ۳۹۵-۴۰۷

تأثیر فناوری پخت اکستروژن بر ویژگی‌های کیفی کوکی فاقد گلوتن حاوی آرد کامل نخود، برنج شکسته و صمغ زانتان

زهرا دهقان^۱ - الناز میلانی^{۲*} - ندا هاشمی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۱

چکیده

بیماری‌های گوارشی در بین جوامع انسانی بخصوص در کشورهای در حال توسعه از اهمیت فراوانی برخوردار هستند. یکی از این بیماری‌ها، بیماری سلیاک حاصل تداخل گلوتن موجود در مواد غذایی، سیستم ایمنی بدن، ژنتیک و عوامل محیطی می‌باشد. از این رو ارائه راهکار برای تولید فرآورده‌های فاقد گلوتن و همچنین بهبود کیفیت آنها ضروری است. افزایش دانش تغذیه‌ای افراد جامعه موجب شده است توسعه و تولید فرآورده‌های غذایی سلامتی‌بخش برای اقشار خاص، روند رو به رشدی داشته باشد. فرآورده‌های پخت نظیر کوکی به دلیل ویژگی‌های بافتی، طعم و رنگ‌های جذاب از مقبولیت زیادی در بین اقشار جامعه برخوردارند. از این رو غنی‌سازی آنها مورد توجه می‌باشد. اغلب فرآورده‌های نانوائی فاقد گلوتن به صورت تجاری بر پایه نشاسته خالص و یا ترکیب نشاسته ذرت با آردهای فاقد گلوتن تهیه می‌گردند که با ایجاد خشکی و حالت سنی در فرآورده همراه است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر افزودن سطوح مختلف ۰، ۲۰ و ۴۰ درصد آردهای اکستروژ شده و اکستروژ نشده نخود-صمغ زانتان بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی، بافتی، رنگ، تخلخل و حسی با استفاده از طرح کاملاً تصادفی فاکتوریل بود. نتایج نشان داد؛ فرآیند پخت اکستروژن پتانسیل بالایی برای بهبود کیفیت کوکی داشت؛ به نحوی که افزودن آرد نخود اکستروژ شده سبب افزایش تخلخل نمونه‌های کوکی گردید. همچنین افزایش سهم آرد نخود اکستروژ شده تا ۴۰ درصد به طور مستقل موجب کاهش سختی بافت و کاهش پارامتر روشنایی کوکی و افزایش رطوبت طی دوره ماندگاری شد. همچنین نتایج آزمون حسی نیز بیانگر تأثیر مطلوب افزودن آرد نخود اکستروژ شده تا ۲۰ درصد بود. کاربرد آرد نخود به عنوان منبع مغذی در فرمولاسیون کوکی سبب افزایش ارزش غذایی و بهبود تنوع این قبیل فرآورده‌ها می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پخت اکستروژن، فرآورده فاقد گلوتن، نخود، ویژگی‌های عملکردی

مقدمه

می‌شود. برنج یکی از مهم‌ترین غلات جهت تهیه رژیم غذایی افراد مبتلا به سلیاک است که دارای خواص تغذیه‌ای منحصر به فرد، بی‌رنگ، طعم دلپذیر و حاوی مقادیر کم سدیم، پروتئین، چربی، فیبر و مقدار زیاد کربوهیدرات با قابلیت هضم بالاست. در فرآورده‌های بر پایه برنج به دلیل فقدان پروتئین‌های تشکیل‌دهنده شبکه ویسکوالاستیک گلوتن، کیفیت تکنولوژیکی پایین‌تر بوده و برخی مشکلات کیفی نظیر بافت ضعیف و حجم پایین بروز می‌کند.

نظام تنوع فرآورده‌های غذایی سالم و مغذی سبب افزایش جهانی نرخ فروش سالانه گردیده است. تولید چنین فرآورده‌هایی منجر به انجام پژوهش‌های وسیعی با محوریت بهبود کیفیت آنها شده است. در فرد مبتلا به سلیاک، مصرف گلوتن به عنوان محرک دستگاه ایمنی در روده کوچک عمل نموده و سبب آسیب لایه پوشاننده روده کوچک و در نتیجه مانع از جذب برخی مواد مغذی از طریق این بخش از دستگاه گوارش

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی کاشمر، کاشمر، ایران

۲- دانشیار، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد، ایران

(Email: e.milani@jdm.ac.ir)

*- نویسنده مسئول:

۳- مدرس دانشگاه جامع علمی کاربردی، مرکز هتلداری و جهانگردی پردیسان مشهد، مشهد، ایران

قابل قبول می‌باشد (Siddiq et al., 2009). آرد برنج و نخود به علت فقدان گلوتن توانایی تشکیل شبکه ویسکوالاستیک در خمیر را ندارد. در نتیجه افزایش درصد آنها، سبب کاهش ویسکوزیته شده است. در این پژوهش، برای جبران این نقیصه، از صمغ‌های زانتان استفاده شد. هدف از انجام این پژوهش، تولید کوکی با استفاده از مخلوط آرد نخود-صمغ زانتان اکستروژده و مقایسه آن با نمونه اکستروژده نشده و نمونه شاهد بر پایه آرد کامل برنج شکسته بود. برای این منظور بررسی تأثیر افزودن نسبت‌های مختلف آرد بافت داده شده به جای آرد برنج بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، پخت، بافت، رنگ و حسی کوکی و انتخاب شبیه‌ترین فرمول به فرمول شاهد بود.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه و پخت اکستروژن

ابتدا رطوبت آرد نخود-برنج دانه شکسته با استفاده از روش مربع پیرسون تنظیم شد؛ به‌منظور یکنواخت شدن رطوبت کل، نمونه به‌مدت ۲۴ ساعت در کیسه‌های پلی‌اتیلن نگهداری گردید. به‌منظور انجام پیش‌تیمار از روش هاشمی و همکاران با کمی اصلاحات استفاده شد بدین منظور از دستگاه اکستروژر (دومارپیچ با چرخش هم جهت مدل DS56 ساخت شرکت Saxin Jinan کشور چین با دمای ۱۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، رطوبت ۲۰ و ۱۴ درصد، سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه، خوراک‌دهی ۴۰ گرم در دقیقه و قطر دای ۵ میلی‌متر استفاده شد و در مرحله آخر با استفاده از آسیاب سایشی و مش ۰/۵۹۹ میلی‌متر، عمل آرد کردن و غربال صورت گرفت (Hashemi et al., 2017).

بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت، پروتئین، چربی و فیبر از روش AOAC، ۲۰۰۵ استفاده شد.

آماده‌سازی خمیر کوکی

ترکیبات تشکیل دهنده خمیر کوکی شامل آرد برنج (۴۶ درصد)، شکر (۲۷/۵۱ درصد)، شورتنینگ (مارگارین) (۱۳/۵۴ درصد)، محلول دکستروز (۶/۹۸ درصد، ۹/۸ گرم دکستروز در ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر)، بی‌کربنات سدیم (۰/۵۳ درصد)، نمک (۰/۴۴ درصد)، صمغ زانتان (۱ درصد) و آب می‌باشد (Omran et al., 2015). کلیه مواد تشکیل دهنده فرمولاسیون به‌دقت توزین و به کمک دستگاه مخلوط‌کن در دمای اتاق به خوبی مخلوط شدند. ابتدا شورتنینگ، نمک و کربنات سدیم با سرعت پایین با محلول دکستروز و آب مقطر مخلوط و به‌مدت ۱ دقیقه با سرعت متوسط مخلوط شده و آرد به‌صورت کامل اضافه و برای ۲ دقیقه با سرعت پایین مخلوط کردن انجام شد. پخت در دستگاه

معرفی منابع ارزان قیمت جایگزین برنج و یا بهبود خصوصیات آردهای فاقد گلوتن می‌تواند از راهکارهای افزایش کیفیت این قبیل فرآورده‌ها باشد. از این رو می‌توان برای اصلاح ساختار فیزیکی، بافت و ارزش تغذیه‌ای (به‌دلیل متعادل‌سازی اسیدآمینه‌های ضروری) از حبوبات بهره جست (Alandia et al., 2020). دانه حبوبات (از خانواده لگومینوزا) با داشتن حدود ۳۶-۱۸ درصد پروتئین، نقش مهمی در تأمین مواد پروتئینی مورد نیاز انسان دارد. مقدار پروتئین موجود در بذر حبوبات به مراتب بیشتر از پروتئین موجود در دانه غلات و گیاهان غده‌ای است. از جمله حبوباتی که می‌تواند برای بیماران سلیاکی مورد استفاده قرار گیرد، نخود *Cicer arietinum* می‌باشد که منبع غنی از پروتئین، فیبر، کربوهیدرات و مواد معدنی است (Gomez et al., 2008). پروتئین‌های نخود می‌توانند شبکه‌ای همانند گلوتن تشکیل داده و باعث احتباس گاز و افزایش حجم گردند و در نتیجه کیفیت محصول را بالاتر ببرند (Gularte et al., 2011). اثر افزودن آرد حبوبات مختلف از جمله آرد نخود در کیک‌های فاقد گلوتن بر پایه برنج بررسی و نتایج بیانگر تأثیر آرد نخود بر افزایش محتوای پروتئین، فیبر و مواد معدنی کیک، افزایش ویسکوزیته خمیر، سفتی بافت و کاهش حجم کیک بود (Matos & Ataye Salehi et al., 2011; Rosell, 2011). با توجه به این که ارزش تغذیه‌ای و کیفیت محصولات نانوبی بدون گلوتن از جمله ساختار، احساس دهانی، قابلیت پذیرش و ماندگاری آن‌ها پایین‌تر از محصولات حاوی گلوتن می‌باشد، با استفاده از تیمارهای فیزیکی از جمله فرآیند حرارتی می‌توان ویژگی‌های عملکردی آرد مورد استفاده در محصولات بدون گلوتن را اصلاح نمود (Matos & Rosell, 2011). تیمار حرارتی آرد به‌عنوان یک روش عملی برای بهبود کیفیت نان و کیک، به‌خصوص برای آردهایی که ساختار ضعیف‌تری دارند، استفاده می‌گردد. از جمله روش‌های حرارتی کارآمد اصلاح آرد حبوبات، فرآیند پخت اکستروژن می‌باشد. پخت اکستروژن، فرآیند حرارتی است که شامل استفاده از حرارت و فشار بالا و نیروهای برشی به توده مواد خام است. از جمله مزایای اکستروژن هزینه پایین، زمان کوتاه، بهره‌وری بالا و صرفه‌جویی در مصرف انرژی است (Milani et al., 2017; Milani et al., 2024). فرآیند پخت اکستروژن سبب تولید محصولی با ویژگی‌های بافتی و تغذیه‌ای بهتر می‌شود. فرآیند اکستروژن در فرآورده‌های فاقد گلوتن سبب بهبود سطح پروتئین، فیبر و تولید نشاسته مقاوم در این نوع محصولات از طریق کنترل شرایط اکستروژن مانند درجه حرارت، سرعت خوراک‌دهی و دور مارپیچ می‌شود (Milani et al., 2021). آرد نخود اصلاح شده در حین فرآیند اکستروژن طعم لوبیایی خود را از دست داده و و از نظر حسی برای مصرف‌کننده نیز

سولاردوم الجی مدل ۳۸۵۳ SD-WCR با دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد برای ۱۴ دقیقه صورت گرفت.

آزمون ظرفیت نگهداری آب خمیر کوکی

۳۰ گرم نمونه خمیر با دور $13500 \times g$ به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰ درجه سانتی گراد توسط دستگاه سانتریفیوژ انجام شد. آب آزاد شده خارج گردید و بعد از خشک شدن، ظرفیت نگهداری آب از رابطه ۲ بدست آمده و نتایج به صورت درصد محاسبه و ارائه شد (Omran et al., 2015).

تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق به منظور مقایسه تأثیر افزودن آرد کامپوزیت بافت داده شده در سطوح (۰، ۲۰ و ۴۰ درصد) و طی دوره نگهداری کوکی ها (۰، ۷ و ۱۴ روز) از طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی، شامل ۲۷ تیمار در سه تکرار استفاده شد. نتایج و تجزیه و تحلیل آماری ارزیابی نمونه تولیدی به کمک نرم افزار Minitab و آنالیز واریانس ANOVA، و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مواد اولیه

ترکیبات شیمیایی مواد اولیه در جدول ۱، ارائه شده است. اختلاف جزئی مقادیر به دست آمده با گزارش های موجود را می توان به دلایلی همچون گونه، منطقه جغرافیایی و شرایط آب و هوایی کشت مرتبط دانست.

اندازه گیری روشنایی رنگ کوکی

پارامترهای رنگی با استفاده از دستگاه هانتربل (مدل colorFlex EZ، شرکت HunterLab، ایالات متحده) مورد ارزیابی قرار گرفتند. L^* نشان دهنده روشنایی رنگ (۰ سیاه، ۱۰۰ سفید)، می باشند (Cannas et al., 2020).

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی مواد اولیه

Table 1- Physicochemical characteristics of raw materials

ویژگی Properties	برنج دانه شکسته Broken rice	آرد کامل نخود Whole chick pea flour
چربی کل (g/100g) Total fat	1.14±0.1	3.75±0.1
پروتئین کل (g/100g) Total protein	3.184±0.8	23.32±2.10
فیبر کل (g/100g) Total fiber	2.032±0.33	4.89±0.88
رطوبت (%) Moisture	10.035±0.62	9.12±0.031
خاکستر (%) Ash	1.007±0.25	1.60±0.11
کربوهیدرات (%) Carbohydrate	80.11±1.05	59.31±2.01

بالاترین محتوای جذب آب بود؛ از این رو در فاز بعدی پژوهش به منظور تولید کوکی از آرد اکستروژن شده با رطوبت اولیه ۲۰ درصد در فرمولاسیون استفاده گردید (جدول ۲).

لازم به ذکر است دو نمونه آرد کامل نخود اکستروژن شده همراه ۱ درصد صمغ زانتان در رطوبت ۱۴ و ۲۰ ابتدا از نظر محتوای جذب آب مورد برآزش قرار گرفتند مطابق نتایج، تیمار با رطوبت ۲۰ درصد دارای

جدول ۲- ویژگی‌های جذب آب مواد اولیه

Table 2- Characteristics of water absorption of raw materials

نمونه Sample	ویژگی جذب آب WAI (%)
آرد نخود کامل Whole chick pea flour	46±1.02
آرد نخود + صمغ زانتان ۱ درصد Whole chick pea flour+ Xanthan gum	47.1±2.06
آرد نخود اکستروژن + صمغ زانتان ۱ درصد (رطوبت ۱۴ درصد) Extruded whole chick pea flour+ Xanthan gum) 14% moisture(	53.02±0.01
آرد نخود اکستروژن + صمغ زانتان ۱ درصد (رطوبت ۲۰ درصد) (20% moisture) Xanthan gum+Extruded whole chick pea flour	54.65±0.33

2019 اثر غنی‌سازی آرد گندم با آرد لوبیا چیتی بر ویژگی‌های فیزیکی، حسی و ماندگاری کیک اسفنجی بررسی شد، بالا بودن میزان جذب آب کیک حاوی آرد لوبیاچیتی می‌تواند به خاطر بالا بودن مقدار سیستئین و یا توانایی اسیدهای آمینه قطبی برای ایجاد اتصالات جانبی باشد. آلوی و همکاران (Aluwi et al., 2016) ویژگی‌های عملکردی آرد کینوای اکستروژن شده در سه دمای ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد را مورد بررسی قرار دادند. جذب آب آردهای اکستروژن شده به ترتیب ۵۰/۸۶ و ۷۰/۰۳-۸۶/۴۵ درصد بود. تأثیر دما و سرعت چرخش مارپیچ فرآیند اکستروژن را بر ویژگی‌های آرد برنج اکستروژن شده با اکستروژن دارای دو مارپیچ دو قلو بررسی کردند. نتایج نشان داد؛ فرآیند پخت اکستروژن آرد برنج به عنوان یک روش جایگزین برای تولید فرآورده‌ای با شاخص جذب بالا و قابلیت هضم بیش‌تر در شرایط آزمایشگاهی مطرح شد (Manisha, 2000). باسینلو و همکاران (Bassinello et al., 2011) ویژگی‌های کوکی فرموله شده با آرد اکستروژن شده برنج و لوبیای سیاه را مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های این پژوهشگران نشان داد که کوکی تهیه شده با آرد برنج و لوبیای سیاه اکستروژن شده، رطوبت مطلوب تری نسبت به نمونه‌ی شاهد داشت که این امر باعث تردتر شدن و بهبود ویژگی‌های کیفی کوکی گردید. میزان تانن و فیتات در نمونه‌های حاوی آرد برنج و لوبیای سیاه بسیار کم بود. یافته‌های این تحقیق نشان داد که اکستروژن باعث کاهش عوامل ضد تغذیه‌ای می‌شود.

تأثیر نوع آرد نخود بر محتوای رطوبتی کوکی طی دوره ماندگاری

محتوای رطوبتی (که از لحاظ کمی بیانگر محتوای آب کل) در غذا بیانگر دوام غذا و کیفیت آن است (Hashemi et al., 2017). ظرفیت جذب آب یک محصول به توانایی برقراری پیوند با آب تحت شرایط کمبود آب تعریف می‌شود که فاکتور مهمی برای تولید محصولات خاص، مشروط کردن محصول، تبلور مجدد نشاسته و تأخیر در بیابانی می‌باشد (Siddiq et al., 2009). نتایج جدول ۳ بیانگر تأثیر معنی‌دار آرد نخود بافت داده شده بر افزایش مقدار رطوبت کوکی در روزهای ۱، ۷ و ۱۴ بعد از پخت نسبت به نمونه شاهد و نمونه غیر اکستروژن شده بود ($P \leq 0.05$). به طوری که رطوبت نمونه کوکی حاوی آرد اکستروژن شده نسبت به نمونه کوکی حاوی آرد اکستروژن نشده و شاهد افزایش نشان داد. آرد حبوبات به علت محتوای پروتئین و فیبر بالا و امکان اتصال مولکول‌های آب باعث افزایش جذب آب خمیر و نگهداری آن می‌شوند که همین موضوع باعث افزایش رطوبت کوکی شد. از این رو محتوای رطوبت نمونه حاوی آرد نخود به نحو معنی‌داری بیش از نمونه شاهد بود. زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی فیبر مقدار آب زیادی را از طریق پیوندهای هیدروژنی در خود نگهداری می‌کنند و یا ممکن است آب از طریق جذب سطحی در ساختار فیبر نگه داشته شود. این خاصیت کاربردی سبب بهبود محتوای رطوبتی و نگهداری رطوبت در محصول می‌گردد. در پژوهش حصارای نژاد و همکاران (Hesarinejad et al.,

جدول ۳- تأثیر تیمارهای مختلف بر رطوبت کوکی طی دوره نگهداری

Table 3- The effect of different treatments on the moisture of cookie during storage

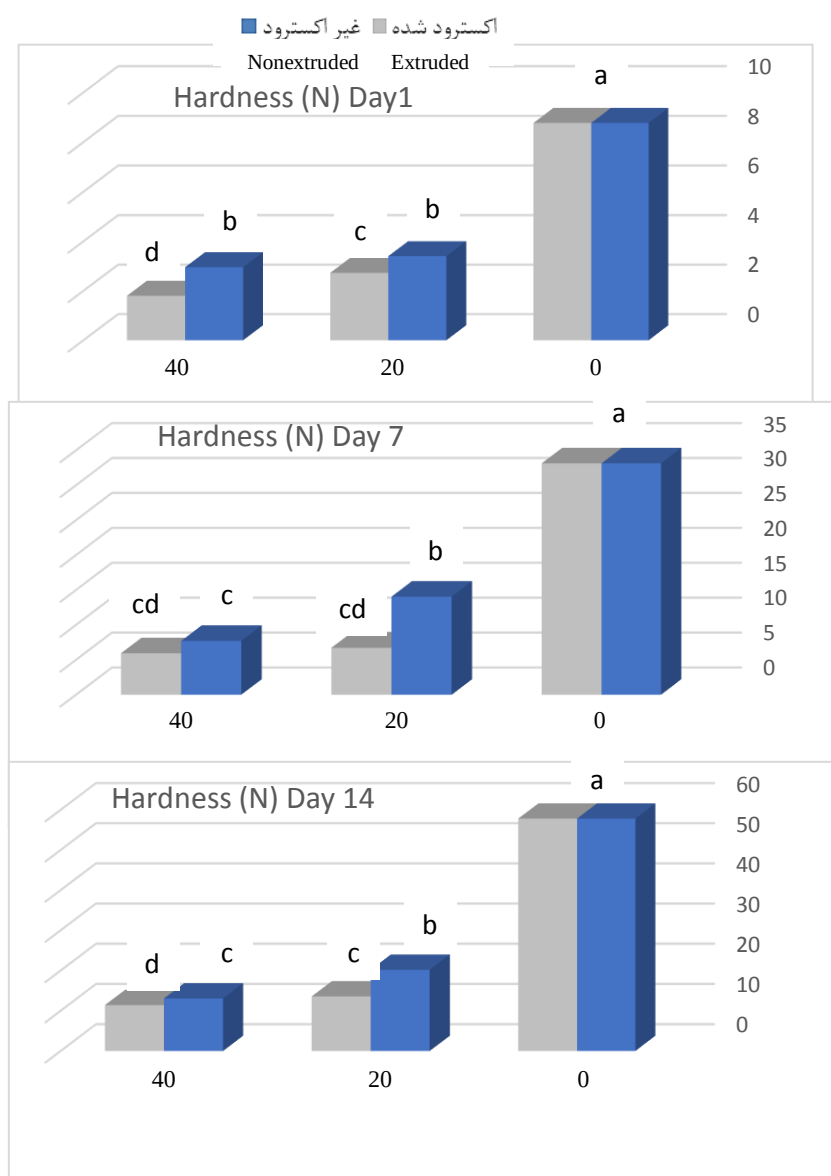
نوع تیمار Treatment	رطوبت Moisture (%)		
	روز اول Day 1	روز هفتم Day 7	روز چهاردهم Day 14
آرد نخود ۲۰ درصد Chick pea flour 20%	18.45 ^a	15.57 ^b	14.67 ^{bc}
آرد نخود ۴۰ درصد Chick pea flour 40%	20.83 ^a	17.88 ^b	14.96 ^c
آرد نخود اکستروژن ۲۰ درصد Extruded chick pea flour 20%	21.11 ^a	18.40 ^b	15.18 ^c
آرد نخود اکستروژن ۴۰ درصد Extruded chick pea flour 20%	21.40 ^a	18.93 ^b	16.06 ^c

ویژگی‌های بافتی کوکی

مطابق شکل ۱، کوکی‌های حاوی آرد اکستروژن شده سفتی بافت کم‌تری نسبت به نمونه‌های حاوی آرد اکستروژن نشده داشتند، میزان سفتی بافت کوکی بعد از پخت نمونه‌های حاوی ۴۰ درصد آرد نخود اکستروژن شده، کم‌ترین میزان سفتی را داشت. این امر می‌تواند مربوط به فرآیند اکستروژن باشد. پخت اکستروژن سبب افزایش بازآرایی فراکسیون‌های هیدروفیل در ساختار آرد و صمغ شده و منجر به افزایش جذب آب و بافت متخلخل‌تر و نرم‌تر کوکی‌های حاصل گردیده است. ال سوهامی و همکاران (El-Sohaimy et al., 2019) اظهار داشتند که افزودن HPMC، سفتی بافت نان را کاهش داده و دلیل این امر را کاهش رترورگراسیون آمیلوپکتین دانسته‌اند.

نتایج نشان داد که در تمام نمونه‌ها با افزایش مدت زمان نگهداری، میزان سفتی نمونه افزایش یافت. لازم به ذکر است که روند افزایش سفتی در نمونه حاوی آرد اکستروژن شده آهسته‌تر از سایر نمونه‌ها بود. با توجه به نتایج آزمون ۷ و ۱۴ روز پس از تولید، کوکی شاهد از بالاترین سفتی بافت و کوکی حاوی ۴۰ درصد آرد نخود اکستروژن شده از پایین‌ترین میزان بیاتی برخوردار بود. علت اصلی سفت شدن بافت کوکی را می‌توان به کریستال شدن اجزاء نشاسته به‌ویژه آمیلوپکتین در طول نگهداری کوکی نسبت داد. بیاتی یا سفت شدن بافت فرآورده‌های پخت طی مدت زمان نگهداری، فرآیند پیچیده‌ای است که عوامل متعددی مانند رترورگراسیون آمیلوپکتین، آرایش مجدد پلیمرها در ناحیه آمورف، کاهش مقدار رطوبت و توزیع رطوبت بین ناحیه آمورف و کریستالی در آن دخیل می‌باشند. همچنین مهاجرت رطوبت کوکی از مغز بافت به قسمت‌های سطحی و پوسته کوکی باعث ایجاد مغز سفت و پوسته چرمی در محصول می‌شود. بنابراین باتوجه به نتایج مشاهده شده در شکل، استفاده از آرد نخود به‌ویژه نخود اکستروژن شده در کاهش نرخ بیاتی مؤثر بوده که دلیل آن می‌تواند مقادیر بالای ترکیبات پروتئینی و فیبری به‌ویژه فراکسیون‌های فیبر محلول در آرد اکستروژن

شده و جذب آب و حفظ آن باشد. مطابق نتایج سیوداد-مولرو و همکاران (Ciudad-Mulero et al., 2022) فناوری اکستروژن سبب افزایش فراکسیون الیگوساکارید پری بیوتیک، فیبر محلول و نیز آرایینوکسیلان در آرد نخود شد. مطابق گزارش حصاری نژاد و همکاران (Hesarinejad et al., 2019) وجود گروه‌های هیدروکسیل موجود در ترکیبات فیبری از طریق پیوندهای هیدروژنی سبب جذب آب بیشتر و به تعویق افتادن بیاتی می‌شود. احمد (Ahmed, 2014) مقادیر ۴۰-۱۰ درصد آرد لوپین را به مخلوط آرد برنج و نشاسته ذرت اضافه نمود و دریافت شاخص حجم و نرمی بافت کیک بدون گلوتن با جایگزینی آرد لوپین تا سطح ۲۰٪، نسبت به نمونه شاهد بهبود یافت. گراندی (Grandi, 2014) اثر جایگزینی آرد جو معمولی و آرد جو اکستروژن شده با آرد گندم را در تولید نان بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد؛ استفاده از آرد جو اکستروژن شده به‌طور مؤثری سبب افزایش فیبرهای رژیمی و بهبود بافت، سختی، حجم و رنگ نان تولیدی گردید. براساس نتایج تحقیق پیروانی و همکاران (Peyrovan et al., 2020) با افزایش آرد لوپین از ۵ تا ۱۵ درصد سختی بافت کاهش یافت. دلیل اثر کاهش‌ی لوپین بر سختی بافت را می‌توان به محتوی فیبر رژیمی آن نسبت داد که با جذب آب بیشتر مانع از سخت شدن بافت کیک می‌شود. آرد لوپین حدود ۴۰٪ فیبر رژیمی دارد، از ویژگی‌های فیبر رژیمی جذب بالای آب است. پس با افزایش درصد آرد لوپین محتوی رطوبت نمونه‌ها افزایش و در نتیجه سختی بافت کیک کاهش یافته است. حمدانی و همکاران (Hamdani et al., 2020) ویژگی کوکی فاقد گلوتن بر پایه آرد کامپوزیت نخود ۲۰:۸۰ برنج شکسته ۸۰ درصد حاوی صمغ اکستروژن شده و اکستروژن نشده را بررسی نمودند. مطابق نتایج افزودن آرد نخود همراه صمغ اکستروژن شده در فرمولاسیون سبب افزایش فیبر و گسترش پذیری خمیر شده؛ در مقایسه با نمونه حاوی صمغ اکستروژن نشده دارای بیشترین ضریب جذب آب بوده و همین امر سبب کاهش سفتی بافت کوکی در طول دوره ماندگاری گردید.



شکل ۱- تأثیر آرد نخود اکستروود و غیراکستروود بر سفتی بافت کوکی طی دوره نگهداری

Fig. 1. The effect of extruded and non-extruded chickpea flour on the hardness of cookie during the storage period

روشنایی رنگ کوکی

رنگ یکی از فاکتورهای مهم در پذیرش کلی محصول توسط مصرف‌کننده است. همان‌طور که در جدول ۴، مشاهده می‌شود بیش‌ترین میزان L^* مربوط به نمونه‌های حاوی آرد برنج است و نمونه‌های حاوی آرد نخود و آرد نخود اکستروود شده به‌ترتیب کم‌ترین میزان L^* را دارا بودند. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که آرد نخود اکستروود شده به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/05$) L^* کوکی‌ها را کاهش داده است. علت کاهش L^* به وسیله‌ی آرد اکستروود شده مربوط به حضور پروتئین و رطوبت بالاتر طی پروسه اکستروژن بوده که همزمان با افزایش دما و نیروی برشی سبب افزایش تشدید واکنش‌های قهوه‌ای

شدن میلارد در فرآورده و بروز رنگ تیره نمونه‌های بافت داده شده می‌گردد. واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد در حین فرآیند پخت اکستروژن و کاراملیزاسیون قند می‌تواند ایجاد پیگمان‌های رنگی در حین پخت کند (Milani et al., 2017; Milani et al., 2021). همچنین رنگ ذاتی تیره‌تر آرد نخود به‌دلیل وجود رنگدانه‌های کاروتنوئید و فلاوونوئید می‌باشد و بنابراین آرد برنج رنگ روشن‌تری در مقایسه با آرد نخود داشته و مغز کوکی روشن‌تری را تولید می‌کند. گراندی و همکاران (Grandi et al., 2014) تأثیر افزودن مخلوط آرد گندم و جو بر ویژگی‌های کیفی و آنتی‌اکسیدانی کوکی را مطالعه کردند. در این پژوهش آرد جو به نسبت‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد

در فرمولاسیون کوکی فاقد گلوتن بررسی نمودند. مطابق نتایج افزودن آرد اکستروژن سبب افزایش جذب آب و محتوای رطوبتی و روشنایی و کاهش ویسکوزیته خمیر کوکی فاقد گلوتن شد. از نظر سفتی بافت نمونه حاوی برنج اکستروژن مشابه سفتی بافت کوکی گندم بود. اما از نظر ویژگی‌های حسی نمونه کوکی حاوی برنج اکستروژن شده بسیار مطلوب‌تر از نمونه تولیدی از آرد گندم بود.

جایگزین آرد گندم شد. افزایش سطح آرد جو باعث کاهش قابل توجه فاکتورهای رنگی L^* خمیر کوکی شد. کاهش روشنایی پوسته احتمالا به دلیل مقدار بالاتر پروتئین در نمونه‌های حاوی آرد لوبیاچیتی به دلیل محتوی پروتئین بالاتر در مقایسه با نمونه شاهد بود که می‌تواند سبب واکنش‌های قهوه‌ای شدن (مایلارد) بیشتری گردد که رنگدانه‌های قهوه‌ای بیشتری را تولید می‌کنند (Milani et al., 2024). وی و همکاران (We et al., 2011) تأثیر جایگزینی برنج اکستروژن شده به جای گندم

جدول ۴- تأثیر آردهای مختلف نخود اکستروژن شده و اکستروژن نشده بر پارامترهای رنگی کوکی

Table 4- The effect of different extruded and raw chickpea flours on the color parameters of cookie

تیمار Treatment	L^*
Broken rice (شاهد) برنج دانه شکسته	86.751 ^a
نخود ۲۰٪+برنج دانه شکسته Chick pea flour20%+Broken rice	80.632 ^a
نخود ۴۰٪+برنج دانه شکسته Chick pea flour40%+ Broken rice	76.496 ^b
نخود اکستروژن شده ۲۰٪+برنج دانه شکسته E. Chick pea flour20%+ Broken rice	59.348 ^c
نخود اکستروژن شده ۴۰٪+برنج دانه شکسته E. Chick pea flour40%+ Broken rice	54.834 ^c

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها است ($p>0.05$).

The same letters in each column indicate that there is no difference between the data ($p>0.05$).

تخلخل کوکی

یکی از ویژگی‌های مهم فرآورده‌های پخت، تخلخل است که به طور کلی اشاره به ساختار منافذ در مغز محصول دارد و از عوامل تأثیرگذار در تعیین ویژگی‌های کیفی این فرآورده‌ها محسوب می‌شود (Hashemi et al., 2017). نتایج مندرج در جدول ۴، نشان می‌دهد که میزان تخلخل در نمونه‌های حاوی آرد اکستروژن شده به طور معنی‌داری ($P\leq 0/05$) از سایر تیمارها بیش‌تر است. به طور کلی هر چه میزان جذب رطوبت بالاتر باشد در حین پخت خروج رطوبت سریع‌تر و بیش‌تر صورت می‌گیرد و در نتیجه درصد تخلخل نیز افزایش می‌یابد و چون فرآیند اکستروژن موجب افزایش جذب رطوبت نمونه‌ها می‌شود درصد تخلخل در نمونه‌های حاوی آرد اکستروژن شده بیش‌تر از سایر تیمارها است. در بین آردها نمونه‌های حاوی آرد اکستروژن شده به طور معنی‌داری ($P\leq 0/05$) ضخامت پوسته بیش‌تری داشتند و دلیل آن میزان رطوبت بالاتر نسبت به سایر تیمارها است، چرا که در حین پخت خروج آب به صورت بخار سریع‌تر و بیش‌تر صورت می‌گیرد و پوسته نیز سریع‌تر و بیش‌تر شکل می‌گیرد. جعفری و همکاران (Jafari et al., 2018) در بررسی شرایط اکستروژن بر آرد سورگوم مشاهده کردند که افزایش رطوبت خوراک ورودی و دمای اکستروژن از طریق افزایش میان ژلاتیناسیون نشاسته، اندیس جذب آب آرد سورگوم اکستروژن شده را

افزایش داد و همین امر سبب افزایش رطوبت مغز نان ترکیبی آرد سورگوم اکستروژن شده- گندم از طریق افزایش اندیس جذب آب آرد شد.

ارزیابی حسی

میانگین امتیازهای هدونیک به همراه انحراف معیار در جدول ۵، مشاهده می‌شود. کوکی‌های حاوی آرد نخود (اکستروژن شده و نشده) از نظر آروما و طعم و پذیرش کلی در مقایسه با نمونه شاهد امتیاز پایین‌تری داشتند، اما این اختلاف از نظر آماری در نمونه‌های ۲۰ درصد معنی‌دار نبود. نتایج نشان دادند که پذیرش کلی نمونه‌های حاوی آرد نخود اکستروژن شده بالاتر از آرد اکستروژن نشده است بنابراین، فرآیند پخت اکستروژن پتانسیل بالایی برای بهبود کیفیت کوکی خواهد داشت. نتایج مشابهی توسط گراندی و همکاران (Grandi et al., 2014) برای کوکی فاقد گلوتن به دست آمد. مصرف آرد نخود معمولی به دلیل ویژگی‌های حسی نامطلوب مانند ایجاد حالت لوبیایی در دهان محدود است. پخت اکستروژن حالت لوبیایی آرد نخود را کاهش و طعم آن را بهبود بخشید، بنابراین از این طریق پذیرش کلی کوکی را افزایش داد (Ciudad-Mulero et al., 2022).

جدول ۵- تأثیر آردهای تأثیر آردهای مختلف نخود اکستروژ شده و اکستروژ نشده بر تخلخل پوسته کوکی

Table 5- The effect of different extruded and raw chickpea flours on the porosity of cookie

تیمار Treatment	تخلخل Porosity(%)
Broken rice (شاهد) برنج دانه شکسته	31.167 ^c
Chick pea flour 20%+Broken rice نخود ۲۰٪+برنج دانه شکسته	32.218 ^c
Chick pea flour 40%+ Broken rice نخود ۴۰٪+برنج دانه شکسته	39.278 ^b
E. Chick pea flour 20%+ Broken rice نخود اکستروژ شده ۲۰٪+برنج دانه شکسته	41.743 ^b
E. Chick pea flour 40%+ Broken rice نخود اکستروژ شده ۴۰٪+برنج دانه شکسته	47.973 ^a

حروف یکسان در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار بین داده‌ها است ($p>0.05$).The same letters in each column indicate that there is no difference between the data ($p>0.05$).

گیاه نخود دارای فیتوکمیکال‌هایی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی مانند پلی‌فنول‌ها، تانن و فلاونوئیدها نیز می‌باشد، وجود این ترکیبات می‌تواند بر روی طعم و مزه محصول اثرگذار باشد. پیروانی و همکاران (Peyrovani et al., 2020) اثر اضافه کردن آرد لوپین در سطوح ۰ تا ۵۰٪ را بر بیسکویت، بررسی کردند. نمونه‌هایی که ۲۰٪ از آرد گندم با آرد لوپین جایگزین شده بود بدون تأثیر منفی بر ویژگی‌های حسی، محتوای پروتئینی و فیبر رژیمی آن‌ها به میزان قابل توجهی بهبود یافته بود و بیشترین امتیاز پذیرش کلی را گرفت. احمد (Ahmed, 2014) اثر جایگزینی آرد لوپین با آرد گندم در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵٪ بر ویژگی‌های کیفی کیک مورد بررسی قرار داد. با توجه به ویژگی‌های کیفی نمونه‌های حاوی ۱۰٪ آرد لوپین بیشترین امتیاز را گرفت.

در مورد ویژگی رنگ نمونه‌های حاوی آرد نخود اکستروژ شده پایین‌ترین امتیاز را کسب کردند و دلیل این امر این است که طی فرآیند اکستروژن از طریق واکنش مایلارد روشنایی پوسته کاهش و میزان قرمزی آن افزایش یافت و کوکی حاصل از آن رنگ تیره‌تری داشت، اما در کل کوکی‌های حاوی آرد اکستروژ شده نسبت به نمونه‌های آرد اکستروژ نشده امتیاز بالاتری داشتند. همچنین کوکی‌های حاوی ۲۰ درصد آرد نخود اکستروژ شده و اکستروژ نشده از امتیاز بالاتری برخوردار بودند. گلوتن مسئول تعیین کیفیت فرآورده‌های پخت است و عدم حضور آن در این فرآورده‌ها از نظر مصرف‌کنندگان عادی، نامطلوب است. با این حال تمامی کوکی‌های فاقد گلوتن نمرات قابل قبولی برای تمامی ویژگی‌ها داشتند و می‌توانند برای بیماران سلیاکی کاربرد داشته باشد. امتیاز مربوط به پذیرش کلی محصول در تمامی فرمولاسیون‌ها مورد آزمون $\geq 3/5$ بوده، که بیانگر مقبولیت کلیه نمونه‌ها است.

جدول ۶- تأثیر آردهای مختلف نخود اکستروژ شده و اکستروژ نشده بر ویژگی‌های حسی کوکی

Table 6- The effect of different extruded and raw chickpea flours on organoleptic properties of cookie

تیمار Treatment	رنگ Color	سفتی بافت Hardness	آروما و طعم Taste	پذیرش کلی General acceptance
Broken rice (شاهد) برنج دانه شکسته	5 ^a	4.3 ^b	5 ^a	5 ^a
Chick pea flour 20%+Broken rice نخود ۲۰٪+برنج دانه شکسته	4.5 ^a	4.8 ^a	4.3 ^b	4.5 ^a
Chick pea flour 40%+ Broken rice نخود ۴۰٪+برنج دانه شکسته	4 ^b	4.7 ^a	4 ^b	4.2 ^b
E. Chick pea flour 20%+ Broken rice نخود اکستروژ شده ۲۰٪+برنج دانه شکسته	4.41 ^a	4.5 ^a	4 ^b	4 ^b
E. Chick pea flour 40%+ Broken rice نخود اکستروژ شده ۴۰٪+برنج دانه شکسته	4.2 ^b	4.45 ^a	3.5 ^c	3.9 ^c

حروف یکسان در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار بین داده‌ها است ($p>0.05$).The same letters in each column indicate that there is no difference between the data ($p>0.05$).

افزودن نخود اکستروژده شده تا حداقل میزان ۴۰٪ باعث بهبود نسبی بافت کوکی و همچنین افزایش مدت زمان ماندگاری آن گردید. به طور کلی با جمع‌بندی نتایج آزمون‌های فیزیکی و حسی مشخص شد که می‌توان با استفاده از ۴۰٪ آرد نخود اکستروژده، کوکی با ویژگی‌های حسی و کیفی مناسب تولید نمود. نخود و بویژه نخود اکستروژده به خاطر محتوای پروتئین و فیبر رژیمی قابلیت بالایی جذب آب، با حفظ رطوبت، سبب کاهش سختی بافت کوکی شدند. نتایج آزمون‌های حسی نشان داد که آرد نخود اکستروژده باعث بهبود ویژگی‌های ارگانولپتیکی گردید. این تحقیق نشان داد که نخود بافت داده شده نسبت به نوع فرآوری شده آن موجب بهبود بهتر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کوکی شده و به خوبی می‌تواند در تولید فرآورده‌های آماده مصرف، استفاده شود.

میزان مشارکت

زهرا دهقان: تأمین مالی، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، نوشتن پیش‌نویس اصلی، **الناز میلانی:** مدیریت پروژه، مدیریت داده‌ها، تحلیل رسمی، بررسی و ویرایش، **ندا هاشمی:** مفهوم‌سازی، منابع، نرم‌افزار، نظارت، اعتبارسنجی و تجسم

منابع تأمین مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرد.

سپاسگزاری

از زحمات مجدانه کارشناسان محترم آزمایشگاه علوم و صنایع غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی و پایلوت تحقیقات نیمه صنعتی اکستروژن مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی که در کلیه مراحل تولید و انجام آزمایش‌های مرتبط، یاری‌گر پژوهش بودند، کمال تشکر را داریم.

پسانی و همکاران (Paesani et al., 2020) با هدف افزایش محتوای فیبر و مواد معدنی در فرآورده‌های غذایی فاقد گلوتن، تأثیر افزودن آرد کامل ذرت اکستروژده و اکستروژده نشده را بر ویژگی‌های کیفی کوکی بررسی نمودند. مطابق نتایج افزودن آرد اکستروژده سبب افزایش جذب و نگهدار آب خمیر شد و به دنبال آن ویسکوزیته خمیر کاهش یافت؛ تأثیر این پدیده در حین پخت خمیر کوکی در آون سبب افزایش حجم خمیر و افزایش گسترش‌پذیری نمونه‌های حاوی اکستروژده در مقایسه با اکستروژده نشده گردید. همچنین سفتی بافت نمونه‌های کوکی حاوی آرد اکستروژده کمتر از نمونه‌های حاوی آرد اکستروژده نشده گزارش گردید. نامبردگان در این پژوهش، بر لزوم کاربرد آرد اکستروژده شده در بهبود ویژگی‌های کوکی فاقد گلوتن تأکید نمودند. همچنین در نتایج حاصل از ارزیابی حسی، نمونه‌های تولیدی از آرد اکستروژده شده امتیاز بالاتر پذیرش کلی دریافت نمودند.

نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش تقاضا برای فرآورده‌های فاقد گلوتن به نظر می‌رسد، غنی‌سازی این فرآورده‌های با مواد مغذی همانند آرد نخود می‌تواند یک روش جایگزین برای بهبود ارزش تغذیه‌ای این محصولات باشد. افزودن حبوبات، راه کار مناسبی برای افزایش مصرف حبوبات که سرشار از اسیدآمینه لیزین هستند، می‌باشد. حبوبات بخصوص دانه‌های نخود، دارای ارزش تغذیه‌ای و خصوصیات عملکردی بالایی هستند و گنجاندن آن‌ها در رژیم غذایی از طریق اضافه شدن به محصولات نانوائی، روش خوبی برای افزایش مصرف آن‌هاست.

به‌طور کلی فرآورده‌های فاقد گلوتن به دلیل عدم وجود شبکه گلوتنی منسجم و یکنواخت قادر به نگهداری گاز دی‌اکسید کربن که سبب افزایش حجم می‌گردد، نمی‌باشند. در نتیجه محصول کم حجم و ساختار مغز فشرده می‌گردد. نتایج آنالیز بافت نشانگر آن است که

References

- Ahmed, A.R. (2014). Influence of chemical properties of wheat-lupine flour blends on cake quality. *American Journal of Food Science Technology*, 2(2), 67-75. <https://doi.org/10.12691/ajfst-2-2-4>
- Alandia, G., Rodriguez, J.P., Jacobsen, S.E., Bazile, D., & Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26, 100429. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>
- Aluwi, N.A., Gu, B.J., Dhumal, G.S., Medina-Meza, I.G., Murphy, K.M., & Ganjyal, G.M. (2016). Impacts of scarification and degermination on the expansion characteristics of select quinoa varieties during extrusion processing. *Journal of Food Science*, 81(12), E2939-E2949. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13512>
- Ataye Salehi, E., Rostamian, M., & Milani, J. (2011). Textural and heat assessment of staling of corn-chickpea bread. *Journal of Food Science and Technology*, 4, 35-40.
- Bassinello, P.Z., de G C Freitas, D., Ascheri, J.L.R., Takeiti, C.Y., Carvalho, R.N., Koakuzu, S.N., & Carvalho, A.V. (2011). Characterization of cookies formulated with rice and black bean extruded flours. *Procedia Food Science*, 1, 1645-1652. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.243>

6. Cannas, M., Pulina, S., Conte, P., Del Caro, A., Urgeghe, P.P., Piga, A., & Fadda, C. (2020). Effect of substitution of rice flour with Quinoa flour on the chemical-physical, nutritional, volatile and sensory parameters of gluten-free ladyfinger biscuits. *Foods*, 9(6), 808. <https://doi.org/10.3390/foods9060808>
7. El-Sohaimy, S.A., Shehata, M.G., Mehany, T., & Zeitoun, M.A. (2019). Nutritional, physicochemical, and sensorial evaluation of flat bread supplemented with quinoa flour. *International Journal of Food Science*, 2, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2019/4686727>
8. Ciudad-Mulero, M., Vega, E.N., García-Herrera, P., Pedrosa, M.M., Arribas, C., Berrios, J.D.J., Cámara, M., Fernández-Ruiz, V., & Morales, P. (2022). Extrusion cooking effect on carbohydrate fraction in novel gluten-free flours based on chickpea and rice. *Molecules*, 27, 1143. <https://doi.org/10.3390/molecules27031143>
9. Gomez, M., Oliete, B., Rosell, C.M., Pando, V., & Fernandez, E. (2008). Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends. *Journal of Food Science and Technology*, 41, 1701-1709. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.024>
10. Grandi Castro, F., Grandi Castro F., & Yoshie TakeitiCristina, Y. (2014). Extruded baru flour addition (*Dipteryx alata* Vog.) in cookie formulations: Effect on consumer's acceptability. *Acta Horticulturae*, 1040, 89-96. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1040.11>
11. Gularte, M.A., Gomez, M., & Rosell, C.M. (2012). Impact of legume flour on quality and in vitro digestibility of starch and protein from gluten-free cakes. *Journal of Food and Bioprocess Technology*, 5, 3142-3150. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0642-3>
12. Hamdani, A.M., Wani, I.A., & Bhat, N.A. (2020). Gluten free cookies from rice-chickpea composite flour using exudate gums from acacia, apricot and karaya. *Food Bioscience*, 35, 100541. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100541>
13. Hashemi, N., Mortazavi, S.A., Milani, E., & Tabatabai Yazdi, F. (2017). Microstructural and textural properties of puffed snack prepared from partially defatted almond powder and corn flour. *Journal of Food Processing & Preservation*, 41(5), 32-41. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13210>
14. Hashemi, N., Milani, E., Mortezavi, S. A., & TabatabaiYazdi, F. (2017). Sticky point temperature as a suitable method in evaluation of shelf life of food powders. *Bulletin de La Société Royale Des Sciences de Liège*, 86, 7-12. <https://doi.org/10.25518/0037-9565.6519>
15. Hesarinejad, M.A., Siyar, Z., & Rezaian Attar, F. (2019). Investigating the effect of wheat flour enrichment with *Phaseolus vulgaris* flour on the physical, sensory and shelf-life characteristics of sponge cake. *FSCT*, 16(86), 213-222.
16. Jafari, M., Koocheki, A., & Milani, E. (2018). Effect of extrusion variable on physicochemical properties of extruded sorghum. *Journal of Food Science & Technology*, 75(15), 1-12.
17. Lazou, A., Krokida, M., & Tzia, C. (2010). Sensory properties and acceptability of corn and lentil extruded puffs. *Journal of Sensory Studies*, 25, 838-860. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2010.00308.x>
18. Manisha, G. (2000). Processing and quality of rice-based extruded products. *Materials Science*, 16(1), 12-21.
19. Matos Segura, M.E., & Rosell, C.M. (2011). Chemical composition and starch digestibility of different gluten-free breads. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66, 224-230. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0244-2>
20. Milani, E., Hashemi, N., Mortazavi, S.A., & Tabatabai Yazdi, F. (2017). Effect of extrusion conditions and formulation on some physicochemical properties of extrudate snack based on almond meal (*Amygdalus communis* L.) and corn grits. *Journal of Innovative Food Technologies*, 5(1), 123-140. <https://doi.org/10.22104/JIFT.2017.485>
21. Milani, E., Hashemi, N., Golimovahed, A., & Davari F. (2021). Properties assessment of Muffin cakes enriched with composite dietary fibers from wheat bran coffee processing by products. *Iranian Journal Nutrient Science Food Technology*, 16(1), 85-94.
22. Milani, E., Hashemi, N., Ghiafehshirzadi, A. (2024). Fabrication of textured functional ingredient based on apple: Sesame by-product. *Heliyon*, 10 (8), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28841>
23. Milani, E., Hashemi, N., Hashemi, M. (2024) Physicochemical properties and flow behavior of natural sweetener and colorant from foam- mat dried grape powder. *Journal of Food Process Engineering*, 47(2), e14538. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14538>
24. Omran, A., & Hanan, A.H. (2015). Production and evaluation of gluten-free cookies from broken rice flour and sweet potato. *Advances in Food Sciences*, 37(4), 184-193.
25. Paesani, C., Bravo-Núñez, Á., & Gómez, M. (2020). Effect of extrusion of whole-grain maize flour on the characteristics of gluten-free cookies. *LWT*, 132, 109931. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109931>
26. Peyrovani, M., Salehifar, M., & Karimian Khosroshahi, N. (2020). The effect of the lupine flour and corn starch on the rheological properties of dough, textureand organoleptical properties of gluten-free cake. *Journal of Food Research*, 30(2), 69-86.

27. Siddiq, M., Nasir, M., Ravi, R., Dolan, K.D., & Butt, M.S. (2009). Effect of defatted maize germ addition on the functional and textural properties of wheat flour. *International Journal of Food Properties*, 12, 1–11. <https://doi.org/10.1080/10942910802103028>
28. We, G.J., Lee, I.A., Kang, T.Y., Min, J.H., Kang, W.S., & Ko, S.H. (2011). Physicochemical properties of extruded rice flours and a wheat flour substitute for cookie application. *Food Engineering Progress*, 15(4), 404-412.

Investigation of Physicochemical and Antioxidant Properties of Shahani and Khassui Date's Palm and Kernel from Zarrin Dasht Region in Fars Province

Z. Khodakaramifard¹, H. Lashkari^{2*}

1 and 2- M.Sc and Associate Professor, Food Science and Technology Department, Zarindasht Branch, Islamic Azad University, Zarindasht, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: hannan.lashkari@iau.ac.ir)

Received: 16.08.2023
Revised: 09.01.2024
Accepted: 10.01.2024
Available Online: 14.01.2024

How to cite this article:

Khodakaramifard, Z., & Lashkari, H. (2024). Investigation of physicochemical and antioxidant properties of Shahani and Khassui date's palm and kernel from Zarrin Dasht region in Fars province. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(4), 409-416. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.83464.1271>

Introduction

The date palm (*Phoenix dactylifera* L.) plays an important social, environmental, and economical role for many people living in arid and semiarid regions of the world. Date fruit is one of the major agricultural crops in the East Asia region, where about 90% of the world's dates are cultivated. Dates are rich in certain nutrients and provide a good source of rapid energy, due to their high carbohydrate content (70–80%). Moreover, date fruits contain fat (0.20–0.50%), protein (2.30–5.60%), dietary fibre (6.40–11.50%), minerals (0.10–916 mg/100 g dry weight), and vitamins (C, B1, B2, B3, and A) with very little or no starch. In addition to the direct consumption of the fruit, various industrial products are also extracted derived from this product, including date juice, date honey, liquid sugar, vinegar, alcohol, caramel, date paste and date chocolate. The annual production of one million and 400 thousand tons of dates in Iran has made Iran the second pole of date production in the world after Egypt. Zarin Dasht region is located in Fars province, and the annual production of dates in this region reaches more than 1000 tons. The aim of the present work was to investigate the chemical composition, carbohydrate, and antioxidant capacity of two cultivars of Zarin Dasht dates.

Materials and Methods

After collection, all date fruits were washed with tap water, and the seeds were then removed, and the flesh were shade dried at room temperature. The dimensions and area of the imaged surfaces were measured by the physical properties measurement device in 100 repetitions. The working principle of this device is based on image processing technique. By placing the product in three different positions and perpendicular to each other, pictures of the date samples were taken individually. Date mass was obtained using a sensitive digital scale with an accuracy of 0.01 g. The displaced water method was used to determine the volume and density of each date seed. Bulk density, date porosity, geometric mean diameter, sphericity coefficient and surface area of the samples were determined. The amount of moisture was determined by weight method, ash by burning in an electric furnace, titratable acidity based on malic acid and pH of the samples were measured by a digital pH meter. To measure the amount of total phenol in the fruit, Folin–Ciocalteu reagent was used and the absorbance of the reaction mixture was read at 750 nm by a spectrophotometer. The amount of total phenol was reported in terms of gallic acid. The antioxidant capacity was determined through the neutralization of free radical 2 and 2 diphenyl 1-picrylhydrazyl (DPPH). To measure the sugar of all samples, first a standard curve was drawn from the glucose solution in different concentrations, then the sugar content of the samples was measured in milligrams per gram of fresh weight at 490 nm using the sulfuric phenol method. The amount of crude fibre was calculated according to the standard method of AOAC-991/43. The amount of fat was obtained with the Universal Extractor E-800 device for 3 hours at a suitable temperature and in 250 cc of



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.83464.1271>

n-hexane solvent. Finally, the statistical analysis of the data was done factorially and in the form of a completely random design in 3 replications using SAS 4, 9 software and the comparison of the means was done using the LSD test at a probability level of 1%.

Results and Discussion

According to the results of this research, there was a significant difference in all qualitative traits except pH ($P < 0.01$). In comparing the characteristics of the palms of two cultivars, it was observed that the highest amount of fibre (1.78 %), titratable acid (0.59 %), ash (1.64 %) and fat (0.85 %) is related to Shahani cultivar, and the highest amount of total phenol (8.1 mg/gFW), DPPH inhibitory property (13 %), moisture (18.7%), sugar (63.8 %), protein (0.29 %) and pH (5.74) belonged to Khassui cultivar. Also, comparing the kernel characteristics of two cultivars, it was observed that the highest amount of ash (3.17 %), total phenol (10.8 mg/gFW), antioxidant property (72 % DPPH inhibition), protein (2.55 %), pH (6.11) and fat (9.20 %) related to the kernel of Shahani variety and the highest amount of fibre (26.2 %), moisture (5.26 %), sugar (15.8 %) and titratable acid (0.38 %) belonged to the kernel of Khassui cultivar. Overall, the kernel of Shahani variety had more DPPH inhibitory power among all the samples.

Keywords: Antioxidant capacity, Date fruit, Date kernel, Total phenol

مقاله کوتاه پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۳، ص. ۴۱۶-۴۰۹

بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ترکیبات آنتی اکسیدانی میوه و هسته‌ی ارقام خرمای شاهانی و خاصویی منطقه زرین دشت فارس

زهرا خداکریمی فرد^۱ - حنان لشکری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰

چکیده

خرما به عنوان یک محصول عمده کشاورزی ایران دارای ارزش غذایی بالایی می باشد. در این پژوهش، برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی میوه و هسته‌ی دو رقم خرمای شاهانی و خاصویی پرورش یافته در منطقه زرین دشت استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، در بین تمام صفات کیفی به جز pH اختلاف معنی داری وجود داشت ($P < 0.01$). در مقایسه‌ی ویژگی‌های گوشته‌های دو رقم، مشاهده شد که بیشترین میزان فیبر (۱/۷۸٪)، اسید قابل تیتر (۰/۵۹٪)، خاکستر (۱/۶۴٪) و چربی (۰/۸۵٪) مربوط به گوشته‌ی رقم شاهانی و بیشترین میزان فنول کل (۸/۱ mg/gFW)، خاصیت بازدارندگی DPPH (۱۳٪)، رطوبت (۱۸/۷٪)، قند (۶۳/۸٪)، پروتئین (۰/۲۹٪) و pH (۵/۷۴) به گوشته‌ی رقم خاصویی تعلق داشت. همچنین در مقایسه‌ی ویژگی‌های هسته‌ی دو رقم، مشاهده شد که بیشترین میزان خاکستر (۳/۱۷٪)، فنول کل (۱۰/۸ mg/gFW)، خاصیت آنتی اکسیدانی (۷۲٪ بازدارندگی DPPH)، پروتئین (۲/۵۵٪)، pH (۶/۱۱) و چربی (۹/۲۰٪) مربوط به هسته‌ی رقم شاهانی و بیشترین میزان فیبر (۲۶/۲٪)، رطوبت (۵/۲۶٪)، قند (۱۵/۸٪) و اسید قابل تیتر (۰/۳۸٪) به هسته‌ی رقم خاصویی تعلق داشت. بنابراین در مجموع، هسته‌ی رقم شاهانی قدرت بازدارندگی DPPH بیشتری در بین نمونه‌ها داشت.

واژه‌های کلیدی: پروتئین کل، خرما، فنول کل، ظرفیت آنتی اکسیدانی

مقدمه

نخل خرما (*Phoenix dactylifera*) گیاهی تک‌لپه و دو پایه از خانواده Arecaceae می باشد. حدود ۹۰٪ از تولید خرمای جهان در منطقه شرق آسیا تولید می شود (Zarbakhsh & Rastegar, 2015). خرما با توجه به ارزش غذایی و دارویی بالا، جایگاه ویژه‌ای در رژیم غذایی میلیون ها انسان بخصوص در خاورمیانه، آفریقا و مناطق دیگر دنیا دارد (Vayalil, 2012). علاوه بر مصرف مستقیم میوه، فرآورده‌های صنعتی متنوعی نیز از این محصول استخراج می گردد که شیربه خرما، عسل خرما، قند مایع، سرکه خرما، الکل، کارامل، خمیر خرما و شکلات خرما از آن جمله هستند. عمده ترین ترکیب میوه خرما

را کربوهیدرات ها تشکیل می دهد (Zarbakhsh & Rastegar, 2015). خرما حاوی ترکیبات فنولی است که معمولاً در خرمای رسیده حدود ۳ درصد وزن خشک را به خود اختصاص می دهند و شامل چهار گروه اصلی تانن^۳، فلاون ها^۴، فلاون ها^۵ و فلاونول ها^۶ هستند (Al-Shahib & Marshall, 2003). از آنجایی که خرما مهم ترین محصول کشاورزی شهرستان زرین دشت است، تصمیم بر آن شد که بر روی ارقام پرورش یافته در منطقه زرین دشت واقع در استان فارس تحقیق و بررسی انجام گیرد، لذا در این پژوهش برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ترکیبات مختلف ارقام شاهانی و خاصویی مورد بررسی قرار گرفت.

۱ و ۲- به ترتیب کارشناس ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرین دشت، زرین دشت، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: hannan.lashkari@iau.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.83464.1271>

3- Tanin

4- Flavones

5- Flavanols

6- Flavonols

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌ی خرما

این پژوهش روی دو رقم تجاری خرماي شهرستان زرین‌دشت استان فارس شامل شاهانی و خاصویی در مرحله رسیدگی کامل انجام شد. از هر رقم، سه درخت به‌طور تصادفی به‌عنوان تکرار انتخاب شدند و نمونه‌برداری از چهار خوشه در چهار طرف نخل صورت پذیرفت.

آزمون‌های فیزیکی

ابعاد و مساحت سطوح تصویر شده توسط دستگاه اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی در ۱۰۰ تکرار اندازه‌گیری شد. اصول کار این دستگاه مبتنی بر تکنیک پردازش تصویر است. با قرار دادن محصول در سه وضعیت مختلف و عمود بر هم، تصاویر به‌صورت تک تک از نمونه‌های خرما گرفته شد. جرم خرما با استفاده از ترازوی حساس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم به‌دست آمد. برای تعیین حجم و چگالی هر دانه خرما از روش میزان آب جابجا شده استفاده شد. چگالی توده ای، تخلخل خرما، میانگین هندسی قطر، ضریب کرویت و سطح رویه محصول تعیین شدند.

آزمون‌های شیمیایی

میزان رطوبت، به روش وزنی، خاکستر به روش سوزاندن در کوره الکتریکی (Hasnaoui et al., 2011)، اسیدیته قابل تیتراسیون بر مبنای اسید مالیک (Hosseini, 2005) و pH توسط دستگاه pH متر دیجیتال (SARTORIUS- PB-11) اندازه‌گیری شدند (Afshari, 2011). برای اندازه‌گیری میزان فنول کل میوه از معرف فولین سیوکالتیو^۱ استفاده شد و جذب مخلوط واکنش در طول موج ۷۵۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (England UV-۳۲۰۰ Model Cecil 2501) قرائت شد (Waterhouse, 2002). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، از طریق خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد (DPPH)^۲ تعیین گردید. برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی محلول‌های حاصل از نمونه‌ها، جذب آنها در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد و سپس داده‌ها به‌صورت درصد بازدارندگی DPPH گزارش گردید (Brand-Williams et al., 1995). قند کل، با کمک منحنی استاندارد محلول گلوکز و با استفاده از روش سولفوریک در طول موج ۴۹۰ نانومتر بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر بدست آمد (DuBois et al., 1956). فیبر خام طبق روش استاندارد AOAC-991/43 محاسبه شد (AOAC, 1990). چربی، با دستگاه UniversalExtractor E-800 به‌مدت ۳ ساعت در دمای

مناسب و در ۲۵۰ سی‌سی حلال ان هگزان بدست آمد (DuBois et al., 1956). پروتئین با روش بردفورد (آزمون سنجش پروتئین کوماسی) اندازه‌گیری شد (Bradford, 1976). در نهایت تجزیه و تحلیل آماری داده به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار با استفاده از نرم‌افزار SAS ۹.۴ آنالیز و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۱٪ انجام گردید.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی

نتایج آزمایشات نشان داد میانگین جرم و حجم خرماي شاهانی به ترتیب ۸/۶۹ گرم و ۸/۶۶ سانتی‌متر مکعب و خرماي خاصویی به‌ترتیب ۳/۷۸ گرم و ۳/۵۶ سانتی‌متر مکعب است. میانگین طول، عرض و ضخامت و سطوح تصویر شده خرماي شاهانی بیشتر از خرماي خاصویی به‌دست آمد. همچنین میانگین هندسی قطر، مساحت و سطح رویه خرماي شاهانی بیشتر از خرماي خاصویی به دست آمد (جدول ۱). به طور کلی؛ رقم، شرایط آب و هوایی مکان رشد و حاصلخیزی خاک در ترکیبات و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خرما تأثیر می‌گذارد. میوه‌های خرما بر طبق رقم و شرایط رشد، در اندازه، وزن و شکل با یکدیگر متفاوتند.

ویژگی‌های شیمیایی

نتایج آزمون‌های شیمیایی نمونه‌ها در جدول ۲ قابل مشاهده است. میزان رطوبت خرما، یکی از فاکتورهای مهم در تقسیم‌بندی ارقام خرما به سه دسته نرم، خشک و نیمه‌خشک است (Al-Farsi, et al., 2006). ارقام خرماي نرم بیش از ۳۰٪، ارقام خرماي نیمه خشک ۲۰-۳۰٪ و ارقام خرماي خشک کمتر از ۲۰٪ رطوبت دارند. مناسب‌ترین مقدار رطوبت بافت میوه خرما از نظر قابلیت نگهداری، حدود ۲۵٪ است (Vayalil, 2012). میزان رطوبت خرماي شاهانی ۱۵/۶ و خاصویی ۱۸/۷ درصد تعیین شد؛ بنابراین از ارقام خشک محسوب می‌شوند. بررسی خاکستر نشان داد؛ بیشترین میزان خاکستر به هسته رقم شاهانی (۳/۱۷٪) و کمترین میزان به گوشته رقم خاصویی (۱/۳۲٪) تعلق دارد. در پژوهشی، میزان خاکستر موجود در هفده رقم خرما را بین دامنه ۰/۹-۳/۶ درصد گزارش کردند (Amira et al., 2011). اسید قابل تیتراسیون (TA)^۳ تأثیر مهمی در طعم میوه دارد (Cheraghi, 2012). (Dehdezi & Hamdami, 2012)

جدول ۱- مقایسه خواص فیزیکی اندازه گیری شده ارقام خرمای شاهانی و خاصویی

Table 1- Comparison of measured physical properties of Shahani and Khassui dates cultivars

متغیر وابسته Dependent variable	رقم Cultivar	تکرار Repetition	کمترین مقدار Minimum	بیشترین مقدار Maximum	مقدار متوسط Average value	انحراف معیار Standard deviation
جرم (g) Mass	شاهانی Shahani	100	5.23	11.56	8.69	1.21
	خاصویی Khassui	100	3.02	5.20	3.78	0.41
حجم (cm ³) Volume	شاهانی Shahani	100	4.50	12.68	8.66	1.55
	خاصویی Khassui	100	2.79	4.91	3.56	0.39
L بزرگترین طول (mm) L is the largest length	شاهانی Shahani	100	39.60	53.90	46.97	3.04
	خاصویی Khassui	100	23.20	29.70	25.89	1.25
W بزرگترین بعد عمود بر L (mm) W is the largest dimension perpendicular to L	شاهانی Shahani	100	17.80	25.40	21.71	1.36
	خاصویی Khassui	100	16.10	20.50	18.17	0.88
T بعد عمود بر W و L (mm) T dimension perpendicular to W and L	شاهانی Shahani	100	16.50	23.80	19.78	1.37
	خاصویی Khassui	100	14.30	19.40	16.97	0.89
PL سطح عمود بر L (mm ²) PL is the surface perpendicular to L	شاهانی Shahani	100	285.00	475.00	378.94	42.11
	خاصویی Khassui	100	210.00	320.00	248.22	20.93
PW سطح عمود بر W (mm ²) PW is the surface perpendicular to W	شاهانی Shahani	100	528.00	994.00	794.41	92.50
	خاصویی Khassui	100	298.00	451.00	360.75	28.32
PT سطح عمود بر T (mm ²) PT is a surface perpendicular to T	شاهانی Shahani	100	582.00	1024.00	813.13	90.69
	خاصویی Khassui	100	324.00	473.00	383.76	29.84
چگالی واقعی (g/cm ³) True density	شاهانی Shahani	100	0.89	1.26	1.01	0.11
	خاصویی Khassui	100	0.88	1.29	1.07	0.09
چگالی توده ای (g/cm ³) Bulk density	شاهانی Shahani	4	0.47	0.53	0.51	0.03
	خاصویی Khassui	3	0.58	0.60	0.59	0.01
تخلخل (%) Porosity	شاهانی Shahani	4	46.53	53.46	49.02	3.14
	خاصویی Khassui	3	43.64	45.79	44.43	1.18
میانگین هندسی قطر (mm) Geometric mean diameter	شاهانی Shahani	100	23.17	30.99	27.20	1.52
	خاصویی Khassui	100	18.24	22.31	19.98	0.80
ضریب کروی Sphericity factor	شاهانی Shahani	100	0.53	0.63	0.58	0.02
	خاصویی Khassui	100	0.72	0.82	0.77	0.02
سطح رویه (mm ²) Top level	شاهانی Shahani	100	1686.74	3016.95	2332.41	259.01
	خاصویی Khassui	100	1044.70	1563.55	1255.58	100.88

میزان کربوهیدرات خرما می‌تواند در مراحل مختلف رشد تا مرحله تمار^۱ از حدود ۸۶٪ - ۴۴٪ تغییر کند (Vayalil, 2012). بیشترین میزان فیبر در هسته رقم خاصویی (۲۶/۲٪) و کمترین میزان فیبر در گوشته رقم خاصویی (۱/۳۹٪) مشاهده شد. در گزارشی میزان فیبر خوراکی برخی واریته‌های خرما بین ۶/۲۶ تا ۸/۴۴ درصد برآورد شده است (AL- Farsi et al., 2008). براساس مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین میزان چربی مربوط به هسته رقم شاهانی (۹/۲٪) و کمترین میزان چربی مربوط به گوشته رقم خاصویی (۰/۴۹٪) بود. بر اساس گزارشات میزان چربی میوه خرما کم است. میزان آن از ۰/۵ درصد در مرحله کیمری تا ۰/۱ درصد در مرحله تمار متغیر است. عموماً چربی در پوست میوه موجود است. اهمیت چربی بیشتر از اینکه از لحاظ تغذیه‌ای باشد از جهت محافظت از میوه است (AL- Farsi et al., 2008). هسته رقم شاهانی بیشترین میزان پروتئین کل (۲/۵۵٪) و گوشته رقم شاهانی کمترین میزان پروتئین کل (۰/۱٪) را داشتند. میزان پروتئین خرما حدود یک تا هفت درصد گزارش شده است (AL- Farsi et al., 2008).

نتیجه‌گیری

نتیجه آزمایشات فیزیکی نشان داد؛ میانگین جرم، حجم، طول، عرض، ضخامت و سطوح تصویر شده، تخلخل، میانگین هندسی قطر، مساحت و سطح رویه خرماي شاهانی بیشتر از خاصویی بود. در بین ارقام مورد بررسی گوشته، رقم شاهانی بیشترین میزان خاکستر، فیبر، اسید قابل تیترو چربی را داشت و گوشته رقم خاصویی بیشترین میزان رطوبت، قند، pH، فنول کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و پروتئین کل را داشت. در مقایسه هسته‌ها، هسته رقم شاهانی از لحاظ خاکستر، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنول کل، چربی، pH و پروتئین کل بیشترین میزان را به خود اختصاص داد؛ در حالی که هسته رقم خاصویی بیشترین میزان فیبر، رطوبت، اسید قابل تیترو قند را نشان داد. در مجموع، هسته‌ی رقم شاهانی قدرت بازدارندگی DPPH بیشتری در بین همه‌ی نمونه‌ها داشت.

اسیدهای آلی غالب در میوه خرما، اسید مالیک و اسید سیتریک هستند (Mortazavi et al., 2006). افزایش غلظت اسیدهای آلی، تولید و تجمع این اسیدها تحت کنترل ژن بوده و مقدار این ترکیبات نه تنها بین گونه‌ها، بلکه بین ارقام مختلف یک گونه نیز متفاوت است. بواسطه کاهش میزان اسیدها طی رسیدن میوه، طعم و بوی خرما و در طول نگهداری، رشد میکروارگانیسم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Elleuch et al., 2008). بیشترین میزان اسیدیته مربوط به گوشته رقم شاهانی با ۵۹/۰ درصد و کمترین میزان اسیدیته مربوط به هسته رقم شاهانی با ۲۷/۰ درصد بود. مقدار معمول pH میوه خرما حدود ۵/۳ تا ۶/۳ است (Barrevel, 1993). هسته رقم شاهانی بیشترین (۶/۱۱) و گوشته رقم شاهانی کمترین (۵/۰۲) pH را داشتند. مواد فنولی از ترکیبات مؤثره خرماسست که میزان آنها به عوامل درونی شامل جنس، گونه، رقم و عوامل بیرونی شامل شرایط محیطی، جابجایی و انبارداری بستگی دارد (Balasundram et al., 2006). پژوهشگران با بررسی ضرائب همبستگی بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنولی بیان کردند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی با مقدار فنول کل همبستگی معنی‌دار مثبت دارد (Bakhshi & Arakawa, 2006). بیشترین میزان غلظت مواد فنولی بر حسب گالیک اسید در هسته رقم شاهانی (۱۰/۸mg/gFW) و کمترین غلظت آن را در گوشته رقم شاهانی (۷/۱۴mg/gFW) مشاهده شد. همچنین هسته رقم شاهانی، بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۷۲٪ بازدارندگی) و گوشته رقم شاهانی کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۸/۵۵٪ بازدارندگی) را از خود نشان دادند. گزارشات مختلف در مورد فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه خرما در نقاط مختلف دنیا مانند (Biglari et al., 2008) ایران، (Allaith, 2008) بحرین، (Corrales-Garcia et al., 2004) آمریکا و (Mansouri et al., 2005) الجزایر اشاره کردند که تفاوت میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی هسته ارقام مختلف خرماي ایران و سایر کشورها را می‌توان به تأثیر عوامل مختلفی مانند رقم، شرایط رشد، مرحله بلوغ، منشأ جغرافیایی، کوددهی، نوع خاک، شرایط انبارداری و میزان دریافت نور خورشید و فاکتورهای دیگر نسبت داد. خرما نه تنها به‌عنوان منبع طبیعی آنتی‌اکسیدان به شمار می‌رود بلکه به‌دلیل فعالیت بالای فنولیک اسید به‌عنوان بهبود دهنده طعم و رنگ در صنعت استفاده می‌شود. بیشترین میزان قند در گوشته رقم خاصویی (۶۳/۸٪) و کمترین در هسته رقم شاهانی (۸/۵٪) مشاهده شد. رقم خاصویی نسبت به رقم شاهانی کربوهیدرات بیشتری داراست. نتایج این پژوهش با یافته‌های عزیزالهی مطابقت داشت (Azizollahi, 2011).

میزان بالایی از کاهش قند (به خصوص گلوکز و فروکتوز) همراه با کاهش در ساکارز رخ می‌دهد.

۱- مرحله‌ای که میوه خرما به بالاترین میزان مواد جامد، شیرینی و پایین‌ترین میزان سفتی و قابضیت، رنگ تیره‌ی قهوه‌ای، بافت نرم و ظاهری چروکیده می‌رسد و

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی ارقام خرما شاهانی و خاصویی
Table 2- Chemical properties of Shahani and Khassui date cultivars

ارقام خرما Date cultivars	رطوبت Moisture(%)	خاکستر Ash(%)	پی اچ pH	اسید مالیک Malic acid (%)	گالیک اسید (mg/gFW) Gallic acid	بازدارندگی inhibition of DPPH (%)	قند کل Tsu (%)	فیبر کل Fiber (%)	چربی Fat (%)	پروتئین TP (%)
خاصویی Khassui	18.7	1.32	5.74	0.41	8.10	13.0	63.8	1.39	0.49	0.29
خاصویی Khassui	5.26	2.09	5.67	0.38	9.55	70.5	15.8	26.2	7.52	1.90
شاهانی Shahani	15.6	1.64	5.02	0.59	7.14	8.55	61.9	1.78	0.85	0.10
شاهانی Shahani	4.20	3.17	6.11	0.27	10.8	72.0	8.50	16.6	9.20	2.55

میزان مشارکت

زهره خداکرمی فرد: مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، تحلیل رسمی، روش‌شناسی، مدیریت پروژه، نظارت، نوشتن - بررسی و ویرایش، حنان لشکری: تأمین مالی، تحقیق و بررسی، منابع، نرم‌افزار، اعتبارسنجی، تجسم، نوشتن - پیش‌نویس اصلی.

منابع تأمین مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی از سازمان‌های تأمین مالی در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرد.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تعارض منافی ندارند.

References

1. Afshari Jouybari, H., & Farahnaky, A. (2011). The effects of acetic acid and sodium chloride solutions on accelerated ripening of Mazafati date. *Journal of Food Research*, 21(2), 219-227.
2. Zarbakhsh, S., & Rastegar, S. (2015). Assessment of physicochemical properties and bioactive compound of date fruit (*Phoenix dactylifera*) in two cultivars, "Piarom" and "Zahedi". *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 14(1), 177-186. <https://doi.org/10.22067/iftstr.v14i1.60214>
3. Al-Farsi, M.A., & Lee, C.Y. (2008). Nutritional and functional properties of dates: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(10), 877-887. <https://doi.org/10.1080/10408390701724264>
4. Al-Shahib, W., & Marshall, R.J. (2003). The fruit of the date palm: its possible use as the best food for the future? *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54(4), 247-259. <https://doi.org/10.1080/09637480120091982>
5. Allaith, A.A.A. (2008). Antioxidant activity of Bahraini date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit of various cultivars. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(6), 1033-1040. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01558.x>
6. Amira, E.A., Guido, F., Behija, S.E., Manel, I., Nesrine, Z., Ali, F., Mohamed, H., Noureddine, H.A., & Lotfi, A. (2011). Chemical and aroma volatile compositions of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits at three maturation stages. *Food Chemistry*, 127(4), 1744-1754. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.051>
7. AOAC, B.A.M. (1990). Association of official analytical chemists. *Official Methods of Analysis*, 12.
8. Azizollahi, F. (2011). *Investigating the biochemical changes of date fruit ripening in common cultivars of Khuzestan province* Chamran University of Ahvaz.
9. Bakhshi, D., & Arakawa, O. (2006). Effects of UV-B irradiation on phenolic compound accumulation and antioxidant activity in Jonathan apple influenced by bagging, temperature and maturation. *International Journal of Food, Agriculture and Environment* (Print), 4(1), 75-79.
10. Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191-203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>
11. Barreveld, W. (1993). Date palm products. *FAO agricultural services bulletin*, 101.
12. Biglari, F., AlKarkhi, A.F., & Easa, A.M. (2008). Antioxidant activity and phenolic content of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Iran. *Food Chemistry*, 107(4), 1636-1641. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.033>

13. Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2), 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
14. Brand-Williams, W., Cuvelier, M.-E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
15. Cheraghi Dehdezi, S., & Hamdami, N. (2012). Effect of storage at different temperatures on moisture content, total soluble solids, acidity and pH of dates (Kabkab variety). *Journal of Food Research*, 22(2), 131-140.
16. Corrales-Garcia, J., Peña-Valdivia, C.B., Razo-Martínez, Y., & Sánchez-Hernández, M. (2004). Acidity changes and pH-buffering capacity of nopalitos (*Opuntia* spp.). *Postharvest Biology and Technology*, 32(2), 169-174. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.11.008>
17. DuBois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
18. Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C., Deroanne, C., Drira, N.-E., & Attia, H. (2008). Date flesh: Chemical composition and characteristics of the dietary fibre. *Food Chemistry*, 111(3), 676-682. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.036>
19. Hasnaoui, A., Elhoumaizi, A., Hakkou, A., Wathelet, B., & Sindic, M. (2011). Physico-chemical characterization, classification and quality evaluation of date palm fruits of some Moroccan cultivars. *Journal of Scientific Research*, 3(1). <https://doi.org/10.3329/jsr.v3i1.6062>
20. Hosseini, Z. (2005). *Common methods in food analysis* (Fifth ed.). Shiraz University Press. P: 210
21. Mansouri, A., Embarek, G., Kokkalou, E., & Kefalas, P. (2005). Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food Chemistry*, 89(3), 411-420. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.051>
22. Mortazavi, S.M.H., Arzani, K., & Barzegar, M. (2006). The effect of vacuum packaging and changed atmospheric conditions on the shelf life and quality of date fruit (*Phoenix dactylifera* L.), Barhi variety. *Scientific Journal of Agriculture*, 29(3). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.736.45>
23. Rastegar, S. (2015). Compare physico-chemical and nutritional properties of some date (*Phoenix dactylifera*) palm varieties. *Tropical Agriculture*, 92(3).
24. Vayalil, P.K. (2012). Date fruits (*Phoenix dactylifera* Linn): an emerging medicinal food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(3), 249-271. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.499824>
25. Waterhouse, A.L. (2002). Determination of total phenolics. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 6(1), I1. 1.1-I1. 1.8.

Production of Whey Protein Concentrate Smart Film Containing Pomegranate and Red Grape Anthocyanin and Zinc Oxide Nanoparticles: Physicochemical and Structural Characteristics

E. Taghizadeh¹, M. Alizadeh Khaled abad^{2*}, H. Hassanzadeh^{3**}

1 and 2- Graduated M.Sc. and Professor, Department of Food Science and Technology, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: m.alizadeh@urmia.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Food Science and Hygiene, Ilam University, Ilam, Iran

(** - Corresponding Author Email: h.hassanzadeh@ilam.ac.ir)

Received: 30.10.2023
Revised: 24.12.2023
Accepted: 17.01.2024
Available Online: 20.01.2024

How to cite this article:

Taghizadeh, E., Alizadeh Khaled abad, M., & Hassanzadeh, H. (2024). Production of whey protein concentrate smart film containing pomegranate and red grape anthocyanin and zinc oxide nanoparticles: physicochemical and structural characteristics. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(4), 417-431. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.84940.1289>

Introduction

Edible films and coatings are suitable for fresh, semi-processed foods, and also for processed fruits and vegetables because they can increase their shelf life, protect them from the activity of microorganisms, and ultimately improve their nutritional and sensory value. In addition, edible films and coatings are able to transfer compounds that may have been added to improve the performance of the coating film and better preserve the product or have benefits for the consumer. The present research was conducted with the aim of investigating the structural physicochemical properties of whey protein concentrate smart film containing pomegranate and red grape anthocyanins and zinc oxide nanoparticles.

Material and Method

To prepare nano composite film, 10 grams of whey protein concentrate powder was added to 90 ml of distilled water. At the beginning of the production of the film, the pH was adjusted to pH = 8 with the help of 0.1 normal soda, and in order to better dissolve the isolate, the solution was heated for 30 minutes at 80 degrees Celsius to ensure denaturation. It was then placed on a magnetic stirrer. After cooling the solution, pomegranate and red grape anthocyanins were added to the solution separately according to the statistical plan. The solution was then homogenized for 10 minutes at 13,000 rpm, and finally zinc oxide nanoparticles were added to the solution according to the statistical plan and homogenized on a magnetic stirrer for 10 minutes, and then in an ultrasound bath to disperse for 10 minutes. In the next step, glycerol was added to the 40% of the weight of the dry substance and placed on a rotating magnetic stirrer without heat for 15 minutes. The formed solution was aerated for 10 minutes and 25 ml of it was poured in the center of the plate (8 cm). Then the film was dried in the oven at 38 degrees Celsius and the control film was produced. After preparing the films, the color of the film samples was determined by measuring the color components L* (lightness), a* (red/green) and b* (yellow/blue) using a Hunterlab colorimeter. The thickness of the films was measured by a digital micrometer with an accuracy of 0.001 mm at 10 random points of each film. Finally, humidity, solubility and FTIR measurement tests were also performed for the prepared films. The preparation of whey protein concentrate smart composite film was investigated based on two variables: red grape anthocyanin/pomegranate anthocyanin percentage and copper oxide nanoparticle percentage. Each of which was investigated in five levels and the response surface methodology



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.84940.1289>

(RSM) of the central composite design was used. A total of 24 composite films were prepared and their physical and chemical properties were investigated. Also, after analyzing the data, the optimal movies were checked based on optimization and utility function by 11 Design expert statistical software.

Results and Discussion

By increasing the amount of anthocyanin and zinc oxide nanoparticles, the thickness of the layers increased up to the middle point (0.58-0.89 mm), and the largest increase in thickness was observed in samples with 1.5 cc of anthocyanin and 2% of zinc oxide nanoparticles. Also, films with low concentrations of anthocyanin (0.1-4 cc) and a high percentage of the selected range of zinc oxide (0.2-0.7%) show the highest percentage of solubility. The added zinc oxide nanoparticles increased the solubility of the films. FTIR analysis showed that the interactions between whey concentrate and anthocyanins were probably responsible for the changes in the properties of the composite layers. The utility function for each response was estimated by numerical methods and the general utility function was obtained for the optimal samples of red grape and pomegranate. For the optimal pomegranate, the obtained results include the amount of anthocyanin equal to 2.6 cc, zinc oxide nanoparticles 0.6 (weight/volume), solubility 65.37, thickness 0.64 mm, indices a, L and bwere. 27.88 0.24 and -2.01, respectively. Finally its total desirability has been reported as 0.58. The utility function for each answer was estimated by numerical methods and the general utility function was obtained for the optimal samples of red grapes such as the optimal pomegranate. For the optimal grape film samples, the obtained results include: the amount of anthocyanin equal to 1.38 cc, 3.4 zinc oxide nanoparticles (weight/volume), solubility 59.83%, thickness 0.83 mm, a, L and b indices were 27.03, 7.05 and 1.92 respectively and, its total desirability was 0.63.

Keywords: Edible film, Grape anthocyanin, Pomegranate anthocyanin, Whey protein concentrate, Zinc oxide nanoparticles

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۳، ص. ۴۳۱-۴۱۷

تولید فیلم هوشمند کنسانتره پروتئین آب پنیر حاوی آنتوسیانین انار و انگور قرمز و نانو ذرات اکسید روی: بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ساختاری

ابراهیم تقی زاده^۱ - محمد علیزاده خالدآباد^{۲*} - حامد حسن زاده^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷

چکیده

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی هوشمند برای غذاهای تازه و نیمه فرآیند شده و میوه‌ها و سبزی‌های فرآیند شده مناسب بوده و عمر ماندگاری آن‌ها را از طریق کنترل فعالیت میکروارگانیسم‌ها افزایش داده و سبب بهبود ارزش تغذیه‌ای و حسی آنها می‌شوند. تحقیق حاضر با هدف بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ساختاری فیلم هوشمند کنسانتره پروتئین آب پنیر حاوی آنتوسیانین انار و انگور قرمز و نانو ذرات اکسید روی انجام شد. با افزایش مقدار آنتوسیانین و نانوذرات اکسید روی تا نقطه میانی ضخامت لایه‌ها افزایش یافته (۵۸/۸۹ - ۰/۰ میلی‌متر) و بیشترین افزایش ضخامت در نمونه‌هایی با ۱/۵ سی‌سی آنتوسیانین و ۲ درصد نانوذرات اکسید روی مشاهده شد. همچنین فیلم‌های با غلظت‌های پایین از آنتوسیانین (۴-۰/۱ سی‌سی) و درصد بالایی از محدوده انتخابی از اکسید روی (۲/۷-۰/۰ درصد)، بیشترین درصد حلالیت را از خود نشان می‌دهند. نانو ذرات اکسید روی افزوده شده موجب افزایش انحلال‌پذیری فیلم‌ها شدند. تجزیه و تحلیل FTIR نشان داد که برهمکنش بین کنسانتره آب پنیر و آنتوسیانین‌ها احتمالاً مسئول تغییرات در خواص لایه‌های کامپوزیت است. به‌طوری کلی مشخص شد که پیک‌های مختلف مشاهده شده برهمکنش‌های الکترواستاتیکی بین پروتئین کنسانتره آب پنیر و عصاره انار و انگور را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین انار، آنتوسیانین انگور، فیلم خوراکی، کنسانتره پروتئین آب پنیر، نانو ذره اکسید روی

مقدمه

و عملکردی آن‌ها بر توسعه پلیمرهای مبتنی بر نفت تأثیر گذاشته است. محبوبیت پلاستیک‌ها در نیمه دوم قرن بیستم به‌طور قابل توجهی افزایش یافت، تا زمانی که به‌دلیل قیمت نسبتاً پایین، مقاومت مکانیکی، قابلیت آب‌بندی حرارتی، تطبیق‌پذیری شکل و درجه سختی، بر بازار بسته‌بندی مواد غذایی تسلط یافتند. با این حال، سوخت‌های فسیلی تجدیدناپذیر و عمدتاً غیرقابل تجزیه بوده و تنها در ایالات متحده، سالانه بیش از ۳۲ میلیون تن پلاستیک دور ریخته می‌شود (Dasgupta et al., 2019).

بازیافت به‌دلیل مشکلات فنی و اقتصادی محدود است. در واقع، کمتر از ۳ درصد از زباله‌های پلاستیکی در سراسر جهان بازیافت می‌شود.

در سال‌های اخیر، دلیل اصلی تغییر در فناوری بسته‌بندی مواد غذایی، افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای غذاهایی است که کمترین فرآوری را پشت سر گذاشته‌اند (Amit et al., 2017). با این حال، عملکرد اصلی آن‌ها جدا کردن غذا از محیط، کاهش قرار گرفتن در معرض عوامل فساد (به‌عنوان مثال، میکروارگانیسم‌ها، اکسیژن، بخار آب و طعم‌های غیر طبیعی) و جلوگیری از از بین رفتن ترکیبات مطلوب (مانند مواد فرار) طعم و افزایش عمر ماندگاری مواد غذایی می‌باشد (Otoni et al., 2017). مواد پلیمری طبیعی مانند پنبه، چوب، ابریشم، پشم و چرم برای قرن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند و خواص ساختاری

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(Email: m.alizadeh@urmia.ac.ir)
(*) نویسنده مسئول:

۳- استادیار، گروه بهداشت و صنایع غذایی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
(Email: h.hassanzadeh@ilam.ac.ir)
(**) نویسنده مسئول:

شوند. علاوه بر این، سوزاندن آن‌ها می‌تواند ترکیبات سمی، مانند فوران‌ها و دیوکسین‌های تولید شده از سوختن پلی‌وینیل کلراید تولید کند (Ahmed et al., 2018). پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر که از منابع تجدیدپذیر به جای منابع فسیلی هستند، لزوماً زیست‌تخریب‌پذیر نیستند. پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن احتمالاً قابل تجدید هستند، زیرا مونومرهای آنها را می‌توان از اتانول مشتق کرد (Otani et al., 2017). مواد ایده‌آل برای جایگزینی پلیمرهای معمولی باید هم تجدیدپذیر و هم زیست‌تخریب‌پذیر باشند.

پلی‌ساکاریدها و پلی‌پتیدها این الزامات را برآورده می‌کنند و خواص تشکیل فیلم خوبی دارند (Diblan et al., 2020). بیشتر پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها نیز خوراکی هستند و می‌توانند به‌عنوان ماتریس یا شبکه برای فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی استفاده شوند که قرار است همراه با غذا خورده شوند (Thulasisingh et al., 2021). از سوی دیگر، مواد زیست‌تخریب‌پذیر لزوماً خوراکی نیستند. فیلم‌های خوراکی باید فقط دارای اجزای غذایی در ترکیبات خود باشند که شامل نه تنها ماتریس تشکیل فیلم و حلال، بلکه نرم‌کننده‌ها و سایر افزودنی‌ها را نیز شامل می‌شود (Fathiraja et al., 2021).

کاروتنوئیدها، که بیشترین مورد مطالعه در مورد رنگدانه‌های طبیعی غذایی می‌باشند، رنگدانه‌های لیوفیلی هستند که مسئول رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز غذاهای گیاهی (به‌عنوان مثال ذرت، انگور، انبه هندی، گوجه‌فرنگی، هندوانه) و رنگ قرمز برخی از ماهی‌ها هستند. آنتوسیانین‌ها رنگدانه‌های محلول در آب هستند که مسئول رنگ‌های قرمز، آبی و بنفش در میوه‌ها، سبزیجات و نوشیدنی‌ها (توت فرنگی، گیلاس، زغال اخته، کلم قرمز و بادمجان و شراب قرمز) هستند (Rodriguez-Amaya et al., 2019). فلاونوئیدها دسته مهمی از محصولات طبیعی هستند که اهمیت آن‌ها در گیاهان غیرقابل چشم‌پوشی می‌باشد. این مواد دارای ساختار پلی‌فنولیک می‌باشند که به‌طور گسترده در میوه‌ها و سبزیجات یافت می‌شوند. این ترکیبات دارای اثرات بیوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی مفید در رابطه با بیماری‌هایی مانند آلزایمر و آترواسکلروزیس می‌باشند (Panche et al., 2016). زیرا علاوه بر داشتن رنگ زیبا و درخشان، شواهد نشان می‌دهد که فلاونوئیدها نقش کلیدی در کاهش خطر ابتلا به بیماری دارند (Wang et al., 2018). نتایج اخیر نشان می‌دهد مصرف ترکیبات حاوی آنتوسیانین در سلامتی مصرف‌کننده مؤثر است (Díaz- García et al., 2015).

ترکیبات فلاونوئیدی موجود در انار نقش مهمی در سلامتی انسان دارند. در سال‌های اخیر برخی از قابلیت‌های بالقوه این ترکیبات در کاهش کلسترول LDL ممانعت از لخته شدن خون و حفاظت از سلول‌ها در برابر انواع سرطان‌ها موضوع تحقیق بسیاری از محققین شده است (Pala & Toklucu, 2011).

آنتوسیانین‌ها تنها ترکیبات فنولیکی نیستند که این اثرات را دارند بلکه سایر ترکیبات فنولیکی پوست و دانه انار نیز چنین اثراتی را از خود نشان می‌دهند. روغن دانه انار بر سرطان خون مؤثر می‌باشد. در تحقیقات مختلف نشان داده شده است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های آبی انار نسبتاً پائین ولی فعالیت ضد جهش‌زایی نسبتاً بالایی دارند در حالی که عصاره‌های متانولی عکس این حالت را نشان دادند (Jafari et al., 2017). همچنین محققین نشان داده‌اند که آنتوسیانین‌ها نقش مهمی در فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه انار ایفا می‌کنند. آب انار تجاری در مقایسه با شراب قرمز و چای سبز فعالیت آنتی‌اکسیدانی بسیار قوی از خود نشان می‌دهد. به‌طوری‌که فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن دو برابر شراب قرمز و ۳ برابر چای سبز می‌باشد (Abdellatif et al., 2017).

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی فعال برای غذاهای تازه و نیمه‌فرآیند شده و میوه‌ها و سبزی‌های فرآیند شده مناسب بوده و عمر ماندگاری آنها را از طریق کنترل فعالیت میکروارگانیسم‌ها افزایش داده و سبب بهبود ارزش تغذیه‌ای و حسی آنها می‌شوند. علاوه بر فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی قادر به انتقال ترکیباتی هستند که این ترکیبات ممکن است جهت بهبود عملکرد فیلم با پوشش و حفظ بهتر محصول به آن افزوده شده باشند یا سودی برای مصرف‌کننده داشته باشند. به‌عنوان مثال، ترکیبات زیست‌فعال آن کپسوله شده و محصولات جدیدی با خواص عملکردی جدید را گسترش داده‌اند که می‌توانند سلامت مصرف‌کننده را ارتقا دهند (Misra et al., 2021).

پروتئین‌های حبوبات، به‌دلیل ساختار و ترکیب شیمیایی که دارند، فیلم‌هایی با خواص ممانعتی خوب در برابر اکسایش، عطر و طعم و روغن‌ها تشکیل می‌دهند. این فیلم‌ها و پوشش‌ها در رطوبت‌های نسبی پایین عملکردی مشابه فیلم‌های سنتزی با خصوصیات عالی از خود نشان می‌دهند. خاصیت آب دوستی پروتئین‌ها سبب افزایش نفوذپذیری فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی نسبت به بخار آب شده است. افزایش پیوندهای پروتئینی (مانند زنجیره‌هایی با پیوندهای عرضی) می‌تواند نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها را کاهش دهد. استفاده از فیلم‌های خوراکی در بسته بندی فرآورده‌های غذایی مستلزم آن است که فیلم‌ها خواص کاربردی (خواص مکانیکی، بازدارندگی در برابر گازها و رطوبت و خواص حرارتی) مطلوبی داشته باشند. نفوذپذیری مواد مورد استفاده برای بسته‌بندی فرآورده‌های غذایی یکی از مسائل بسیار اساسی است که باید مورد بررسی قرار گیرد (Liu et al., 2021). جهت غلبه بر این مشکل در فیلم‌ها می‌توان از روش‌هایی مانند استفاده از فیلم‌های مرکب و نانو کامپوزیت، بهینه‌سازی شرایط تولید فیلم‌ها، اصلاح ساختار زیست‌بسپارها کمک گرفت. از طرف دیگر پروتئین‌ها یک محیط مستعد برای رشد میکروارگانیسم‌ها محسوب می‌شوند؛ که برای غلبه بر این مشکل

پتاسیم برمید خشک، کلسیم نیترات، متانول، کلسیم سولفات، پتاسیم سولفات، تری کلرواستیک اسید، آمونیوم تیوسینات از شرکت مرک (آلمان) و فنل فتالین از شرکت بایوکم (فرانسه) تهیه شدند.

روش تهیه فیلم‌ها

جهت تهیه فیلم نانو کامپوزیت، ۱۰ گرم پودر کنسانتره پروتئین آب پنیر (با درجه خلوص ۹۰ درصد) به ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. در آغاز تولید فیلم قبل از بالا رفتن دمای محلول تولیدی pH را به کمک سود ۰/۱ نرمال روی ۸ pH تنظیم کرده و جهت حل شدن بهتر ایزوله، این مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه و با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد جهت اطمینان از دنا تراسیون بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. بعد از سرد شدن محلول، آنتوسیانین انار و انگور قرمز (خریداری شده از شرکت پیشگامان شیمی) به صورت جداگانه مطابق طرح آماری به محلول اضافه شدند. سپس با استفاده از دستگاه هموژنایزر (I9D ۱۲) شرکت هایدولف، آلمان) محلول به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۱۳۰۰۰ هموژن می‌گردد و سپس نانو ذره اکسید روی طبق طرح آماری را به محلول اضافه شده و به مدت ۱۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی همگن شده و بعد در حمام اولتراسوند جهت پخش شدگی به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. در مرحله بعد افزودن گلیسرول به میزان ۴۰ درصد وزن ماده خشک و به مدت ۱۵ دقیقه روی همزن مغناطیسی دارای چرخش و بدون حرارت قرار گرفت. محلول شکل گرفته به مدت ۱۰ دقیقه هواگیری و ۲۵ میلی‌لیتر از آن در مرکز پلیت (۸ سانتی‌متر) ریخته شد. سپس فیلم در داخل آون در دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد خشک و فیلم شاهد تولید شد. پس از خشک شدن در شرایط ثابت برای همه تیمارها، فیلم از سطح پلیت جدا و مورد ارزیابی قرار گرفت (Momeni et al., 2023; Taghizadeh et al., 2023).

خواص رنگی

رنگ نمونه‌های فیلم از طریق اندازه‌گیری مؤلفه‌های رنگی L^* (روشنایی^۱)، a^* (قرمزی/سبزی) و b^* (زردی/آبی) با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج هانتربل (Minolta model CR-410, Tokyo, Japan) تعیین شد. نمونه‌ها بر روی صفحه سفید استاندارد قرار گرفته و میزان رنگ با استفاده از پارامترهای هانتر بصورت ۳ نقطه از هر فیلم مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و میانگین داده‌ها گزارش شد. اختلاف رنگ کلی^۲ (ΔE)، اندیس زردی^۳ (YI) و اندیس سفیدی^۴ (WI) نیز به صورت زیر محاسبه شدند (Jahed et al., 2017; Hosseini et al., 2023).

می‌توان از روش‌هایی همچون افزودن ترکیباتی با خاصیت ضد میکروبی به فیلم‌ها استفاده کرد.

نانوذرات اکسیدهای فلزی در طیف گسترده‌ای بعنوان عامل ضد میکروبی در ظروف نگهداری و بسته‌بندی، مواد افزودنی و مکمل‌های غذایی در صنایع غذایی بکار می‌روند. از مزایای استفاده از نانوذرات اکسیدهای معدنی در علوم پزشکی، وجود عناصر معدنی می‌باشد که در مقیاس نانو خواص بهتری را از خود نشان می‌دهند. نانوذرات اکسید روی از جمله اکسیدهای فلزی است که به دلیل خواص گسترده مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند. اکسید روی یکی از ترکیبات روی می‌باشد که توسط وزارت غذا و داروی آمریکا به عنوان یک ماده بی‌خطر شناخته شده است. هم چنین از نمک‌های روی در درمان کمبود روی در بدن استفاده می‌شود. نانوذرات اکسید روی خاصیت ضدباکتریایی مؤثری را نسبت به طیف گسترده‌تری از باکتری‌ها از خود نشان داده است. از جمله پاتوژن‌های مهم مواد غذایی /شرشیاکلی و /استافیلوکوکوس /اورئوس می‌باشند (Nasiri et al., 2014).

ایفمالیندا و همکاران (Ifmalinda et al., 2023) به بررسی ویژگی‌های فیلم خوراکی از نشاسته ذرت با گلیسرول اضافی و تغییرات نانوذرات اکسید روی (ZnO) پرداختند. این مطالعه با هدف شناسایی اثرات تغییرات در خواص غلظت نانوذرات اکسید روی فیلم‌های خوراکی ساخته شده از نشاسته ذرت (*Zea mays* L.) و ایجاد غلظت بهینه نانوذرات اکسید روی انجام شده است. غلظت ZnO از ۰ تا ۳ تا ۹ تا ۱۲ درصد استفاده شد. نتایج نشان داد که غلظت ۱۲ درصد درمان بهینه را برای خواص فیلم خوراکی فراهم می‌کند. با افزودن غلظت ۱۲٪ ZnO، خواص فیلم خوراکی در این تحقیق بیشترین بهبود را نشان داد که ۸۱٫۹۴٪ مقاومت در برابر آب، ۱٫۴۳۴ MPa استحکام کششی و ۳۸٫۴۶٪ درصد کشیدگی را نشان داد. کمترین ارزش زیست‌تخریب پذیری در فیلم خوراکی با غلظت ZnO ۱۲ درصد طی ۱۴ روز مشاهده شد. مقاومت، استحکام کششی و درصد کشیدگی لایه خوراکی با افزایش محتوای ZnO افزایش می‌یابد. با توجه به حساسیت آنتوسیانین‌ها به pH و تغییر رنگ آنها در pH های مختلف هدف اصلی این تحقیق شامل طراحی یک فیلم هوشمند بر پایه کنسانتره آب پنیر برای تشخیص فساد مواد غذایی در تحقیقات آتی و همچنین بهینه سازی فرمولاسیون فیلم‌های تولید شده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

برای انجام آزمون FTIR از اسپکتروفتومتر Nexus-670 Thermo Nicolet ساخت کشور آمریکا استفاده شد. برای این آزمون حدود ۲ میلی گرم نمونه بصورت دستی آسیاب شده و با نسبت ۱:۱۰۰ با KBr مخلوط شده و توسط پرس به قرصی با ضخامت حدود ۱ میلی متر تبدیل شد. آزمون اسپکتروسکوپی FTIR پودر کیتوزان و نمونه های فیلم در محدوده ۴۰۰۰ الی ۵۰۰ cm⁻¹ و با تفکیک پذیری ۶۴ cm⁻¹ انجام گرفت.

$$WS(\%) = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100 \quad (5)$$

طرح آماری

تهیه فیلم مرکب هوشمند کنسانتره پروتئین آب پنیر بر اساس دو متغیر درصد آنتوسیانین انگور قرمز/آنتوسیانین انار و درصد نانو ذره اکسید مس مورد بررسی قرار گرفت. که هر کدام در پنج سطح مورد بررسی قرار گرفت و از روش سطح پاسخ طرح مرکب مرکزی (از دو طرح مرکب مرکزی درصد آنتوسانتین انگور قرمز و درصد نانو ذرات اکسید روی و طرح مرکب مرکزی درصد آنتوسانتین انار و درصد نانو ذرات اکسید روی) استفاده شد که طبق جدول ۱ مجموعاً ۲۴ فیلم مرکب تهیه شده و مورد بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی قرار گرفتند. همچنین بعد از آنالیز داده ها، فیلم های بهینه بر اساس بهینه سازی و تابع مطلوبیت توسط نرم افزار آماری ۱۱ Design expert بررسی شد.

جدول ۱- آزمایشات حاصل از طرح مرکب مرکزی برای فاکتورهای انتخاب شده

Table 1- Experiments from the central composite design for the selected factors

شماره آزمایش Run	غلظت اکسید روی ZnO (W/V)	غلظت آنتوسیانین Anthocyanins (%)
1	2	1.5
2	4	1.5
3	0.6	2.6
4	2	1.5
5	0	1.5
6	2	1.5
7	0.6	0.4
8	3.4	2.6
9	2	0
10	2	1.5
11	2	3
12	3.4	0.4

نتایج و بحث

ضخامت فیلم های تولید شده

ضخامت فیلم های تهیه شده جهت بسته بندی مواد غذایی یکی از عوامل مهم بر عمر ماندگاری مواد غذایی بوده و بر محتوی بسته

(۱)

$$\Delta E = [(L_{Standard} - L_{Sample})^2 + (a_{Standard} - a_{Sample})^2 + (b_{Standard} - b_{Sample})^2]^{0.5}$$

$$YI = \frac{142.86b_{sample}}{L} \quad (2)$$

$$WT = 100 - [(100 - L_{Sample})^2 + a_{sample}^2 + b_{sample}^2]^{0.5} \quad (3)$$

ضخامت فیلم

ضخامت فیلم ها به وسیله میکرومتر دیجیتالی (Japan, Co-) Mitutoyo) با دقت ۰/۰۰۱ میلی متر در ۱۰ نقطه تصادفی از هر فیلم اندازه گیری شد. میانگین ضخامت نقاط مختلف هر فیلم در محاسبات خواص مکانیکی و نفوذپذیری به بخار آب مورد استفاده قرار گرفت (Razmjoo et al., 2020).

رطوبت

نمونه هایی از فیلم با ابعاد ۲۰×۲۰ میلی متر تهیه شد و در دسیکاتور حاوی سولفات کلسیم (RH=۰) به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت پس از توزین اولیه نمونه ها به دسیکاتور حاوی محلول اشباع نیتريت کلسیم (RH=۵۵) منتقل شده و در دمای ۲۵-۲۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. سپس وزن نمونه ها در زمان های مختلف تا رسیدن به وزن ثابت اندازه گیری شده و میزان جذب رطوبت از معادله (۴) محاسبه شد.

$$Wt - Wo / Wo \times 100 = \text{جذب رطوبت} \quad (4)$$

W وزن نمونه پس از زمان t در درصد، RH=۵۵ و W وزن اولیه نمونه ها می باشد (Mileriene et al., 2021).

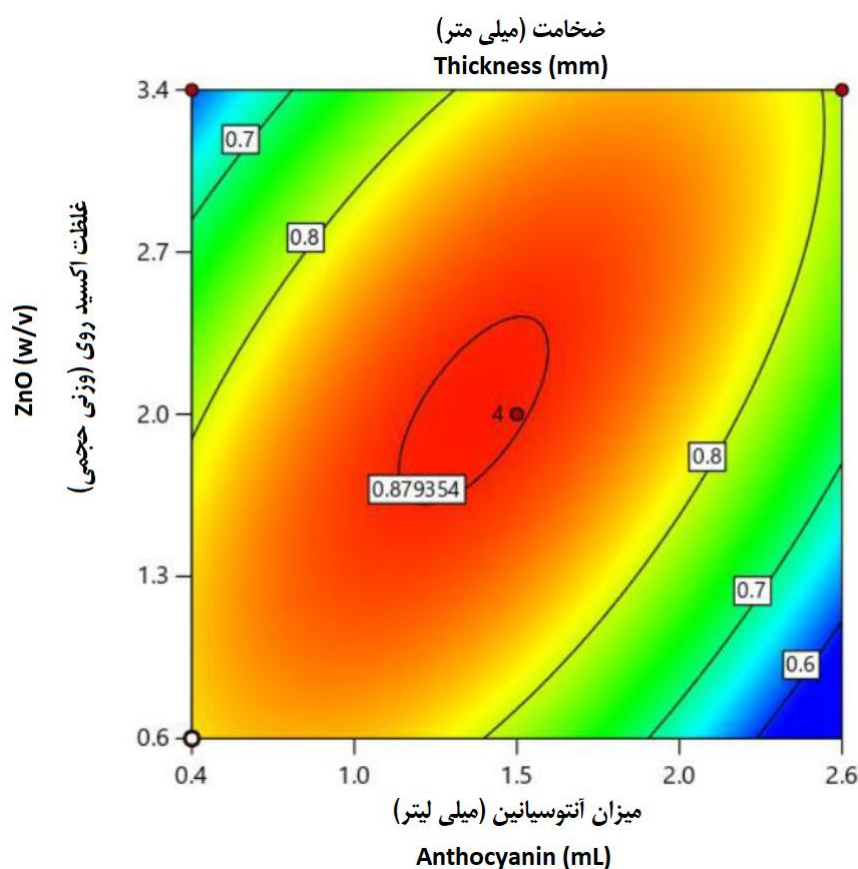
حلالیت در آب

نمونه های فیلم در ابعاد ۳×۳ cm برش داده شد و برای رسیدن به وزن خشک اولیه به مدت ۳ ساعت در آون ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. سپس نمونه های فیلم پس از توزین (Mi) داخل ۵۰ میلی لیتر آب مقطر غوطه ور شدند و ظروف در حالی که به صورت مقطعی همزده می شدند، در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس نمونه های فیلم از داخل آب خارج و به مدت ۶ ساعت در آون ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند تا به وزن ثابت برسند. با توزین دوباره نمونه ها وزن خشک نهایی (Mf) بدست آمد. درصد حلالیت در آب از رابطه زیر محاسبه گردید (Abdollahi et al., 2012).

آزمون طیف سنجی FTIR

دنبال افزودن اکسید روی می‌تواند به اندازه بسیار کوچک نانو ذرات باشد که به راحتی درون حفره‌های موجود در شبکه پروتئینی فیلم جای می‌گیرند (Pino et al., 2021). از سوی دیگر الحاق عصاره آنتوسیانین غلیظ به نمونه‌های فیلم باعث افزایش قابل توجهی در ضخامت لایه های خوراکی می‌شود که می‌توان آن را به برهمکنش بین آنتوسیانین‌ها به‌عنوان مولکول‌های فعال زیستی با پروتئین‌ها نسبت داد. این نوع از فعل و انفعالات می‌توانند پیوندهای هیدروژنی تشکیل دهند و با افزایش غلظت آنتوسیانین، یک شبکه فیلم با محتوای جامد بیشتری تولید کنند. افزایشی بر ضخامت نمونه‌ها دارد.

مستقیماً اثر می‌گذارد. در این تحقیق ضخامت نمونه فیلم‌های تهیه شده بر اساس روش تشریح شده در مواد و روش‌ها، محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌طور کلی، تأثیر اصلی عوامل مورد مطالعه بر ضخامت لایه‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود ($p < 0.05$)، مطابق شکل ۱ با افزایش مقدار آنتوسیانین و نانوذرات اکسید روی تا نقطه میانی ضخامت لایه‌ها افزایش یافته (۵۸/۸۹ - ۰/۰ میلی‌متر) و بیشترین افزایش ضخامت در نمونه‌هایی با ۱/۵ سی‌سی آنتوسیانین و ۲ درصد نانوذرات اکسید روی مشاهده شد (۰/۸۷ میلی‌متر) افزایش ضخامت لایه‌های تولید شده به



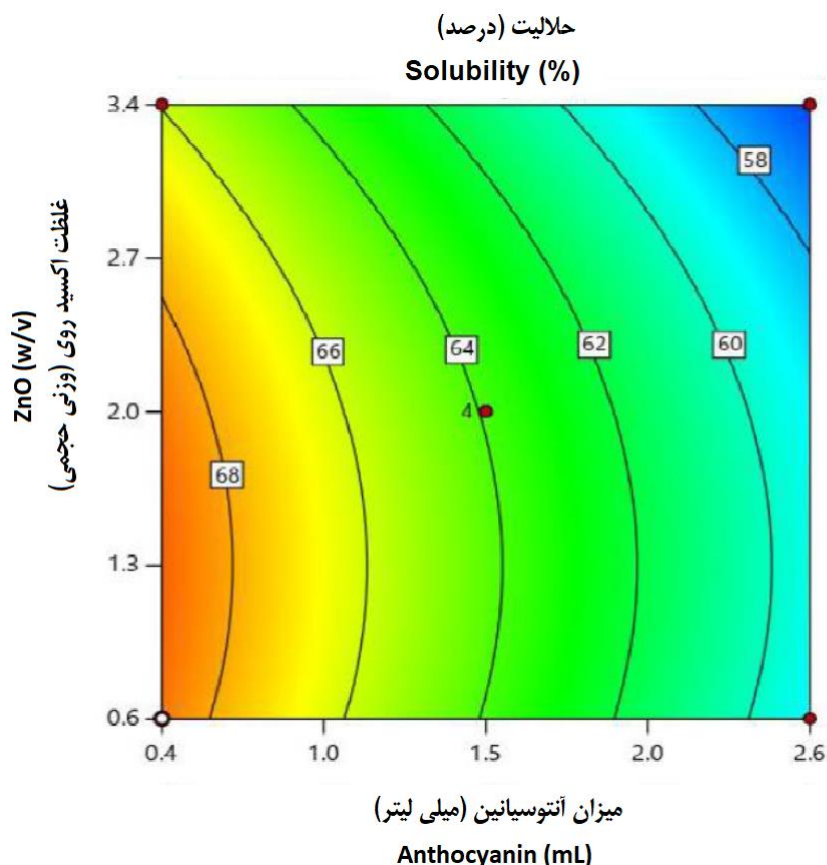
شکل ۱- کانتور پلات تأثیر فاکتورهای آنتوسیانین (انگور و انار) و نانو ذرات اکسید روی بر روی ضخامت فیلم

Fig. 1. Contour plot of the effect of anthocyanin factors (grape and pomegranate) and zinc oxide nanoparticles on film thickness

در شکل ۲ قابل مشاهده می‌باشد. به‌طوری‌که در غلظت‌های پایینی از آنتوسیانین (۴-۱ سی‌سی) و درصد بالایی از محدوده انتخابی از اکسید روی (۷-۲/۰ درصد)، فیلم‌های بیشترین درصد حلالیت را از خود نشان می‌دهند.

درصد حلالیت فیلم‌های تولید شده در آب

قابلیت انحلال در آب، یکی از خصوصیات مورد مطالعه در فیلم‌های خوراکی است. در بعضی از موارد ضروری است که فیلم طوری طراحی شود که تا قبل از مصرف آن قابلیت انحلال در آب را داشته باشد. طبق نتایج حاصله، پارامترهای مؤثر در مدل بر روی درصد حلالیت فیلم‌ها اثر معنادار دارند ($P < 0.05$). نتیجه برهمکنش آنتوسیانین و اکسید روی



شکل ۲- کانتور پلات تأثیر فاکتورهای آنتوسیانین (انگور و انار) و نانو ذرات اکسید روی بر روی درصد حلالیت فیلم
Fig. 2. Contour plot of the effect of anthocyanin factors (grape and pomegranate) and zinc oxide nanoparticles on the solubility percentage of the film

حلالیت یک عامل قابل توجه و مهم برای ایجاد فیلم‌های خوراکی است که ظرفیت جذب آب فیلم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد و استفاده از آنها را محدود می‌کند (Moghadam et al., 2021). درصد حلالیت برای فیلم‌های فعال تولید شده نشان می‌دهد که از حدود ۵۸ در فیلم‌های با غلظت بالای آنتوسیانین به ۶۸ درصد در فیلم‌های با کمترین میزان آنتوسیانین مصرفی تغییر می‌کند که می‌تواند به دلیل ماهیت آبدوست آنتوسیانین‌ها در غلظت‌های پایین باشد. متافخوری و همکاران (Matta Fakhouri et al., 2019) رفتار مشابهی در اندازه‌گیری درصد حلالیت فیلم‌ها گزارش کرده‌اند که در آن فیلم‌های فعال چند منظوره با ترکیب عصاره پوست آلو سیاه غنی از آنتوسیانین در فیلم‌های مبتنی بر کیتوزان مورد مطالعه قرار گرفتند. علاوه بر این، موسو و همکاران (Musso et al., 2019) تأثیر عصاره الکلی و آبی کلم قرمز را بر حلالیت فیلم‌های هوشمند مبتنی بر ژلاتین ارزیابی کردند و دریافتند که محتوای آنتوسیانین بیشتر در عصاره الکلی و خواص آبدوست آن باعث می‌شود فیلم در آب حل شود. در واقع انحلال‌پذیری، سنجش مقاومت فیلم‌ها نسبت به آب است یکی از مهم‌ترین نقش‌های

فیلم‌های خوراکی کاهش تبادل رطوبت بین فرآورده غذایی و محیط و جلوگیری از خروج آب ماده غذایی است (Moghadam et al., 2021). نانو ذرات اکسید روی افزوده شده موجب افزایش انحلال‌پذیری فیلم‌ها شدند که علت آن می‌تواند قرار گرفتن ذرات نانو در فضای بین رشته‌های پروتئینی در شبکه فیلم و تخریب ساختار شبکه باشد. همچنین در سطوح بالاتر نانو ذرات احتمال به هم چسبیدن آن‌ها افزایش یافته و به علت قرار گرفتن ذرات درشت داخل شبکه احتمال نفوذ آب درون آن بیشتر می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، فیلم‌های حاوی نانو ذرات اکسید با درصد بالا روی نسبت انحلال‌پذیری بیشتری داشتند که علت آن قطبیت این ذرات و جذب بیشتر مولکول‌های آب توسط آن‌ها و در نتیجه نفوذ بیشتر آب درون شبکه است. لی و همکاران (Li et al., 2011) گزارش کردند که افزودن درصد کمی ۰/۲۵ تا ۱ از نانو ذرات اکسید تیتانیوم به فیلم پروتئینی تهیه شده از ایزوله پروتئینی آب پنیر سبب مقدار اندکی کاهش در انحلال‌پذیری فیلم‌ها می‌شود؛ اما مقادیر بالاتر (حدود ۲ اثر معنی‌داری نسبت به فیلم حاوی صفر درصد نانو ذرات اکسید تیتانیوم ایجاد نمی‌کند. در مقادیر

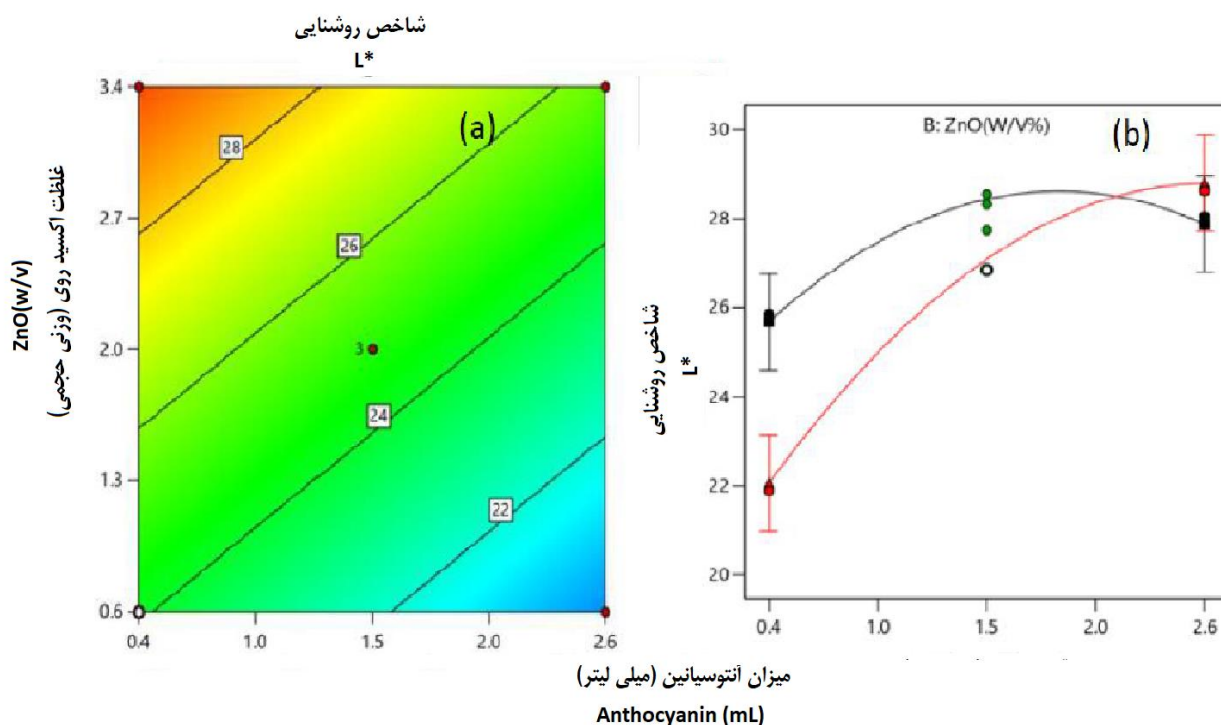
شاخص‌های روشنایی (L) قرمزی (a) و زردی (b) تغییرات روشنایی فیلم

تغییرات مربوط به شاخص‌های رنگ فیلم‌ها می‌تواند تابعی از ترکیبات افزودنی به فیلم باشد که در این تحقیق اثر آنتوسیانین و نانو ذرات اکسید روی مصرفی در تهیه فیلم در شکل ۳ آورده شده است. نتایج گویای اثر معناداری منابع تغییر بر روی شاخص روشنایی در مدل بدست آمده می‌باشد ($p < 0.05$). به‌طوری‌که اثر هر یک از عوامل اثر متقابل و اثر درجه دوم آنتوسیانین بر روی شاخص رنگی مذکور معنادار می‌باشند ($p < 0.05$). به‌طوری‌که با افزایش مقدار آنتوسیانین و اکسید روی مصرفی بر مقدار روشنایی فیلم تهیه شده کاسته شده است نتایج اثر برهمکنش و خطی فاکتورهای مذکور در شکل ۳ آمده است. شکل ۳ b گویا این است که در درصدهای بالای اکسید روی، آنتوسیانین اثر افزایشی داشته و در غلظت‌های پایین آن اثر افزایشی داشته است.

بالتر نانو ذرات انحلال‌پذیری فیلم‌ها نسبت به فیلم شاهد افزایش می‌یابد. عدم تطابق نتایج بدست آمده می‌تواند به دلیل اختلاف در اندازه ذرات باشد، چرا که هر چه اندازه ذرات نانو درشت‌تر باشد، تخریب شبکه پروتئینی با شدت بیشتری اتفاق افتاده و جذب آب و انحلال بیشتر می‌شود. یکی دیگر از عوامل احتمالی دمای خشک کردن فیلم است؛ از آنجائی‌که فیلم‌های تهیه شده از ایزوله پروتئین آب پنیر نسبت به پروتئین‌های دیگر نیاز به دمای کمتری برای خشک شدن دارند، کمتر واسرشت شده و ساختمان پروتئینی آنها کمتر تخریب می‌شود و بنابراین انحلال‌پذیری آنها ممکن است نسبتاً کاهش یابد.

تغییرات رنگی فیلم‌ها

مشخصات رنگی فیلم‌های خوراکی از عوامل مهم در انتخاب محصول توسط مشتری است و ترکیبات به کار رفته و فرآیند ساخت بستگی دارد. در این تحقیق شاخص قرمزی (a)، شاخص روشنایی (L) و شاخص زردی (b) فیلم‌ها بررسی و نتایج به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۳- اثر برهمکنش آنتوسیانین (انگور و انار) و نانو ذرات اکسید روی و منحنی (a)، اثر خطی فاکتورهای مورد مطالعه بر شاخص رنگی L فیلم‌ها (b)

Fig. 3. The interaction effect of anthocyanin (grape and pomegranate) and zinc oxide nanoparticles and the curve (a), the linear effect of the studied factors on the color index L of the films (b)

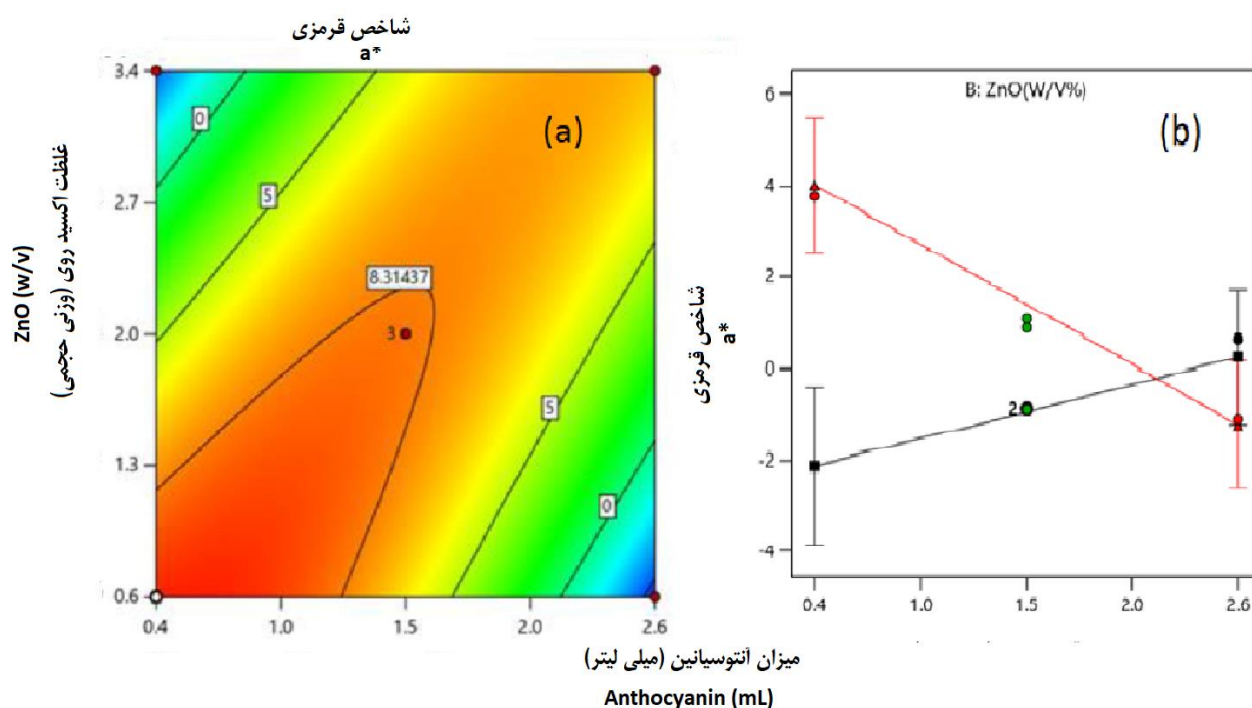
تغییرات شاخص قرمزی فیلم

مطابق با نتایج تغییرات قرمزی فیلم، اثر متقابل و آنتوسیانین و نانوذرات اکسید روی بر روی شاخص قرمزی فیلمها معنادار می‌باشد ($p < 0.05$). نتایج برهمکنش (قسمت الف) و خطی (قسمت ب) فاکتورهای مورد مطالعه بر روی شاخص قرمزی فیلمها در شکل ۴ نشان داده شده است. به‌طوری‌که میزان قرمزی فیلم با افزایش مقدار آنتوسیانین و افزایش درصد نانوذره اکسید روی بر مقدار شاخص قرمزی فیلمها کاسته می‌شود ($p < 0.05$). مطابق با نتایج برهمکنش قسمت الف شکل ۴، بیشترین میزان قرمزی در محدوده میانی فاکتورهای مورد مطالعه دیده می‌شود و قسمت ب شکل نیز نشان می‌دهد که در درصدهای بالایی از نانوذرات اکسید روی، آنتوسیانین اثری کاهشی بر روی میزان قرمزی داشته و در درصدهای پایینی از نانوذرات اکسید روی، بر افزایش قرمزی اثر معنادار دارد.

تغییرات زردی فیلمها

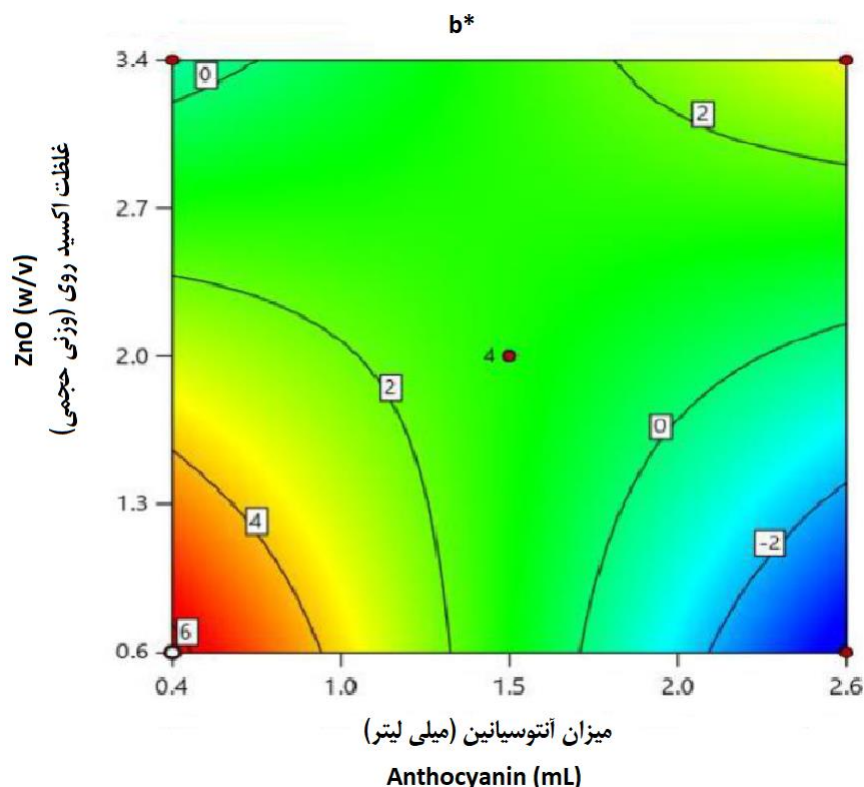
بر اساس نتایج تغییرات قرمزی فیلم، اثر متقابل و درجه دوم آنتوسیانین و نانوذرات اکسید روی بر روی شاخص زردی فیلمها معنادار

می‌باشد ($p < 0.05$). نتایج برهمکنش فاکتورهای مورد مطالعه بر روی شاخص زردی فیلمها در شکل ۵ نشان داده شده است. به‌طوری‌که میزان زردی فیلم با افزایش مقدار آنتوسیانین و افزایش درصد ذره اکسید روی، بر مقدار شاخص زردی فیلمها کاسته می‌شود ($p < 0.05$). مطابق با نتایج برهمکنش بیشترین میزان زردی در قسمت ابتدایی منحنی مربوط به اثر فاکتورهای مورد مطالعه دیده می‌شود. در تبیین نتایج تغییرات رنگی فیلمها می‌توان گفت که خصوصیات رنگی فیلمهای مورد استفاده برای بسته‌بندی فرآورده‌های غذایی از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا رنگ اولین فاکتوری است که مصرف کننده از محصول درک می‌کند و از این رو تأثیر مستقیم بر جذابیت محصول و پذیرش آن از طرف مصرف‌کننده دارد (Velásquez et al., 2021). در بسیاری از محصولات مصرف‌کنندگان تمایل دارند رنگ واقعی فرآورده غذایی درون بسته را مشاهده نمایند و یا از تازگی آن اطمینان حاصل کنند. از طرف دیگر ماهیت فرآورده غذایی و میزان حساسیت آن نسبت به نور تا اندازه‌ای در انتخاب ماده مورد استفاده برای بسته‌بندی تأثیرگذار است.



شکل ۴- اثر برهمکنش آنتوسیانین (انگور و انار) و نانوذرات اکسید روی و منحنی (a)، اثر خطی فاکتورهای مورد مطالعه بر شاخص رنگی a فیلمها (b)

Fig. 4. The interaction effect of anthocyanin (grape and pomegranate) and zinc oxide nanoparticles and the curve (a), the linear effect of the studied factors on the color index a of the films (b)



شکل ۵- منحنی برهمکنش آنتوسیانین انگور و انار و نانو ذرات اکسید روی بر شاخص رنگی b فیلم

Fig. 5. The interaction curve of anthocyanin (grape) and (pomegranate) and zinc oxide nanoparticles on the color index b* of the film

از طرفی نانو ذرات به علت مسدود کردن منافذ موجود در فیلم میزان نور عبوری از فیلم‌ها کاهش می دهند و مقدار پرتو عبوری با افزایش سطح هر یک از نانو ذرات کاهش بیشتری را نشان می‌دهد، بنابراین افزودن نانو ذرات سبب افزایش کدورت فیلم‌ها شده و این تغییر برای هر دو نوع نانو ذره مورد استفاده صادق است. طبق گزارش نتایجی مشابه محققان عنوان کردند فیلم کامپوزیتی کیتوزان حاوی نانو ذرات نقره کدورت بیشتری نسبت به فیلم شاهد داشته است و بیان کردند که کاهش شفافیت فیلم‌های پروتئینی تهیه شده از کیتوزان حاوی نانوذرات نقره کدورت بیشتری را در مقایسه با سایر نانو ذرات افزوده شده، در شرایط یکسان تولید نشان دادند و علت آن را ناهمگن بودن این فیلم‌ها و تمایل بیشتر نانو ذرات نقره برای چسبیدن به هم مطرح کردند (Rhimi et al., 2006).

بهینه‌سازی و مطلوبیت

بهینه‌سازی و مطلوبیت با آنتوسیانین انار

یکی از اهداف این مطالعه تعیین مقادیر بهینه متغیرهای وابسته برای تولید فیلم حاوی آنتوسیانین‌های انگور و انار بوده است. برای بهینه

برخی از محصولات حساس به نور باید درون بسته‌های تیره‌تری بسته‌بندی شوند تا از تغییر رنگ آن‌ها در برابر نور جلوگیری شود. فیلم پروتئینی تولید شده از کنسانتره آب پنیر رنگی قهوه‌ای داشته و افزودن نانو ذره اکسید روی و آنتوسیانین سبب در رنگی فیلم‌ها شد یکی از دلایل آن می‌تواند به هم چسبیدن نانو ذرات اکسید روی در غلظت‌های بالا و تجمع پروتئین‌ها در اطراف این توده‌ها باشد که سبب تیره شدن رنگ فیلم شده است (Solano-Doblado et al., 2020). در بین فیلم‌های تهیه شده از نانو ذرات اکسید روی فیلم‌های حاوی کمترین درصد بهترین خصوصیات را از نظر روشنی داشتند یا به عبارتی غنی سازی محلول تشکیل فیلم با مقادیر مختلف عصاره آنتوسیانین کدورت را افزایش داد که ممکن است به دلیل مقدار آنتوسیانین برای رنگ‌های قرمز بنفش و آبی در گیاهان موجود در عصاره مسئول باشد (Hanani et al., 2019). از سوی دیگر در خصوص روند کاهشی روشنائی (مقدار L) می‌توان گفت از آنجایی که آنتوسیانین‌ها می‌توانند مانع انتقال نور شوند و می‌توانند نور را پراکنده کنند، کدورت با افزودن عصاره غنی از آنتوسیانین به فیلم‌های هوشمند افزایش می‌یابد. ماهیت تیرگی رنگ ذرات نانو اکسید روی خود می‌تواند در ایجاد تیرگی و کاهش روشنائی مؤثر باشد.

نتایج FTIR

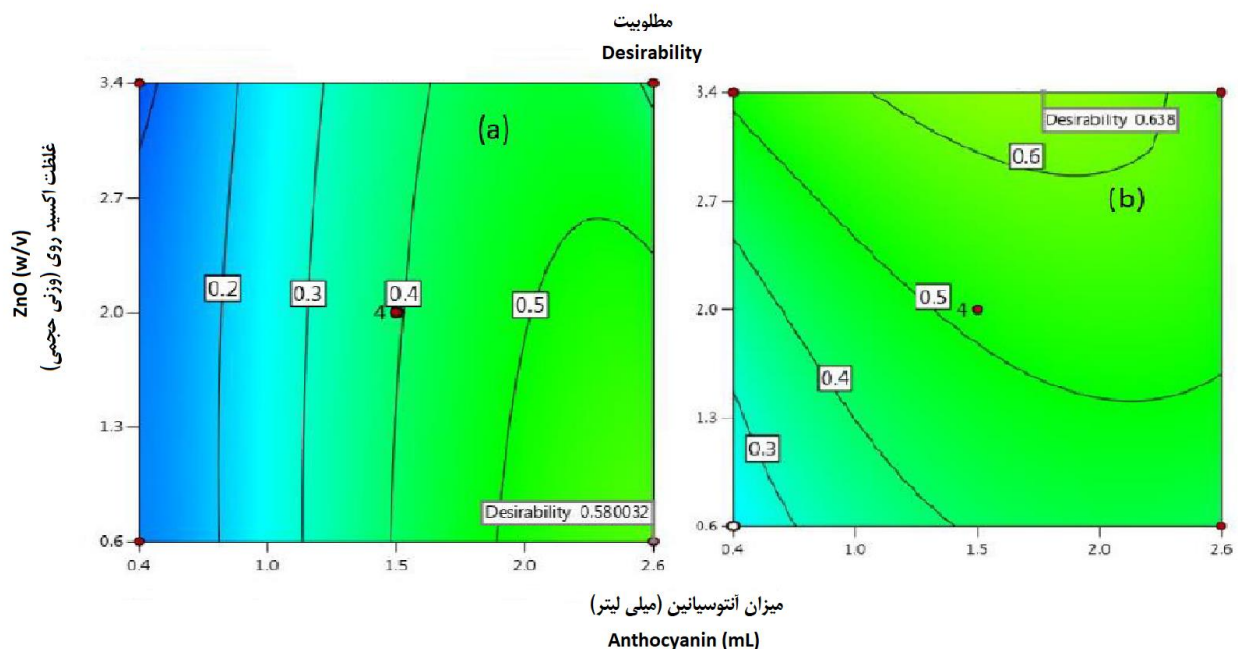
در طیف‌های FTIR نشان داده شده در شکل ۷، خاص‌ترین نوارهای جذب پروتئین‌ها را می‌توان شناسایی کرد، به‌عنوان مثال، نوارهای مربوط به آمید نوع اول ($C=O$; ν CN) و همچنین آمید نوع دوم ($N-H$; $0\ C-N$) به‌ترتیب در $1640\ cm^{-1}$ و $1500\ cm^{-1}$ پیوند می‌یابد پیک‌های دیگر در منطقه بین $1500\ cm^{-1}$ و $700\ cm^{-1}$ وجود داشت که می‌تواند به اسیدهای چرب و کربوهیدرات‌های موجود در WPI نسبت داده شود (Koehler et al., 2019).

با افزایش محتوای $n-ZnO$ در فیلم کامپوزیت هیچ تغییری در باندها مشاهده نشد که شواهد احتمالی از برهمکنش بین ماتریس و پرکننده/ست (Saedi et al., 2021). در محدوده طیفی بین ۳۰۰۰ تا ۳۶۰۰، پیک جذب اصلی به گروه‌های آزاد و محدود $O-H$ و $N-H$ به تمام پروتئین‌ها نسبت داده می‌شود. در حالت کلی در طول موج ۳۴۰۰ نانومتر مربوط به ارتعاش کشش پیوند $C-HR$ می‌باشد. فاصله بین عددهای ۲۷۰۰ تا ۳۷۰۰ مربوط به جذب هیدروژن است. گروه‌های NH در ۱۵۷۰ و ۳۳۵۰ از خود موج جذب نشان می‌دهند. به‌طوری کلی مشخص شد که پیک‌های مختلف مشاهده شده برهمکنش‌های الکترواستاتیکی بین پروتئین کنسانتره آب پنیر و عصاره انار و انگور را نشان می‌دهند.

سازی از روش تابع مطلوبیت استفاده شد. تابع مطلوبیت برای هر پاسخ با روش‌های عددی تخمین زده شد و تابع مطلوبیت کلی برای نمونه-های بهینه انار و انگور قرمز به‌دست آمد. برای بهینه انار نتایج بدست آمده شامل مقدار آنتوسیانین برابر $2/6$ سی‌سی، نانوذرات اکسید روی $0/6$ (وزنی/حجمی)، حلالیت $65/37$ ضخامت $0/64$ میلی‌متر، شاخص های a و b به‌ترتیب $27/88$ ، $0/24$ و $-2/01$ بدست آمد. در نهایت میزان مطلوبیت کل آن نیز $0/58$ بدست آمد (شکل a ۶).

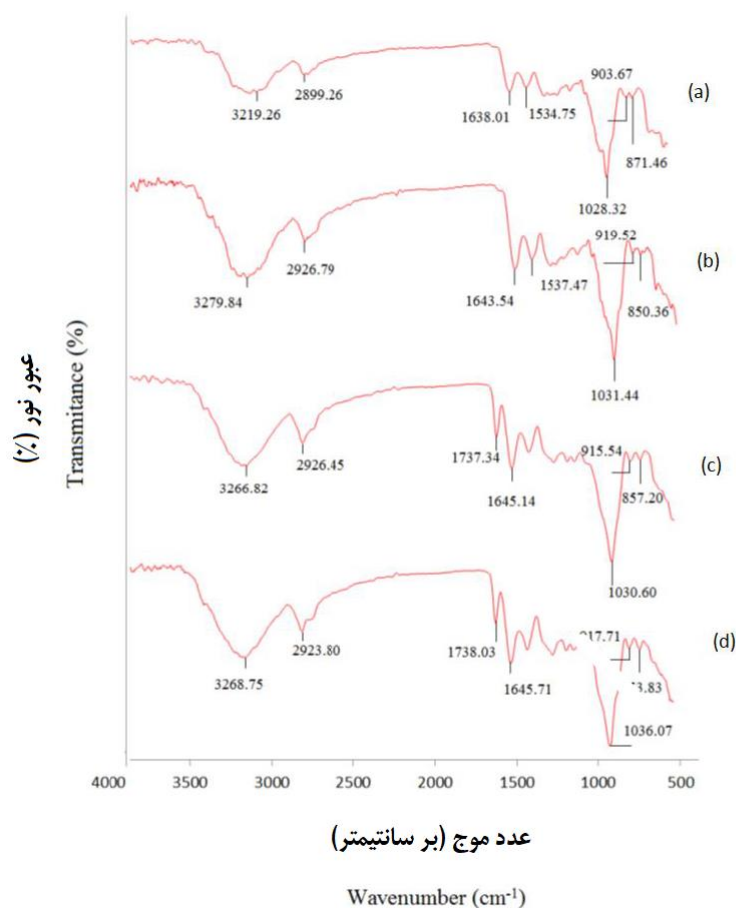
بهینه‌سازی و مطلوبیت با آنتوسیانین انگور

تابع مطلوبیت برای هر پاسخ با روش‌های عددی تخمین زده شد و تابع مطلوبیت کلی برای نمونه‌های بهینه انگور قرمز مانند بهینه انار به دست آمد. برای نمونه‌های فیلم بهینه انگور نتایج بدست آمده شامل: مقدار آنتوسیانین برابر $1/38$ سی‌سی نانوذرات اکسید روی $3/4$ (وزنی/حجمی)، حلالیت $59/83\%$ ، ضخامت $0/83$ میلی‌متر، شاخص های a و b به‌ترتیب $27/03$ ، $7/05$ و $1/92$ بدست آمد. در نهایت میزان مطلوبیت کل آن نیز $0/63$ بدست آمد (شکل b ۶).



شکل ۶- تابع مطلوبیت مربوط به نمونه با آنتوسیانین انار (a) و نمونه با آنتوسیانین انگور (b)

Fig. 6. The desirability of the sample with pomegranate anthocyanin (a) and the sample with grape anthocyanin (b)



شکل ۷- نتایج آزمون FTIR: نمونه شاهد (a)، نمونه ماکزیم انار (b)، نمونه بهینه انار (c) و نمونه بهینه انگور (d)
Fig. 7. FTIR test results: control sample (a), maximum pomegranate sample (b), optimal pomegranate sample (c) and optimal grape sample (d)

استفاده در غلظت‌های مناسب دارند. مطالعات بیشتر می‌تواند اثرات افزودن ترکیبات فوق به کنسانتره آب پنیر را بر خواص بیولوژیکی (مانند آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی) فیلم‌های آب پنیر بررسی کند.

میزان مشارکت

ابراهیم تقی زاده: تحقیق و بررسی، مدیریت پروژه و روش‌شناسی
محمد علیزاده خالدآباد: مدیریت داده‌ها، نظارت و نوشتن- بررسی
و ویرایش، حامد حسن زاده: نرم‌افزار، نوشتن-پیش‌نویس اصلی و منابع

منابع تأمین مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات بر روی فیلم تولیدی نشان می‌دهد که افزایش غلظت آنتوسیانین و نانو ذرات اکسید روی باعث افزایش معنادار در ضخامت و کاهش معنادار در میزان حلالیت فیلم‌های تولیدی گردید. از لحاظ خصوصیات رنگی افزودن آنتوسیانین و نانو ذرات اکسید روی باعث زردی و قهوه‌ای شدن فیلم‌های تولید گردید. نتایج بهینه‌سازی و مطلوبیت نیز نشان داد که فیلم بهینه تهیه شده از آنتوسیانین انگور قرمز بیشترین مطلوبیت (۰/۶۳) را در مقایسه با فیلم بهینه انار (۰/۵۸) بدست آورد. غلظت‌های بالاتر آنتوسیانین‌ها و نانو ذرات نیز بر مورفولوژی سطح لایه‌ها تأثیر منفی گذاشت. تجزیه و تحلیل FTIR نشان داد که برهمکنش بین کنسانتره آب پنیر و آنتوسیانین‌ها احتمالاً مسئول تغییرات در خواص لایه‌های کامپوزیت است. به‌طور کلی، این مطالعه نشان داد که آنتوسیانین‌ها و نانو ذرات اکسید روی پتانسیل استفاده برای تهیه فیلم‌های بر پایه کنسانتره آب پنیر فعال زیستی با خواص فیزیکیوشیمیایی بهبود یافته را در صورت

References

1. Abdellatif, A.A., Alawadh, S.H., Bouazzaoui, A., Alhowail, A.H., & Mohammed, H.A. (2020). Anthocyanins rich pomegranate cream as a topical formulation with anti-aging activity. *Journal of Dermatological Treatment*, 1-8. <https://doi.org/10.1080/09546634.2020.1721418>
2. Abdollahi, M., Rezaei, M., & Farzi, G. (2012). Improvement of active chitosan film properties with rosemary essential oil for food packaging. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 847-853. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02917.x>
3. Ahmed, T., Shahid, M., Azeem, F., Rasul, I., Shah, A.A., Noman, M., & Muhammad, S. (2018). Biodegradation of plastics: Current scenario and future prospects for environmental safety. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(8), 7287-7298. <https://link.springer.com/article/10.1007/S11356-018-1234-9>
4. Amit, S.K., Uddin, M.M., Rahman, R., Islam, S.R., & Khan, M.S. (2017). A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agriculture & Food Security*, 6(1), 1-22. <https://link.springer.com/article/10.1186/s40066-017-0130-8>
5. Dasgupta, N., Ranjan, S., & Gandhi, M. (2019). Nanoemulsions in food: market demand. *Environmental Chemistry Letters*, 17(2), 1003-1009. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-019-00856-2>
6. Diblan, S., Erdem, B.G., & Kaya, S. (2020). Sorption, diffusivity, permeability and mechanical properties of chitosan, potassium sorbate, or nisin incorporated active polymer films. *Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 3708-3719. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-020-04403-8>
7. Díaz- García, M.C., Castellar, M.R., Obón, J.M., Obón, C., Alcaraz, F., & Rivera, D. (2015). Production of an anthocyanin- rich food colourant from *Thymus moroderi* and its application in foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1283-1293. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6821>
8. Fathiraja, P., Gopalrajan, S., Karunanithi, M., Nagarajan, M., Obaiah, M.C., Durairaj, S., & Neethirajan, N. (2021). Response surface methodology model to optimize concentration of agar, alginate and carrageenan for the improved properties of biopolymer film. *Polymer Bulletin*, 1-27. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00289-021-03797-5>
9. Hanani, Z.N., Yee, F.C., & Nor-Khaizura, M.A.R. (2019). Effect of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel powder on the antioxidant and antimicrobial properties of fish gelatin films as active packaging. *Food Hydrocolloids*, 89, 253-259. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.007>
10. Hosseini, M., Hassanzadeh, H., & Miri, P. (2023). Investigating the physicochemical and mechanical properties of edible active films based on gelatin containing essential oils of thyme, oregano and sage. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.22069/FPPJ.2023.21472.1768>
11. Ifmalinda, I., Kurnia, S.A., & Cherie, D. (2023). Characteristics of edible film from corn starch (*Zea mays* L.) with additional glycerol and variations of zinc oxide (ZnO) nanoparticles. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 7(3), 272-285. <https://doi.org/10.55043/jaast.v7i3.87>
12. Jafari, S.M., Ghalenoei, M.G., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.070>
13. Jahed, E., Khaledabad, M.A., Almasi, H., & Hasanazadeh, R. (2017). Physicochemical properties of *Carum copticum* EO loaded chitosan films containing organic nanoreinforcements. *Carbohydrate Polymers*, 164, 325-338. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.022>
14. Koehler, J., Wallmeyer, L., Hedtrich, S., Goepferich, A.M., & Brandl, F.P. (2017). pH-modulating poly (ethylene glycol)/alginate hydrogel dressings for the treatment of chronic wounds. *Macromolecular bioscience*, 17(5), 1600369. <https://doi.org/10.1002/mabi.201600369>
15. Li, Y., Jiang, Y., Liu, F., Ren, F., Zhao, G., & Leng, X. (2011). Fabrication and characterization of TiO2/whey protein isolate nanocomposite film. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1098-1104. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.10.006>
16. Liu, C. , Jin, T. , Liu, W. , Hao, W. , Yan, L. , & Zheng, L. (2021). Effects of hydroxyethyl cellulose and sodium alginate edible coating containing asparagus waste extract on postharvest quality of strawberry fruit. *LWT*, 111770. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111770>
17. Matta Fakhouri, F., Nogueira, G.F., de Oliveira, R.A., & Velasco, J.I. (2019). Bioactive edible films based on arrowroot starch incorporated with cranberry powder: Microstructure, thermal properties, ascorbic acid content and sensory analysis. *Polymers*, 11(10), 1650. <https://doi.org/10.3390/polym11101650>
18. Mileriene, J., Serniene, L., Henriques, M., Gomes, D., Pereira, C., Kondrotiene, K., & Malakauskas, M. (2021). Effect of liquid whey protein concentrate-based edible coating enriched with cinnamon carbon dioxide extract on the quality and shelf life of Eastern European curd cheese. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1504-1517. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18732>

19. Misra, S., Pandey, P., & Mishra, H.N. (2021). Novel approaches for co-encapsulation of probiotic bacteria with bioactive compounds, their health benefits and functional food product development: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 340-351. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.039>
20. Moghadam, M., Salami, M., Mohammadian, M., & Emam-Djomeh, Z. (2021). Development and characterization of pH-sensitive and antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with echium amoenum anthocyanins. *Journal of Food Measurement*, 15(4), 2984-2994. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-021-00872-3>
21. Momeni, R., Hosseini, M., Hassanzadeh, H., & Saifi, T. (2024). production of antimicrobial active edible film based on gelatin containing *Salvia officinalis* essential oil: physical, mechanical, antioxidant and antimicrobial properties. *Food Research Journal*, 33(4), 29-43. <https://doi.org/10.22034/FR.2023.56857.1877>
22. Musso, Y.S., Salgado, P.R., & Mauri, A.N. (2019). Smart gelatin films prepared using red cabbage (*Brassica oleracea* L.) extracts as solvent. *Food Hydrocolloids*, 89, 674-681. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.036>
23. Nasiri, M., & Tamdan, M. (2014). Investigating the antimicrobial properties of zinc oxide nanoparticles synthesized with the help of ultrasonic waves. *Yazd Health Dawn*, 13(4), 115-128.
24. Otoni, C.G., Avena-Bustillos, R.J., Azeredo, H.M., Lorevice, M.V., Moura, M.R., Mattoso, L.H., & McHugh, T.H. (2017). Recent advances on edible films based on fruits and vegetables—a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 1151-1169. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>
25. Pala, Ç.U., & Toklucu, A.K. (2011). Effect of UV-C light on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(6), 790-795. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.003>
26. Panche, A., Diwan, A., & Chandra, S. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
27. Pino, P., Ronchetti, S., Mollea, C., Sangermano, M., Onida, B., & Bosco, F. (2021). Whey proteins–zinc oxide bionanocomposite as antibacterial films. *Pharmaceutics*, 13(9), 1426. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13091426>
28. Razmjoo, F., Sadeghi, E., Rouhi, M., Mohammadi, R., Noroozi, R., & Safajoo, S. (2021). Polyvinyl alcohol–Zedo gum edible film: Physical, mechanical and thermal properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(8), 49875. <https://doi.org/10.1002/app.49875>
29. Rhim, J.-W., Hong, S.-I., Park, H.-M., Ng, P.K.J.J., & Chemistry, F. (2006). Preparation and characterization of chitosan-based nanocomposite films with antimicrobial activity. 54(16), 5814-5822.
30. Rodriguez-Amaya, D.B. (2019). Update on natural food pigments-A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. *Food Research International*, 124, 200-205. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.028>
31. Saedi, S., Shokri, M., Kim, J.T., & Shin, G.H. (2021). Semi-transparent regenerated cellulose/ZnONP nanocomposite film as a potential antimicrobial food packaging material. *Journal of Food Engineering*, 307, 110665. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110665>
32. Solano Doblado, L. G., Heredia Mira, F. J., Gordillo Arrobas, B., Dávila Ortiz, G., Alamilla Beltrán, L., Maciel Cerda, A., & Jiménez Martínez, C. (2020). pH-indicating properties and storage stability of a smart edible film based on nopal-mucilage/gellan gum and red cabbage anthocyanins. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(Sup. 1), 363-374. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim1583>
33. Taghizadeh, E., Alizadeh, M., & Hassanzadeh, H. (2023). Investigation of antimicrobial, antioxidant and physicochemical properties of active film based on whey protein containing pomegranate and red grape anthocyanins and zinc oxide nanoparticles. *Innovative Food Technologies*, 10(4), 397-410. <https://doi.org/10.22104/IFT.2023.6374.2145>
34. Thulasisingh, A., Kumar, K., Yamunadevi, B., Poojitha, N., SuhailMadharHanif, S., & Kannaiyan, S. (2021). Biodegradable packaging materials. *Polymer Bulletin*, 1-30. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00289-021-03767-x>
35. Velásquez, P., Bustos, D., Montenegro, G., & Giordano, A.J.M. (2021). Ultrasound-assisted extraction of anthocyanins using natural deep eutectic solvents and their incorporation in edible films. *Molecules*, 26(4), 984. <https://doi.org/10.3390/molecules26040984>
36. Wang, N., Liu, W., Zhang, T., Jiang, S., Xu, H., Wang, Y., & Chen, X. (2018). Transcriptomic analysis of red-fleshed apples reveals the novel role of mdwrky11 in flavonoid and anthocyanin biosynthesis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(27), 7076-7086. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01273>

Effect of the Controlled Fermented Sprouted Lentil Containing Fennel Extract on the Characteristics of Wheat Bread

M. Rasoulifar¹, A. Sadeghi^{1*}, F. Hajinia¹, M. Ebrahimi², M. Ghorbani¹

1- Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

(*- Corresponding Author Email: asadeghi@gau.ac.ir)

2- Food, Drug & Natural Products Health Research Center, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

Received: 02.12.2023

Revised: 02.02.2024

Accepted: 06.02.2024

Available Online: 07.02.2024

How to cite this article:

Rasoulifar, M., Sadeghi, A., Hajinia, F., Ebrahimi, M., & Ghorbani, M. (2024). Effect of the controlled fermented sprouted lentil containing fennel extract on the characteristics of wheat bread. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(4), 433-446. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.85646.1299>

Introduction

Wheat bread is a staple food worldwide, and bread making using sourdough is one of the oldest technologies. In this regard, the use of legume sourdough is important in improving the quality of wheat bread. Sprouted legumes are also proper substrates rich in bioactive compounds for sourdough fermentation to produce enriched products. Furthermore, application of herbal extracts in sourdough formulation is a simple way to enhance organoleptic properties and mold-free shelf-life of the produced sourdough bread. Considering positive effects of sourdough on techno-functional properties of the produced bread, the aim of the present study was to enhance quality parameters of wheat bread using controlled fermented sprouted lentil containing fennel extract.

Materials and Methods

In the present study, predominant lactic acid bacteria (LAB) were isolated using the sequential back-slopping process from fermented sprouted lentil containing fennel extract. The isolates were screened based on their antifungal activities against *Aspergillus niger*. The selected isolates were identified through amplification of the target sequence with 1500 bp from its 16S rDNA gene and sequencing of the PCR products. After that, controlled fermentation containing selected LAB isolates (as a starter culture) was performed in processing of wheat bread. Crumb hardness, specific volume, water activity, overall acceptability and surface growth rate of the target fungus were compared in the produced breads. In order to determine the effects of the substrate, fermentation and germination, suitable samples were produced. The results of the present study were also analyzed in a completely randomized design with three replications, and Duncan test at $P < 0.05$ significant difference was used to compare the mean.

Results and Discussion

Sequencing results of the PCR products (amplicons) led to the identification of *Pediococcus acidilactici* as the selected LAB isolate. Addition of lentil sourdough to wheat bread significantly ($P < 0.05$) reduced the weight loss and crumb hardness of wheat bread and also increased its specific volume without significant effect. Among the produced breads, the lowest specific volume was belonged to the sample containing lentil and the highest specific volume was observed in the control sample. Moreover, fermentation and sprouting reduced the surface growth of *A. niger* in the produced breads. The surface growth rate of the fungus in the bread containing fermented sprouted lentil was also significantly lower than those of the control sample. In addition, wheat bread containing fermented



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.85646.1299>

sprouted lentil received the highest overall acceptability score among the produced enriched breads. It is reported that the positive effects of controlled sourdough on textural features of the produced bread are mainly associated with the acidification activity of the starter culture used. Production of organic acids and other inhibitory metabolites by the sourdough starter culture is also involved in its antifungal activity in the product. Moreover, production of volatile and non-volatile aroma precursors during sourdough fermentation affect sensory attributes of the sourdough bread.

Conclusion

Nowadays, consumer demand for healthy products with minimal processing and with no synthetic additives such as clean-label foods, and the use of bio-preservatives (application of microorganisms and their metabolites to prevent spoilage and increase the shelf-life of the product) has become a growing trend. Application of legumes as a good source of protein, other nutrients and essential components in bread formulation is important for their use in the daily diet. According to the results of the present study, controlled fermented sprouted lentil containing fennel extract can be used as an antifungal compound and texture improver in bakery industries. Overall, the use of plant extracts with antifungal effects as well as controlled fermentation of sourdough with selected LAB as protective/starter culture can reduce the use of chemical preservatives in bread.

Keywords: Antifungal effect, Enriched wheat bread, Fermented sprouted lentil, Protective culture

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۳، ص. ۴۴۶-۴۳۳

تأثیر تخمیر کنترل شده عدس جوانه زده حاوی عصاره رازیانه بر ویژگی های نان گندم

مینا رسولی فر^۱ - علیرضا صادقی^{۱*} - فهیمه حاجی نیا^۱ - مریم ابراهیمی^۲ - محمد قربانی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷

چکیده

استفاده از خمیرترش حبوبات در بهبود ویژگی های کیفی نان، حایز اهمیت است. در این پژوهش، باکتری های اسید لاکتیک غالب با استفاده از فرآیند مایه گیری^۳ متوالی از عدس جوانه زده تخمیر شده حاوی عصاره رازیانه، جداسازی و سپس بر اساس خاصیت ضدقارچی بر ضد *Aspergillus niger* غربال شدند. در ادامه، جدایه منتخب دارای بیشترین اثر ضد قارچی با تکثیر توالی هدف ۱۵۰۰ جفت بازی از ژن *16S rDNA* آن و توالی یابی یک طرفه محصولات PCR به روش سانگر شناسایی گردید. در مرحله بعد، تخمیر کنترل شده حاوی جدایه لاکتیکی منتخب (به عنوان کشت آغازگر) در تهیه نان گندم مورد استفاده قرار گرفت. سپس سفتی بافت (N)، حجم مخصوص (cm^3g^{-1})، فعالیت آبی، پذیرش کلی و میزان توسعه سطحی قارچ (%) در نان های تولیدی مقایسه شدند. توالی یابی محصولات PCR منجر به شناسایی *Pediococcus acidilactici* به عنوان جدایه لاکتیکی منتخب گردید. افزودن خمیرترش عدس به نان گندم در مقایسه با نان حاوی عدس به شکل معنی داری ($P < 0.05$) سبب کاهش افت وزن و سفتی بافت و همچنین بدون اثر معنی دار باعث افزایش حجم مخصوص آن شد. از بین نان های تولیدی، کمترین مقدار حجم مخصوص به نمونه حاوی عدس و بیشترین مقدار حجم مخصوص به نمونه شاهد اختصاص یافت. همچنین تخمیر و جوانه زنی سبب کاهش رشد سطحی قارچ در نان های تولیدی شد. میزان توسعه سطحی قارچ در نان حاوی عدس جوانه زده تخمیر شده نیز نسبت به نمونه شاهد به شکل معنی داری کمتر بود. علاوه بر این، نان گندم حاوی عدس جوانه زده تخمیر شده بیشترین امتیاز پذیرش کلی را از بین نان های غنی شده به خود اختصاص داد.

واژه های کلیدی: اثر ضد قارچی، عدس جوانه زده تخمیر شده، کشت محافظت کننده، نان گندم غنی شده

مقدمه

اخیرا استفاده از حبوبات به منظور بهبود ویژگی های نان گندم، مورد توجه قرار گرفته است. حبوبات از نظر تغذیه ای غنی و دارای اسیدهای آمینه ضروری هستند (Jenkins et al., 2012). از بین حبوبات، عدس یک منبع غنی از پروتئین های گیاهی، پپتیدهای زیست فعال، ترکیبات فنولی و حاوی تمام اسیدهای آمینه ضروری است (Romano et al., 2021). به طور کلی افزودن آرد حبوبات به آرد گندم به دلیل کاهش گلوتن، کیفیت نان تولیدی را کاهش می دهد. لذا برای رفع این مشکل از حبوبات تخمیر شده یا جوانه زده تخمیر شده استفاده می شود. استفاده

از خمیرترش (یک سیستم زیستی پیچیده حاصل از تخمیر آرد با آب که اساس تشکیل آن همزیستی بین باکتری های اسید لاکتیک و مخمرهایی است که مسئول ور آوردن و اسیدی کردن خمیر هستند) می تواند به عنوان راهکار مناسبی برای تهیه نان با کیفیت محسوب گردد. تخمیر خمیرترش بدون اثرات نامطلوب، منجر به بهبود بافت، عطر و طعم نان تولیدی می شود (Gobbetti et al., Axel., 2016). جوانه زنی نیز به دلیل بهبود ویژگی های تغذیه ای، افزایش فعالیت آنزیمی و ترکیبات زیست فعال و همچنین افزایش زیست دسترسی^۴ به این ترکیبات مورد توجه قرار گرفته است (Nelson et al., 2013). یکی دیگر از افزودنی های طبیعی، عصاره و اسانس های

۱- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*) نویسنده مسئول: sadeghi.gau@gmail.com (Email:)

۲- مرکز تحقیقات فرآورده های غذایی، دارویی و طبیعی، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران

گیاهی هستند. این ترکیبات به نحو گسترده‌ای به عنوان نگهدارنده زیستی و اصلاح کننده ویژگی‌های حسی فرآورده‌های غذایی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Axel et al., 2017).

تاکنون تأثیر تخمیر کنترل شده خمیرترش‌های آرد کامل گندم (Sadeghi et al., 2019)، آرد بلوط (Purabdolah et al., 2020)، آرد جو دوسر (Hajinia et al., 2021)، آرد سیوس غلات (Ebrahimi et al., 2022) و آرد کینوا (Rouhi et al., 2023) حاوی جدایه لاکتیکی منتخب خمیرترش به عنوان کشت آغازگر/محافظت‌کننده با هدف بهبود ویژگی‌های کیفی و کنترل کپک‌زدگی در نان مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین گزارش‌هایی در خصوص استفاده از حبوبات جوانه زده و تخمیر شده در فرآوری نان منتشر شده است. به عنوان مثال، مونتورو و همکاران (Montemurro et al., 2019) ضمن بررسی اثر تخمیر کنترل شده و جوانه زنی حبوبات در تولید نان، گزارش کردند که بین حجم مخصوص نمونه‌های تولیدی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما سفتی بافت نان‌های خمیرترشی حاوی آرد جوانه زده بیشتر از سفتی بافت نان خمیرترشی حاوی آرد جوانه زده بود. همچنین نان‌های تولیدی از پذیرش کلی مناسبی برخوردار بودند. نیونلی و همکاران (Nionelli et al., 2018) ضمن استفاده از تخمیر کنترل شده گندم حاوی عصاره رازک به عنوان نگهدارنده طبیعی در تهیه نان، مشاهده کردند که خمیرترش گندم حاوی عصاره رازک، رشد قارچ را به تعویق انداخت. همچنین ویژگی‌های بافتی نان‌های تولیدی بهبود و حجم مخصوص آنها افزایش یافت. ایراکلی و همکاران (Irakli et al., 2019) نیز با بررسی اثر خمیرترش سبوس برنج حاوی عصاره رازک گزارش کردند که حجم نان تولیدی افزایش و خصوصیات حسی آن بهبود یافت. با توجه به بررسی منابع انجام شده تا کنون استفاده توأم از آرد عدس جوانه زده و عصاره رازیانه در نان خمیرترشی گزارش نشده است. لذا هدف از پژوهش حاضر، بهبود ویژگی‌های کیفی نان گندم با استفاده از تخمیر کنترل شده (حاوی جمعیت مشخصی از جدایه لاکتیکی منتخب به عنوان کشت آغازگر) آرد عدس جوانه زده حاوی عصاره رازیانه بود.

مواد و روش‌ها

تهیه مواد اولیه و تعیین ویژگی آن‌ها

جوانه زنی عدس با اندکی تغییرات به روش دونکور و همکاران (Donkor et al., 2012) انجام شد. دانه‌ها بعد از شستشو با هیپوکلرید سدیم (۰/۵ درصد)، ۲۴ ساعت در آب خیسانده و در محیط تاریک تا زمان جوانه زنی نگهداری شدند. سپس دانه‌های جوانه زده با رطوبت

نهایی ۱۰ درصد در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، خشک و در نهایت آسیاب (آسان توس شرق، ایران) گردیدند. در ادامه محتوای رطوبت، پروتئین، خاکستر و چربی (%) آردهای گندم و عدس مطابق روش‌های مدون (AACC, 2010) و همچنین محتوای کربوهیدرات تام آنها بر اساس معادله % (چربی + خاکستر + پروتئین + رطوبت) - ۱۰۰ تعیین شد. مواد شیمیایی و محیط‌های کشت میکروبی مورد استفاده نیز از برندهای تجاری معتبر (Merck، آلمان و Liofilchem، ایتالیا) خریداری گردیدند. آرد گندم و آرد عدس مورد استفاده در این پژوهش به ترتیب دارای ۱۲/۴ و ۲۹/۲٪ پروتئین، ۰/۴ و ۱/۳٪ خاکستر، ۱۴/۳ و ۱۰/۸٪ رطوبت، ۲/۱ و ۳/۵٪ چربی و ۷۰/۸ و ۵۵/۲٪ کربوهیدرات تام بودند.

تخمیر تصادفی عدس جوانه زده حاوی عصاره رازیانه

بعد از تهیه عصاره ۲۵ درصدی رازیانه به روش ایراکلی و همکاران (Irakli et al., 2019)، خمیرترشی با بازده خمیر (۱۰۰ × مقدار آرد/ مقدار خمیر) معادل ۵۰۰ در ظروف استریل، حاوی آرد عدس جوانه زده و عصاره رازیانه تهیه و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری گردید. سپس فرآیند مایه‌گیری^۱ (افزودن ۳۰ درصد از خمیرترش روز قبل به آرد تازه و آب) تا رسیدن pH به حدود ۴ و اسیدیته قابل تیتراژ^۲ (TTA) ثابت، طی تکرارهای متوالی انجام شد (Rizzello et al., 2014; Perri et al., 2021 et al., 2014). به منظور ارزیابی TTA (برحسب اسید لاکتیک)، ۱۰ گرم از خمیرترش در ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر یکنواخت شد. سپس محلول مذکور توسط NaOH با نرمالیت ۰/۱ تا pH معادل ۸/۵ تیتراژ شد و اسیدیته بر حسب سود مصرفی گزارش گردید (Rizzello et al., 2014).

جداسازی و غربالگری باکتری‌های اسید لاکتیک غالب خمیرترش

بدین منظور با تهیه رقت‌های متوالی از آخرین مایه‌گیری و کشت سطحی در محیط کشت MRS^۳ باکتری‌های اسید لاکتیک غالب جداسازی شده و برای خالص‌سازی آنها از کشت خطی استفاده گردید. در ادامه، جدایه‌های غالب با استفاده از آزمون کاتالاز، رنگ‌آمیزی گرم و مشاهده میکروسکوپی مورد بررسی قرار گرفتند. برای غربالگری جدایه‌های لاکتیکی بر اساس اثر ضدقارچی آنها از روش کشت دو لایه در برابر Aspergillus niger PTCC 5012 استفاده گردید. در این روش از کشت فعال جدایه لاکتیکی، خطوطی به اندازه سه سانتی‌متر با فاصله متناسب از یکدیگر در مرکز پلیت‌های حاوی محیط کشت MRS

3- de Man, Rogosa and Sharpe

1- Back-slopping

2- Total titratable acidity

نانوایی (دو درصد وزنی/وزنی) و آب با هم مخلوط گردیدند. سپس این مخلوط به مدت ۱۲۰ دقیقه در ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری و متعاقباً در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه در فر الکتریکی (Feller, آلمان) پخته شد. نان‌های تولیدی شامل نان‌های گندم حاوی عدس، عصاره رازیانه، عدس جوانه زده، عدس جوانه زده تخمیر شده، عدس تخمیر شده، عدس جوانه زده تخمیر شده + عصاره رازیانه و نان گندم حاوی پروبیونات کلسیم بودند که در شرایط مشابه با نمونه شاهد فرآوری گردیدند.

تعیین فرمولاسیون بهینه نان

در این پژوهش برای به دست آوردن بهترین درصد عصاره، عصاره آبی رازیانه با درصدهای مختلف (۶/۲۵، ۱۲/۵، ۱۸/۷۵ و ۲۵) تهیه و در فرمولاسیون نان مورد استفاده قرار گرفت. سپس بر اساس پذیرش کلی نان‌های تولیدی میزان بهینه عصاره رازیانه تعیین شد.

ویژگی‌های نان‌های تولیدی

سفتی بافت و حجم مخصوص

برای بررسی میزان سفتی بافت نان‌های تولیدی از دستگاه بافت‌سنج (Stable Microsystem، انگلستان) استفاده شد. بدین منظور پس از گذشت دو ساعت از پخت نان، آزمون نفوذ در نمونه‌ها با پروب استوانه‌ای به قطر ۱/۲۷ سانتی‌متر، سرعت پروب یک میلی‌متر در ثانیه و نقطه شروع ۵۰ گرم انجام گرفت. نیروی لازم جهت ایجاد ۵۰ درصد فشردگی در ضخامت اولیه با رسم منحنی نیرو-فاصله به عنوان سفتی بافت مغز نان اندازه‌گیری شد (Katina et al., 2006). همچنین حجم مخصوص نان‌های تولیدی به روش جابجایی دانه کلزا تعیین شد و مقادیر آن با نمونه شاهد مقایسه گردید (AACC, 2010). فعالیت آبی نان‌های تولیدی نیز به روش دستگاهی توسط aw متر (Novasina-LabSwift، سوئیس) و افت وزن از طریق اختلاف وزن نان تولیدی با وزن خمیر نان قبل از پخت تعیین شد.

میزان توسعه سطحی قارچ

برای بررسی میزان توسعه قارچ شاخص *A. niger* در سطح نان‌های تولیدی از روش گرز و همکاران (Gerez et al., 2009) استفاده شد. بدین منظور، سوسپانسیون اسپور قارچ (۱۰^۶ اسپور در میلی‌لیتر) تنظیم شده پس از شمارش توسط لام هموسایتومتر بر روی دیسک کاغذی استریل در مرکز نان، تلقیح شد و سپس به مدت یک هفته در

agar کشت داده و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شد. سپس سوسپانسیون اسپور قارچ (۱۰^۶ عدد در هر میلی‌لیتر) در محیط کشت YGC agar روی خطوط کشت داده شده جدایه‌های لاکتیکی خمیرترش مذکور ریخته شد و پس از انعقاد لایه دوم، پلیت‌ها در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد تا زمانی که نمونه شاهد (فاقد کشت باکتری اسید لاکتیک) تمام سطح پلیت را پوشاند، گرمخانه‌گذاری شدند. سرانجام میزان سطح عدم رشد قارچ در اطراف خطوط کشت داده شده جدایه‌های لاکتیکی در مقایسه با پلیت شاهد فاقد کشت باکتری اسید لاکتیک (۱۰۰٪ رشد قارچ) با نرم‌افزار (نسخه 1.42e) Image J تعیین گردید (Magnusson et al., 2003).

استخراج DNA و شناسایی جدایه لاکتیکی منتخب

DNA جدایه لاکتیکی منتخب (دارای بیشترین اثر ضد قارچی) با استفاده از کیت استخراج (Bioneer, South Korea) تهیه و سپس توسط PCR^۲ با پرایمرهای عمومی F44 (RGTTCGATYMTGGCTCAG) و R1543 (GGNTACCTTKTTACGACTT)، تکثیر (۳۰ چرخه حرارتی اصلی شامل واسرشت در ۹۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۵ ثانیه، اتصال پرایمر در ۵۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۵ ثانیه و طول‌سازی تکثیر در ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ ثانیه)، طول‌سازی نهایی (در ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ دقیقه) و متعاقباً محصولات PCR (توالی ۱۵۰۰ جفت بازی از جایگاه *16S rDNA*)، توالی‌یابی (پیشگام، ایران) گردید. برای تأیید اولیه تکثیر، محصولات PCR به ژل آگارز ۱/۵ درصد منتقل و در بافر TBE در حضور نمونه کنترل مثبت (DNA استخراج شده از باکتری *Lactobacillus plantarum* PTCC 1896) و کنترل منفی (فاقد DNA)، الکتروفورز انجام شد. محصولات PCR پس از توالی‌یابی با استفاده از رویه Blast^۳ با داده‌های موجود در پایگاه اطلاعاتی NCBI^۴ هم‌ردیف شدند (Abnous et al., 2009).

تخمیر کنترل شده و فرآوری نان

برای تهیه نان گندم با خمیرترش عدس جوانه زده حاوی عصاره رازیانه، خمیرترش با بازده خمیر ۵۰۰ با جایگزینی عصاره رازیانه به جای آب و تلقیح باکتری اسید لاکتیک منتخب (۱۰^۸ CFUg⁻¹) پس از ۲۴ ساعت تخمیر در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد تهیه گردید (Nionelli et al., 2018). لازم به ذکر است که در تهیه خمیر نان گندم حاوی خمیرترش عدس جوانه زده، ۳۰ درصد خمیرترش استفاده شد (Perri et al., 2021). برای تهیه نان شاهد، آرد گندم، مخمر

3- Basic Local Alignment Search Tool

4- National Center for Biotechnology Information

1- Yeast Glucose Chloramphenicol agar

2- Polymerase chain reaction

دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری گردید. سپس قطر هاله رشد قارچ با نرم‌افزار Image J تعیین گردید.

پذیرش کلی

برای بررسی پذیرش کلی نان‌های تولیدی از آزمون هدونیک پنج نقطه‌ای (یک برای کمترین و پنج برای بیشترین امتیاز) دو ساعت پس از پخت استفاده شد. برای این منظور، ارزیابان آموزش دیده، خصوصیات نان‌های تولیدی شامل شکل، رنگ، عطر، طعم و احساس دهانی را ارزیابی کرده و سپس میانگین امتیازها تعیین و به‌عنوان پذیرش کلی ارائه گردید (Rizzello et al., 2010).

آنالیز آماری

نتایج حاصل از این پژوهش بر اساس طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار و با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۰) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. همچنین از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) در سطح $P < 0.05$ جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

اسیدیته قابل تیترو pH خمیرترش

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است مقدار اسیدیته قابل تیترو روز اول مایه‌گیری معادل ۸/۷۰ و pH آن برابر ۶/۲۳ بود. در روز دهم مقدار pH (۴/۰۴) با اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) به کمترین مقدار خود رسید ولی مقادیر اسیدیته قابل تیترو از روز پنجم تا دهم اختلاف معنی‌داری نداشت. به‌طور کلی هر عاملی که بتواند بر فلور میکروبی خمیرترش تأثیر بگذارد (نوع سوبسترا، فرمولاسیون خمیر و شرایط تخمیر)، می‌تواند بر pH و اسیدیته قابل تیترو خمیرترش نیز مؤثر باشد. از آنجا که pH بهینه برای باکتری‌های اسید لاکتیک حدود ۳/۵ تا ۴/۵ گزارش شده است (Graça et al., 2021). لذا در پژوهش حاضر نیز ثبات اسیدیته قابل تیترو در pH حدود ۴/۰۰ به‌عنوان شاخص ثبات جمعیت میکروبی خمیرترش و خاتمه فرآیند مایه‌گیری در نظر گرفته شد.

آریاشاد و همکاران (Aryashad et al., 2023) پس از تهیه خمیرترش ماش جوانه‌زده با بازده خمیر ۲۰۰ و تخمیر شده در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت گزارش کردند که پس از ۵ روز pH از ۵/۴۸ به ۴/۱۵ و اسیدیته قابل تیترو از ۱۹/۴۱ به ۴۲/۴۵ رسید. میزان بالاتر اسیدیته قابل تیترو و pH کمتر در پژوهش حاضر می‌تواند به دلیل جایگزینی آب با عصاره رازیانه باشد زیرا عصاره‌های گیاهی

دارای خاصیت ضد میکروبی بوده (Axel et al., 2017) و در نتیجه مانع از رشد برخی از باکتری‌های اسید لاکتیک می‌شوند. مونتورو و همکاران (Montemurro et al., 2019)، خمیرترشی با باکتری‌های اسید لاکتیک منتخب از آردهای جوانه‌زده گندم، جو، عدس، نخود و کینوا با بازده خمیر ۱۶۰ تخمیر شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد تهیه کردند. همانطور که انتظار می‌رفت بعد از ۲۴ ساعت، اسیدیته قابل تیترو خمیرترش مذکور، افزایش و pH آن کاهش یافت. همچنین اسیدیته قابل تیترو در آردهای جوانه‌زده تخمیر شده نسبت به شکل غیر جوانه‌زده آنها بیشتر بود. مقادیر pH نهایی در تمام نمونه‌های خمیرترش بدون اختلاف معنی‌داری به محدوده ۳/۸۵-۴/۴۴ کاهش پیدا کرد و pH اولیه خمیرترش عدس جوانه‌زده (۵/۹۹) نیز پس از ۲۴ ساعت به ۴/۳۹ و اسیدیته قابل تیترو آن از ۸/۲ به ۲۱/۰۰ رسید. میزان بالاتر اسیدیته قابل تیترو و pH کمتر در پژوهش حاضر، علاوه بر جایگزینی آب با عصاره رازیانه می‌تواند به دلیل تفاوت در دمای تخمیر باشد زیرا دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد برای رشد مخمرها نسبت به باکتری‌های اسید لاکتیک مناسب‌تر است. همچنین رشد باکتری‌های اسید لاکتیک بر جمعیت مخمرها مؤثر بوده و در نهایت، تولید اسید لاکتیک افزایش یافته و در نتیجه سبب افزایش میزان اسیدیته قابل تیترو خمیرترش می‌شود. همچنین معمولاً تعداد دفعات زیاد مایه‌گیری نیز به سود باکتری‌های اسید لاکتیک است چرا که سرعت رشد و تکثیر آنها بیشتر از مخمرها بوده و با اسیدی کردن محیط، امکان رشد را برای مخمرها محدود می‌کنند (Vogelmann & Hertel, 2011).

غربالگری جدایه‌های لاکتیک بر اساس اثر ضدقارچی

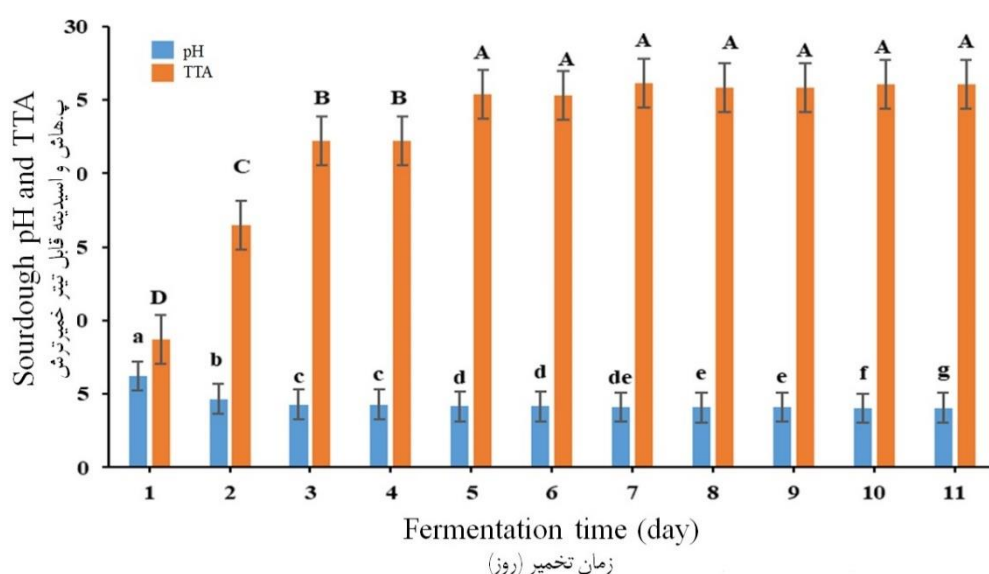
پس از آخرین مایه‌گیری، چهار باکتری اسید لاکتیک (یک میله‌ای کوتاه و ۳ عدد کروی) گرم مثبت و کاتالاز منفی جداسازی شدند. ارزیابی اثر ضدقارچی جدایه‌های لاکتیک غالب به روش کشت دو لایه در برابر *A. niger* در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود جدایه B بیشترین اثر ضدقارچی (31 ± 0.34 درصد) را داشت. در پژوهش‌های دیگری نیز نشان داده شده است که باکتری‌های اسید لاکتیک غالب با اثر ضدقارچی جدا شده از خمیرترش می‌توانند به‌عنوان کشت آغازگر محافظت‌کننده در تولید نان خمیرترشی مورد استفاده قرار گیرند (Hajinia et Purabdollah et al., 2020; al., 2021). اثر ضد میکروبی باکتری‌های اسید لاکتیک خمیرترش نیز به متابولیت‌های ضد میکروبی تولید شده توسط آنها و همچنین کاهش دسترسی به مواد مغذی برای رشد سایر میکروارگانیسم‌ها مرتبط می‌باشد (Sadeghi et al., 2023).

شناسایی مولکولی جدایه منتخب

تکثیر توالی هدف ژن 16S rDNA جدایه لاکتیکی منتخب عدس جوانه زده تخمیر شده حاوی عصاره رازیانه توسط ژل الکتروفورز محصولات PCR مورد تأیید قرار گرفت (شکل ۳). توالی یابی محصولات PCR در مقایسه با داده های موجود در بانک جهانی ژن نیز منجر به شناسایی *Pediococcus acidilactici* RFSL (با ۹۸ درصد مشابهت) به عنوان جدایه لاکتیکی منتخب خمیر ترش شد.

پری و همکاران (Perri et al., 2020) طی پژوهشی با بررسی تأثیر فرآیند جوانه زنی بر باکتری های اسید لاکتیک جدا شده از حبوبات (عدس و نخود) دریافتند که باکتری های اسید لاکتیک جدا شده از آرد جوانه زده و غیر جوانه زده باهم متفاوت بودند. در واقع جوانه زنی به دلیل

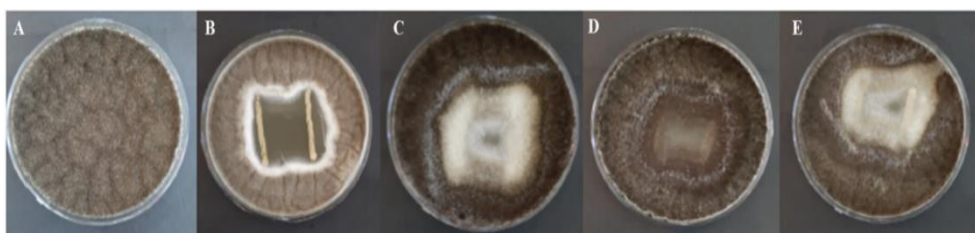
فعالیت آنزیمی، سوبستراهای پیچیده را به سوبستراهای ساده تر تبدیل کرده و سبب تنوع جمعیت میکروبی می شود و احتمال جداسازی جدایه های متفاوت را بیشتر می کند. آریاشاد و همکاران (Aryashad et al., 2023) در مطالعه ای با استفاده از خمیر ترش ماش جوانه زده *Pediococcus pentosaceus* را به عنوان جدایه لاکتیکی غالب شناسایی کردند. تفاوت نتایج پژوهش مذکور با پژوهش حاضر می تواند به دلیل تفاوت سوبسترا باشد زیرا در پژوهش حاضر به دلیل وجود خاصیت ضد میکروبی عصاره رازیانه، تنها باکتری های مقاوم به این شرایط، توانایی رشد و غالب شدن در اکوسیستم خمیر ترش را داشتند. علاوه بر این، مقدار مایه گیری و بازده خمیر در پژوهش مذکور با پژوهش حاضر متفاوت است.



شکل ۱- تغییرات pH و اسیدیته قابل تیتر (TTA) خمیر ترش عدس جوانه زده حاوی عصاره رازیانه در طی زمان تخمیر

حروف کوچک و بزرگ متفاوت به ترتیب، نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح $P < 0.05$ بین مقادیر pH و TTA هستند.

Fig. 1. pH and total titratable (TTA) changes of sprouted lentil sourdough containing fennel extract during fermentation time. The different lowercase and uppercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$ among the pH and TTA values, respectively.

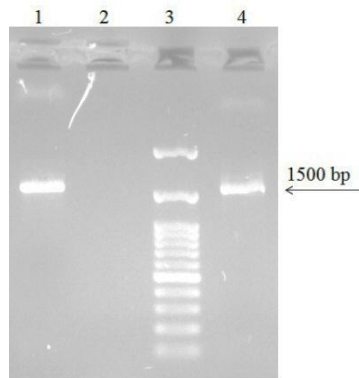


شکل ۲- اثر ضدقارچی جدایه های لاکتیکی غالب عدس جوانه زده تخمیر شده حاوی عصاره رازیانه به روش کشت دو لایه در برابر *A. niger*

A: شاهد، B: جدایه لاکتیکی منتخب، C، D و E: جدایه های لاکتیکی غیرمنتخب.

Fig. 2. Antifungal effects of the predominant lactic acid bacteria (LAB) isolated from fermented sprouted lentil containing fennel extract on *A. niger* in overlay bioassay

A: control, B: selected LAB isolate, C, D and E: non-selected LAB isolates.



شکل ۳- ژل الکتروفورز محصولات PCR. لاین ۱: کنترل مثبت (محصول PCR حاصل از DNA استخراج شده از باکتری *L. plantarum* PTCC 1896)، لاین ۲: کنترل منفی (فاقد DNA)، لاین ۳: لدر (۱۰۰ جفت بازی، Simbio، در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ جفت بازی) و لاین ۴: تکثیر جایگاه هدف در DNA جدایه لاکتیکی منتخب خمیر ترش عدس جوانه زده حاوی عصاره رازیانه

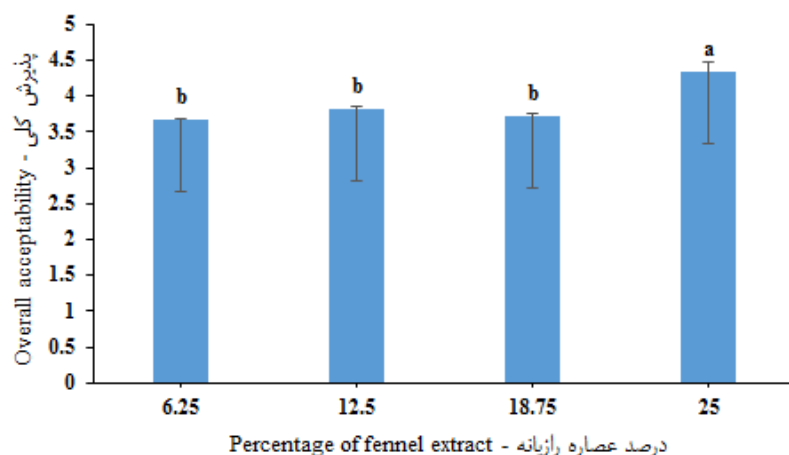
Fig. 3. Gel electrophoresis of the PCR products. Lane 1: positive control (PCR products obtained from amplification of the extracted DNA from *L. plantarum* PTCC 1896), lane 2: negative control (without DNA), lane 3: ladder (100 bp DNA marker, Simbio), lane 4: amplified target sequence in DNA of the selected LAB isolated from sprouted lentil sourdough containing fennel extract

تعیین فرمولاسیون بهینه در نان حاوی عصاره‌های گیاهی از اهمیت زیادی برخوردار است چرا که مستقیماً بر ویژگی‌های حسی و فعالیت مخمر نانوائی و یا فلور میکروبی نان‌های خمیرترشی تأثیر می‌گذارد. زنده‌مانی مناسب جدایه لاکتیکی منتخب در غلظت بهینه عصاره رازیانه (۲۵ درصد) مورد استفاده در فرمولاسیون خمیرترش نیز بررسی و مورد تأیید قرار گرفت. عموماً باکتری‌های اسید لاکتیک از قابلیت تحمل مناسبی در برابر بسیاری از عصاره‌های گیاهی (که غلظت‌های به مراتب کمتری از اسانس‌های گیاهی دارند) برخوردار هستند.

در ابتدا اکثر میکروارگانیسم‌های موجود در خمیرترش می‌توانند رشد کنند اما با افزایش تعداد دفعات مایه‌گیری، میکروارگانیسم‌هایی که بیشترین توانایی سازگاری با محیط را داشته باشند، باقی می‌مانند (Sekwati-Monang et al., 2012).

فرمولاسیون بهینه نان

همانطور که مشاهده می‌شود نان حاوی ۲۵ درصد عصاره رازیانه به لحاظ پذیرش کلی بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داد (شکل ۴).



شکل ۴- میزان پذیرش کلی نان گندم حاوی درصدهای مختلف عصاره رازیانه جهت تعیین درصد بهینه عصاره رازیانه در فرمولاسیون نان

Fig. 4. Overall acceptability of the produced wheat breads containing different amounts of fennel extract to determine optimal percentage of the extract in bread formulation
Different letters show significant difference at $P < 0.05$.

ویژگی‌های نان‌های تولیدی

توسعه سطحی قارچ

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود تخمیر و جوانه زنی سبب کاهش رشد سطحی قارچ در نان‌های تولیدی شدند. رشد سطحی قارچ در نان گندم حاوی عدس جوانه زده تخمیر شده نسبت به نان گندم

حاوی عدس جوانه زده بدون اختلاف معنی‌دار ($P > 0.05$) کمتر از نمونه شاهد بود اما رشد سطحی قارچ در نان گندم حاوی عصاره رازیانه افزایش نشان داد. این در حالی است که رشد سطحی قارچ در نان‌های تخمیر شده حاوی عصاره رازیانه با تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) کاهش یافت.

جدول ۱- رشد سطحی قارچ و pH نان گندم (C) در مقایسه با نان‌های گندم حاوی پروپیونات کلسیم (CP)، عصاره رازیانه (E)، عدس (L)، عدس جوانه زده (SL)، عدس تخمیر شده (FL)، عدس جوانه زده تخمیر شده + عصاره رازیانه (FSL + E) و عدس تخمیر شده + عصاره رازیانه (FL + E) پس از هفت روز نگهداری در دمای محیط

Table 1- Fungal surface growth and crumb pH of wheat bread (C) compared to wheat bread samples containing calcium propionate (CP), fennel extract (E), lentil (L), sprouted lentil (SL), fermented lentil (FL), fermented sprouted lentil (FSL), fermented sprouted lentil + fennel extract (FSL + E) and fermented lentil + fennel extract (FL + E) after seven storage days at room temperature. Different letters in each column indicate significant difference at $P < 0.05$

نمونه نان Bread sample	هاله رشد قارچ Fungal growth zone (%)	هاله سیاه رشد قارچ Black zone of the fungal growth (%)	pH مغز نان Crumb pH	اولین روز مشاهده قارچ First day of the fungal growth
C	54.00±2.82 ^b	36.00 ± 0.00 ^b	6.09 ± 0.22 ^a	2.00 ± 0.00 ^b
CP	29.00 ± 7.07 ^d	24.00 ± 7.00 ^d	6.25 ± 0.06 ^a	3.00 ± 0.00 ^a
E	69.00 ± 10.60 ^a	41.50 ± 0.70 ^a	6.18 ± 0.14 ^a	1.50 ± 0.70 ^b
L	47.50±10.60 ^{bc}	40.00 ± 5.65 ^a	6.24± 0.07 ^a	2.00 ± 0.00 ^b
SL	43.00± 0.70 ^c	23.00 ± 7.77 ^d	6.14 ± 0.03 ^a	1.50 ± 0.70 ^b
FL	44.00±12.02 ^c	25.00 ± 5.56 ^d	4.71± 0.16 ^b	0.00 ^b ± 2.00
FSL	40.50±1.41 ^c	20.50 ± 0.22 ^c	4.63 ± 0.02 ^b	0.00 ^b 2.00 ±
FL+ E	48.00±11.31 ^{bc}	34.00±0.70 ^c	4.62±0.00 ^b	1.50 ± 0.70 ^b
FSL+E	39.00± 0.70 ^c	21.00± 3.350 ^c	4.70 ± 0.07 ^b	± 0.00 ^b 2.00

حروف متفاوت در هر ستون، تفاوت معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ را نشان می‌دهند.

Different letters show significant difference at $P < 0.05$.

به دلیل پروتئین‌های آرد عدس باشد زیرا در چندین پژوهش، فعالیت ضدقارچی پروتئین یا پپتیدهای حبوبات در نان تأیید شده است (Coda et al., 2008; Rizzello et al., 2015; Rizzello et al., 2017).

ویژگی‌های بافتی

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود در نان گندم حاوی عدس در مقایسه با نمونه شاهد به شکل معنی‌داری ($P < 0.05$)، حجم مخصوص کاهش یافت اما سفتی بافت و افت وزن افزایش نشان دادند. همچنین نان گندم حاوی عدس جوانه زده در مقایسه با نان گندم حاوی عدس، حجم مخصوص کمتر، سفتی بافت و افت وزن بیشتری داشت. افزودن خمیرترش عدس به نان در مقایسه با نان حاوی عدس به شکل معنی‌داری سبب کاهش افت وزن و سفتی بافت و همچنین بدون اثر معنی‌دار باعث افزایش حجم مخصوص آن شد. علاوه بر این، افزودن عدس جوانه زده تخمیر شده نسبت به نان حاوی عدس جوانه زده سبب افزایش سفتی بافت و کاهش حجم مخصوص نان تولیدی شد. استفاده از حبوبات در نان به دلیل کاهش میزان گلوتن و افزایش محتوای فیبر، سبب افزایش سفتی بافت و کاهش حجم مخصوص آن می‌شود (Atudorei et al., 2017; Naqash et al., 2017). آتودوری و همکاران (Atudorei et al., 2017)

نیونلی و همکاران (Nionelli et al., 2018) مشاهده کردند که در نان حاوی عصاره رازک و نان خمیرترشی حاوی عصاره رازک، رشد قارچ به تعویق افتاد. همچنین نان خمیرترشی حاوی رازک، بیشترین اثر ضدقارچی را داشت که مشابه نان مخمری حاوی ۰/۳ درصد پروپیونات کلسیم بود. پژوهشگران مذکور، علت مهار رشد قارچ در نان‌های تولیدی را به اسیدهای ضعیف عصاره رازک نسبت دادند. با این وجود، افزودن خمیرترش حاوی عصاره رازک عمدتاً به دلیل اسیدی شدن توسط باکتری اسید لاکتیک و تولید طیف وسیعی از ترکیبات با وزن مولکولی پایین همچون پپتیدهای ضدقارچی نتایج بهتری به همراه داشت. همانند نتایج پژوهش حاضر، آریاشاد و همکاران (Aryashad et al., 2023) گزارش کردند که رشد سطحی قارچ *A. niger* بر روی نان گندم حاوی ماش جوانه زده تخمیر شده به شکل معنی‌داری کمتر از نان‌های گندم حاوی ماش، ماش جوانه زده و ماش تخمیر شده بود. ریزلو و همکاران (Rizzello et al., 2017) نیز طی پژوهشی با بررسی فعالیت ضدقارچی عصاره محلول در آب نمک حبوبات (نخود فرنگی، عدس و لوبیا چیتی) به منظور افزایش زمان ماندگاری نان گندم، گزارش کردند که این ترکیبات می‌توانند به عنوان یک نگهدارنده زیستی طبیعی برای افزایش ماندگاری نان مورد استفاده قرار گیرند. کاهش رشد قارچ در نان گندم حاوی عدس، عدس جوانه زده و عدس تخمیر شده می‌تواند

مشاهده کردند که افزودن آرد باقلای جوانه زده سبب بهبود حجم مخصوص و بهبود بافت نان تولیدی شد. بهبود حجم نان بعد از افزودن آردهای جوانه زده به دلیل افزایش فعالیت آنزیمی در طی جوانه زنی، تغییر در محتوای پروتئین و ژلاتینه شدن نشاسته می باشد. علاوه بر این، فعال شدن آمیلاز در طی جوانه زنی منجر به افزایش قندهای قابل تخمیر و افزایش انتشار دی اکسید کربن می شود. همچنین تجزیه جزئی نشاسته منجر به افزایش انبساط سلول های گازی می گردد (Guardado-Félix et al., 2020). مطابق نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر، در مطالعاتی ضمن بررسی تأثیر جوانه زنی و تخمیر خمیرترش با باکتری اسید لاکتیک منتخب به منظور بهبود ویژگی های نان گندم مشاهده شد که سفتی بافت نان های خمیرترشی حاوی دانه های جوانه زده بیشتر از نان خمیرترشی دانه های غیر جوانه زده بود. این روند ممکن است نتیجه تغییراتی باشد که در طول جوانه زنی حبوبات و همچنین در طی تخمیر خمیرترش رخ می دهد (Montemurro et al., 2019; Patrascu et al., 2019).

همچنین آنزیم های هیدرولیتیک مختلف بر روی نشاسته و پروتئین ها به عنوان ترکیبات ماکرومولکولی با نقش تعیین کننده در سفتی بافت نان، اثر گذاشته و ساختار ذاتی و در نتیجه رفتار آنها را در مواد غذایی تغییر می دهند (Coda et al., 2017). از آنجایی که هر آنزیمی دارای pH بهینه خود است (Sigüenza-Andrés et al., 2022) لذا کاهش pH خمیرترش در پژوهش حاضر، می تواند دلیل کاهش حجم و افزایش سفتی بافت نان خمیرترشی عدس جوانه زده باشد زیرا کاهش pH می تواند بر عملکرد آنزیم ها تأثیر بگذارد. نتایج پژوهش ایراکلی و همکاران (Irakli et al., 2019) نیز نشان داد که نان خمیرترشی سبوس برنج حاوی عصاره رازک به شکل معنی داری بیشترین سفتی بافت را در بین نمونه های تولیدی دارا بود. همچنین حجم مخصوص به دلیل افزودن خمیرترش سبوس برنج با عصاره رازک ($3/4 \text{ cm}^3 \text{g}^{-1}$) نسبت به نمونه شاهد ($3/8 \text{ cm}^3 \text{g}^{-1}$) کاهش یافت.

جدول ۲- ویژگی های کیفی نان گندم (C) در مقایسه با نان های گندم حاوی پروپیونات کلسیم (CP)، عصاره رازیانه (E)، عدس (L)، عدس جوانه زده (SL)، عدس تخمیر شده (FL)، عدس جوانه زده تخمیر شده (FSL)، عدس جوانه زده تخمیر شده + عصاره رازیانه (FSL + E) و عدس جوانه زده تخمیر شده + عصاره رازیانه (FSL + E)

Table 2- Quality characteristics of wheat bread (C) compared to wheat bread samples containing calcium propionate (CP), fennel extract (E), lentil (L), sprouted lentil (SL), fermented lentil (FL), fermented sprouted lentil (FSL), fermented sprouted lentil + fennel extract (FSL + E) and fermented lentil + fennel extract (FL + E). Different letters in each column indicate significant difference at $P < 0.05$

نمونه نان Bread sample	سفتی بافت Crumb hardness (N)	حجم مخصوص Specific volume ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	فعالیت آبی Water activity	افت وزن Weight loss (%)	پذیرش کلی Overall acceptability
C	3.60 ± 0.70^{bc}	2.88 ± 0.17^a	0.94 ± 0.01^a	10.25 ± 0.70^e	4.19 ± 0.07^a
CP	3.32 ± 0.37^c	2.86 ± 0.19^a	0.94 ± 0.00^a	10.25 ± 0.70^e	4.06 ± 0.07^a
E	5.56 ± 0.12^b	1.95 ± 0.04^{bc}	0.94 ± 0.00^a	19.75 ± 2.12^b	3.71 ± 0.04^{bc}
L	7.73 ± 0.26^a	1.07 ± 0.00^e	0.93 ± 0.00^a	25.00 ± 1.41^a	3.63 ± 0.00^d
SL	3.87 ± 0.07^{bc}	2.11 ± 0.12^b	0.93 ± 0.00^a	19.00 ± 1.41^b	3.76 ± 0.00^{bc}
FL	2.88 ± 0.89^c	1.39 ± 0.00^{de}	0.93 ± 0.00^a	13.25 ± 3.53^d	3.68 ± 0.00^{cd}
FSL	4.57 ± 0.51^{bc}	1.72 ± 0.20^{cd}	0.93 ± 0.00^a	15.50 ± 1.41^c	3.80 ± 0.02^b
FL+E	3.32 ± 0.37^c	1.40 ± 0.21^{de}	0.93 ± 0.00^a	12.50 ± 1.41^d	3.75 ± 0.01^c
FSL + E	3.98 ± 2.22^{bc}	1.97 ± 0.14^{bc}	0.94 ± 0.00^a	20.25 ± 0.70^b	3.76 ± 0.02^{bc}

حروف متفاوت در هر ستون، تفاوت معنی دار در سطح $P < 0.05$ را نشان می دهند.

Different letters show significant difference at $P < 0.05$.

پذیرش کلی

تمام نان های تولیدی از نظر رنگ، بدون تفاوت معنی دار ($P > 0.05$) مورد پذیرش قرار گرفتند. نان گندم حاوی عدس جوانه زده تخمیر شده

نیز بیشترین امتیاز پذیرش کلی را از بین نان های غنی شده به خود اختصاص داد اما افزودن عدس در مقایسه با نمونه شاهد، به شکل معنی داری سبب کاهش پذیرش کلی، قابلیت جویدن، احساس دهانی،

امروزه استفاده از حبوبات به‌منظور بهبود ویژگی‌های نان گندم مورد توجه قرار گرفته است. اگر چه حبوبات از نظر تغذیه‌ای غنی و دارای اسیدهای آمینه ضروری هستند اما جایگزینی آرد گندم با آرد حبوبات به دلیل کاهش گلوتن، کیفیت نان تولیدی را کاهش می‌دهد. لذا برای رفع این مشکل از حبوبات تخمیر شده یا جوانه‌زده استفاده می‌شود. در این زمینه، استفاده از باکتری‌های اسید لاکتیک خمیر ترش با قابلیت‌های ضدقارچی مناسب با هدف کنترل کپک‌زدگی و بهبود خصوصیات کیفی نان تولیدی از اهمیت بسزایی برخوردار است. در پژوهش حاضر، تخمیر کنترل شده عدس و عدس جوانه‌زده حاوی عصاره رازیانه با جدایه لاکتیکی منتخب به‌عنوان کشت آغازگر محافظت‌کننده سبب بهبود ویژگی‌های بافتی و پذیرش کلی نان گندم تولیدی شد. علاوه بر این، تخمیر کنترل شده در تعویق کپک‌زدگی محصول تولیدی نیز مؤثر بود. از این رو، استفاده از حبوبات جوانه‌زده تخمیر شده می‌تواند راهکاری ایمن و ارزان جهت بهبود ویژگی‌های نان گندم غنی شده در صنایع نانویی مورد استفاده قرار گیرد.

میزان مشارکت

مینا رسولی‌فر: تحقیق و بررسی، نرم‌افزار، **علیرضا صادقی:** مدیریت پروژه، اعتبارسنجی، نوشتن - بررسی و ویرایش، **فهیمة حاجی‌نیا:** نظارت، نوشتن - پیش‌نویس اصلی، **مریم ابراهیمی:** مدیریت داده‌ها، نظارت، **محمد قربانی:** نظارت.

منابع تأمین مالی

بخشی از هزینه‌های اجرای این پژوهش توسط معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان جهت اجرای پایان‌نامه کارشناسی ارشد خانم مینا رسولی‌فر به شماره دانشجویی ۹۹۳۱۵۲۳۱۰۱ در رشته علوم و مهندسی صنایع غذایی - زیست فناوری مواد غذایی به شماره ثبت ۷۹۴۹۹۰ پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران مورخ ۱۴۰۰/۱۲/۱۷ تأمین شده است.

شکل و طعم شد. همچنین جایگزینی عدس جوانه‌زده با عدس به شکل معنی‌داری سبب بهبود پذیرش کلی و قابلیت جویدن شد اما طعم، رنگ و شکل آنها تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین افزودن عدس تخمیر شده نسبت به عدس، بدون اختلاف معنی‌دار سبب افزایش پذیرش کلی، قابلیت جویدن، احساس دهانی و شکل نان تولیدی شد. افزودن عصاره رازیانه به فرمولاسیون نان نیز سبب کاهش پذیرش کلی آن شد (جدول ۲).

بدون شک آروما و طعم، مهمترین ویژگی‌های تعیین‌کننده کیفیت نان از نظر مصرف‌کنندگان می‌باشند. اتودوری و همکاران (Atudorei et al., 2022) در مطالعه‌ای از سطوح مختلف (۰ تا ۲۰ درصد) آرد باقلای جوانه‌زده در فرمولاسیون نان استفاده کردند. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که نمونه‌های نان گندم حاوی ۵ درصد آرد باقلای جوانه‌زده بهتر از نمونه شاهد بودند. همچنین افزودن آرد باقلای جوانه‌زده تا ۱۵ درصد به نان مورد پذیرش قرار گرفت. گاردادو و همکاران (Guardado-Félix et al., 2020) نیز پس از ارزیابی حسی نان حاوی نخود جوانه‌زده گزارش کردند که افزودن ۱۵ درصد آرد نخود جوانه‌زده، تفاوت معنی‌داری در مزه، بو، رنگ و پذیرش کلی با نمونه شاهد ایجاد نکرد. به‌طور کلی، افزایش سطح آنزیم‌ها در طی جوانه‌زنی به‌ویژه آمیلازها و پروتئازها باعث افزایش میزان قندهای ساده و اسیدهای آمینه در خمیر می‌شود. این اجزاء، پیش‌ساز ترکیبات حاصل از واکنش میلارد هستند که در بهبود مشخصات حسی نان تولیدی تأثیر می‌گذارند (Peñaranda et al., 2021). همچنین مشخص شده است که نان خمیرترشی سبب بهبود ویژگی‌های نان و افزایش میزان ترکیبات فرار می‌شود (Hansen & Schieberle, 2005). علاوه بر این، همانطور که مشاهده می‌شود اگرچه استفاده از اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی در صنعت نان فواید زیادی دارد اما نقطه ضعف اصلی ترکیبات مذکور این است که عمدتاً عطر و طعم آنها مورد استقبال مصرف‌کنندگان قرار نمی‌گیرد.

نتیجه‌گیری

References

1. AACC International. (2010). *Approved methods of the American association of cereal chemists*. 11th Ed. St. Paul, MN.
2. Abnous, K., Brooks, S.P., Kwan, J., Matias, F., Green-Johnson, J., Selinger, L.B., Thomas, M., & Kalmokoff, M. (2009). Diets enriched in oat bran or wheat bran temporally and differentially alter the composition of the fecal community of rats. *The Journal of Nutrition*, 139, 2024-2031. <https://doi.org/10.3945/jn.109.109470>
3. Aryashad, M., Sadeghi, A., Nouri, M., Ebrahimi, M., Kashaninejad, M., & Aalami, M. (2023). Use of fermented sprouted mung bean (*Vigna radiata*) containing protective starter culture LAB to produce clean-label fortified wheat bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 58, 3310-3320. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16236>
4. Atudorei, D., Ropciuc, S., & Codină, G.G. (2022). Possibilities to use germinated lupine flour as an ingredient in breadmaking to improve the final product quality. *Agronomy*, 12, 667. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030667>

5. Axel, C., Brosnan, B., Zannini, E., Furey, A., Coffey, A., & Arendt, E.K. (2016). Antifungal sourdough lactic acid bacteria as biopreservation tool in quinoa and rice bread. *International Journal of Food Microbiology*, 239, 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.05.006>
6. Axel, C., Zannini, E., & Arendt, E.K. (2017). Mold spoilage of bread and its biopreservation: A review of current strategies for bread shelf-life extension. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(16), 3528-3542. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1147417>
7. Coda, R., Rizzello, C.G., Nigro, F., De Angelis, M., Arnault, P., & Gobbetti, M. (2008). Long-term fungal inhibitory activity of water-soluble extracts of *Phaseolus vulgaris* cv. Pinto and sourdough lactic acid bacteria during bread storage. *Applied and Environmental Microbiology*, 74, 7391-7398. <https://doi.org/10.1128/AEM.01420-08>
8. Coda, R., Varis, J., Verni, M., Rizzello, C.G., & Katina, K. (2017). Improvement of the protein quality of wheat bread through faba bean sourdough addition. *LWT-Food Science and Technology*, 82, 296-302. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.062>
9. Donkor, O.N., Stojanovska, L., Ginn, P., Ashton, J., & Vasiljevic, T. (2012). Germinated grains—sources of bioactive compounds. *Food Chemistry*, 135, 950-959. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.058>
10. Ebrahimi, M., Noori, S.M.A., Sadeghi, A., emir Coban, O., Zanganeh, J., Ghodsmofidi, S.M., Malvandi, Z., & Raeisi, M. (2022). Application of cereal-bran sourdoughs to enhance technological functionality of white wheat bread supplemented with pumpkin (*Cucurbita pepo*) puree. *LWT-Food Science and Technology*, 158, 113079. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113079>
11. Gerez, C.L., Torino, M.I., Rollán, G., & de Valdez, G.F. (2009). Prevention of bread mould spoilage by using lactic acid bacteria with antifungal properties. *Food Control*, 20, 144-148. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.03.005>
12. Gobbetti, M., Rizzello, C.G., Di Cagno, R., & De Angelis, M. (2014). How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food Microbiology*, 37, 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.012>
13. Graça, C., Lima, A., Raymundo, A., & Sousa, I. (2021). Sourdough fermentation as a tool to improve the nutritional and health-promoting properties of its derived-products. *Fermentation*, 7, 246. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040246>
14. Guardado-Félix, D., Lazo-Vélez, M.A., Pérez-Carrillo, E., Panata-Saquicili, D.E., & Serna-Saldívar, S.O. (2020). Effect of partial replacement of wheat flour with sprouted chickpea flours with or without selenium on physicochemical, sensory, antioxidant and protein quality of yeast-leavened breads. *LWT-Food Science and Technology*, 129, 109517. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109517>
15. Hajinia, F., Sadeghi, A., & Sadeghi Mahoonak, A. (2021). The use of antifungal oat-sourdough lactic acid bacteria to improve safety and technological functionalities of the supplemented wheat bread. *Journal of Food Safety*, 41, e12873. <https://doi.org/10.1111/jfs.12873>
16. Hansen, A., & Schieberle, P. (2005). Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: applied and fundamental aspects. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.03.007>
17. Irakli, M., Mygdalia, A., Chatzopoulou, P., & Katsantonis, D. (2019). Impact of the combination of sourdough fermentation and hop extract addition on baking properties, antioxidant capacity and phenolics bioaccessibility of rice bran-enhanced bread. *Food Chemistry*, 285, 231-239. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.145>
18. Jenkins, D.J., Kendall, C.W., Augustin, L.S., Mitchell, S., Sahye-Pudaruth, S., Mejia, S.B., & Josse, R.G. (2012). Effect of legumes as part of a low glycemic index diet on glycemic control and cardiovascular risk factors in type 2 diabetes mellitus: a randomized controlled trial. *Archives of International Medicine*, 172, 1653-1660. <https://doi.org/10.1001/2013.jamainternmed.70>
19. Katina, K., Heiniö, R., Autio, K., & Poutanen, K. (2006). Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. *LWT-Food Science and Technology*, 39, 1189-1202. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.08.001>
20. Magnusson, J., Ström, K., Roos, S., Sjögren, J., & Schnürer, J. (2003). Broad and complex antifungal activity among environmental isolates of lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Letters*, 219, 129-135. [https://doi.org/10.1016/S0378-1097\(02\)01207-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1097(02)01207-7)
21. Montemurro, M., Pontonio, E., Gobbetti, M., & Rizzello, C.G. (2019). Investigation of the nutritional, functional and technological effects of the sourdough fermentation of sprouted flours. *International Journal of Food Microbiology*, 302, 47-58. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.08.005>
22. Naqash, F., Gani, A., Gani, A., & Masoodi, F.A. (2017). Gluten-free baking: Combating the challenges-A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 98-107. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.004>
23. Nelson, K., Stojanovska, L., Vasiljevic, T., & Mathai, M. (2013). Germinated grains: a superior whole grain functional food?. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 91, 429-441. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2012-0351>

24. Nionelli, L., Pontonio, E., Gobetti, M., & Rizzello, C.G. (2018). Use of hop extract as antifungal ingredient for bread making and selection of autochthonous resistant starters for sourdough fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 266, 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.12.002>
25. Patrascu, L., Vasilean, I., Turtoi, M., Garnai, M., & Aprodu, I. (2019). Pulse germination as tool for modulating their functionality in wheat flour sourdoughs. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 11, 269-282. <https://doi.org/10.3920/QAS2018.1364>
26. Peñaranda, J.D., Bueno, M., Álvarez, F., Pérez, P.D., & Perezábad, L. (2021). Sprouted grains in product development. Case studies of sprouted wheat for baking flours and fermented beverages. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25, 100375. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100375>
27. Perri, G., Calabrese, F.M., Rizzello, C.G., De Angelis, M., Gobetti, M., & Calasso, M. (2020). Sprouting process affects the lactic acid bacteria and yeasts of cereal, pseudocereal and legume flours. *LWT-Food Science and Technology*, 126, 109314. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109314>
28. Perri, G., Rizzello, C.G., Ampollini, M., Celano, G., Coda, R., Gobetti, M., De Angelis, M., & Calasso, M. (2021). Bioprocessing of barley and lentil grains to obtain in situ synthesis of exopolysaccharides and composite wheat bread with improved texture and health properties. *Foods*, 10, 1489. <https://doi.org/10.3390/foods10071489>
29. Purabdollah, H., Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Kashaninejad, M., Shahiri Tabarestani, H., & Mohamadzadeh, J. (2020). Techno-functional properties of the selected antifungal predominant LAB isolated from fermented acorn (*Quercus persica*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 1754-1764. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00423-2>
30. Rizzello, C.G., Calasso, M., Campanella, D., De Angelis, M., & Gobetti, M. (2014). Use of sourdough fermentation and mixture of wheat, chickpea, lentil and bean flours for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of white bread. *International Journal of Food Microbiology*, 180, 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.04.005>
31. Rizzello, C.G., Lavecchia, A., Gramaglia, V., & Gobetti, M. (2015). Long-term fungal inhibition by *Pisum sativum* flour hydrolysate during storage of wheat flour bread. *Applied and Environmental Microbiology*, 81, 4195-4206. <https://doi.org/10.1128/AEM.04088-14>
32. Rizzello, C.G., Nionelli, L., Coda, R., De Angelis, M., & Gobetti, M. (2010). Effect of sourdough fermentation on stabilisation, and chemical and nutritional characteristics of wheat germ. *Food Chemistry*, 119, 1079-1089. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.016>
33. Rizzello, C.G., Verni, M., Bordignon, S., Gramaglia, V., & Gobetti, M. (2017). Hydrolysate from a mixture of legume flours with antifungal activity as an ingredient for prolonging the shelf-life of wheat bread. *Food Microbiology*, 64, 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.12.003>
34. Rouhi, E., Sadeghi, A., Jafari, S.M., Abdolhoseini, M., & Assadpour, E. (2023). Effect of the controlled fermented quinoa containing protective starter culture on technological characteristics of wheat bread supplemented with red lentil. *Journal of Food Science and Technology*, 60, 2193-2203. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05746-8>
35. Romano, A., Gallo, V., Ferranti, P., & Masi, P. (2021). Lentil flour: Nutritional and technological properties, in vitro digestibility and perspectives for use in the food industry. *Current Opinion in Food Science*, 40, 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.04.003>
36. Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Hajinia, F., Kharazmi, M.S., & Jafari, S.M. (2023). FoodOmics as a promising strategy to study the effects of sourdough on human health and nutrition, as well as product quality and safety; back to the future. *Trends in Food Science & Technology*, 136, 24-47. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.026>
37. Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Mortazavi, S.A., & Abedfar, A. (2019). Application of the selected antifungal LAB isolate as a protective starter culture in pan whole-wheat sourdough bread. *Food Control*, 95, 298-307. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.08.013>
38. Sekwati-Monang, B., Valcheva, R., & Gänzle, M.G. (2012). Microbial ecology of sorghum sourdoughs: effect of substrate supply and phenolic compounds on composition of fermentation microbiota. *International Journal of Food Microbiology*, 159, 240-246. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.09.013>
39. Sigüenza-Andrés, T., Pando, V., Gómez, M., & Rodríguez-Nogales, J.M. (2022). Optimization of a simultaneous enzymatic hydrolysis to obtain a high-glucose slurry from bread waste. *Foods*, 11, 1793. <https://doi.org/10.3390/foods11121793>
40. Vogelmann, S.A., & Hertel, C. (2011). Impact of ecological factors on the stability of microbial associations in sourdough fermentation. *Food Microbiology*, 28, 583-589. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.11.010>

Investigating the Effect of Chitosan Coating Along with Ginger Essential oil on Shelf life of Salmon Fish in Refrigerator Temperature

E. Mehrabi¹, M. Bonyadian^{1,2*}, A. Fallah²

1 and 2- M.Sc. and Professor, Department of Food Hygiene and Quality Control, Faculty of Veterinary Medicine, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: boniadian@sku.ac.ir)

Received: 07.12.2023

Revised: 05.01.2024

Accepted: 04.02.2024

Available Online: 05.02.2024

How to cite this article:

Mehrabi, E., Bonyadian, M., & Fallah, A. (2024). Investigating the effect of chitosan coating along with ginger essential oil on shelf life of salmon fish in refrigerator temperature. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(4), 447-463. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.85460.1300>

Introduction

Recently, the use of new packaging materials and natural additives for improving the durability and preservation of foods has been increasingly considered. Edible coatings containing plant extracts lead to increase the shelf life of food, do not cause environmental contamination, and do not endanger the health of the consumer. Fish is a food rich in amino acids, vitamins and minerals, and polyunsaturated fatty acids, especially omega-3, which has made it more and more popular in the human diet. However, the presence of a significant amount of polyunsaturated fatty acids as well as easily digestible proteins has turned fish into a highly perishable commodity. Fresh seafood spoils rapidly due to the enzymatic and bacterial activities that occur after death, as well as the spoilage caused by the oxidation of polyunsaturated fatty acids and the high concentration of hematin compounds and metal ions of fish muscle, such as iron, and their pH which is close to neutral. Therefore, the use of natural coatings that can increase the shelf life of food and attract the consumers should be given more attention. Iran is the largest fishery producer in the region, thus, providing new methods to increase the shelf life of these products until the time of consumption can guarantee the safety and be effective in the economic prosperity of this industry. Therefore, the present study was designed to investigate the effect of chitosan coating along with the volatile oil of ginger plant on the shelf life of salmon fillets stored in refrigerator to reduce microbial growth, reduce chemical reactions, and increase the storage life of salmon fillets in refrigerator.

Material and Methods

Rainbow trout fish with an approximate weight of 600 grams were purchased from the market. Fish were washed with sterile distilled water, and cut into 60-gram pieces after separating the head and tail and eviscerating. The prepared fish were randomly divided into 4 groups. The control group was without any treatment but the treatment groups were immersed in chitosan containing different concentrations of Ginger essential oils. All the samples were kept in zipped bags at refrigerator (4°C) for 15 days. Microbial tests (Mesophilic, Psychrophilic, Coliform, and Lactic acid bacteria count), chemical tests (pH, TVN, TBARS), and sensory tests (color, smell, taste, texture, and overall acceptance) were performed on days 1, 4, 7, 12 and 15. The data obtained from the microbial and chemical tests were analyzed by one-way analysis of variance and the data obtained from the sensory tests were analyzed by the Kruskal-Wallis test in Sigma Stat 4 statistical software, considering $P < 0.05$.

Results and Discussion

The results of bacterial tests showed that chitosan coating with ginger essential oil had a significant effect on reducing the growth of mesophilic, coliform, lactic acid bacteria and psychrophilic bacteria compared to the control and chitosangroups during 15 days of storage in the refrigerator ($P < 0.05$). During the storage period, chitosan-treated



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.85460.1300>

groups containing 1.5% and 0.75% of ginger volatile oil had the best microbial quality in terms of mesophilic bacteria, Psychrophilic bacteria, lactic acid- bacteria, and coliforms. Also, in samples immersed in chitosan coating with ginger essential oil, the pH, TVN and TBARS values at the end of the storage period were significantly lower than the control and chitosan group ($P<0.05$). The results showed that pH, TVN, and TBARS did not exceed the defined standard for fish meat at the end of the storage period in the groups treated with ginger volatile oil. Sensory characteristics indicated that the groups treated with chitosan coating containing ginger essential oils showed better sensory characteristics in terms of color, taste, smell, texture, and overall acceptance than the control and chitosan groups during the storage period ($P<0.05$).

Conclusion

Based on the results of the present study using the chitosan coating combined with ginger volatile oils has antimicrobial and antioxidant properties, which can reduce the oxidation of fats and microbial loads, while maintaining the organoleptic quality and increasing the shelf life of fish meat at refrigerator temperature. In comparison between treated groups, the use of chitosan along with 0.75% volatile oil of ginger is recommended, because by using a smaller amount of volatile oil, the microbial, chemical, and organoleptic properties can be kept at the standard level until the 15th day.

Acknowledgments

The authors are grateful to Shahrekord University's Research Vice-Chancellor for supporting this project.

Keywords: Chitosan coating, Essential oils, Ginger, *Rainbow trout*, Shelf life

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۳، ص. ۴۶۳-۴۴۷

بررسی اثر پوشش کیتوزان به همراه روغن فرار گیاه زنجبیل بر روی ماندگاری ماهی قزل آلا در دمای یخچال

الناز مهرابی^۱ - مجتبی بنیادیان^{۲*} - عزیز اله فلاح^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

چکیده

پوشش‌های خوراکی حاوی روغن‌های فرار گیاهی باعث افزایش ماندگاری مواد غذایی شده، و سلامت مصرف‌کننده را به خطر نمی‌اندازند. این مطالعه با هدف بررسی پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل بر ماندگاری فیله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در دمای یخچال انجام شد. قزل‌آلای رنگین کمان با وزن تقریبی ۶۰۰ گرم از بازار تهیه و پس از خارج کردن امعاء و احشاء با آب مقطر استریل شسته و به قطعات ۶۰ گرمی تقسیم شدند. نمونه‌ها به طور تصادفی به ۴ گروه تقسیم شدند. گروه‌های تیمار در کیتوزان حاوی غلظت‌های مختلف روغن فرار زنجبیل غوطه‌ور شده و سپس در کیسه‌های زیپ‌دار در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ روز نگهداری شدند. آزمون‌های میکروبی (تعداد باکتری‌های مزوفیل، سرما دوست، کلی فرم و اسید لاکتیک)، آزمون‌های شیمیایی pH، TVN، TBARS و آزمون‌های حسی (رنگ، بو، طعم، بافت و پذیرش کلی) در روزهای ۱، ۴، ۷، ۱۲ و ۱۵ روی نمونه‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل در کاهش رشد باکتری‌های مزوفیل، کلیفرم، اسید لاکتیک و سایکروفیل در مقایسه با گروه شاهد و کنترل کیتوزان، در مدت ۱۵ روز نگهداری در یخچال تأثیر معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). همچنین در نمونه‌ها با پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل، مقادیر pH، TVN و TBARS در پایان دوره به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد و کیتوزان بود ($P < 0.05$). گروه‌های تیمار شده با پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل، از نظر رنگ، طعم، بو، بافت و پذیرش کلی نسبت به گروه شاهد و کیتوزان ویژگی‌های بهتری را در طول روزهای نگهداری نشان دادند ($P < 0.05$). بطور کلی استفاده از پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل روش مناسبی برای افزایش زمان ماندگاری ماهی قزل‌آلا در دمای یخچال بوده و مدت زمان ماندگاری آن را تا ۱۵ روز افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پوشش کیتوزان، روغن فرار، زنجبیل، ماهی قزل آلا، ماندگاری

مقدمه

پوشش‌های خوراکی عبارتند از افزودن یک لایه نازک از مواد خوراکی (ماده‌ای که در صورت ورود به بدن بدون عوارض جانبی هضم و جذب می‌شود) روی مواد غذایی که از طریق پیچیدن، فرو بردن، برس زدن و اسپری کردن تشکیل می‌شود و به‌عنوان بخشی از محصول بوده و موقع استفاده روی محصول باقی می‌ماند (Leyva-López et al., 2017). به این ترتیب یک سد انتخابی در برابر انتقال گازها، بخارها و مواد حل شده ایجاد می‌گردد و منجر به حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری مواد غذایی می‌شود (Giacometti et al., 2018). همچنین پوشش‌های خوراکی می‌توانند با ترکیباتی مثل نرم‌کننده‌ها، امولسیفایرها، آنتی

در سالیان اخیر استفاده از روش‌های جدید بسته‌بندی و افزودنی‌های طبیعی برای ماندگاری و نگهداری مواد غذایی به‌طور روز افزونی گسترش یافته است (Krochta, 2017). پوشش‌های خوراکی به همراه عصاره‌ی گیاهان بر افزایش ماندگاری مواد غذایی باعث آلودگی محیط زیست نمی‌شوند و ضروری برای مصرف‌کننده نخواهند داشت (Putnik et al., 2018).

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

(Email: boniadian@sku.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

اکسیدانها و مواد ضد میکروبی ترکیب شوند تا تأثیرات مورد نظر را فراهم کنند (Sotelo-Boyás et al., 2017).

کیتوزان پلی ساکارییدی است که در پوشش خارجی خرچنگها و میگوها و دیواره سلولی قارچها یافت می شود. ویژگی های غیر سمی، زیست تخریب پذیر و سازگاری آن به اثبات رسیده است. همچنین روغن های فرار از گیاهان استخراج می شوند و به دلیل داشتن فعالیت های بیولوژیکی شامل خواص آنتی اکسیدانی، ضد سرطانی و ضد میکروبی شناخته شده اند (Ass et al., 2017).

زنجبیل (*Zingiber officinale*) از خانواده Zingiberaceae به طور گسترده ای به عنوان ادویه یا گیاه دارویی در داروهای سنتی و طبی استفاده می شود. قسمت دارویی زنجبیل ریزومها هستند که در طب سنتی برای درمان بیماری های مختلف استفاده می شوند. مطالعات متعدد نشان داده است که عصاره و روغن فرار این گیاه دارای خواص ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی است (Mahboubi, 2019).

ماهی به عنوان یک ماده غذایی غنی از اسیدهای آمینه، ویتامینها و مواد معدنی و اسیدهای چرب چند غیر اشباعی به ویژه امگا ۳ است که سبب شده بیش از پیش در سبد غذایی انسان قرار گیرد، خوشبختانه امروزه در ایران اهمیت مصرف ماهی شناخته شده و مصرف سرانه آن در حال افزایش است (Dehghani et al., 2018). حضور مقدار قابل توجهی از اسیدهای چرب چند غیر اشباعی و همچنین پروتئین های آسان هضم، ماهی را به یک ماده غذایی بسیار فسادپذیر تبدیل کرده است (Angiolillo et al., 2018). غذاهای دریایی تازه به دلیل فعالیت های آنزیمی و باکتریایی بالایی که بعد از مرگ رخ می دهد و همچنین فساد ناشی از اکسیداسیون اسیدهای چرب چند غیر اشباعی و غلظت بالای ترکیبات همتین و یون های فلزی عضله ماهی مانند آهن، و pH نزدیک به خنثی خیلی سریع تر از بقیه انواع گوشت در معرض فساد قرار دارند (Richards & Hultin, 2020). از آن جایی که اکثر محصولات غذایی دریایی در مناطقی دورتر از محل تولیدشان به فروش می رسند، لازم است که عمر ماندگاری این محصولات افزایش یابد (Chemat et al., 2020). بهبود بخشیدن ماندگاری محصولات دریایی می تواند با کاهش خسارات ناشی از فساد و نیز از طریق ایجاد امکان توزیع به فواصل دورتر و فروش در بازارهای جدید و صادرات، بازتاب های اقتصادی مهمی در پی داشته باشد (Hassan et al., 2018). بنابراین حفظ کیفیت ماهی از مرحله صید تا مصرف از اهمیت بالایی برخوردار است و صنایع مربوط به فرآوری و نگهداری محصولات دریایی می تواند در ارتقاء کیفیت و در نتیجه ترغیب مصرف کنندگان به استفاده از این فرآورده های مهم مؤثر باشد که این عمل با استفاده از بسته بندی صحیح ماهی امکان پذیر می باشد.

با توجه به مخاطراتی که ممکن است در بسته بندی مواد غذایی با استفاده از مواد صنعتی برای مصرف کننده بوجود آید، تمایل مصرف کنندگان بیشتر به بسته بندی های با مواد طبیعی، در دسترس، قابل تجزیه و بازیافت شونده سوق پیدا کرده است (Pateiro et al., 2021). بر این اساس استفاده از پوشش های طبیعی که بتواند ماندگاری مواد غذایی را افزایش داده و مورد توجه مصرف کنندگان قرار گیرد بیش از پیش باید مورد توجه قرار گیرد. از آنجایی که ایران یکی از کشورهای تولید کننده مواد غذایی دریایی بوده و ارائه روش های نوین برای افزایش ماندگاری این محصولات تا موقع مصرف می تواند نه تنها بهداشت مصرف کننده را تضمین نماید بلکه در رونق اقتصادی این صنعت اثرگذار باشد. لذا مطالعه حاضر طراحی و اثر پوشش دهی کیتوزان به همراه روغن فرار گیاه زنجبیل بر روی ماندگاری فیله ماهی قزل آلا در یخچال به منظور کاهش رشد میکروبی و کاهش واکنش های شیمیایی و افزایش عمر نگهداری فیله ماهی قزل آلا در یخچال مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

تهیه ی روغن فرار زنجبیل: روغن فرار زنجبیل از شرکت درین گلاب کاشان (ایران-کاشان) خریداری شد و در ظرف تیره رنگ درب دار در یخچال نگهداری شد.

تهیه محلول کیتوزان: برای تهیه تیمارهای کیتوزان، پودر کیتوزان با وزن مولکولی متوسط از شرکت سیگما (آمریکا) خریداری شد. برای ساخت پوشش ابتدا محلول استیک اسید یک درصد تهیه و سپس با افزودن پودر کیتوزان به اسید، محلول کیتوزان ۲ درصد (وزن/حجم) در اسید تهیه شد. قبل از افزودن روغن فرار زنجبیل توپین ۸۰ به عنوان امولسیفایر به میزان ۰/۲ درصد محلول کیتوزان اضافه شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه برای هر بشر عمل همزدن را ادامه داده تا امولسیفایر به خوبی در محلول کیتوزان پخش شود. در آخرین مرحله ی همزنی محلول روغن های فرار با نسبت ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد (حجمی/وزنی) به محلول های پایه اضافه شدند. در نهایت جهت بهبود عملکرد تداخل فازها محلول ها به مدت ۵ دقیقه تحت همزنی با دور بالای همزنایزر قرار گرفتند. برای تهیه هر تیمار از ۵۰۰ میلی لیتر محلول کیتوزان ۲ درصد استفاده شد (Yuan et al., 2016).

آماده سازی ماهی: مقدار ۴ کیلوگرم ماهی قزل آلا ی رنگین کمان با وزن متوسط ۶۰۰ گرم به صورت زنده از بازار خریداری شد و پس از تخلیه امعاء و احشاء و جدا کردن سر و دم و باله، ماهی ها با آب مقطر استریل شستشو و به قطعات ۶۰ گرمی تقسیم و در دمای صفر درجه سانتی گراد نگهداری شدند.

ایجاد پوشش بر روی ماهی: فیله ماهی ها در محلول های پوشش دهی آماده شده هر تیمار غوطه ور و به کمک انبرک استیل به

نمونه ماهی محاسبه شد (Rajabian et al., 2019). (A: حجم اسید سولفوریک)

$$TVN=14 \times (0.15-A)$$

اندازه‌گیری pH

برای اندازه‌گیری pH مقدار ۵ گرم از نمونه ماهی با ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر در یک بشر وارد و با مخلوط کن کاملاً هموژن و سپس pH نمونه‌ها با استفاده از دستگاه pH متر الکتریکی اندازه‌گیری شد (Yuan et al., 2016).

آزمون TBARS (اکسیداسیون ثانویه چربی‌ها)

برای اندازه‌گیری تیوباریتوریک اسید ابتدا مقدار ۵ گرم ماهی با ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر هموژن شد و سپس یک میلی‌لیتر از محلول هموژن شده با ۲ میلی‌لیتر محلول تری کلرواستیک اسید ۱۵ درصد (وزن به حجم) تیوباریتوریک اسید ۲۰ مولار مخلوط و هم زده شد. محلول به دست آمده به مدت ۳۰ دقیقه در حمام ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و سپس با دور ۳۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ شد. ابتدا دستگاه اسپکتروفتومتر بوسیله محلول کنترل شامل ۲ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید ۱۵ درصد و تیوباریتوریک اسید ۲۰ مولار به اضافه ۱ میلی‌لیتر آب مقطر در طول موج ۵۳۲ نانومتر کالیبره و سپس میزان جذب نوری محلول صورتی رنگ شفاف رویی در دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر قرائت شد. نتایج با استفاده از فرمول زیر به صورت میلی‌گرم مالون دی آلدهید در هر کیلوگرم گوشت ماهی گزارش شد (Hernández et al., 2009). (A: جذب نوری)

$$TBARS = \frac{A \times 72 \times 1000 \times 4}{1.56 \times 105}$$

آزمون‌های حسی

آزمون‌های حسی شامل رنگ، بو، بافت، مزه و پذیرش کلی گوشت ماهی بر اساس روش ۵ نمره‌ای صورت گرفت. در این ارزیابی نمره‌ی ۱: به شدت نامطبوع، ۲: زیاد نامطبوع، ۳: کمی نامطبوع، ۴: مطبوع و ۵: بسیارمطبوع؛ در نظر قرار گرفت. ارزیاب‌ها از گروه سنی ۲۰ تا ۴۰ سال به تعداد ۵ نفر انتخاب شدند و روش پخت نمونه‌ها به روش سرخ کردن ملایم بود. در این آزمون نمونه‌هایی که نمره ۳ تا ۵ را دریافت کردند نمونه‌های قابل قبول از نظر حسی تلقی شدند (Rajabian et al., 2019).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های بدست آمده از آزمون‌های میکروبی و شیمیایی توسط آزمون آماری آنالیز واریانس یک طرفه و داده‌های بدست آمده از آزمون

بسته‌های زیپک‌دار مخصوص منتقل شدند. برای هر تیمار در هر روز سه تکرار در نظر گرفته شد. بسته‌های حاوی نمونه‌های ماهی در یخچال با دمای 4 ± 1 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و در روزهای ۱، ۴، ۷، ۱۲ و ۱۵ آزمون‌های میکروبی، شیمیایی و حسی روی آن‌ها انجام شد.

آزمون‌های میکروبی

جهت ارزیابی میکروبی نمونه‌ها ابتدا ۱۰ گرم از هر یک از نمونه‌ها وزن و به داخل کیسه استومکر انتقال داده شد. سپس ۹۰ میلی‌لیتر سرم فیزیولوژی استریل به آن اضافه و در دستگاه استومکر کاملاً هموژن شدند. سپس از رقت اولیه سریال‌های رقت ده‌تایی تهیه گردید و آزمون‌های شمارش کلی باکتری‌های مزوفیل هوازی، باکتری‌های سرمادوست، باکتری‌های مولد اسید لاکتیک و باکتری‌های کلیفرم انجام شد. جهت شمارش کلی باکتری‌های مزوفیل از محیط‌کشت PCA (مرک، آلمان) استفاده شد. یک میلی‌لیتر از هر رقت به روش پور پلیت دولایه‌ای تحت شرایط استریل به محیط‌کشت PCA منتقل شد و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. شمارش باکتری‌های سرمادوست نیز مطابق روش بالا انجام شد، با این تفاوت که پلیت‌ها در دمای ۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ روز نگهداری شدند. برای شمارش باکتری‌های اسید لاکتیک از محیط کشت MRS (مرک، آلمان) استفاده شد و مقدار یک میلی‌لیتر از هر رقت تحت شرایط استریل به پلیت منتقل و با محیط‌کشت MRS آگار به روش کشت مخلوط و دولایه کشت شد. پلیت‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. جهت شمارش باکتری‌های کلیفرم نیز از روش کشت مخلوط دولایه‌ای و از محیط کشت VRBA (مرک، آلمان) استفاده شد. پلیت‌ها برای مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شدند (Rajabian et al., 2019).

آزمون‌های شیمیایی

آزمون TVN (اندازه‌گیری بازهای فرار)

مقدار ۱۰ گرم ماهی را در لوله آزمایش مخصوص کدال ریخته و مقدار ۲ گرم اکسید منیزیم به‌عنوان کاتالیزور به آن اضافه شد و لوله آزمایش در دستگاه اتوماتیک کدال جای‌گذاری شد. چند قطره معرف متیل رد به‌عنوان شناساگر هم درون ارلن دریافت‌کننده دستگاه اضافه کرده و سر لوله خروجی درون ارلن قرار داده شد. محتویات درون ارلن که بازهای ازته فرار متصاعد شده از نمونه اند را با اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال تیترو شد. سپس با قرار دادن میزان اسید مصرفی جهت تیتراسیون در فرمول زیر، بازهای ازته فرار بر حسب میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم

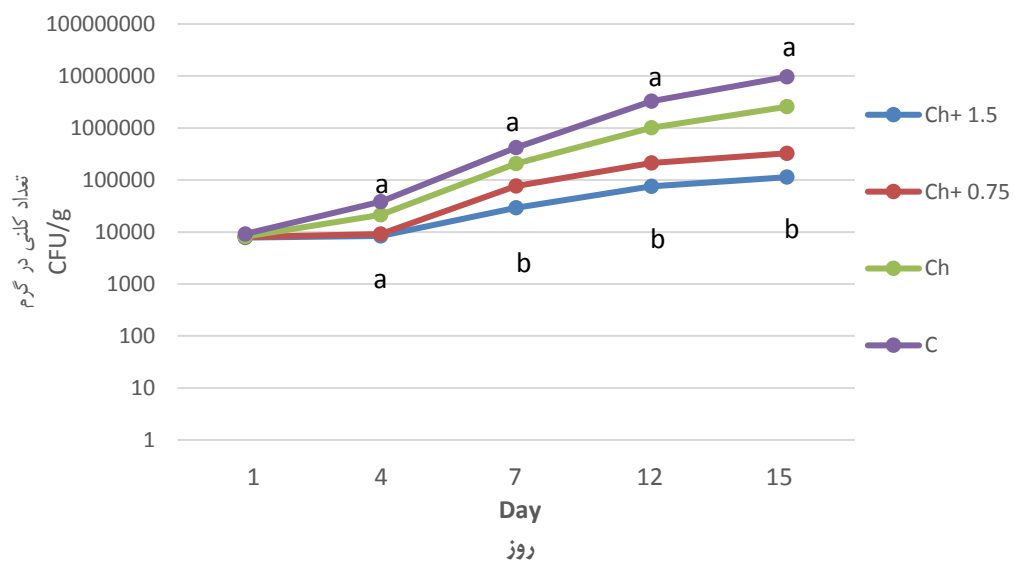
های حسی بوسیله آزمون کروسکال والیس، در نرم افزار آماری Sigma Stat 4 با در نظر گرفتن ($P < 0.05$) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج

نتایج آزمون‌های میکروبی

در بررسی رشد مزوفیل‌ها در روز اول بین گروه کنترل و سایر گروه‌ها (تیمار کیتوزان ۲ درصد، کیتوزان به همراه اسانس ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد روغن فرار زنجبیل) تفاوت معنی‌داری در شمارش باکتری‌های مزوفیل هوازی مشاهده نشد ($P > 0.05$). ولی در طول زمان نگهداری تعداد

باکتری‌های مزوفیل هوازی هم در گروه کنترل و هم در تیمارها افزایش پیدا کرد. اما روند این افزایش در گروه‌های تیمار در مقایسه با گروه کنترل کندتر بود. در پایان دوره‌ی نگهداری (روز ۱۵) رشد مزوفیل‌ها در گروه کنترل از همه گروه‌های دیگر بیشتر بود. در این زمان گروه تیمار کیتوزان با روغن فرار ۱/۵ درصد و ۰/۷۵ درصد روغن فرار زنجبیل بهترین کیفیت میکروبی از نظر شمارش باکتری‌های مزوفیل هوازی را داشتند و تفاوت معنی‌دار نیز بین این دو گروه از این نظر مشاهده نشد ($P > 0.05$). ولی بین گروه‌های کنترل و تیمار کیتوزان ۲ درصد با گروه‌های تیمار کیتوزان حاوی روغن فرار ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$) (شکل ۱).



شکل ۱- تعداد باکتری‌های مزوفیل در تیمارهای مختلف در ماهی قزل‌آلا طی ۱۵ روز نگهداری در شرایط یخچال

(C: ماهی قزل‌آلا فاقد پوشش، Ch: ماهی قزل‌آلا دارای پوشش کیتوزان ۲ درصد، Ch0.75: ماهی قزل‌آلا دارای پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ درصد، Ch1.5: ماهی قزل‌آلا دارای پوشش کیتوزان به علاوه روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد). حروف غیر مشابه در هر روز نشانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار است ($P < 0.05$).

Fig. 1. The number of mesophilic bacteria in different treatments in salmon during 15 days of storage in refrigerator conditions

(C: uncoated salmon, Ch: salmon coated with 2% chitosan, Ch0.75: salmon with chitosan coating containing ginger essential oil with a concentration of 0.75%, Ch1.5: salmon with chitosan coating plus essential oil with a concentration of 1.5%. Different letters in the treatments on each day indicate the presence of statistically significant differences $P < 0.05$).

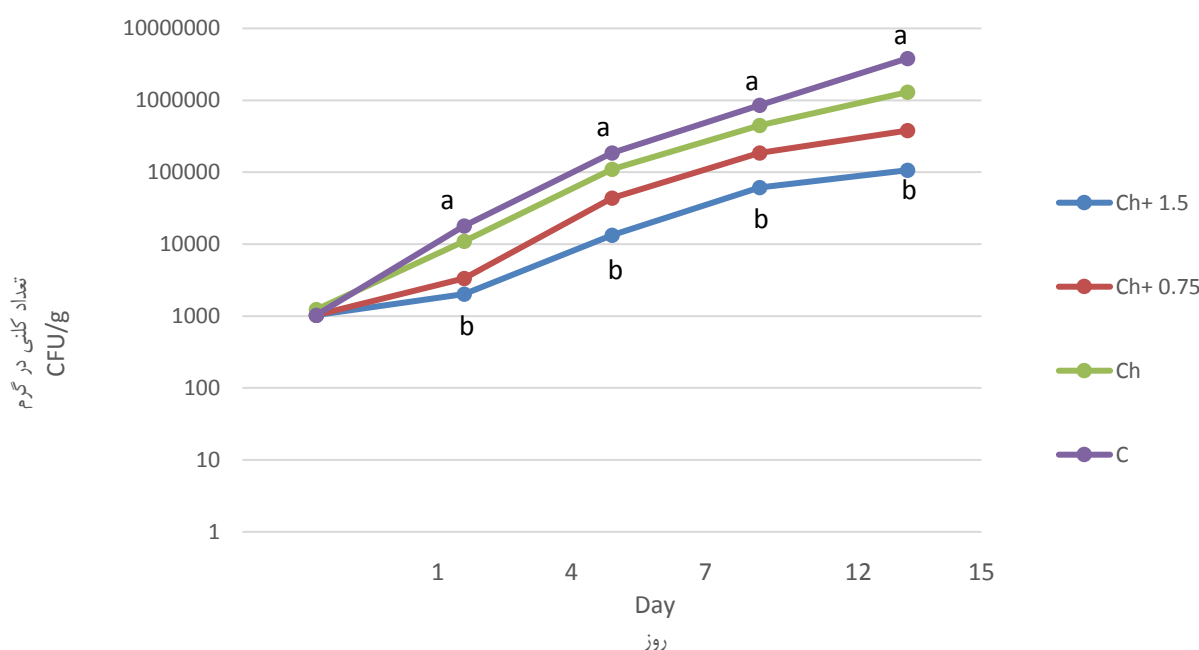
گروه کنترل از سایر گروه‌ها بیشتر بود بطوری‌که بین گروه کنترل و تیمار کیتوزان ۲ درصد با گروه‌های تیمار با کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ($P < 0.05$). ولی بین گروه تیمار کیتوزان با روغن فرار ۰/۷۵ درصد با گروه تیمار کیتوزان با روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$) (شکل ۲).

نتایج شمارش باکتری‌های سایکروفیل در روز اول نگهداری تا روز چهارم تفاوت معنی‌داری بین گروه کنترل و دیگر گروه‌ها (تیمار کیتوزان ۲ درصد و تیمار کیتوزان به علاوه روغن فرار با غلظت ۰/۷۵ درصد و تیمار کیتوزان حاوی روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد) مشاهده نشد ($P > 0.05$). در روز پانزدهم نگهداری نیز همچنان با توجه به این که تمامی گروه‌ها از نظر باکتری‌های سایکروفیل رشد داشتند، ولی رشد در

لاکتیک در گوشت ماهی در شکل ۴ آورده شده است. بر این اساس در روز اول نگهداری بین گروه کنترل با تمامی گروه‌ها اختلاف معنی‌دار وجود نداشت ($P>0.05$). در روز چهارم و هفتم و دوازدهم نگهداری نیز با توجه به رشد باکتری‌های اسید لاکتیک در تمامی گروه‌ها روند ادامه می‌یابد اما در گروه کنترل با سرعت بیشتری همراه است و در روز پانزده بین گروه کنترل با تمامی تیمارها به جز تیمار کیتوزان ۲ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($P<0.05$) اما بین گروه تیمار کیتوزان حاوی روغن فرار ۱/۵ درصد با گروه کیتوزان حاوی روغن فرار ۰/۷۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد ($P>0.05$) (شکل ۴).

با توجه به نتایج شمارش باکتری‌های کلیفرم در همه گروه‌ها طی زمان نگهداری کلیفرم‌ها رشد داشتند. در روز اول بین گروه کنترل با تمامی گروه‌های تیمار اختلاف معنی‌دار وجود نداشت ($P>0.05$), ولی در روزهای بعد رشد باکتری‌های کلیفرم در گروه کنترل نسبت به سایر گروه‌ها افزایش بیشتری داشت بطوری‌که از روز هفتم به بعد بین گروه کنترل با تمامی گروه‌های تیمار اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ($P<0.05$), اما بین گروه تیمار کیتوزان حاوی روغن زنجبیل ۰/۷۵ درصد و گروه تیمار کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل ۱/۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($P>0.05$) (شکل ۳).

بررسی اثر تیمار کیتوزان و روغن فرار زنجبیل با غلظت‌های ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد غلظت روغن فرار زنجبیل بر روی باکتری‌های اسید

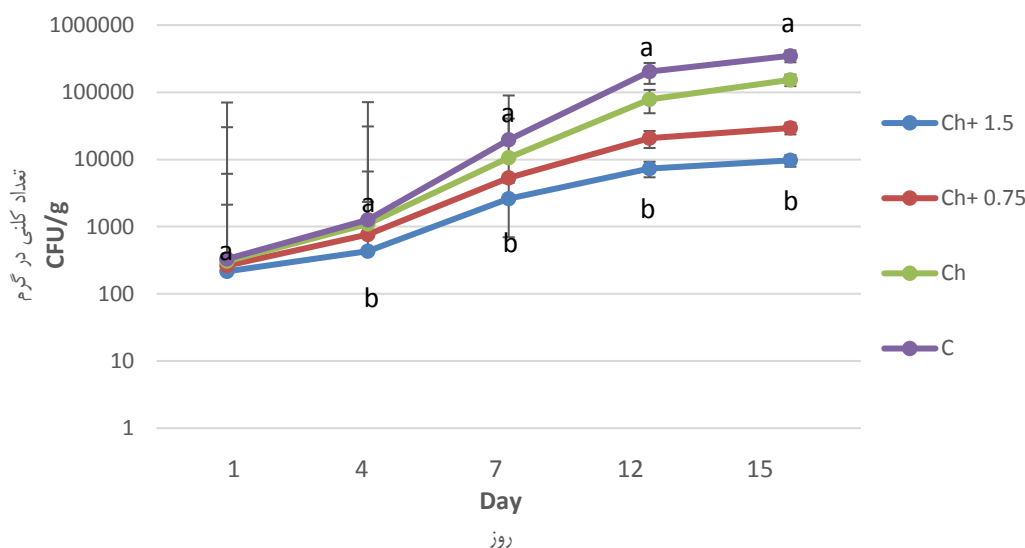


شکل ۲- تعداد باکتری‌های سرمادوست در تیمارهای مختلف در ماهی قزل‌آلا طی ۱۵ روز نگهداری در شرایط یخچال

(C: ماهی قزل‌آلای فاقد پوشش، Ch: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ درصد، Ch1.5: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان به علاوه روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد). حروف غیر مشابه در هر روز نشانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار است ($P<0.05$).

Fig. 2. The number of Psychrophilic bacteria in different treatments in salmon during 15 days of storage in refrigerator conditions

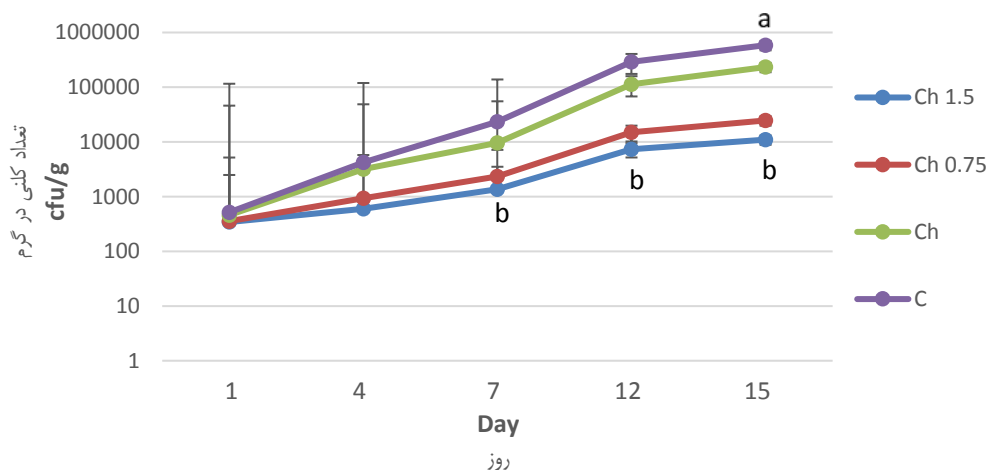
(C: uncoated salmon, Ch: salmon coated with 2% chitosan, Ch0.75: salmon coated with chitosan containing Ginger essential oil with a concentration of 0.75%, Ch1.5: chitosan coated salmon plus essential oil with a concentration of 1.5%. Different letters in the treatments on each day indicate the presence of statistically significant differences $P<0.05$).



شکل ۳- تعداد باکتری‌های کلیفرم در تیمارهای مختلف در ماهی قزل‌آلا طی ۱۵ روز نگهداری در شرایط یخچال

(C: ماهی قزل‌آلای فاقد پوشش، Ch: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان ۲ درصد، Ch0.75: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ درصد، Ch1.5: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان به علاوه روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد). حروف غیر مشابه در تیمارها در هر روز نشانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار است ($P<0.05$).

Fig. 3. The number of coliform bacteria in different treatments in salmon during 15 days of storage in refrigerator conditions (C: uncoated salmon, Ch: salmon coated with 2% chitosan, Ch0.75: coated salmon Chitosan containing ginger essential oil with a concentration of 0.75%, Ch1.5: salmon coated with chitosan plus essential oil with a concentration of 1.5%. Different letters in the treatments on each day indicate the presence of statistically significant differences $P<0.05$).



شکل ۴- تعداد باکتری‌های مولد اسید لاکتیک در تیمارهای مختلف در ماهی قزل‌آلا طی ۱۵ روز نگهداری در شرایط یخچال

(C: ماهی قزل‌آلای فاقد پوشش، Ch: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان ۲ درصد، Ch0.75: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ درصد، Ch1.5: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان به علاوه روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد). حروف غیر مشابه در تیمارها در هر روز نشانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار است ($P<0.05$).

Fig. 4. The number of lactic acid bacteria in different treatments in salmon during 15 days of storage in refrigerator conditions

(C: uncoated salmon, Ch: salmon coated with 2% chitosan, Ch0.75: coated salmon Chitosan containing ginger essential oil with a concentration of 0.75%, Ch1.5: salmon coated with chitosan plus essential oil with a concentration of 1.5%. Different letters in the treatments on each day indicate the existence of a statistically significant difference $P<0.05$).

مطالعه اثر کیتوزان و اسانس رزماری و همچنین α -توکوفرول روی شاخص‌های میکروبی و اکسیداسیون چربی در سوسیس تازه، علاوه بر اثبات خواص ضد میکروبی کیتوزان و رزماری هر یک به تنهایی، به اثر هم‌افزایی این دو با هم اشاره کردند.

مطالعات نشان داده‌اند که کیتوزان در حالت محلول پوشش مؤثرتری است. بدین صورت که وقتی کیتوزان از اجزای یک محلول پوششی باشد برای فعالیت به‌عنوان یک نگهدارنده می‌تواند آزادانه‌تر عمل کند. فضل آرا و همکاران (Fazlara et al., 2017) به بررسی پوشش خوراکی کیتوزان-رزماری بر کیفیت و ماندگاری فیله تازه ماکیان در دمای یخچال پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پوشش سایکروفیل با حداقل ۱۵ روز نگهداری را داشته است. همچنین نمونه های غوطه‌ور شده در کیتوزان حاوی روغن فرار رزماری میزان TVN و pH کمتری از دو گروه دیگر در طول نگهداری نشان دادند و از نظر فاکتور حسی نیز نسبت به دو گروه دیگر باعث حفظ فاکتورهای حسی در سطح قابل قبول به مدت ۱۵ روز گردید.

نتایج آزمون‌های شیمیایی

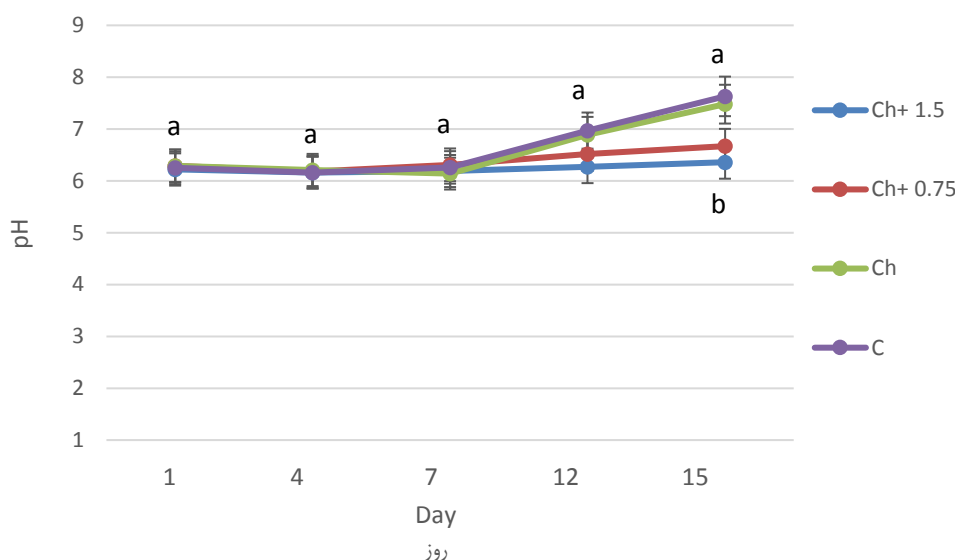
نتایج خصوصیات شیمیایی ماهی قزل آلا مورد آزمون در شکل ۵ تا ۷ آورده شده است. بر اساس داده‌ها در روز اول بین مقادیر pH گروه‌های مختلف با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت ($P < 0.05$)، اما به تدریج مقدار pH در همه گروه‌ها تا روز ۷ کمی کاهش پیدا کرد ولی از روز ۷ به بعد مقدار pH در همه گروه‌ها افزایش یافت. با این وجود در روز پانزدهم نگهداری بین گروه کنترل و تیمار کیتوزان ۲ درصد با گروه‌های تیمار کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت‌های مختلف اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ($P < 0.05$) (شکل ۵).

pH گوشت ماهی می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند گونه، ناحیه صید، تغذیه ماهی، دما و شرایط نگهداری قرار گیرد. در مطالعه حاضر مقدار pH در همه تیمارها تا روز ۷ به میزان جزیی کاهش نشان داد این کاهش اولیه pH به دلیل تجزیه گلیکوژن موجود در عضلات در شرایط بی‌هوازی و تولید اسید لاکتیک است که باعث افزایش اسیدیته در عضلات ماهی می‌شود (Manju et al., 2007). ولی از روز ۷ به بعد در گروه کنترل و کیتوزان افزایش pH اتفاق افتاد و تا پایان دوره نگهداری (روز ۱۵) روند افزایشی داشت که با مشاهدات منجمو و همکاران (Manju et al., 2007) و فان و همکاران (Fan et al., 2009) مشابه بود. دلیل این افزایش نیز تجزیه پروتئین‌ها ناشی از فعالیت باکتری‌ها و تولید ترکیبات قلیایی مانند آمونیاک و تری‌متیل

همانطور که نتایج آزمون‌های میکروبی نشان می‌دهد باکتری‌های مزوفیل هوازی و سرمادوست و باکتری‌های کلی‌فرم و اسید لاکتیک در طول دوره آزمایش در همه گروه‌ها افزایش یافتند که این افزایش در گروه‌های کنترل و تیمار کیتوزان به‌طور معنی‌داری بیشتر از بقیه‌ی گروه‌ها بود و همواره گروه تیمار حاوی پوشش کیتوزان به همراه روغن فرار زنجبیل با غلظت ۱/۵ درصد از نظر شمارش باکتری‌های مزوفیل، سایکروفیل، کلی‌فرم و اسید لاکتیک دارای شمارش کمتری نسبت به سایر تیمارها بود. ولی در اکثر مواقع این اختلاف آماری با گروه تیمار کیتوزان با روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ درصد معنی‌دار نبود. این نتایج نشان می‌دهد که پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت‌های ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد هر دو تقریباً به یک اندازه در بازدارندگی رشد میکروبی مؤثر بوده‌اند. توانایی ضد باکتریایی کیتوزان را به وجود بارهای مثبت مولکول آن نسبت داده‌اند که در نتیجه برهم‌کنش با غشای سلول باکتریایی (که دارای بار منفی است) موجب خروج اجزا و ترکیبات ضروری سلول باکتری و در نهایت موجب مرگ آن می‌شود. همچنین کمتر بودن بار میکروبی کلی در تیمارهای حاوی اسانس و عصاره می‌تواند ناشی از ترکیبات فنولی موجود در آن نظیر β -zingiberene و β -sesquiphellandrene و α -curacumene در زنجبیل باشد. ترکیبات فنولی موجود در روغن فرار زنجبیل غشای خارجی میکروارگانیسم‌ها را تخریب کرده و سبب خروج لیپوساکاریدها و افزایش نفوذپذیری غشای سیتوپلاسمی به ATP می‌شود و خروج ATP منجر به تمام شدن ذخیره‌ی انرژی سلول می‌شود (Cai et al., 2014). در تأیید این نتایج جیاتراکوئو و همکاران (Gitrakou et al., 2010)، پتروئو و همکاران (Petro et al., 2012)، اجاق و همکاران (Ojagh et al., 2011) تأثیر کیتوزان به تنهایی و یا به همراه عصاره های گیاهی را در کاهش بار میکروبی مواد غذایی گزارش کردند. همچنین در ارتباط با تولید پوشش‌های خوراکی حسن‌زاده و همکاران (Hassanzadeh et al., 2011) پوشش کیتوزان حاوی عصاره انگور را تولید و اثر آن بر کیفیت و ماندگاری گوشت مرغ در دمای یخچالی را بررسی نمودند، نتایج حاصل نشان داد که پوشش‌دهی باعث کاهش معنی‌دار شمارش باکتری‌های مزوفیل و سرمادوست و افزایش عمر نگهداری مرغ به حداقل ۷ روز در دمای یخچال می‌شود. نوری و همکاران (Noori et al., 2017) نیز گزارش کردند نانوامولسیون پوشش بر پایه سدیم کازئینات حاوی روغن فرار زنجبیل می‌تواند عمر نگهداری فیله‌ی مرغ را افزایش دهد. فرجامی و همکاران (Farjami et al., 2013) اثر ضد میکروبی روغن فرار گیاهان آویشن دناپی و مرزه کوهی روی لیستریا مونوسیتوزنز در گوشت سفید و قرمز را نشان دادند. جروگانتلیس و همکاران (Georgantelis et al., 2007) با

شکسته شدن پروتئین‌های گوشت توسط میکروارگانیسم‌ها، پروتئین‌های میکروبی و نیز فعالیت آنزیم‌های میکروبی و آندروژنی می‌باشد گزارش کردند.

آمین است. در تأیید این نتایج شادمان و همکاران (Shadman et al., 2017) علت اصلی افزایش pH در گوشت ماهی در دمای یخچال را تولید ترکیبات قلیایی مثل آمونیاک و تری‌متیل آمین که ناشی از



شکل ۵- مقادیر pH در تیمارهای مختلف در ماهی قزل‌آلا طی ۱۵ روز نگهداری در شرایط یخچال

C: ماهی قزل‌آلا فاقد پوشش، Ch: ماهی قزل‌آلا دارای پوشش کیتوزان ۲ درصد، Ch0.75: ماهی قزل‌آلا دارای پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ درصد، Ch1.5: ماهی قزل‌آلا دارای پوشش کیتوزان به علاوه ی روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد. حروف غیر مشابه در تیمارها در هر روز نشانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار است ($P < 0.05$).

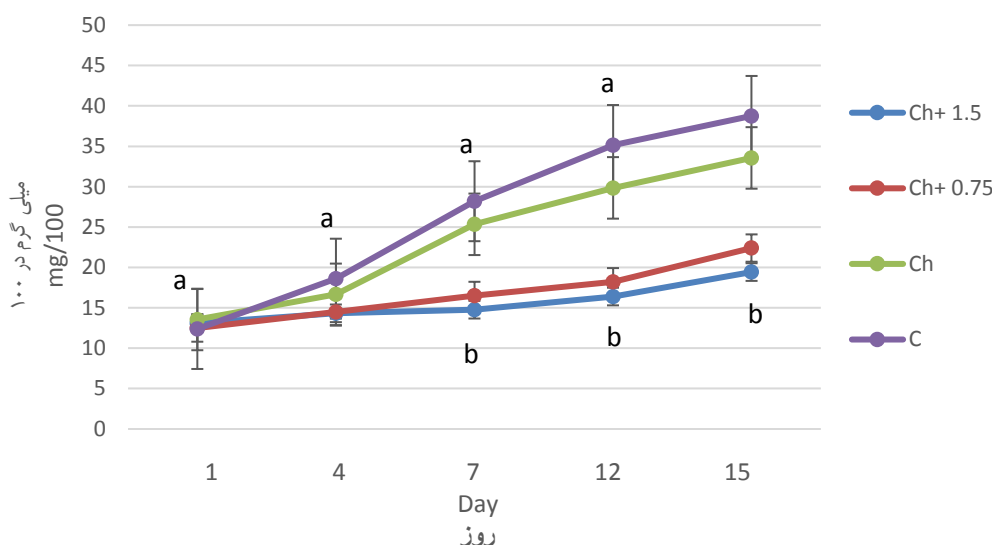
Fig. 5. pH values in different treatments in salmon during 15 days storage in refrigerator conditions

C: uncoated salmon, Ch: 2% chitosan coated salmon, Ch0.75: chitosan coated salmon containing ginger essential oil with a concentration of 0.75%, Ch1.5: Salmon coated with chitosan plus essential oil with a concentration of 1.5%. Different letters in the treatments on each day indicate the presence of statistically significant differences ($P < 0.05$).

۷ از حد استاندارد تعیین شده (۲۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) بیشتر شد، اما در گروه‌های تیمار با روند افزایش کندتری همراه بود. ایجاد TVN ماده غذایی سبب ایجاد بوی نامطبوع می‌گردد. بنابراین افزایش TVN با کاهش میزان قابلیت پذیرش ماهی توسط مصرف‌کننده همراه می‌باشد (Yuan et al., 2016). در گروه تیمار با کیتوزان ۲ درصد مقدار TVN از روز ۱۲ نگهداری، از حد استاندارد تعیین شده بیشتر شد، ولی در گروه‌های تیمار کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل مقدار TVN در روز ۱۵ نگهداری نیز از حد مجاز بیشتر نشد. این نتایج نشان‌دهنده مؤثر بودن تیمار کیتوزان حاوی روغن فرار گیاه زنجبیل در کاهش رشد میکروبی و جلوگیری از فساد می‌باشد. ذوالفقاری و همکاران (Zolfaghari et al., 2011) روند تغییرات شیمیایی و میکروبی و حسی فیله ماهی قزل‌آلا رنگین کمان را جهت تعیین مدت زمان ماندگاری آن طی نگهداری در دمای یخچال را بررسی کردند. بدین منظور فیله‌های ماهی قزل‌آلا به مدت ۱۸ روز در یخچال نگهداری و تغییرات شاخص‌های اسید چرب آزاد (FFA) و شاخص تیوباربیتوریک اسید

تغییرات TVN در گروه‌های مختلف آورده شده است، همانگونه که مشخص است طی زمان نگهداری نمونه‌ها در یخچال مقدار TVN تقریباً در تمامی گروه‌ها افزایش داشته است ولی در تیمارهای حاوی روغن فرار زنجبیل روند این افزایش بسیار کندتر بود. بطوری‌که در روز پانزدهم نگهداری مقدار بازهای فرار در گروه کنترل و تیمار کیتوزان ۲ درصد از حد مجاز (25mg/100) افزایش پیدا کرد ولی در گروه‌های تیمار حاوی روغن‌های فرار زنجبیل مقادیر بازهای فرار از حداکثر مقدار مجاز افزایش نیافت. آزمون آماری نیز بین مقادیر TVN در گروه‌های کنترل و تیمار کیتوزان ۲ درصد با گروه‌های تیمار شده با روغن فرار زنجبیل اختلاف آماری معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$) (شکل ۶). مجموع بازهای نیتروژنی فرار یک اصطلاح عمومی است که شامل تری‌متیل آمین، دی‌متیل آمین، آمونیاک و دیگر ترکیبات بازی نیتروژنی که با فساد غذاهای دریایی همراه است. در این مطالعه تغییرات TVN طی نگهداری فیله‌های ماهی قزل‌آلا روندی افزایشی داشت، به‌طوری‌که میزان افزایش TVN در گروه کنترل افزایش زیادی داشت و در روز

این آزمون‌ها و همچنین ارزیابی حسی نمونه‌ها در روز ۵ از حدود استاندارد خارج شدند. (TBA) و مجموع بازهای نیتروژنی فرار (TVBN) و TVC و بار میکروبی کل و ارزیابی حسی صورت پذیرفت با توجه به استانداردهای



شکل ۶- مقادیر TVN در تیمارهای مختلف در ماهی قزل‌آلا طی ۱۵ روز نگهداری در شرایط یخچال

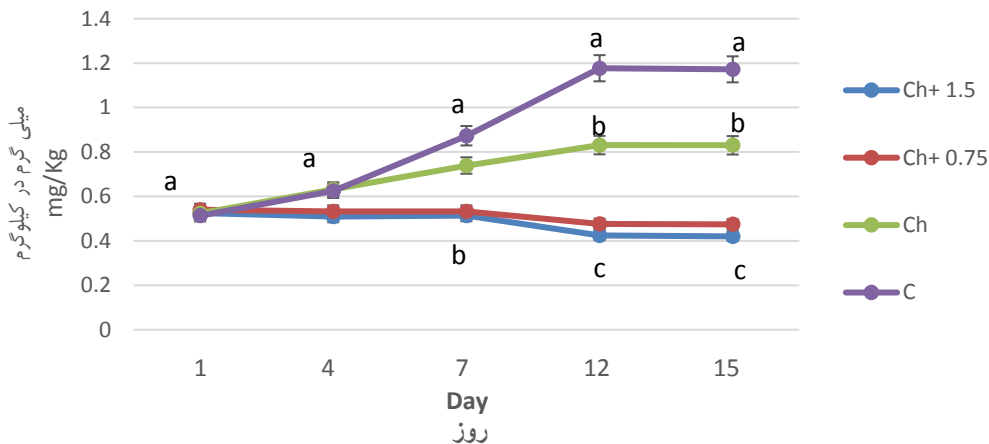
C: ماهی قزل‌آلای فاقد پوشش، Ch: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان ۲ درصد، Ch0.75: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ درصد، Ch1.5: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان به علاوه روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد. حروف غیر مشابه در تیمارها در هر روز نشانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار است ($P<0.05$).

Fig. 6. TVN values in different treatments in salmon during 15 days of storage in refrigerator conditions

C: uncoated salmon, Ch: salmon coated with 2% chitosan, Ch0.75: salmon coated with chitosan containing oil Ginger essential with a concentration of 0.75%, Ch1.5: salmon coated with chitosan plus essential oil with a concentration of 1.5%. Different letters in the treatments on each day indicate the presence of statistically significant differences ($P<0.05$).

فیلم‌ها نسبت به بخار آب شد و به‌طور چشمگیری مانع اکسیداسیون روغن آفتابگردان شد. کاهش میزان TVN توسط کیتوزان با رزماری توسط محققان دیگر از جمله امیزا و همکاران (Amiza et al., 2013)، جیمز و همکاران (Gimenez et al., 2002) نیز گزارش شده است. بر اساس نتایج بین مقدار TBARS در روز اول تا چهارم نگهداری در گروه‌های تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P>0.05$) ولی از روز چهارم بین گروه کنترل با گروه‌های تیمار به جز گروه تیمار با کیتوزان ۲ درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ($P<0.05$). در روز ۱۵ مقدار TBARS در گروه کنترل از حد مجاز تعیین شده در گوشت ماهی (1mg/kg) افزایش پیدا کرد ولی در تیمار کیتوزان و دو گروه تیمار حاوی روغن فرار زنجبیل این شاخص کمتر از حد مجاز تعیین شده بود (شکل ۷).

یونان و همکاران (Yuan et al., 2016) در چین به بررسی فیلم‌ها و پوشش‌های کیتوزان حاوی روغن‌های فرار و کاربردشان در سیستم‌های غذایی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که فیلم‌ها و پوشش‌های کیتوزان حاوی روغن‌های فرار گیاهان معمولاً منجر به افزایش ماندگاری و کاهش پراکسیداسیون چربی ماهی و فرآورده‌های گوشتی می‌شوند. همچنین شادمان و همکاران (Shadman et al., 2017) نیز اثر نانو امولسیون بر پایه روغن آفتابگردان حاوی روغن فرار آویشن شیرازی بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی فیله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان طی نگهداری در سرما را نشان دادند. در این تحقیق میزان TBA، FFA، TVBN اندازه‌گیری شده حاکی از کاهش اکسیداسیون لیپیدی و افزایش عمر ماهی قزل‌آلا به حداقل ۱۵ روز بود. در مطالعه آتارس و همکاران (Atares et al., 2010) در فرآیند تولید فیلم از کازئینات سدیم و دو اسانس دارچین و زنجبیل به این نتیجه رسیدند که استفاده از اسانس روغنی دارچین و زنجبیل باعث کاهش نفوذپذیری



شکل ۷- مقادیر TBARS در تیمارهای مختلف در ماهی قزل‌آلا طی ۱۵ روز نگهداری در شرایط یخچال

C: ماهی قزل‌آلا فاقد پوشش، Ch: ماهی قزل‌آلا دارای پوشش کیتوزان ۲ درصد، Ch0.75: ماهی قزل‌آلا دارای پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ درصد، Ch1.5: ماهی قزل‌آلا دارای پوشش کیتوزان به علاوه روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد. حروف غیر مشابه در تیمارها در هر روز نشانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار است ($P < 0.05$).

Fig. 7. TBARS values in different treatments in salmon during 15 days storage in refrigerator conditions

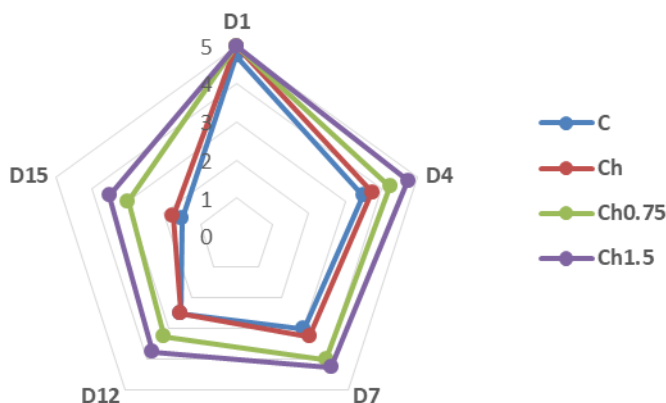
C: uncoated salmon, Ch: salmon coated with 2% chitosan, Ch0.75: salmon coated with chitosan containing Ginger essential oil with a concentration of 0.75%, Ch1.5: chitosan coated salmon plus essential oil with a concentration of 1.5%. Different letters in the treatments on each day indicate the presence of statistically significant differences ($P < 0.05$).

شروع پراکسیداسیون لیپیدها و آغاز واکنش‌های زنجیره‌ای هستند و منجر به بد شدن طعم و بوی مواد غذایی می‌شوند بیان کردند.

نتایج آزمون‌های حسی

برای سنجش ویژگی‌های حسی نمونه‌ها نمره از مدل ۵ نمره‌ای استفاده شد، که نمره ۵ بهترین نمره و نمره ۱ بدترین نمره از نظر شاخص بو، رنگ، بافت طعم و مزه بودند. نمرات قابل قبول نمرات ۳ تا ۵ در نظر گرفته شد. در روز اول آزمایش شاخص بو در ماهی قزل‌آلا همه گروه‌های تیمار نمره بالا (بالتر از ۴) و قابل قبولی را کسب کردند و تفاوت معناداری مشاهده نگردید ولی با گذشت زمان روندی کاهشی در شاخص بو ایجاد شد. تا روز ۷ همه‌ی گروه‌های تیمار نمره‌ی بالای ۳ گرفتند و قابل قبول بودند. در روز ۱۲ و ۱۵ گروه کنترل و گروه تیمار کیتوزان ۲ درصد نمره قابل قبولی را دریافت نکردند و قابل پذیرش نبودند (کمتر از ۳) ولی دو گروه تیمار کیتوزان به همراه روغن فرار با غلظت ۰/۷۵ و تیمار کیتوزان به همراه روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد از نظر شاخص بو نمره بالای ۳ را دریافت کردند و بوی قابل قبول داشتند ($P < 0.05$) (شکل ۸).

شاخصی که به‌طور گسترده جهت اندازه‌گیری مقدار فساد اکسیداسیون چربی‌ها استفاده می‌شود، مقدار تیوباربیتوریک اسید (TBA) در مواد غذایی است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که طی زمان نگهداری فیله قزل‌آلا مقدار TBA تا حدود ۱,۱۷ میلی‌گرم مالون آلدئید در کیلوگرم در روز ۱۲ در گروه کنترل افزایش یافت ولی در گروه‌های تیمار با کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل افزایش جزیی داشت. این نتایج بیانگر این است که در هر دو تیمار با غلظت‌های روغن فرار زنجبیل از اکسیداسیون چربی جلوگیری شده است. اکسیداسیون چربی‌ها در گوشت ماهی بیشتر در اثر اکسید شدن اسیدهای چرب غیر اشباع و ایجاد ترکیباتی مانند مالون آلدئید بوده که منجر به طعم و بوی نامطلوب در ماهی می‌شود (Ramanathan & Das, 1992). مقدار مجاز این ترکیب با قطعیت بیان نشده است اما مقادیر بیشتر از ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم نشانگر اکسیداسیون زیاد چربی است (Goulas, 2007). در مطالعه حاضر در حدود روز هفتم در گروه کنترل مقدار این شاخص به این محدوده رسید. به‌دلیل کاهش شاخص TBA و تجزیه‌ی مالون آلدئید پس از رسیدن به این نقطه قضاوت فساد ماهی بر اساس این شاخص مشکل می‌باشد. در تأیید این نتایج پترئو و همکاران (Petrou et al., 2012)، مکانیسم عمل کیتوزان را برای کاهش اکسیداسیون چربی در غذاهای گوشتی، نقش آن به‌عنوان یک عامل حذف‌کننده یون‌های فلزی مثل یون‌های آهن که مسئول

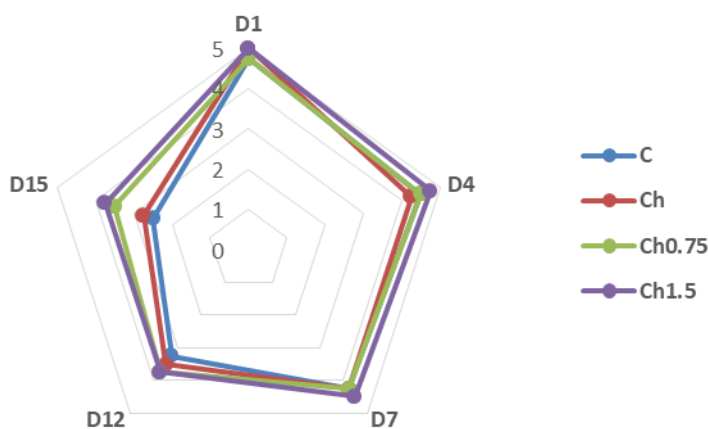


شکل ۸- تغییرات بو در تیمارهای مختلف در ماهی قزل آلا طی ۱۵ روز نگهداری در شرایط یخچال

C: ماهی قزل آلا فاقد پوشش، Ch: ماهی قزل آلا دارای پوشش کیتوزان ۲ درصد، Ch0.75: ماهی قزل آلا دارای پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ درصد، Ch1.5: ماهی قزل آلا دارای پوشش کیتوزان به علاوه روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد

Fig. 8. Odor changes in different treatments in salmon during 15 days of storage in refrigerator conditions

C: uncoated salmon, Ch: salmon coated with 2% chitosan, Ch0.75: salmon coated with chitosan containing Ginger essential oil with a concentration of 0.75%, Ch1.5: Salmon coated with chitosan plus essential oil with a concentration of 1.5%



شکل ۹- تغییرات رنگ در تیمارهای مختلف در ماهی قزل آلا طی ۱۵ روز نگهداری در شرایط یخچال

C: ماهی قزل آلا فاقد پوشش، Ch: ماهی قزل آلا دارای پوشش کیتوزان ۲ درصد، Ch0.75: ماهی قزل آلا دارای پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ درصد، Ch1.5: ماهی قزل آلا دارای پوشش کیتوزان به علاوه روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد

Fig. 9. Color changes in different treatments in salmon during 15 days of storage in refrigerator conditions

C: uncoated salmon, Ch: salmon coated with 2% chitosan, Ch0.75: salmon coated with chitosan containing Ginger essential oil with a concentration of 0.75%, Ch1.5: Salmon coated with chitosan plus essential oil with a concentration of 1.5%

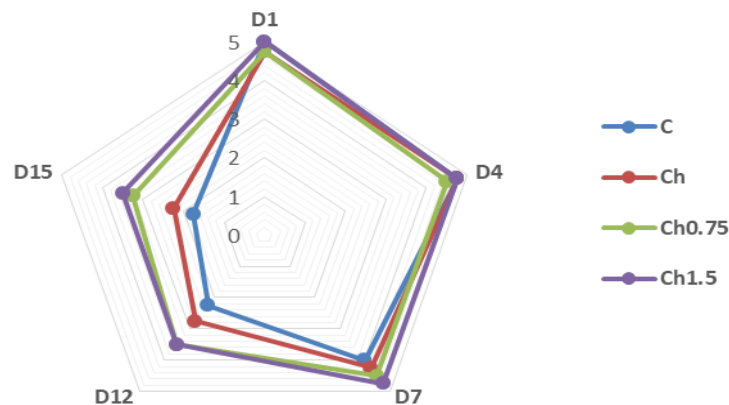
با توجه به شکل ۱۲ در شروع آزمایشات در همه گروه‌های تیمار از لحاظ پذیرش کلی تفاوت معناداری وجود ندارد. در بین تیمارها گروه های کیتوزان به همراه غلظت‌های ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد روغن فرار زنجبیل دارای بیشترین پذیرش کلی بودند. در گروه کنترل در روز ۷ نمونه‌ها از لحاظ پذیرش کلی قابل قبول نبوده و همچنین گروه کیتوزان در روز ۱۲ پذیرش کلی خود را از دست داده بود. لازم به ذکر است که دو گروه کیتوزان با غلظت‌های ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد روغن فرار زنجبیل تا انتهای دوره امتیاز قابل قبولی کسب کردند ($P < 0.05$) (شکل ۱۲).

شاخص‌های حسی رنگ، بافت، عطر و بو و طعم و مزه در تمامی گروه‌های تیمار تا روز ۴ آزمایش نمره بالا ۳ را دریافت کردند و از نظر کلی مورد قبول بودند. اما پس از آن فقط دو گروه تیمار کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل تا روز ۱۵ آزمون در تمامی موارد امتیاز بالای ۳ و مورد قبول را کسب کردند. در تایید این نتایج ذوالفقاری و همکاران (Zolfaghari et al., 2010) به بررسی تأثیر عصاره‌های آویشن شیرازی، پیاز و کاکوتی کوهی بر زمان ماندگاری فیله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) پرداختند و متوجه شدند که عصاره آویشن شیرازی کارایی زیادی در ماندگاری، رنگ، بو و بافت و قابلیت پذیرش کلی فیله ماهی داشت. همچنین فضل آرا و همکاران (Fazlara et al., 2017) تأثیر پوشش خوراکی کیتوزان-رزماری بر روی کیفیت و ماندگاری فیله تازه ماکیان در دمای یخچال را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که این تیمار باعث حفظ فاکتورهای حسی در سطح قابل قبول به مدت ۱۵ روز شد.

شاخص رنگ ماهی قزل‌آلا در روز اول نمره دریافت شده همه گروه های تیمار نمره بالا (بالتر از ۴) و قابل قبول بود. با گذشت زمان این نمرات این شاخص روند کاهشی را در همه گروه‌ها نشان داد ولی تا روز ۱۲ همچنان تمامی گروه‌های تیمار نمره‌ی بالاتر از ۳ را دریافت کردند و قابل قبول بودند. در روز ۱۵ گروه‌های کنترل و تیمار کیتوزان ۲ درصد نمره‌های زیر ۳ را دریافت کردند ولی گروه‌های تیمار کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل نمره‌ی بالای ۳ را دریافت کردند و دارای رنگ قابل قبول بودند ($P < 0.05$) (شکل ۹).

در بررسی شاخص بافت ماهی قزل‌آلا در روز اول آزمایش همه گروه‌های تیمار نمره قابل قبول و بالایی را دریافت کردند و همگی بالاتر از ۴ بودند. با گذشت زمان نمرات این شاخص روند کاهشی در همه گروه‌ها داشت ولی با این حال تا روز ۷ تمامی گروه‌های تیمار نمره قابل قبول دریافت کردند. در روزهای ۱۲ و ۱۵ دو گروه کنترل و تیمار کیتوزان ۲ درصد دارای نمره زیر ۳ بود ولی گروه‌های تیمار کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل نمره بالای ۳ را کسب کرده و بافت قابل قبول داشتند ($P < 0.05$) (شکل ۱۰).

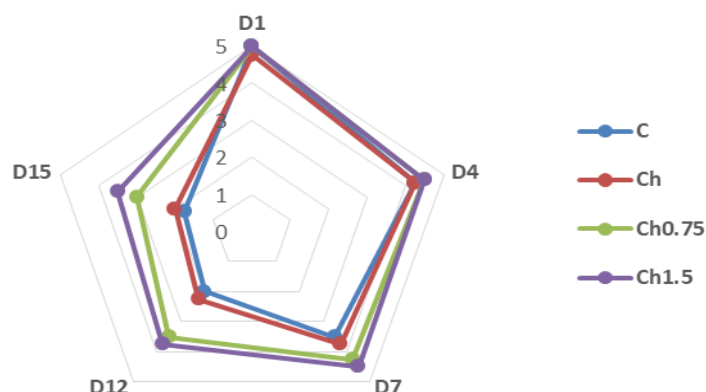
طعم و مزه در ماهی قزل‌آلا با توجه به شکل ۱۱ در روز اول آزمایش همه گروه‌ها نمره‌ی قابل قبول و بالایی گرفتند (بالتر از ۴) ولی با گذشت زمان روند نمرات این شاخص در تمامی گروه‌ها کاهشی بود و تا روز ۷ تمامی گروه‌های تیمار نمره بالای ۳ را دریافت کردند. در روزهای ۱۲ و ۱۵ گروه‌های کنترل و تیمار کیتوزان ۲ درصد نمره زیر ۳ را دریافت کردند ولی تیمارهای کیتوزان به همراه روغن فرار با غلظت ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد نمره بالای ۳ را دریافت کردند و طعم و مزه قابل قبول داشتند ($P < 0.05$) (شکل ۱۱).



شکل ۱۰- تغییرات بافت در تیمارهای مختلف در ماهی قزل‌آلا طی ۱۵ روز نگهداری در شرایط یخچال

(C: ماهی قزل‌آلای فاقد پوشش، Ch: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان ۲ درصد، Ch0.75: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ درصد، Ch1.5: ماهی قزل‌آلای دارای پوشش کیتوزان به علاوه روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد)

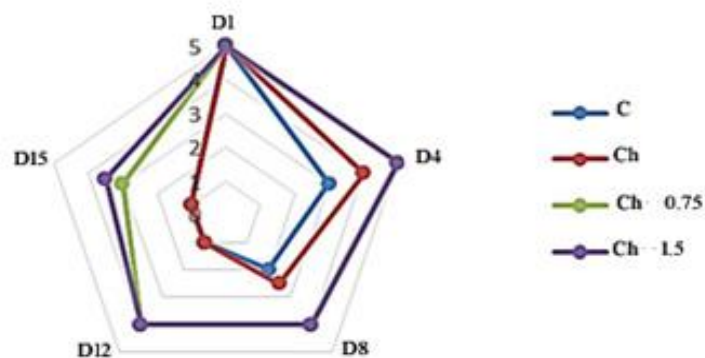
Fig. 10. Tissue changes in different treatments in salmon during 15 days of storage in refrigerator conditions
(C: uncoated salmon, Ch: 2% chitosan-coated salmon, Ch0.75: chitosan-coated salmon contains Ginger essential oil with a concentration of 0.75%, Ch1.5: salmon coated with chitosan plus essential oil with a concentration of 1.5%)



شکل ۱۱- تغییرات طعم در تیمارهای مختلف در ماهی قزل آلا طی ۱۵ روز نگهداری در شرایط یخچال

(C: ماهی قزل آلا فاقد پوشش، Ch: ماهی قزل آلا دارای پوشش کیتوزان ۲ درصد، Ch0.75: ماهی قزل آلا دارای پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ درصد، Ch1.5: ماهی قزل آلا دارای پوشش کیتوزان به علاوه روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد)

Fig. 11. Changes in taste in different treatments in salmon during 15 days of storage in refrigerator conditions (C: uncoated salmon, Ch: 2% chitosan-coated salmon, Ch0.75: chitosan-coated salmon contains Ginger essential oil with a concentration of 0.75%, Ch1.5: salmon coated with chitosan plus ginger essential oil with a concentration of 1.5%).



شکل ۱۲- تغییرات پذیرش کلی در تیمارهای مختلف در ماهی قزل آلا طی ۱۵ روز نگهداری در شرایط یخچال

(C: ماهی قزل آلا فاقد پوشش، Ch: ماهی قزل آلا دارای پوشش کیتوزان ۲ درصد، Ch0.75: ماهی قزل آلا دارای پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار زنجبیل با غلظت ۰/۷۵ درصد، Ch1.5: ماهی قزل آلا دارای پوشش کیتوزان به علاوه روغن فرار با غلظت ۱/۵ درصد)

Fig. 12. Overall acceptance changes in different treatments in salmon during 15 days of storage in refrigerator conditions (C: uncoated salmon, Ch: salmon coated with 2% chitosan, Ch0.75: coated salmon Chitosan containing Ginger essential oil with a concentration of 0.75%, Ch1.5: salmon coated with chitosan plus ginger essential oil with a concentration of 1.5%)

نتیجه گیری

گوشت ماهی در دمای یخچال مؤثر باشد. بر اساس نتایج بهترین تیمار، استفاده از کیتوزان به همراه ۰/۷۵ درصد روغن فرار زنجبیل است، چون با استفاده از مقدار کمتر روغن فرار، می توان خصوصیات میکروبی، شیمیایی و ارگانولپتیک را تا روز پانزدهم در حد استاندارد نگه داشت.

در یک نتیجه گیری کلی می توان گفت استفاده از پوشش کیتوزان توام با روغن های فرار زنجبیل دارای خواص ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی بوده که می تواند ضمن کاهش اکسیداسیون چربی ها و بار میکروبی، در حفظ کیفیت ارگانولپتیک و افزایش مدت ماندگاری

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله هیچگونه تعارض منافی با یکدیگر ندارند.

میزان مشارکت

الناز مهرابی: جمع‌آوری داده‌ها، مجتبی بنیادیان: مفهوم‌سازی، روش‌شناسی و نوشتن، عزیزاله فلاح: آماده‌سازی پیش‌نویس اصلی.

سپاسگزاری

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد برای حمایت از این طرح و آقای مهندس یداله خسروی کارشناس آزمایشگاه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی جهت همکاری در انجام آزمون‌ها قدردانی می‌کنند.

منابع تأمین مالی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد به شماره ثبت ۹۸۱۱۰۴۴۱۲، به تاریخ ۱۴۰۲/۲/۲۱، دانشکده دامپزشکی دانشگاه شهرکرد، تأمین مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد.

References

- Amiza, M.A., & Kang, W.C. (2013). Effect of chitosan on gelling properties, lipids oxidation, and microbial load of surimi gel made from African catfish (*Clarias gariepinus*). *International Food Research Journal*, 20(4), 1585-1594.
- Angiolillo, L., Conte, A., & Del Nobile, M.A. (2018). A new method to bio-preserve sea bass fillets. *International Journal of Food Microbiology*, 271, 60-66. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.01.010>
- Ass, F., Jafarizadeh-Malmiri, H., Ajamein, H., Vaghari, H., Anarjan, N., & Ahmadi, O. (2017). Chitosan magnetic nanoparticle for drug delivery systems. *Critical Reviews in Biotechnology*, 37(4), 492-509. <https://doi.org/10.1080/07388551.2016.1185389>
- Atarés, L., Bonilla, J., & Chiralt A. (2010). Characterization of sodium caseinate-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering*, 100(4), 678-87. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.05.018>
- Cai, L., Li, X., Wu, X., Lv, Y., Liu, X., & Li, J. (2014). Effect of chitosan coating enriched with ergothioneine on quality changes of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*). *Food and Bioprocess Technology*, 7(8), 281-90. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1215-4>
- Chemat, F., Vian, M.A., Fabiano-Tixier, A.S., Nutrizio, M., Jambrak, A.R., & Munekata, P.E. (2020). A review of sustainable and intensified techniques for extraction of food and natural product. *Green Chemistry*, 22(8), 2325-53. <https://doi.org/10.1039/C9GC03878G>
- Dehghani, S., Hosseini, S.V., & Regenstein, J.M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chemistry*, 240, 505-13. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.034>
- Fan, W., Sun, J., Chen, Y., Qiu, J., Zhang, Y., & Chi, Y. (2009). Effects of chitosan coating on quality and shelf life of silver carp during on quality and shelf life of silver carp during frozen storage. *Food Chemistry*, 115(1), 66-70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.060>
- Farjami, B., & Hosseini, S.V. (2014). The effect of thyme extract (*Zataria multiflora*) on the microbial and chemical quality of surimi common carp (*Cyprinus carpio*) during refrigerated storage (1±4°C). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 3(1), 55-66. (In Persian)
- Fazlara, A., Pourmahdi, B., & Zarei, S. (2017). The effect of edible chitosan-rosemary coating on the quality and shelf-life of fresh chicken fillet at refrigerator temperature. *Iranian Veterinary Journal*, 13(1), 78-90. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/IVJ.2017.17675.1453>
- Georgantelis, D., Ambrosiadis, I., Katikou, P., Blekas, G., & Georgakis, S.A. (2007). Effect of rosemary extract, chitosan and α-tocopherol on microbiological parameters and lipid-oxidation of fresh pork sausages stored at 4°C. *Meat Sciences*, 76(1), 172-81. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.10.026>
- Giacometti, J., Kovačević, D.B., Putnik, P., Gabrić, D., Bilušić, T., & Krešić, G. (2018). Extracts of bioactive compounds and essential oils from Mediterranean herbs by conventional and green innovative techniques: A review. *Food Research International Journal*, 113, 245-62. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.036>
- Giatrakou, V., Ntzimani, A., & Savvaidis, I.N. (2016). Effect of chitosan and thyme oil on a ready to cook chicken product. *Food Microbiology*, 27(1), 132-6. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.09.005>
- Gimenez, B., Roncales, P., & Beltran, J.A. (2002). Modified atmosphere packaging of filleted rainbow trout. *Journal of Science and Food Agriculture*, 82(10), 1154-59. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1136>
- Goulas, A.E., & Kontominas, M.G. (2007). Combined effect of light salting, modified atmosphere packaging and oregano essential oil on the shelf-life of sea bream (*Sparus aurata*): Biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry*, 100(1), 287-96. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.045>

16. Hassan, B., Chatha, S.A., Hussain, A.I., Zia, K.M., & Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharids, lipids and proteins based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1095-1107. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>
17. Hassanzadeh, P., Moradi, M., Vaezi, N., Moosavy, M.H., & Mahmoudi, R. (2018). Effects of chitosan edible coating containing grape seed extract on the shelf-life of refrigerated rainbow trout fillet. *Veterinary Research Forum*, 9(1), 73-79. PMID:29719667
18. Hernández, M.D., López, M.B., Álvarez, A., Ferrandini, E., Garcia, B., & Garrido, M.D. (2009). Sensory, physical, chemical and microbiological changes in aquacultured meager (*Argyrosomus regius*) fillets during ice storage. *Food Chemistry*, 114(1), 237-45. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.045>
19. Krochta, J.M. (2017). *Food Proteins and their applications*. 3rd ed. CRC Press. London, UK.
20. Leyva-López, N., Gutiérrez-Grijalva, E.P., Vazquez-Olivo, G., & Heredia, J.B. (2017). Essential oils of oregano: Biological activity beyond their antimicrobial properties. *Molecules*, 22(6), 989-96. <https://doi.org/10.3390%2Fmolecules22060989>
21. Mahboubi, M. (2019). *Zingiber officinale* Rosc essential oil, a review on composition and bioactivity. *Clinical Phytosciences*, 5(6), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40816-018-0097-4>
22. Manju, S., Jose, L., Gopal, T.S., Ravishankar, C.N., & Lalitha, K.V. (2007). Effects of sodium acetate dip treatment and vacuum-packaging on chemical, microbiological, textural and sensory changes of Pearls spot (*Etroplus suratensis*) during chill storage. *Food Chemistry*, 102(1), 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.037>
23. Noori, S., Zeunali, F., & Almasi, H. (2018). Antimicrobial and antioxidant efficiency of nanoemulsion-based edible coating containing ginger (*Zingiber officinale*) essential oil and its effect on safety and quality attributes of chicken breast fillets. *Food Control*, 84, 312-20. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.08.015>
24. Ojagh, S.M., Rezaei, M., Razavi, S.H., & Hosseini, S.M. (2010). Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chemistry*, 120(1), 193-98. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.006>
25. Pateiro, M., Munekata, P.E., Sant'Ana, A.S., Dominguez, R., Rodriguez-Lázaro, D., & Lorenzo, J.M. (2021). Application of essential oils as antimicrobial agents against spoilage and pathogenic microorganisms in meat products. *International Journal of Food Microbiology*, 337, 108966. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108966>
26. Petrou, S., Tsiraki, M., Giatakou, V., & Savva, I.N. (2012). Chitosan dipping or oregano oil treatments, singly or combined on modified atmosphere packaged chicken breast meat. *International Journal of Food Microbiology*, 156(3), 264-71. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.04.002>
27. Putnik, P., Lorenzo, J.M., Barba, F.J., Roohinejad, S., Režek Jambrak, A., & Granato, D. (2018). Novel food processing and extraction technologies of high-added value compounds from plant materials. *Foods*, 7(7), 106. <https://doi.org/10.3390/foods7070106>
28. Rajabian, M., Bonyadian, M., Abbasvali, M., & Khanjari, A. (2019). Effects of potato starch edible coating containing *Ziziphora clinopodioides* and *Thymus daenensis* essential oils on chemical organoleptic properties of chicken breast. *Journal of Veterinary Research*, 74(4), 450-463. <https://doi.org/10.22059/jvr.2018.237327.2662>
29. Ramanathan, L., & Das, N.P. (1992). Studies on the control of lipid oxidation in ground fish by some polyphenolic natural products. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 40(1), 17-21. <https://doi.org/10.1021/jf00013a004>
30. Richards, M.P., & Hultin, H.O. (2002). Contributions of blood and blood components to lipid oxidation in fish muscle. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 50(3), 555-64. <https://doi.org/10.1021/jf010562h>
31. Shadman, S., Hosseini, S.E., Langroudi, H.E., & Shabani, S. (2017). Evaluation of the effect of a sunflower oil-based nanoemulsion with *Zataria multiflora* Boiss. essential oil on the physicochemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during cold storage. *LWT-Food Sciences and Technology*, 79, 511-17. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.073>
32. Sotelo-Boyás, M.E., Correa-Pacheco, Z.N., Bautista-Banos, S., & Corona-Rangel, M.L. (2017). Physicochemical characterization of chitosan nanoparticles and nanocapsules incorporated with lime essential oil and their antibacterial activity against food-borne pathogens. *LWT*, 77, 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.022>
33. Yuan, G., Zhang, X., Tang, W., & Sun, H. (2016). Effect of chitosan coating with green tea extract on the melanosis and quality of Pacific white shrimp during storage in ice. *Cyta Food Journal*, 14(1), 35-40. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1040459>
34. Zolfaghari, M., Shabanpour, B., & Falahzadeh, S. (2010). Comparison of *Zataria multiflora*, Onion and *Ziziphora* extracts on the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Iranian Food Sciences and Technology*, 12(2), 121-129. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v6i2.7821>

The Effect of Edible Coating with Alginate and Shirazi Thyme Essential Oil on the Qualitative Characteristics of Ber Fruit (*Ziziphus mauritiana* Lam.) during Storage

A. Rafaathaghighi¹, L. Jafari^{2*}, A. Mirzaalian Dastjerdi³, F. Abdollahi³

1, 2 and 3- Ph.D. Graduated, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Horticulture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: jafari.leila@hormozgan.ac.ir)

Received: 10.12.2023
Revised: 21.01.2024
Accepted: 31.01.2024
Available Online: 01.02.2024

How to cite this article:

Rafaathaghighi, A., Jafari, L., Mirzaalian Dastjerdi, A., & Abdollahi, F. (2024). The effect of edible coating with alginate and Shirazi thyme essential oil on the qualitative characteristics of Ber fruit (*Ziziphus mauritiana* Lam.) during storage. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(4), 465-483. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.85804.1301>

Introduction

Ziziphus mauritiana, also known as Ber fruit, is a tropical fruit from the Rhamnaceae family with high nutritional value and a short shelf life. Edible coatings the surface of the fruit can play a positive role in increasing its shelf life. The application of alginate (Al), a linear polysaccharide derived from brown seaweed (*Macrocystis pyrifera*), which has the advantage of moisture retention, and also Shirazi thyme (*Zataria multiflora*) essential oil (ZEO), which contains antioxidant and antimicrobial compounds, can improve the fruit's characteristics and preserve its quality for a longer period. In recent years, the application of ZEO together with organic coatings in order to enhance the quality characteristics of different fruits during storage has been the focus of researchers. This study aims to investigate the effect of alginate coating and ZEO on the post-harvest and physicochemical characteristics of Ber fruit during storage at 6 ± 1 C° and a relative humidity of 90-95%.

Material and Methods

This study was conducted to enhance the shelf life of Ber fruits by treating them with alginate (Al) and Shirazi thyme essential oil (ZEO). Ber fruits at their mature green stage were harvested in 2022 from a commercial orchard in Minab, Hormozgan province. After harvesting, the fruits were transported to the Horticulture Laboratory University of Hormozgan, to apply the treatments. Factors include six treatments (control, Shirazi thyme essential oil 0.5%, Shirazi thyme essential oil 1%, alginate, alginate + Shirazi thyme essential oil 0.5% and alginate + Shirazi thyme essential oil 1%) and five storage periods (zero, 7, 14, 21, 28 days). The treated fruits were then stored at 6 ± 1 C°, and relative humidity of 90-95% for 28 days. The factorial experiment was conducted as a completely randomized design with four replications, and ten fruits were used in each replication. Fruit parameters such as fruit weight loss, respiration rate, total soluble solids (TSS), organic acid, ascorbic acid, fruit firmness, carotenoids, and chlorophyll content were evaluated. Statistical analysis of data was done using SAS software. Figures were drawn using Excel software.

Results and Discussion

Based on the results of the analysis of variance, the main effects of time and treatment were significant ($P < 0.01$) for all characteristics. Additionally, the interaction effect of treatment and time was significant ($P < 0.01$) for all traits except for ascorbic acid. Comparisons of means showed that all treatments, maintained fruit quality compared to the control. The Al + ZEO treatment had a significant effect on reducing respiration rate. This combined treatment reduced weight loss, decay percentage, and fruit softening while slowing down the increase in TSS. The alginate coating and Shirazi thyme essential oil delayed ripening and subsequent fruit softening by



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.85804.1301>

reducing ethylene activity. Furthermore, the coated fruits had higher levels of ascorbic acid compared to the untreated fruits. These coatings are impermeable to water vapor and create a saturated atmosphere, preventing fruit evaporation and wrinkling, thus delaying ripening. The use of essential oils in the form of a semi-permeable layer also reduces respiration and surface transpiration by inhibiting the movement of oxygen, carbon dioxide, and moisture, playing a positive role in preserving fruit quality.

Conclusion

The aim of this study was to investigate the effect of alginate coating and Shirazi thyme essential oil on the post-harvest and physicochemical characteristics, as well as the shelf life of Ber fruit. The results clearly indicated the enhancement of fruit quality using edible coatings compared to the control. The combination of Al + ZEO (0.5%) had significantly positive effects on preserving the postharvest quality of Ber fruit. In fact, by creating a semi-permeable coating on the surface of the fruit, thyme essential oil and alginate lead to limiting the fruit respiration and metabolism and fungi growth, thus delaying the ripening process, increasing TSS and ascorbic acid and total acidity. According to these results, to reduce post-harvest losses and increase productivity of fruit, the use of 0.5% Shirazi thyme essential oil in combination with alginate coating is recommended due to its beneficial effects on the appearance and physicochemical characteristics of Ber fruit during storage.

Acknowledgement

The authors of this article express their gratitude and appreciation for the financial support from the Hormozgan Science and Technology Park and the University of Hormozgan.

Keywords: Ber fruit, Edible coating, Fruit quality, Respiration, Storage

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۳، ص. ۴۸۳-۴۶۵

تأثیر پوشش خوراکی آلژینات و اسانس آویشن شیرازی بر صفات کیفی میوه کنار هندی (*Ziziphus mauritiana* Lam.) در طول انبار

عالیه سادات رفعت حقیقی^۱ - لیلا جعفری^{۲*} - عبدالمجید میرزاعلیان دستجردی^۳ - فرزین عبدالهی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱

چکیده

میوه کنار (*Ziziphus mauritiana* Lam.) یک میوه استوایی با ارزش غذایی بالا و عمر انبار مانی کوتاه است. در تحقیق حاضر، میوه‌های کنار به‌منظور افزایش عمر انبارمانی، به‌صورت جداگانه با آلژینات و اسانس آویشن شیرازی (ZEO) نیم و یک درصد و یا در ترکیب با آلژینات و ZEO تیمار و سپس در دمای 6 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰٪ تا ۲۸ روز نگهداری شدند. نتایج نشان داد که تمامی تیمارهای پس از برداشت، کیفیت میوه را در مقایسه با شاهد تیمار نشده حفظ کردند. تیمار آلژینات + ZEO در کاهش سرعت تنفس مؤثر بود. این تیمار ترکیبی درصد کاهش وزن، درصد پوسیدگی و نرم شدن بافت میوه را کاهش داد و افزایش مواد جامد محلول را کند کرد. علاوه بر این، میوه‌های پوشش داده شده حاوی سطوح بالاتری از اسیدآسکوربیک در مقایسه با میوه‌های تیمار نشده بودند. این نتایج نشان داد که استفاده از ترکیب آلژینات و ZEO می‌تواند به تأخیر روند پیری میوه‌ها کمک کند و عمر انبارمانی آن‌ها را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: انبارمانی، پوشش خوراکی، تنفس، کنار هندی، کیفیت میوه

مقدمه

قهوه‌ای شدن یک فرآیند برگشت‌ناپذیر و نامطلوب در مرحله رسیدن و پیری میوه است و با یک سری تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی همراه است که منجر به کاهش کیفیت میوه از جمله تغییر رنگ، طعم، بافت و ارزش غذایی می‌شود (Mi Moon et al., 2020). قهوه‌ای شدن پس از برداشت یکی از دلایل اصلی فساد بسیاری از میوه‌های تازه است و این پدیده به‌دلیل محتوای پلی‌فنل بالا و حساسیت به قهوه‌ای شدن، به‌ویژه در میوه‌های کنار بسیار مهم است (Krishna et al., 2018). این پدیده همچنین می‌تواند خواص حسی و ارزش غذایی میوه را از بین ببرد. قهوه‌ای شدن آنزیمی به‌طور کلی ناشی از اکسیداسیون ترکیبات فنلی است که توسط فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) کاتالیز می‌شود و در نهایت منجر به تشکیل رنگ قهوه‌ای در میوه می‌شود (Zheng et al., 2019).

کنار (*Zizyphus mauritiana* Lam.) میوه درختی از خانواده Rhamnaceae است. این گیاه به‌عنوان میوه کنار هندی نیز معروف است و به شرایط خشک و نیمه‌خشک در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری سازگار است. میوه کنار، منبعی غنی از ترکیبات پلی‌فنل، اسید اسکوربیک، مواد معدنی ضروری و کربوهیدرات‌ها است (Pareek & Yahia, 2013). نشان داده شده است که نگهداری میوه کنار در دماهای بالا منجر به رشد قارچ‌های بیماری‌زا و در نتیجه افزایش تنفس و تولید اتیلن می‌شود که در نهایت منجر به کاهش کیفیت میوه می‌گردد. با این وجود، نگهداری میوه‌های کنار در دماهای پایین می‌تواند باعث آسیب سرمازدگی به میوه شود (Qiuping & Wenshui, 2007).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته دکتری، استادیار و دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: jafari.leila@hormozgan.ac.ir)

محدودی روی حفظ ویژگی‌های پس از برداشت میوه آن انجام شده است و از طرفی دیگر میوه کنار بسیار فسادپذیر است، لذا این مطالعه با هدف بررسی تأثیر کاربرد پوشش آلژینات و اسانس آویشن شیرازی (ZEO) بر ویژگی‌های ظاهری و فیزیکیوشیمیایی میوه کنار در شرایط انبار در دمای 6 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰٪ پرداخته است.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

میوه‌های کنار هندی در مرحله سبز بالغ با پارامترهای رنگ سنجی $L^* = 57.30$, $a^* = -16.16$, $b^* = 41.29$ در سال ۱۴۰۱ از یک باغ تجاری در شهرستان میناب در استان هرمزگان برداشت شدند. سپس میوه‌های برداشت شده برای اعمال تیمارها به آزمایشگاه علوم باغبانی دانشگاه هرمزگان منتقل شدند. در آزمایشگاه میوه‌های تازه، سالم و یکنواخت، بدون آسیب مکانیکی و تغییر رنگ جدا شدند و به مدت ۱ دقیقه در هیپوکلریت سدیم (محلول ۰/۵ درصد) به‌منظور گندزدایی غوطه‌ور و سپس قبل از خشک شدن در هوا، به‌مدت ۳۰ دقیقه در آب مقطر شستشو داده شدند.

محلول‌های پوشش خوراکی آلژینات سدیم بر اساس روش گزارش شده توسط هاشمی و همکاران تهیه شد (Hashemi et al., 2021b) و آلژینات سدیم غذایی، گلیسرول و روغن آفتابگردان از شرکت سیگما-آلدیج کمیکال (آلمان) و اسانس آویشن شیرازی از شرکت باریج اسانس (کاشان، ایران) تأمین شد. تیمارهای مورد ارزیابی در این مطالعه عبارت از شاهد (بدون پوشش)، اسانس آویشن شیرازی نیم درصد، اسانس آویشن شیرازی یک درصد، آلژینات یک درصد، آلژینات یک درصد + اسانس آویشن شیرازی یک درصد بودند.

آماده‌سازی پوشش‌ها

برای تهیه پوشش‌های خوراکی ۱ و ۱/۵ درصد (w/v) به‌ترتیب ۱ و ۱/۵ گرم پودر آلژینات سدیم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر پخش شد. محلول‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند و تا زمانی که مخلوط شفاف ظاهر شود، هم زدن ادامه یافت. سپس ۱/۵٪ (w/v) گلیسرول و ۰/۲۵٪ (w/v) روغن آفتابگردان اضافه شد و در نهایت اسانس آویشن شیرازی در غلظت‌های ۰/۵ درصد و ۱ درصد وزنی اضافه شد. همه پوشش‌ها به‌مدت ۵ دقیقه قبل از اعمال، هموژنیزه شدند.

آماده‌سازی تیمارها

اثرات مفید متعدد استفاده از پوشش‌های خوراکی در میوه‌های مختلف از جمله اثرات مثبت آنها در کاهش رطوبت و شاخص قهوه‌ای شدن در گواوا (Etemadipoor et al., 2020)، کاهش پوسیدگی و آسیب سرمازدگی در پرتقال و بهبود ویژگی‌های کیفی و افزایش قابلیت نگهداری میوه گواوا اثبات شده است (Etemadipoor et al., 2019). آلژینات یک پلی‌ساکارید خطی است که از جلبک قهوه‌ای (*Macrocystis pyrifera*) به‌دست می‌آید. به‌عنوان یک فیلم خوراکی دارای مزایای زیادی از جمله غیر سمی بودن، حفظ رطوبت بالا و قابلیت ژل‌سازی خوب، زیست‌سازگاری آن با سایر اجزا و هزینه نسبتاً پایین می‌باشد (Hashemi et al., 2021b). گزارش شده است که کاربرد پوشش‌های آلی خوراکی از جمله آلژینات در میوه انبه باعث افزایش محتوای کل فنل‌ها، فلاونوئیدها و آنتی‌اکسیدان‌های کل می‌شود و در عین حال با حفظ کیفیت میوه، کاهش وزن آن را محدود می‌کند (Ehteshami et al., 2021).

مطالعات اخیر نشان داده است که افزودن اسانس‌های حاوی آنتی‌اکسیدان ضد میکروبی و خواص آنتی‌اکسیدانی می‌تواند ویژگی‌های میوه را بهبود بخشد و سبب حفظ یکپارچگی سلولی و سفتی میوه شود همچنین با افزایش ایمنی میکروبی کیفیت میوه‌های تازه را حفظ نماید. (Murmu & Mishra, 2018)

آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss) یک گیاه دارویی مهم بومی فلات ایران است که اثرات ضد میکروبی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی دارد (Hashemi et al., 2021a). فنل‌های اصلی در ترکیب اسانس آویشن شیرازی کارواکرول، تیمول و اوژنول هستند که تصور می‌شود به پتانسیل آنتی‌اکسیدانی قوی آنها کمک می‌کنند (Hashemi et al., 2021b). گزارش شده است که اسانس آویشن شیرازی (ZEO) در ترکیب با پوشش‌های خوراکی کربوکسی متیل سلولز (CMC) باعث افزایش فعالیت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و افزایش سطح فنل‌ها در میوه‌ها می‌شود (Dashipour et al., 2015). علاوه بر این، ثابت شده است که افزودن ZEO به پوشش‌های خوراکی، کاربرد و اثربخشی مواد را برای بسته‌بندی افزایش می‌دهد و در عین حال آنها را به شکل‌های زیست‌تخریب‌پذیرتر تبدیل می‌کند (Hashemi et al., 2021c). در واقع کاربرد ZEO روی پوشش‌های آلی باعث غنی‌سازی پوشش با ترکیبات فنلی، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش آلودگی به مخمر و کپک در پسته تازه می‌شود (Hashemi et al., 2021b). در مطالعات مشابه، ترکیب صمغ عربی و ZEO در یک پوشش خوراکی منجر به کاهش فعالیت پلی‌فنل‌اکسیداز و افزایش محتوای فنلی، فعالیت فنیل‌آلانین آمونیاک‌لیاز و نسبت اسیدهای چرب اشباع/غیراشباع در مغز پسته شد (Hashemi et al., 2021a).

با توجه به این‌که کنار هندی از جمله میوه‌های مهم اقتصادی مناطق جنوبی کشور می‌باشد و از یک طرف تاکنون تحقیقات بسیار

که در این رابطه CO_2 مقدار دی اکسید کربن (V_{jar} ، mL/Kg h)، حجم ظرف (V_{fruit} ، mL)، حجم میوه (W_{fruit} ، mL)، وزن میوه (Kg)، T زمان نگهداری میوه در ظرف (h)، Sample Area عدد قرائت شده توسط دستگاه برای نمونه مورد نظر و Standard Area عدد قرائت شده توسط دستگاه برای دی اکسید کربن خالص است.

سفتی میوه

برای تعیین سفتی بافت گوشت میوه ابتدا پوست میوه در دو نقطه در بخش استوایی جدا شده و سپس با استفاده از دستگاه سفتی سنج دیجیتالی (Turoni, 53205, Italy) با قطر پروب ۸ میلی متر، اندازه گیری شد. سفتی بافت گوشت میوه بر اساس بیشترین نیروی لازم برای نفوذ عمودی قسمت سر پروب به میوه بر حسب واحد نیوتن بیان گردید (Ehteshami et al., 2021).

شاخص درصد پوسیدگی میوه

درصد پوسیدگی میوه به صورت مشاهده ای در پنج درجه شامل صفر: سطح میوه عاری از هر گونه علامت پوسیدگی، یک: کمتر یا مساوی ۵٪ سطح میوه دارای آلودگی، دو: بیشتر از ۵٪ و کمتر یا مساوی ۲۰٪ از سطح میوه دارای علامت بیماری، سه: بیشتر از ۲۰٪ و کمتر یا مساوی ۵۰٪ از سطح میوه دارای علامت پوسیدگی، چهار: بیشتر از ۵۰٪ از سطح میوه دارای علامت پوسیدگی، نمره دهی شد. شاخص پوسیدگی با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید (Wang et al., 2009):

(۳)

$$[(\text{تعداد میوه در هر درجه پوسیدگی}) \times (\text{درجه پوسیدگی})] / \sum = \text{شاخص پوسیدگی} \\ (\text{تعداد کل میوه در هر تکرار})$$

اسید قابل تیتراسیون

برای اندازه گیری اسیدهای آلی از روش تیتراسیون استفاده شد. برای این منظور ابتدا ۵ میلی لیتر از عصاره میوه در ارلن ۱۰۰ میلی لیتر ریخته شد، سپس به آن ۴۵ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. در مرحله بعد به محلول آماده شده ۲ الی ۳ قطره فنل فتالین یک درصد اضافه شد. عمل تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا زمانی ادامه یافت که pH عصاره به عدد ۸/۲ رسید یا رنگ محلول حاوی عصاره میوه به رنگ ارغوانی متمایل به صورتی تغییر نمود. در نهایت میزان سود مصرفی در عمل تیتراسیون یادداشت شد و میزان اسید قابل تیتر میوه با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (Saltveit, 2005).

$$TA (\%) = [(V \times N \times \text{Meqwt}) / (Y \times 1000)] \times 100 \quad (۴)$$

برای این منظور، میوه ها به مدت دو دقیقه در محلول پوشش، غوطه ور شدند. سپس به مدت دو دقیقه در کلرید کلسیم (۲٪ وزنی) غوطه ور شدند تا امکان تشکیل ژل فراهم شود و در دمای 25 ± 2 درجه سانتی گراد در دمای محیط به مدت یک ساعت خشک شدند (Hashemi et al., 2021b).

ده عدد میوه کنار هندی در هر ظرف پلی پروپیلنی به ابعاد $10/5 \times 15/5 \times 12$ سانتی متر قرار داده شدند. هر تیمار چهار بار تکرار شد و در هر تکرار تیمارها بطور مستقل اعمال شدند (میوه ها در محلول های جداگانه مربوط به هر تیمار غوطه ور شدند). پس از اعمال تیمارها، میوه های تیمار شده به مدت صفر، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز در سردخانه با دمای 1 ± 6 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ تا ۹۵٪ قرار گرفتند (Etemadipoor et al., 2019).

ارزیابی صفات مورد آزمایش

کاهش وزن

درصد کاهش وزن میوه با اندازه گیری وزن میوه در ابتدای آزمایش (وزن اولیه) و وزن همان میوه در فواصل معین در طول نگهداری در انبار در هر مرحله (وزن ثانویه) توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم ارزیابی شد (Ali et al., 2010). درصد کاهش وزن با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$(۱) \times 100 = (\text{وزن اولیه} / (\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه})) = \text{درصد کاهش وزن}$$

سرعت تنفس میوه

برای اندازه گیری سرعت تنفس میوه از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) شرکت پرکین المر آمریکا استفاده شد. برای این منظور، مقدار تولید دی اکسید کربن ناشی از تنفس میوه در یک ظرف سر بسته توسط دستگاه GC قرائت گردید. مقدار دی اکسید کربن تولیدی بر اساس استاندارد خالص این ترکیب تخمین زده شد. روش کار بدین صورت بود که میوه ابتدا پس از گذراندن دوره انبارمانی به مدت چند ساعت در درون ظرف مخصوص کاملاً ایزوله از محیط بیرون، قرار گرفت و پس از کالیبره کردن دستگاه GC، توسط سرنگ مخصوص یک میلی لیتری، هوای درون ظرف میوه به جایگاه دستگاه GC تزریق شد. سپس بعد از گذراندن چند دقیقه، مقدار دی اکسید کربن اندازه گیری شده توسط دستگاه یادداشت و با اندازه گیری وزن و حجم میوه و زمان نگهداری در ظرف و حجم ظرف براساس استاندارد خالص این ترکیب با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Ali et al., 2010).

$$CO_2 = [(V_{jar} - V_{fruit}) / (W_{fruit} \times T \times 100)] \times [Sample \ Area / Standard \ Area] \quad (۲)$$

$$\text{ChIT} = \text{Chla} + \text{Chlb} \quad (۷)$$

$$\text{Car} = ((1000A_{475} - 1.8\text{Chla} - 5.02\text{Chlb})/198) * V/W * 1000 \quad (۸)$$

ارزیابی حسی کیفیت میوه

ارزیابی حسی کیفیت میوه کنار هندی بر اساس ارزیابی پنج نقطه‌ای هدونیک طراحی شد. ارزیاب‌ها ۲۰ نفر شامل مرد و زن بودند که از نظر سنی بین ۲۰ تا ۶۰ سال قرار داشتند. میوه‌ها به صورت تازه و در شرایط یکسان جهت ارزیابی به ارزیاب‌ها ارائه شدند و این افراد بر اساس مزه و طعم، بو، رنگ و ظاهر میوه، در نهایت کیفیت کلی میوه را بررسی کردند و بر اساس مقیاس هدونیک پنج نقطه‌ای امتیاز دادند. امتیاز ۱: بسیار بد، امتیاز ۲: بد، امتیاز ۳: متوسط، امتیاز ۴: خوب و امتیاز ۵: بسیار خوب در نظر گرفته شد (Ameh et al., 2015).

طرح آماری و آنالیز داده‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و تعداد ده میوه در هر تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل شش تیمار (شاهد، اسانس آویشن شیرازی ۰/۵ درصد، اسانس آویشن شیرازی یک درصد، آلزینات، آلزینات + اسانس آویشن شیرازی ۰/۵ درصد و آلزینات + اسانس آویشن شیرازی یک درصد) و پنج زمان (صفر، ۷، ۱۴، ۲۱، ۲۸ روز) اندازه‌گیری صفات (درصد کاهش وزن، سرعت تنفس، درصد پوسیدگی، سفتی، اسید قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول کل، اسید آسکوربیک، کاروتنوئید و کلروفیل کل) بود. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گردید. رسم شکل‌ها نیز به وسیله نرم‌افزار اکسل صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر ساده زمان و تیمار در همه صفات در سطح یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل تیمار در زمان، در تمامی صفات به جز اسید آسکوربیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد.

کاهش وزن

مقایسه میانگین درصد کاهش وزن میوه کنار تحت تأثیر اثر متقابل زمان و تیمار نشان داد که درصد کاهش وزن در طول زمان در تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت؛ به طوری که بیش‌ترین درصد کاهش وزن در شاهد در روز ۲۸ام (۵/۱ درصد) مشاهده گردید. در تیمارها نیز میزان درصد کاهش وزن در طول زمان افزایش یافت ولی این افزایش به طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود (شکل ۱).

که در این رابطه TA% درصد اسید قابل تیتر برحسب اسیدسیتریک، V حجم سود مصرف شده در تیتراسیون (میلی‌لیتر)، N نرمالیه سود مصرفی که برابر ۱٪ بود؛ Meq میلی‌اکی‌والان اسید غالب میوه کنار هندی اسیدسیتریک می‌باشد که برابر با ۰/۰۶۴ در نظر گرفته شد و Y میلی‌لیتر حجم آب میوه مصرفی بود.

مواد جامد محلول کل

برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول موجود در عصاره میوه کنار هندی از دستگاه رفاکتومتر دیجیتالی (DBR95, Taiwan) استفاده شد. در ابتدا برای کالیبره کردن دستگاه با ریختن چند قطره آب مقطر آن را کالیبره کرده و سپس چند قطره از عصاره میوه را روی صفحه منشور دستگاه ریخته و با فشار دادن دکمه ثبت، میزان درصد مواد جامد محلول برحسب درجه بریکس قرائت و ثبت گردید (Etemadipoor et al., 2020).

آسکوربیک اسید

مقدار آسکوربیک اسید با روش اسپکتروفتومتری و با استفاده از نمودار استاندارد اسید آسکوربیک اندازه‌گیری شد. در ابتدا مقدار ۵۰ ماکرولیتر از آب میوه را با ۵ میلی‌لیتر متافسفربیک ۱٪ مخلوط کرده سپس مقدار ۵۰۰ ماکرولیتر از محلول آماده‌شده را برداشته و با ۵ میلی‌لیتر ایندوفنل مخلوط گردید (محلول ارغوانی رنگ حاصل می‌شود) سپس بعد از انجام ورتکس میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر (CE2501 Cecil, UK) در طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت گردید. منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های صفر تا ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید ال-آسکوربیک به دست آمد. مقدار اسکوربیک اسید میوه برحسب میلی‌گرم اسید آسکوربیک در هر ۱۰۰ گرم وزن تر محاسبه شد (Etemadipoor et al., 2019).

محتوای کاروتنوئید و کلروفیل کل

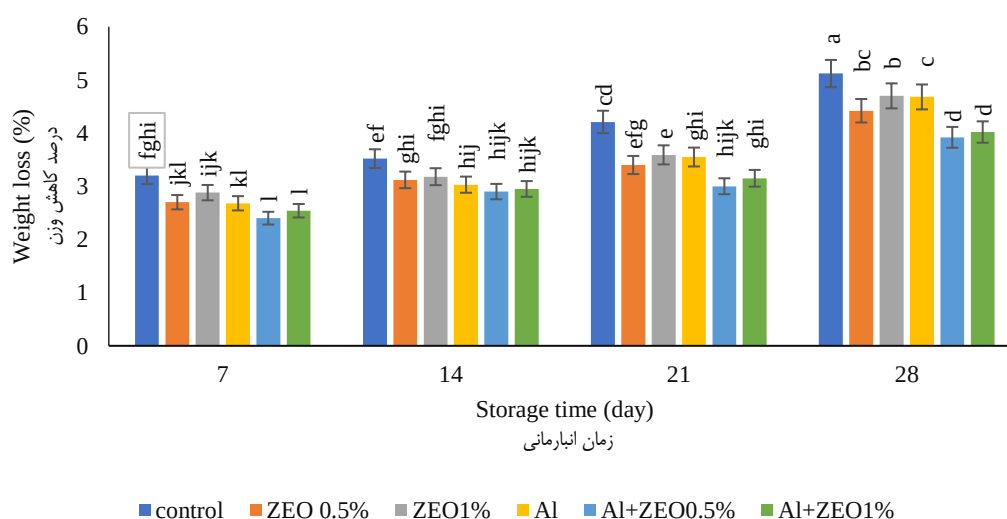
میزان کلروفیل و کاروتنوئید براساس روش (Lichtenthaler & Buschmann, 2001) ارزیابی شدند. ابتدا مقدار نیم گرم از بافت میوه با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ در هاون چینی سائیده و سپس به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۶۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. در نهایت با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/VIS, Perkin Elmer, USA) جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۴۷۵، ۶۴۵ و ۶۶۳ قرائت شدند و برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل a (Chla)، کلروفیل b (Chlb)، کلروفیل کل (ChIT) و کاروتنوئید (Car) از روابط ۵ تا ۸ استفاده شد.

$$\text{Chla} = (12.25A_{663} - 2.79A_{645}) * V/W * 1000 \quad (۵)$$

$$\text{Chlb} = (21.21A_{645} - 5.1A_{663}) * V/W * 1000 \quad (۶)$$

از دست‌دهی وزن است. استفاده از پوشش خوراکی جهت کاهش آب از دست‌دهی میوه، به خاطر تأثیر پوشش به‌عنوان سد نیمه نفوذپذیر در برابر اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، رطوبت و حرکت حلال و در نتیجه کاهش تنفس، کاهش آب از دست‌دهی و کاهش سرعت واکنش‌های اکسیداسیون است (Hashemi et al., 2021a). نتایج نشان می‌دهد که خاصیت هیدروفوبیک اسانس در پوشش خوراکی آلژینات می‌تواند مانع خوبی را برای کاهش تبخیر رطوبت فراهم آورد (Choi et al., 2016). کاهش نفوذپذیری به بخار آب، ممکن است به‌دلیل پیوند کووالانت و هیدروژن بین ترکیبات پلی‌فنولیک اسانس و ماتریکس آلژینات باشد که تمایل گروه‌های هیدروفیلک در باند شدن با آب را محدود می‌کند و در نهایت به کاهش نفوذپذیری پوشش ترکیبی به سمت آب منجر می‌شود (Siripatrawan et al., 2010).

پس از گذشت ۲۸ روز از انبارمانی تیمار شاهد بیشترین میزان کاهش وزن را نشان داد، اما تیمار آلژینات به‌همراه اسانس آویشن شیرازی نسبت به سایر تیمارها، به‌طور معنی‌داری تأثیر بیشتری بر کاهش از دست‌دادن وزن داشت به‌طوری‌که ۲۳/۸ درصد سبب کمتر شدن کاهش وزن نسبت به شاهد شد. کاهش وزن میوه‌ها و سبزی‌های تازه، عمدتاً به‌دلیل از دست‌دادن آب در نتیجه فرآیندهای تنفس و تعرق است (Hernandez-Munoz et al., 2008). پوشش آلژینات با ایجاد یک مانع فیزیکی در برابر از دست‌دادن رطوبت و در نتیجه به تعویق انداختن پیری و چروکیدگی منجر به حفظ وزن در محصولات می‌شود (Fan et al., 2009). نتایج حاصل از کاربرد پوشش خوراکی آلژینات‌سدیم بر روی میوه توت‌فرنگی (Pooraziz et al., 2019) و آلو (Valero et al., 2013) نیز نشان‌دهنده تأثیر این پوشش در کاهش



شکل ۱- اثر پوشش آلژینات و اسانس آویشن شیرازی بر کاهش وزن (%) میوه کنار هندی که در دمای 6 ± 1 درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۸ روز انبارمانی به علاوه یک روز ماندگاری در دمای محیط. (ZEO=اسانس آویشن شیرازی و AL=آلژینات) ستون‌های با حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 1. The effect of Al coating and ZEO on the Weight loss (%) of Ber fruit stored at $6 \pm 1^\circ\text{C}$ for 28 days plus one day shelf life at ambient temperature. (ZEO: *Zataria multiflora* essential oil; Al: alginate)

The columns with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test.

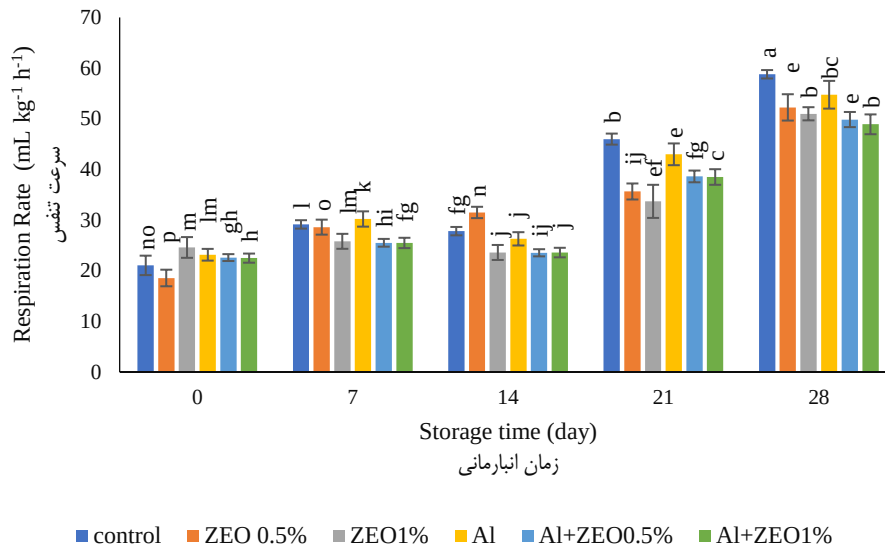
سرعت تنفس

سایر تیمارها بود (شکل ۲). کاهش وزن میوه با افزایش چروکیدگی و کاهش شفافیت، ضررهای اقتصادی بزرگی را به همراه دارد که بیشتر به علت فعالیت متابولیکی، تبخیر رطوبت از سطح پوست و تنفس است (Abad Ullah et al., 2017). در حالی که نتایج برخی مطالعات نشان داده است که پوشش‌های آلی نسبت به بخار آب نفوذناپذیر بوده و با به وجود آوردن اتمسفری اشباع از رطوبت، از تبخیر و چروکیدگی میوه جلوگیری می‌کنند. این پوشش‌ها به‌دلیل غیر قابل نفوذ بودن نسبت به ملکول‌های اکسیژن و دی‌اکسید کربن، اتمسفری تغییر داده شده در

بررسی نتایج اثر متقابل زمان و تیمار بر سرعت تنفس میوه کنار نشان داد که سرعت تنفس در طول زمان در تیمار شاهد افزایش یافته است؛ به‌طوری‌که در روز ۲۸م بیش‌ترین سرعت تنفس در تیمار شاهد ($58/78 \text{ mLKg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) و کمترین سرعت تنفس در تیمار آلژینات + اسانس آویشن شیرازی یک درصد ($48/9 \text{ mLKg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) مشاهده گردید. در تیمارها نیز میزان سرعت تنفس در طول زمان افزایش یافت ولی این افزایش در تیمار آلژینات + آویشن به‌طور معنی‌داری کمتر از

را می‌دهد اما با مانع شدن در برابر حرکت اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و رطوبت، باعث کاهش تنفس و تعرق سطح میوه می‌شود (Hashemi et al., 2021a).

اطراف میوه به وجود می‌آورند که باعث کاهش تنفس و تأخیر در پیری و نرم شدن آن می‌شوند. اسانس‌های روغنی نیز با تشکیل یک لایه نیمه نفوذپذیر، هر چند اجازه عبور برخی مولکول‌های کوچک مشخص



شکل ۲- اثر پوشش آلژینات و اسانس آویشن شیرازی بر سرعت تنفس میوه کنار هندی که در دمای $6 \pm 1^\circ\text{C}$ به مدت ۲۸ روز انبارمانی به علاوه یک روز ماندگاری در دمای محیط. (ZEO=اسانس آویشن شیرازی و AL=آلژینات)

ستون‌های با حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 2. The effect of Al coating and ZEO on the Respiration (mg) of Ber fruit stored at $6 \pm 1^\circ\text{C}$ for 28 days plus one day shelf life at ambient temperature. (ZEO: *Zataria multiflora* essential oil; Al: alginate)

The columns with the same letters are not significantly different according to DUNCAN te Duncan's multiple range test st.

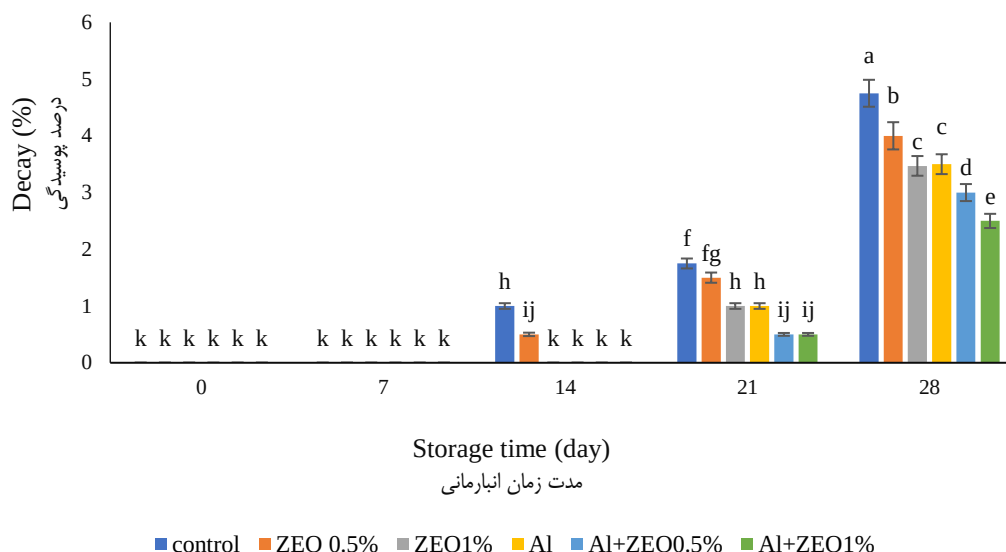
ثابت شده است که افزودن اسانس‌ها به پوشش‌های خوراکی می‌تواند عمر انبارمانی میوه‌ها را (در صورتی که غلظت مناسبی از اسانس به کار برده شود) به علت داشتن فعالیت ضد میکروبی افزایش دهد، زیرا ترکیبات اسانس‌ها به مرور زمان روی سطح محصول آزاد می‌شود (Bonilla et al., 2012).

سفتی

بررس نتایج شکل ۴ نشان داد که سفتی میوه در طول زمان در تیمارها و شاهد با افزایش زمان انبارمانی به طور معنی‌داری کاهش یافت. به طوری که در پایان دوره نگهداری کم‌ترین میزان سفتی میوه در تیمار شاهد (۳۱ نیوتن) و بیشترین میزان سفتی در تیمار آلژینات + اسانس آویشن شیرازی نیم درصد (۴۱/۵ نیوتن) مشاهده شد. در بین تیمارهای مورد استفاده نیز میزان سفتی میوه در طول زمان کاهش یافت ولی این کاهش بسیار کمتر از شاهد بود. نتایج حاصل از این آزمایش، نشان‌دهنده تأثیرگذار بودن آلژینات در ترکیب با اسانس آویشن در حفظ سفتی میوه کنار است.

درصد پوسیدگی

مقایسه میانگین درصد پوسیدگی میوه حاکی از آن است که این صفت در طول زمان در تیمارها تا روز ۱۴م به جز در نمونه‌های شاهد و تیمار اسانس آویشن ۰/۵ درصد، تغییر معنی‌داری نکرد اما پس از آن با افزایش زمان انبارمانی افزایش یافت. در بین تیمارها نیز تیمار آلژینات + اسانس آویشن ۰/۵ و ۱ درصد توانستند درصد پوسیدگی میوه را تا آخرین روز نگهداری در انبار به طور معنی‌داری کاهش دهند. سایر تیمارها نیز ظاهر میوه را نسبت به شاهد بیشتر حفظ کردند (شکل ۳). در تأیید این نتایج، گزارش شده است که پوشش خوراکی آلژینات سدیم در میوه توت فرنگی موجب کاهش پوسیدگی میوه می‌شود (Fan et al., 2009). در واقع پوشش‌های خوراکی با ایجاد پوشش محافظتی روی سطح میوه می‌توانند از تخریب بافت میوه ناشی از پوسیدگی جلوگیری نمایند. از سویی دیگر این پوشش‌ها موجب ایجاد یک لایه نیمه نفوذناپذیر در اطراف میوه گردیده و باعث ایجاد شرایط اتمسفر داخلی تغییر یافته (کاهش O_2 و CO_2) می‌شوند و میوه را از رشد عوامل بیماری‌زا محافظت می‌کنند (Rojas Grau et al., 2008). همچنین



شکل ۳- اثر پوشش آلژینات و اسانس آویشن شیرازی بر درصد پوسیدگی میوه کنار هندی که در دمای $6 \pm 1^\circ\text{C}$ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۸ روز انبارمانی به علاوه یک روز ماندگاری در دمای محیط. (ZEO=اسانس آویشن شیرازی و AL=آلژینات)

ستون‌های با حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 3. The effect of Al coating and ZEO on the Decay (%) of Ber fruit stored at $6 \pm 1^\circ\text{C}$ for 28 days plus one day shelf life at ambient temperature. (ZEO: *Zataria multiflora* essential oil; Al: alginate)

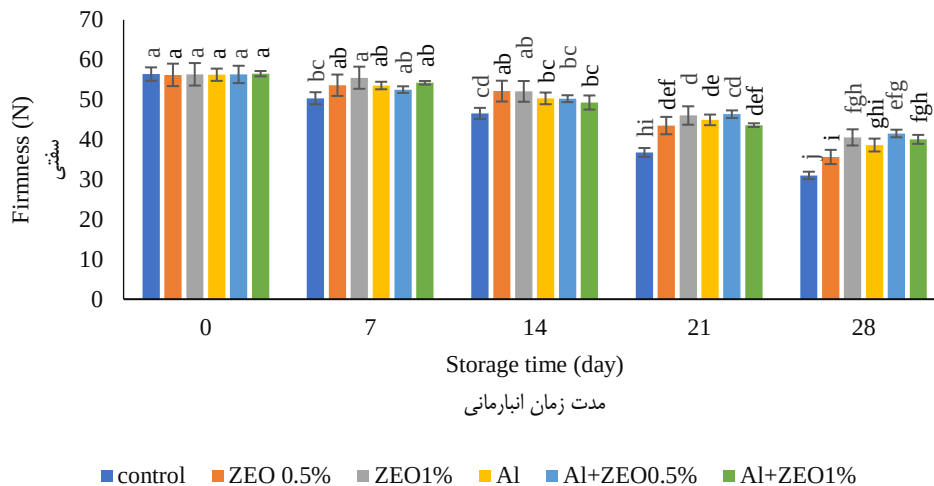
The columns with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test.

طی دوره انباری در حفظ سفتی پوسته روی میوه مؤثر بودند. کاربرد کیتوزان در ترکیب با اسانس آویشن به علت اثرات سینرژیستیک پوشش و اسانس آویشن به طور قابل توجهی در حفظ سفتی قارچ دکمه ای نقش داشت (Jiang et al., 2011). از آنجایی که پوشش‌های خوراکی به همراه نرم‌کننده‌ها ممانعت‌کننده‌های خوبی برای رطوبت هستند و نقل و انتقال رطوبت به داخل دانه و خارج از آن را محدود می‌سازند. لذا میوه رطوبت کمتری از دست داده و احتمالاً همین امر باعث شده است تا نمونه‌های پوشش داده شده با ژلاتین سفتی بیشتری داشته باشند (Wittaya, 2012). مارتینز و همکاران (Martinez et al., 2003) نیز بیان کردند که استفاده از اسانس‌ها در ترکیب با پوشش‌های خوراکی با کاهش یا جلوگیری از فعالیت‌های آنزیم‌های تجزیه‌کننده پکتین و ممانعت از پوسیدگی از طریق کنترل فعالیت میکروبی موجب حفظ سفتی بافت میوه، کاهش تولید اتیلن و کند شدن روند نرم شدن میوه شده و رسیدگی را به تأخیر می‌اندازد. سفتی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی است که قضاوت مصرف‌کننده و در نتیجه پذیرش توسط مصرف‌کننده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در طی انبارمانی فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پکتین که پروتوپکتین را به پکتین‌های محلول در آب تجزیه می‌کند از یک طرف و کاهش فشا تورژسانس سلولی که منجر به شکستن دیواره سلولی می‌شود از طرف دیگر،

به نحوی که با وجود کاهش میزان سفتی با گذشت زمان انبارمانی، تیمارها توانستند سفتی میوه را نسبت به تیمار شاهد حفظ کنند. نتایج ما با برخی آزمایشات دیگر هم‌خوانی داشت به طوری که در آزمایشی استفاده از پوشش آلژینات سدیم اثر سودمندی روی حفظ سفتی ورقه های گلابی در طول دوره نگهداری نشان داد. از آنجایی که در این مطالعه در فرمولاسیون این پوشش از روغن آفتابگردان استفاده شده است، موجب حفظ رطوبت و در نتیجه باعث حفظ سفتی بافت محصول شد (Ahmadzade Ghavidel et al., 2011). هم‌راستا با نتایج این گزارش، پوشش دهی میوه با آلژینات سدیم حاوی اسانس علف لیمو موجب حفظ سفتی قطعات بریده شده آناناس (Azarakhsh et al., 2014) و قطعات بریده شده خربزه (Raybaudi-Massilia et al., 2008) شده است. سفتی میوه‌های توت فرنگی تیمار شده با آلژینات به تنهایی و در ترکیب با اسانس اوژنول و سیترال نسبت به میوه‌های شاهد بهتر حفظ شد (Guerreiro et al., 2015a). کاربرد آلژینات روی قطعات تازه برش یافته سیب نیز با جلوگیری از کاهش رطوبت و آماس در حفظ سفتی بافت مؤثر بود (Rojas-Grau et al., 2007). همچنین هاشمی و همکاران (Hashemi et al., 2021a) گزارش کردند که کاربرد پوشش‌های خوراکی پلی‌ساکاریدی صمغ عربی و آلژینات سدیم در ترکیب با اسانس آویشن روی پسته‌های تازه

خواصی است که منجر به ممانعت پوشش در جذب O_2 است که منجر به کاهش فعالیت‌های متابولیکی شده و در نتیجه فرآیند رسیدن و پیری را به تأخیر انداخته و از این طریق سبب حفظ سفتی میوه می‌گردد (Sogvar et al., 2016).

منجر به نرم شدن میوه می‌گردد (Wang & Gao, 2013). دلیل حفظ سفتی میوه به وسیله پوشش آلژینات، ایجاد یک اتمسفر داخلی مناسب در میوه‌های پوشش داده شده است که منجر به کاهش متابولیسم میوه کنار و افزایش ماندگاری آن می‌گردد (Fan et al., 2009). به طور کلی، پوشش‌ها روند نرم شدن میوه را کند می‌کنند که احتمالاً ناشی از



شکل ۴- اثر پوشش آلژینات و اسانس آویشن شیرازی بر میزان سفتی میوه کنار هندی که در دمای $6 \pm 1^\circ C$ درجه سانتی گراد به مدت ۲۸ روز انبارمانی به علاوه یک روز ماندگاری در دمای محیط. (ZEO= اسانس آویشن شیرازی و Al=آلژینات)

ستون‌های با حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

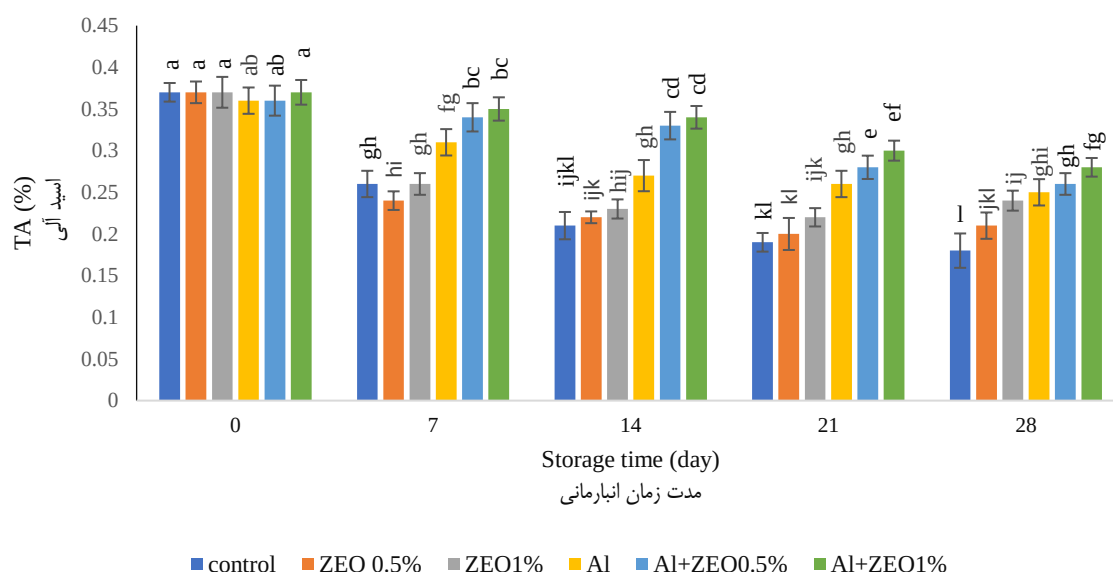
Fig. 4. The effect of Al coating and ZEO on the Firmness (N/cm) of Ber fruit stored at $6 \pm 1^\circ C$ for 28 days plus one day shelf life at ambient temperature. (ZEO: *Zataria multiflora* essential oil; Al: alginate)

The columns with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test.

می‌یابد در نتیجه، افزایش تنفس منجر به کاهش اسیدیته می‌شود؛ بنابراین میزان اسید میوه شاخص مناسبی برای میزان تنفس آن است (Valero et al., 2013). در میوه کنار طی مدت نگهداری به‌ویژه در شرایط دمای پایین انبار، میزان اسید میوه کاهش یافت که می‌تواند به دلیل شکسته شدن اسید به قند در طی تنفس، میوه باشد. در این پژوهش نیز میزان اسید کل با گذشت زمان انبارمانی کاهش یافت؛ اما تیمار آلژینات+ اسانس قادر به حفظ و افزایش اسیدیته نسبت به شاهد بود. در بین تیمارها، تیمار آلژینات + اسانس آویشن شیرازی ۱٪، تأثیر بیشتری در افزایش اسیدیته داشت. پوشش‌های خوراکی از طریق تغییر اتمسفر درونی و کاهش میزان تنفس، تغییرات اسیدهای آلی به قند را در میوه‌های پوشش داده شده کاهش می‌دهند در واقع مصرف اسیدهای آلی که به‌عنوان سوپسترای واکنش تنفس می‌باشند، کاهش یافته و سبب حفظ بیشتر اسید قابل تیتراسیون میوه می‌گردد (Eshghi et al., 2014).

اسید قابل تیتراسیون (TA)

برهمکنش تیمار و زمان انبارمانی بر مقدار اسید آلی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. میزان اسید قابل تیتراسیون در طول زمان در تیمارها و شاهد با افزایش زمان انبارمانی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به طوری که کم‌ترین میزان اسید قابل تیتر میوه در تیمار شاهد در روز ۲۸ام (۰/۱۸٪) مشاهده گردید. در تیمارها نیز میزان اسید قابل تیتر میوه در طول زمان کاهش یافت ولی این کاهش بسیار کمتر از شاهد بود و تیمار آلژینات + اسانس آویشن ۱٪ میزان اسید قابل تیتر (۰/۲۸٪) بالاتری در مقایسه با سایر تیمارها داشت (شکل ۵). پوشش خوراکی ترکیبی سبب حفظ میزان اسیدهای آلی میوه شد که نتایج این بررسی همسو با نتایج محققین دیگر بر هلو (Maftoonazad et al., 2008) و گلابی (Moraes et al., 2012) است. در طول رسیدن و پیری محتوای اسید میوه به‌عنوان یک ماده مهم در متابولیسم تنفس کاهش



شکل ۵- اثر پوشش آلژینات و اسانس آویشن شیرازی بر میزان اسید آلی میوه کنار هندی که در دمای $6 \pm 1^\circ\text{C}$ درجه سانتی گراد به مدت ۲۸ روز انبارمانی به علاوه یک روز ماندگاری در دمای محیط. (ZEO=اسانس آویشن شیرازی و AL=آلژینات) ستون‌های با حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

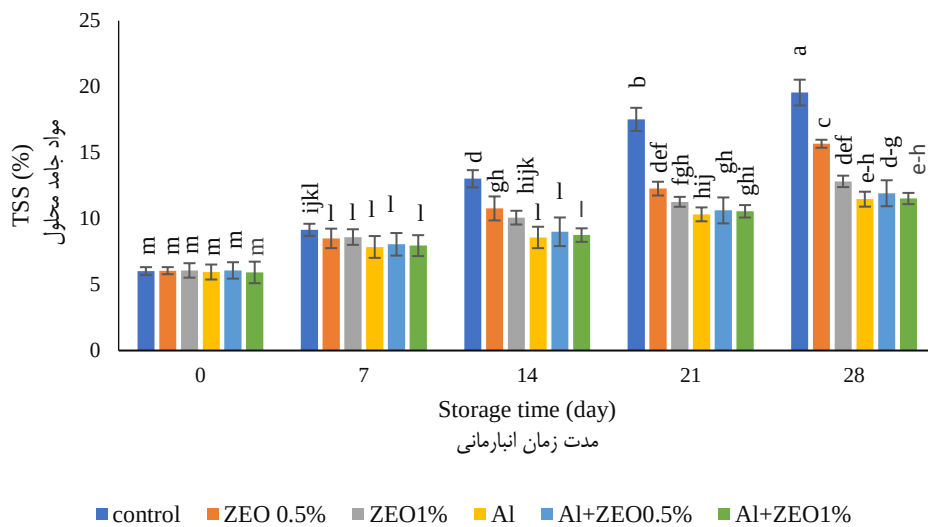
Fig. 5. The effect of Al coating and ZEO on the TA (mg) of Ber fruit stored at $6 \pm 1^\circ\text{C}$ for 28 days plus one day shelf life at ambient temperature. (ZEO: *Zataria multiflora* essential oil; Al: alginate)

The columns with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test.

کل مواد جامد محلول (TSS)

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود کل مواد جامد محلول در طول زمان در تیمارها و شاهد با افزایش زمان انبارمانی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول میوه در تیمار شاهد در روز ۲۸ام (۱۹/۵۵ درصد) مشاهده گردید. در سایر تیمارها نیز میزان کل مواد جامد محلول میوه در طول زمان افزایش یافت ولی این افزایش بسیار کمتر از شاهد بود. در مجموع با کاربرد آلژینات و اسانس آویشن شیرازی یک درصد (۱۱/۵۲ درصد) کم‌ترین میزان مواد جامد محلول در مقایسه با سایر تیمارها مشاهده شد که این میزان با تیمار آلژینات و آلژینات + اسانس آویشن شیرازی نیم درصد تفاوت معنی‌داری نداشت. مواد جامد محلول حاوی اجزای مهم به‌ویژه قندها و اسیدهای آلی هستند که مسئول طعم و پذیرش محصول توسط مصرف‌کننده می‌باشند (Garcia et al., 2012). در واقع با رسیدن میوه‌ها میزان مواد جامد محلول افزایش می‌یابد و پوشش‌دهی میوه‌ها تغییراتی که موجب رسیدن محصول می‌شود را کند

می‌کند (Meng et al., 2007). همانطور که در شکل ۶ ملاحظه می‌گردد، همچنین کاهش اکسیژن موجود در اطراف میوه (به‌دلیل پوشش‌دهی با اسانس و آلژینات) تبدیل نشاسته به قند را به تأخیر می‌اندازد و از هیدرولیز پلی‌ساکاریدهای ساختاری به منومرهای خود جلوگیری می‌کند (Thumula, 2006) از طرفی به نظر می‌رسد یکی از دلایل تجمع مواد جامد محلول در نمونه‌های شاهد، افزایش از دست‌دهی آب باشد از طرفی حلالیت‌پذیری پلی‌یورونیدها و همی‌سلولزهای دیواره سلولی در میوه کنار بالغ، ممکن است به افزایش در محتوای مواد جامد محلول کمک کند (Guerreiro et al., 2015). پوشش یک لایه نیمه-نفوذپذیر ایجاد می‌کند و تبخیر و تراش را کاهش داده و با کاهش سرعت تنفس سبب کاهش مواد جامد محلول در میوه پوشش‌داده شده نسبت به شاهد می‌گردد (Ghasemi et al., 2016). با افزایش زمان انبارمانی مقدار محتوای مواد جامد محلول نیز افزایش یافت که با نتایج کار محققین دیگر همخوانی دارد (Hernandez- Munos et al., 2008; Tanada-Palmo & Graso, 2005).



شکل ۶- اثر پوشش آلژینات و اسانس آویشن شیرازی بر میزان مواد جامد محلول میوه کنار هندی که در دمای 6 ± 1 درجه سانتی گراد به مدت ۲۸ روز انبارمانی به علاوه یک روز ماندگاری در دمای محیط. (ZEO=اسانس آویشن شیرازی و AL=آلژینات)

ستون‌های با حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

Fig. 6. The effect of Al coating and ZEO on the TSS of Ber fruit stored at $6 \pm 1^\circ\text{C}$ for 28 days plus one day shelf life at ambient temperature. (ZEO: *Zataria multiflora* essential oil; Al: alginate)

The columns with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test.

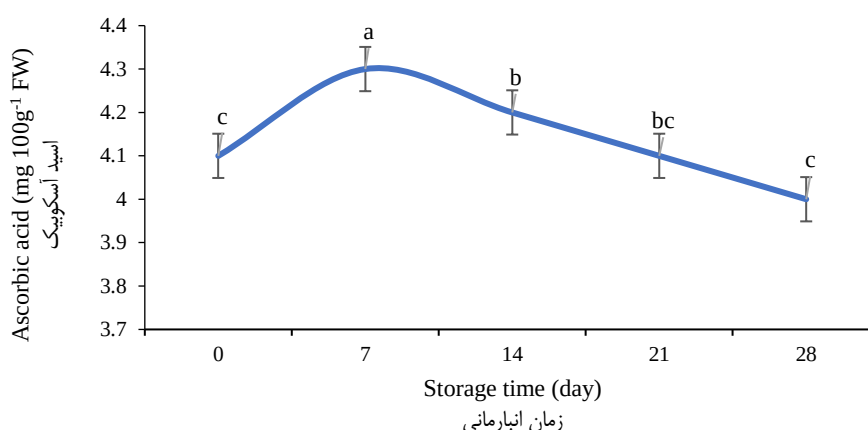
توت‌فرنگی (Gol et al., 2013) نیز گزارش شده است. اسکوربیک اسید به عنوان یک ماده تغذیه‌ای و آنتی‌اکسیدانی با از بین بردن گونه‌های اکسیژن‌واکنشی می‌تواند به جلوگیری از پیری کمک کند. کاهش میزان اسیدآسکوربیک در طول دوره انبارمانی به دلیل فعالیت آنزیم آسکوربیک اسید اکسیداز است که آسکوربیک‌اسید را به دهیدرو آسکوربیک‌اسید و فنل اکسیداز تبدیل می‌کند. از دلایل دیگر کاهش اسیدآسکوربیک، اتو اکسیداسیون است که این پدیده به‌طور خود به خودی هنگامی که آسکوربیک‌اسید با اکسیژن هوا ترکیب می‌شود، اتفاق می‌افتد (Sogvar et al., 2016). برخی محققین فرآیندهای اکسیداتیو را عامل اصلی تخریب اسیدآسکوربیک در بافت میوه‌ها بیان کردند و دریافتند که این فرآیندها در حضور نور، اکسیژن، حرارت و آنزیم‌های اکسیدکننده تسریع می‌شود (Pooraziz et al., 2019). همچنین به نظر می‌رسد دلیل کاهش تخریب اسیدآسکوربیک با کاربرد پوشش‌های خوراکی در مطالعه حاضر، کاهش نفوذپذیری این پوشش‌ها به اکسیژن و نقش اسانس‌ها در ممانعت از نفوذ گازها است که کاهش سرعت رسیدن و تأخیر در واکنش‌های اکسیداسیون اسیدآسکوربیک در میوه را به دنبال دارند (Sogvar et al., 2016).

اسیدآسکوربیک

مقایسه میانگین اثر زمان بر اسیدآسکوربیک نشان داد که اسیدآسکوربیک در طول زمان تا روز هفتم افزایش معنی‌داری یافت و سپس با افزایش زمان انبارمانی کاهش یافت؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان اسیدآسکوربیک به ترتیب در روزهای هفتم و بیستم هشتم ($4/3$ و 4 میلی گرم) مشاهده گردید (شکل ۷).

مقایسه میانگین اثر تیمار بر اسیدآسکوربیک نشان داد که تیمارها اثر معنی‌داری بر میزان اسیدآسکوربیک داشتند و میزان اسیدآسکوربیک را بطور معنی‌دار در مقایسه با شاهد افزایش دادند، هر چند تفاوت معنی‌دار بین تیمارها مشاهده نشد (شکل ۸).

مقدار اسیدآسکوربیک طی انبارمانی روند کاهشی داشت. از طرف دیگر در بین تیمارهای مختلف آلژینات به همراه اسانس آویشن بیشترین میزان اسیدآسکوربیک را دارا بود. به‌طور معمول، مقدار اسیدآسکوربیک با گذشت زمان انبارمانی کاهش می‌یابد؛ همان‌طور که در این پژوهش نیز کاهش یافت. این کاهش در نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های انجام‌شده بر روی میوه گواوا (Nair et al., 2018) و

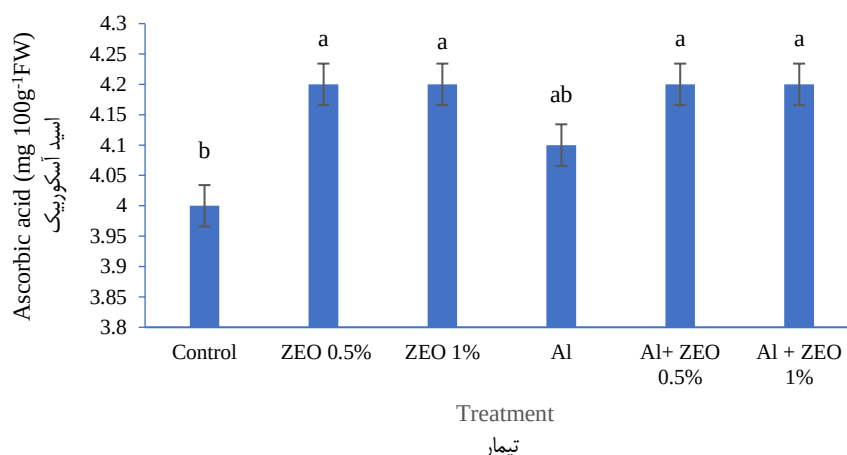


شکل ۷- تأثیر زمان انبارمانی بر میزان اسیدآسکوربیک میوه کنار هندی

حروف کوچک مشابه نشان‌دهنده تفاوت غیر معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ با استفاده از آزمون دانکن است.

Fig. 7. Effect of storage time on Ascorbic acid of Ber fruit

Similar small letters indicate non-significant difference at 1% level of probability using Duncan's multiple range test.



شکل ۸- تأثیر پوشش آلژینات و اسانس آویشن شیرازی بر میزان اسید آسکوربیک میوه کنار هندی

(ZEO= اسانس آویشن شیرازی و AL=آلژینات)

Fig. 8. Effect of Al coating and ZEO on Ascorbic acid of Ber fruit

(ZEO: *Zataria multiflora* essential oil; Al: alginate)

شاهد (۸/۷۹ میلی گرم بر گرم وزن تر) و سایر تیمارها مقدار کاروتنوئید کمتری نشان دادند. برخی پژوهشگران گزارش نموده‌اند که میزان کاروتنوئیدها در میوه کنار با گذشت زمان و عبور از مراحل مختلف نمو، افزایش می‌یابد (Reche et al., 2021) که با نتایج این آزمایش همسو می‌باشد. استفاده از پوشش خوراکی هیدروکسی پروپیل متیل سلولز روی گواوا (Vishwasrao et al., 2016) و صمغ خوراکی حاوی اسانس میخک روی پاپایا (Joshi et al., 2017) تخریب کلروفیل را به تأخیر انداخته بود و در نتیجه تغییر رنگ میوه که ناشی از تخریب کلروفیل و تحریک سنتز رنگیزه‌های دیگر مانند کاروتنوئیدها می‌باشد را

محتوای کارتنوئید و کلروفیل کل

تأثیر تیمار آلژینات غنی شده با اسانس آویشن در طی دوره نگهداری بر محتوای کارتنوئید و کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که میزان کارتنوئید کل میوه تا روز ۲۱م در تیمارهای شاهد و اسانس آویشن افزایش معنی‌داری یافت اما افزایش آن تا روز ۲۸م معنی‌دار نبود. همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است تیمار آلژینات + اسانس آویشن شیرازی یک درصد و آلژینات + اسانس آویشن شیرازی نیم‌درصد به‌ترتیب با مقدار ۸/۱ و ۸/۱۵ (میلی گرم بر گرم وزن تر) با اختلاف معنی‌داری در مقایسه با

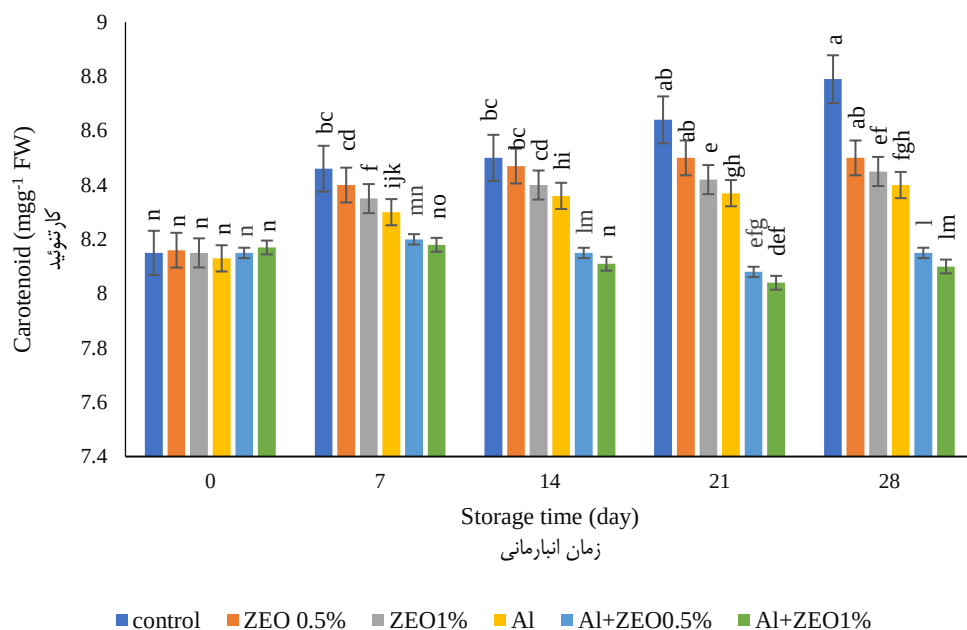
آمده در این پژوهش، کاربرد پوشش‌های خوراکی غنی شده با اسانس در میوه گواوا، گوجه‌فرنگی و فلفل شیرین محتوای کلروفیل بالاتری را نشان دادند (Gurjar et al., 2018; Ali et al., 2010; Xing et al., 2011).

اثرات بازدارنده آلزینات احتمالاً به‌خاطر ویژگی‌های نگهدارنده آن به‌عنوان یک پوشش خوراکی می‌باشد که اتمسفر داخلی میوه را تغییر می‌دهد (کاهش اکسیژن و افزایش دی‌اکسید کربن) و باعث کاهش فرآیند اکسیداسیون می‌گردد (Gurjar et al., 2018). کاهش محتوای کلروفیل به‌خاطر فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل مانند کلروفیلاز، کلروفیل اکسیداز و پراکسیداز در طول رسیدن اتفاق می‌افتد. کاهش در سرعت تجزیه کلروفیل در فرآیند رسیدن به‌دلیل کاهش در فعالیت این آنزیم‌ها می‌باشد (Valiathan & Athmaselvi, 2018). به‌نظر می‌رسد پوشش‌های خوراکی و اسانس از طریق کاهش فعالیت این آنزیم‌ها سرعت تجزیه کلروفیل را کاهش می‌دهند.

کاهش دهد، که این نتایج با تغییر کاروتنوئید میوه‌های کنار پوشش داده شده با آلزینات و اسانس آویشن شیرازی مطابقت دارد.

محتوای کلروفیل در طی زمان کاهش یافت که نشان‌دهنده تغییر رنگ میوه از سبز به زرد می‌باشد (شکل ۱۰). در انتهای دوره انبارمانی حداکثر میزان کلروفیل کل در میوه‌های تیمار شده با آلزینات + اسانس آویشن شیرازی یک درصد (۳/۱۷ میلی گرم در گرم وزن تر) و کمترین میزان آن در تیمار شاهد (۲/۲۱ میلی گرم در گرم وزن تر) به‌دست آمد (شکل ۱۰).

محتوای کلروفیل در پوست میوه کنار با رنگ میوه ارتباط مستقیم دارد. رسیدن در کنار با تغییرات رنگ پوست از سبز به زرد مشخص می‌شود. در این آزمایش میزان کلروفیل در میوه‌ها در طی زمان کاهش یافت ولی میوه‌های تیمار شده با پوشش آلزینات غنی شده با اسانس آویشن شیرازی در انتهای دوره نگهداری محتوای کلروفیل بالاتری در مقایسه با میوه‌های بدون پوشش نشان دادند. همسو با نتایج به‌دست

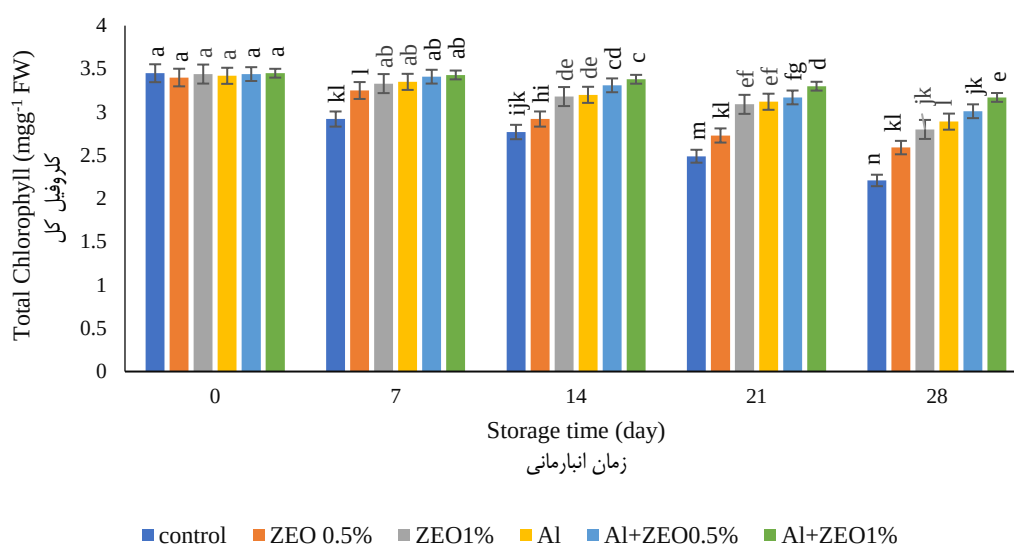


شکل ۹- اثر پوشش آلزینات و اسانس آویشن شیرازی بر میزان محتوای کاروتنوئید میوه کنار هندی که در دمای $6 \pm 1^\circ\text{C}$ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۸ روز انبارمانی به علاوه یک روز ماندگاری در دمای محیط. (ZEO= اسانس آویشن شیرازی و AL=آلزینات)

ستون‌های با حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 9. The effect of Al coating and ZEO on the Carotenoid of Ber fruit stored at $6 \pm 1^\circ\text{C}$ for 28 days plus one day shelf life at ambient temperature. (ZEO: *Zataria multiflora* essential oil; Al: alginate)

The columns with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test.



شکل ۱۰- اثر پوشش آلژینات و اسانس آویشن شیرازی بر میزان کلروفیل کل میوه کنار هندی که در دمای $6 \pm 1^\circ\text{C}$ به مدت ۲۸ روز انبارمانی به علاوه یک روز ماندگاری در دمای محیط. (ZEO=اسانس آویشن شیرازی و Al=آلژینات)

ستون‌های با حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 10. The effect of Al coating and ZEO on the Total Chlorophyll of Ber fruit stored at $6 \pm 1^\circ\text{C}$ for 28 days plus one day shelf life at ambient temperature. (ZEO: *Zataria multiflora* essential oil; Al: alginate)

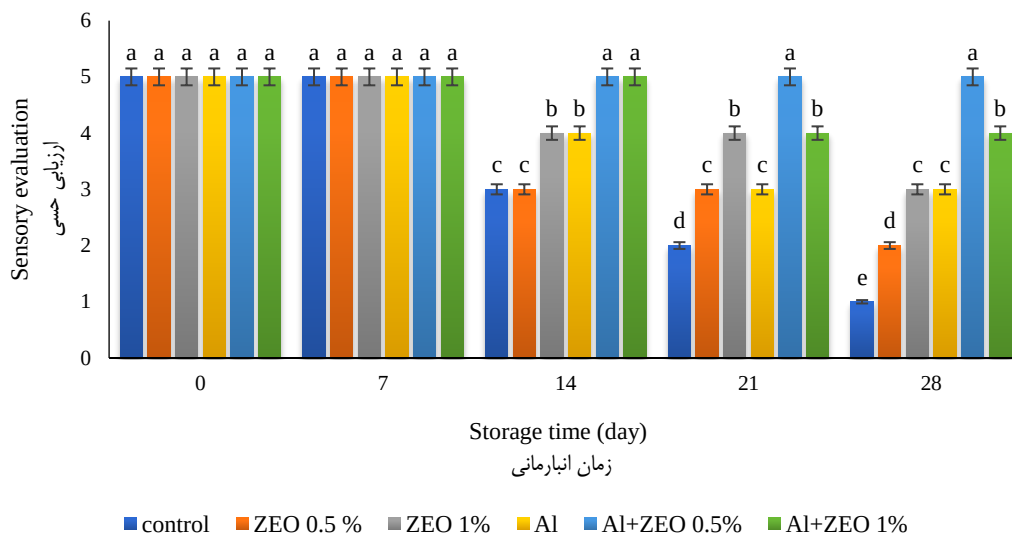
The columns with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test.

پژوهش پارامترهای حسی مربوط به پسته پوشش داده شده با صمغ عربی نیز حاکی از آن است که این پوشش در افزایش نمره‌دهی پارامترهای کیفی مثل ظاهر، درخشش مغز، کاهش عطر و طعم نامطلوب مؤثر بود (Hashemi et al., 2021b). همچنین کاربرد صمغ روی بذر کاج در پارامترهای ارزیابی حسی مثل رنگ محصول، عطر و طعم نقش مثبت داشت. این پوشش با سد کردن نفوذ اکسیژن به بافت از واکنش‌های ناخواسته اکسیداسیون و تغییر رنگ محصول جلوگیری می‌کند (Haq et al., 2013). افزودن اسانس گیاهی به پوشش‌ها به جای افزودن مستقیم این مواد به محصول باعث رهاسازی کنترل شده این مواد شده و به این ترتیب عملکرد آن‌ها را بهبود می‌بخشد. در پژوهشی دیگر زمانی که از ترکیب آنتی‌اکسیدان ژلاتین به عنوان پوشش خوراکی پسته استفاده شد امتیاز حسی به طور معنی‌داری بیشتر از زمانی بود که از این ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به تنهایی روی محصول استفاده شدند (Khoshnoodnia et al., 2013).

ارزیابی حسی کیفیت میوه

پس از ۲۸ روز انبارمانی، بهترین ارزیابی حسی کیفیت میوه در میوه‌های تیمار شده با آلژینات + اسانس آویشن ۰/۵٪ مشاهده شد که در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان دادند. با توجه به نمره‌دهی ارزیاب‌ها در طول مدت انبارمانی، شاخص کیفیت میوه در تیمار شاهد کاهش یافت و در روزهای ۲۱ و ۲۸ بازارپسندی خود را ازدست دادند اما میوه‌های تیمار شده با پوشش آلژینات + اسانس آویشن ۰/۵٪ توانستند کیفیت ظاهری مطلوب خود را تا آخرین روز انبارمانی حفظ کنند. سایر میوه‌های تیمار شده نیز ارزیابی حسی مطلوب‌تری نسبت به میوه‌های شاهد داشتند (شکل ۱۱).

پذیرش میوه‌های تیمار شده با پوشش‌های خوراکی توسط مصرف کنندگان یک مسئله مهم می‌باشد زیرا این پوشش‌ها می‌توانند باعث تغییر خواص حسی میوه شوند. از این رو ارزیابی حسی از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا تیمارها و زمان انبارمانی می‌توانند کیفیت خوراکی میوه را تغییر دهند (Rojas-Grau et al., 2009). مطابق با نتایج این



شکل ۱۱- اثر پوشش آلژینات و اسانس آویشن شیرازی بر ارزیابی حسی میوه کنار هندی که در دمای $6 \pm 1^\circ\text{C}$ درجه سلسیوس به مدت ۲۸ روز انبارمانی به علاوه یک روز ماندگاری در دمای محیط. (ZEO: *Zataria multiflora* essential oil; Al: alginate)

ستون‌های با حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 11. The effect of Al coating and ZEO on the Sensory evaluation of Ber fruit stored at $6 \pm 1^\circ\text{C}$ for 28 days plus one day shelf life at ambient temperature. (ZEO: *Zataria multiflora* essential oil; Al: alginate)

The columns with the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test.

عملی نگهداری میوه به منظور حفظ و توسعه بازارهای داخل و خارج کشور و نیز استفاده از مواد و روش‌های طبیعی به جای روش‌های شیمیایی، استفاده از اسانس آویشن شیرازی ۰/۵ درصد در ترکیب با پوشش آلژینات به دلیل اثرات مفید بر ویژگی‌های ظاهری و فیزیکوشیمیایی میوه کنار در طی دوره نگهداری توصیه می‌شود.

میزان مشارکت

عالیه رفعت حقیقی: گردآوری داده‌ها، بررسی، روش‌شناسی، نرم افزار، نگارش پیش نویس اصلی. **لیلا جعفری، عبدالمجید میرزا علیان دستجردی، فرزین عبدالهی:** مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، مدیریت پروژه، جذب سرمایه، بررسی نگارشی و ویرایش.

منابع تأمین مالی

این تحقیق توسط پارک علم و فناوری هرمزگان و دانشگاه هرمزگان پشتیبانی مالی شد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از حمایت‌های مالی پارک علم و فناوری هرمزگان و دانشگاه هرمزگان مراتب قدردانی و سپاس خود را اعلام می‌دارند.

نتیجه گیری

مطالعات نسبتاً کمی در مورد بررسی عمر انبارمانی میوه کنار انجام شده است و این مطالعه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه کنار را در طول نگهداری در دمای 6°C درجه سلسیوس در انبار بررسی کرده است. نتایج تیمارهای اعمال شده نشان داد که اعمال پوشش خوراکی به همراه اسانس، کیفیت ظاهری میوه را در مقایسه با میوه‌های شاهد تیمار نشده تا روز ۲۸م حفظ نمودند، در حالی که میوه‌های شاهد کیفیت خود را تا روز ۱۴م نسبتاً حفظ کردند. علاوه بر این، پوشش خوراکی آلژینات غنی شده با اسانس آویشن شیرازی در مقایسه با استفاده از هر یک از پوشش‌های خوراکی و اسانس به تنهایی در حفظ کیفیت میوه در طول ذخیره‌سازی مؤثرتر بود. به طور کلی، استفاده از آلژینات و اسانس آویشن شیرازی در حفظ خصوصیات کیفی و پارامترهای بیوشیمیایی در طول ۲۸ روز انبارمانی مؤثر بوده است. این تیمار ترکیبی درصد کاهش وزن، سرعت تنفس، درصد پوسیدگی و نرم شدن بافت میوه را کاهش داد. در واقع اسانس آویشن و آلژینات با ایجاد پوشش نیمه نفوذپذیر روی سطح میوه منجر به محدود شدن متابولیسم تنفس میوه و رشد قارچ شده، بنابراین موجب به تأخیر انداختن روند رسیدن، کاهش ترکیبات غذایی، اسید آسکوربیک و اسیدیته کل و در نتیجه افزایش مواد جامد محلول می‌گردد. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش و در راستای سیاست‌ها و اهداف توسعه بخش کشاورزی مبنی بر کاهش ضایعات پس از برداشت محصول، افزایش بهره‌وری و اتخاذ روش‌های علمی و

References

1. Abad Ullah, N.A., Abbasi, M., & Qureshi A.A. (2017). Influence of edible coatings on biochemical fruit quality and storage life of bell pepper cv. (Yolo Wonder). *Journal of Food Quality*, 10(2), 1-11. <https://doi.org/10.1155/2017/2142409>
2. Ahmadzadeh Ghavidel, R., Gheiafe davoodi, M., Tanoori, T., & Sheikholeslami, Z. (2011). Investigating the effect of four edible coatings of soy protein isolate, whey protein concentrate, carrageenan and alginate in increasing shelf life of pear slices (*Pyrus communis*). *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 4(3), 47-54.
3. Ali, A., Maqbool, M., Ramachandran, S., & Alderson, P.G. (2010). Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 58(1), 42-47. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.05.005>
4. Ameh, B.A., Gernah, D.I., Obioha, O., & Ekuli, G.K. (2015). Production, quality evaluation and sensory acceptability of mixed fruit juice from Pawpaw and Lime. *Food and Nutrition Sciences*, 06(05), 532-537. <https://doi.org/10.4236/fns.2015.65055>
5. Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H.M., Tan, C.P., & Adzahan, N.M. (2014). Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology*, 88, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.09.004>
6. Bonilla, J., Amares, L., Vargas, M., & Chiralt, A. (2012). Effect of essential oils and omogenization conditions on properties of chitosan-based films. *Food Hydrocolloids*, 26, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.03.015>
7. Choi, W.S., Singh, S., & Lee, Y.S. (2016). Characterization of edible film containing essential oils in hydroxypropyl methylcellulose and its effect on quality attributes of 'Formosa' plum (*Prunus salicina* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 70(4), 213-222. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.036>
8. Dashipour, A., Razavilar, V., Hosseini, H., Shojae-Aliabadi, S., German, J.B., & Ghanati, K. (2015). Antioxidant and antimicrobial carboxymethyl cellulose films containing *Zataria multiflora* essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72, 606-613. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.09.006>
9. Ehteshami, S., Dastjerdi, A.M., Ramezani, A., Etemadipoor, R., Abdollahi, F., & Salari, M. (2021). Effects of edible alginate coating enriched with organic acids on quality of mango fruit during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16, 400-409. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01166-4>
10. Eshghi, S., Hashemi, M., Mohammadi, A., Badie, F., Mohammad Hosseini, Z., Ahmadi, S.K., & Ghanati, K. (2014). Effect of nano-emulsion coating containing chitosan on storability and qualitative characteristics of strawberries after picking. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 8(2), 9-19.
11. Etemadipoor, R., Dastjerdi, A.M., Ramezani, A., & Ehteshami S. (2020). Ameliorative effect of gum arabic, oleic acid and/or cinnamon essential oil on chilling injury and quality loss of guava fruit. *Scientia Horticulturae*, 266, 109255. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109255>
12. Etemadipoor, R., Ramezani, A., Dastjerdi, A.M., & Shamili, M. (2019). The potential of gum arabic enriched with cinnamon essential oil for improving the qualitative characteristics and storability of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 251, 101-107. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.021>
13. Fan, F., Tao, N., Jia, L., & He, X. (2014). Use of citral incorporated in postharvest wax of citrus fruit as a botanical fungicide against *Penicillium digitatum*. *Postharvest Biology and Technology*, 90, 52-55. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.005>
14. Fan, Y., Xu, Y., Wang, D., Zhang, L., Sun, J., Sun, L., & Zhang, B. (2009). Effect of alginate coating combined with yeast antagonist on strawberry (*Fragaria × ananassa*) preservation quality. *Postharvest Biology and Technology*, 53(1), 84-89. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.005>
15. Garcia, L.C., Pereira, L.M., Sarantópoulos, L., Claire, I.G., & Hubinger, M.D. (2012). Effect of antimicrobial starch edible coating on shelf-life of fresh strawberries. *Packaging Technology and Science*, 25(7), 413-425. <https://doi.org/10.1002/pts.987>
16. Ghasemi, M., Ramin, A.A., & Amini, F. (2016). The effect of coating containing chitosan on quality and Increase post-harvest life cucumber cv zomorod. *Journal of Production and Processing of Crop and Gardening*, 5(15). <http://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.15.189>
17. Gol, N.B., Patel, P.R., & Rao, T.R. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, 85, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.008>
18. Guerreiro, A.C., Gago, C.M., Faleiro, M.L., Miguel, M.G., & Antunes, M.D. (2015). The use of polysaccharide-based edible coatings enriched with essential oils to improve shelf-life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.019>
19. Guerreiro, A.C., Gago, C.M., Faleiro, M.L., Miguel, M.G., & Antunes, M.D. (2015a). The use of polysaccharide-based edible coatings enriched with essential oils to improve shelf-life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.019>

20. Gurjar, P.S., Killadi, B., Lenka, J., & Shukla, D.K. (2018). Effect of gum Arabic coatings on physico-chemical and sensory qualities of Guava (*Psidium guajava* L.) cv. Shweta. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(5), 3769-3775. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.704.424>
21. Haq, MA., Alam, M.J., & Hasnain, A. (2013). Gum Cordia: A novel edible coating to increase the shelf life of Chilgoza (*Pinus gerardiana*). *LWT-Food Science and Technology*, 50(1), 306-311.
22. Hashemi, M., Dastjerdi, A.M., Mirdehghan, S.H., Shakerardekani, A., & Golding, J.B. (2021a). Incorporation of *Zataria multiflora* Boiss essential oil into gum Arabic edible coating to maintain the quality properties of fresh in-hull pistachio (*Pistacia vera* L.). *Food Packaging and Shelf Life*, 30, 0110. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100724>
23. Hashemi, M., Dastjerdi, A.M., Shakerardekani, A., & Mirdehghan, S.H. (2021b). Effect of alginate coating enriched with Shirazi thyme essential oil on quality of the fresh pistachio (*Pistacia vera* L.). *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 58, 34-43. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04510-6>
24. Hashemi, M., Shakerardekani, A., Dastjerdi, A.M., & Mirdehghan, S.H. (2021c). Effect of sodium alginate in combination with *Zataria multiflora* Boiss. on phenolic compounds, antioxidant activity, and browning enzymes of fresh in-hull pistachio (*Pistacia vera* L.). *Journal of Food Quality*, 3193573. <https://doi.org/10.1155/2021/3193573>
25. Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D., & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria × ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110(2), 428-435. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.020>
26. Jiang, T., Feng, L., & Zheng, X. (2011). Effect of chitosan coating enriched with thyme oil on postharvest quality and shelf life of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(1), 188-196. <https://doi.org/10.1021/jf202638u>
27. Joshi, A.V., Baraiya, N.S., Vyas, P.B., & Rao, T.R. (2017). Gum Ghatti based edible coating emulsion with an additive of clove oil improves the storage life and maintains the quality of Papaya (*Carica papaya* L., cv. Madhu bindu). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 160-174. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.019>
28. Khoshnoudinia, S., Sedaghat, N., & Radmard-Ghadiri, GH.H. (2013). Effect of gelatin edible coating containing antioxidant agents on hardness, and color of roasted pistachio nuts. *JRIFST*, 2(4), 295-310.
29. Krishna, H., Kumar, L., Haldhar, S.M., Singh, D., & Saro, P.L. (2018). Phenological growth stages of Indian jujube (*Ziziphus mauritiana* Lamk.) according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 174, 106-112. <https://doi.org/10.1111/aab.12466>
30. Lichtenthaler, H.K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 3, 821-828. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
31. Maftoonazad, N., Ramaswamy, H.S., & Marcotte, M. (2008). Shelf-life extension of peaches through sodium alginate and methyl cellulose edible coatings. *Food Science and Technology*, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01444.x>
32. Martinez, D., Guillen, S., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2003). Modified atmosphere packaging maintains quality of table grapes. *Journal Food Science*, 68, 1838-1843. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12339.x>
33. Meng, X., Li, B., Liu, J. & Tian, S. (2007). Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chemistry*, 101, 501-508. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.012>
34. Mi Moon, K., Kwon, E., Lee, B., & Young Kim, C.H. (2020). Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products. *Molecules*, 25(12), 2754. <https://doi.org/10.3390/molecules25122754>
35. Moraes, K.S.D., Fagundes, C., Melo, M.C., Andreani, P., & Monteiro, A.R. (2012). Conservation of Williams pear using edible coating with alginate and carrageenan. *Food Science and Technology*, 32(4), 679-684. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000106>
36. Murmu, S.B., & Mishra, H.N. (2018). Selection of the best active modified atmosphere packaging with ethylene and moisture scavengers to maintain quality of guava during low-temperature storage. *Food Chemistry*, 253, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.134>
37. Nair, M.S., Saxena, & A., Kaur, C. (2018). Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.). *Food Chemistry*, 240, 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.122>
38. Pareek, S., & Yahia, E.M. (2013). Postharvest biology and technology of Ber fruit. *Horticulture Reviews*, 41(1), 201-240. <https://doi.org/10.1002/9781118707418.ch05>
39. Pooraziz, S., Nazuri, F., Mirdehghan, S.H., & Esmaeilzadeh, M. (2019). The effect of sodium alginate coating on the shelf life of strawberry (*Fragaria ananassa*) variety Gaviota. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(3), 515-526.

40. Qiuping, Z., & Wenshui X. (2007). Effect of 1-methylcyclopropene and/or chitosan coating treatments on storage life and quality maintenance of Indian jujube fruit. *LWT- Food Science and Technology*, 40(3), 404-411. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.01.003>
41. Raybaudi-Massilia, R.M., Mosqueda-Melgar, J., & Martin-Belloso, O. (2008). Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh-cut melon. *International Journal of Food Microbiology*, 121(3), 313-327. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.11.010>
42. Reche, J., Almansa, M.S., Hernández, F., Amorós, A., & Legua, P. (2021). Physicochemical and antioxidant capacity of jujube (*Ziziphus jujuba* mill.) at different maturation stages. *Agronomy*, 11(1), 132. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010132>
43. Rojas-Grau, M.A., Soliva-Fortuny, R., & Martin-Belloso O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits. *Trends in Food Science and Technology*, 20, 438-447. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.05.002>
44. Rojas, Grau., A., Maria, S.T., & Olga, M.B. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT- Food Science and Technology*, 44, 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.01.009>
45. Rojas-Grau, M.A., Tapia, M.S., Rodriguez, F.J., Carmona, A.J., & Martin-Belloso, O. (2007). Alginate and gellan based edible coatings as support of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apple. *Food Hydrocolloids*, 21, 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.03.001>
46. Saltveit, M.E. (2005). Postharvest biology and handling, in: Heuvelink, E. Ed., *Tomatoes*. CAB International, Wallingford, 305-324.
47. Siripatrawan, U., & Harte, B.R. (2010). Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids*, 24(8), 770-775. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.003>
48. Sogvar, O.B., Saba, MK., & Emamifar, A. (2016). *Aloe vera* and ascorbic acid coatings maintain postharvest 'quality and reduce microbial load of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 114, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.019>
49. Tanada-Palmu, P., & Grosso, C. (2005). Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology*, 36, 199-208. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.12.003>
50. Thumula, P. (2006). Studies on storage behaviour of tomatoes coated with chitosan-lysozyme films. M.Sc. thesis. Department of Bioresource Engineering Faculty of Agricultural and Environmental Sciences. McGill University Montreal, Quebec, Canada, 128 pp.
51. Valero, D., Diaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Guillen, F., Martinez-Romero, D., Castillo, S., & Serrano, M. (2013). Effects of alginate edible coating on preserving fruit quality in four plum cultivars during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 77, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.10.011>
52. Valiathan, S., & Athmaselvi, K.A. (2018). Gum arabic based composite edible coating on green chillies. *International Agrophysics*, 32(2), 193-202. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0003>
53. Vishwasrao, Ch., & Laxmi, A. (2016). Postharvest shelf-life extension of pink guavas (*Psidium guajava* L.) using HPMC-based edible surface coatings. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 1966-1974. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2164-x>
54. Wang, K.T., Jin, P., Cao, S.F., Shang, H.T., Yang, Z.F., & Zheng, Y.H. (2009). Methyl jasmonate reduces decay and enhances antioxidant capacity in Chinese bayberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 5809-5815. <https://doi.org/10.1021/jf900914a>
55. Wang, S.Y., & Gao, H. (2013). Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Food Science and Technology*, 52(2), 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.003>
56. Wittaya, T. (2012). Protein-based edible films: Characteristics and improvement of properties. In *Structure and Function of Food Engineering*. InTech.
57. Xing, Y., Li, X., Xu, Q., Yun, J., Lu, Y., & Tang, Y. (2011). Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*, 124(4), 1443-1450. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.105>
58. Zheng, H., Liu, W., Liu, S., Liu, C., & Zheng, L. (2019). Effects of melatonin treatment on the enzymatic browning and nutritional quality of fresh-cut pear fruit. *Food Chemistry*, 299, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125116>

Investigating the Qualitative Changes of Golden Delicious Apple Variety during Storage Using X-ray Imaging

B. Tahani¹, B. Beheshti^{2*}, M. Heidarisoltanabadi³, E. Hekmatian⁴

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor, Biosystems Engineering Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: beheshti-b@srbiau.ac.ir)

3- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

4- Associate Professor, Department of Oral and Maxillofacial Radiology Department, School of Dentistry, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran; Member of Dental Implants Research Center, School of Dentistry, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

Received: 11.03.2024

Revised: 22.06.2024

Accepted: 22.06.2024

Available Online: 22.06.2024

How to cite this article:

Tahani, B., Beheshti, B., Heidarisoltanabadi, M., & Hekmatian, E. (2024). Investigating the qualitative changes of Golden Delicious apple variety during storage conditions using X-ray imaging. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(4), 485-498. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.87241.1318>

Introduction

Isfahan province is considered to be one of the top ten producing provinces of apple orchards with an area of 17,274 hectares and a production of 120,000 tons of apple. Determining the quality parameters of agricultural products requires the use of various methods, which are different according to the nature and characteristics of each product. The two main categories for dividing these methods include analytical (objective) methods and sensory (intrinsic) methods. Both qualitative assessment methods can be used in destructive and non-destructive ways. Apple is one of the fruits that can be stored for a relatively long time. Physiological changes during the storage period are inevitable and cause change to some quality characteristics of the fruit, such as firmness, moisture content, density, pH, and soluble solids. Using the methods of determining and extracting the quality characteristics of fruit during storage and monitoring the changes created, provides a suitable criterion for selecting and preparing the necessary conditions for storage and storage at the disposal of users and producers. X-ray imaging technique is among the methods used and computed tomography, which is now well-known in evaluation of various agricultural commodities and food quality. X-rays are electromagnetic waves with a short wavelength (0.01 to 10 nm) and high energy (from 120 electron volts to 120 kilo electron volts) that can penetrate many materials.

Materials and Methods

In order to determine the relationship between the physicochemical properties and the CT number of Golden Delicious apples, 280 Golden Delicious apples were collected from an orchard located in Semirom city of Isfahan province and stored in a cold room at 0 and 4 °C and a humidity of 85±5%. These apples were harvested and collected from several trees after the fruit ripened completely. The weight and volume of apples were randomly selected based on the apples on the trees. The samples of stored apples were examined in 4 stages and based on the duration of storage on zero (the beginning of storage), 45, 90 and 135 days.. These tests included non-destructive tests of CT scan imaging and destructive tests to extract the physicochemical properties of apples, including CT number, pH, firmness, moisture, density, and soluble solids. In order to prepare CT scan images of apple samples (non-destructive X-ray test), a GE Healthcare multi-slice CT scan machine model 5122080-12 with 80 kV and 10 mA was used in the CT scan center of Al-Zahra Hospital in Isfahan. Moisture content was determined by weighing the samples and recording their moisture changes before and after drying in the oven at 105 °C s for 24 hours. Total soluble solids were measured by refractometer device and reported as Brix degree. In order to measure the density of fruits, the weight and volume



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.87241.1318>

of each fruit was recorded. A digital pH meter was used to measure the pH of fruit. Penetrometer device was used to measure the firmness of apples. At the end, with the specified values, Pearson correlation coefficients between CT number and other physicochemical properties were determined. Also, by plotting the mentioned values, the most suitable regression equations with the highest coefficients of determination were obtained.

Results and Discussion

Based on the results, the average value of CT number, pH, firmness, moisture, density and total soluble solid of apple at two temperatures of zero and 4 °C were -115.02 and -166.86, 3.85 and 3.86, 76 37.36 and 33.36 N, 0.82 and 0.80%, 0.76 and 0.72 g/cm³ and 15.30 and 15.79% Brix, respectively. The results showed that the CT number has a negative linear correlation with pH and total soluble solid and a positive linear correlation with the properties of apple firmness, moisture and fruit density. Based on the results, at two storage temperatures of 0 and 4 °C, the coefficients of determination (R²) obtained from the linear regression model of CT number with pH levels of 0.75 and 0.55, apple firmness 0.32 and 0.57, moisture content 0.78 and 0.85, fruit density 0.82 and 0.84 and total soluble solid 0.85 and 0.62 were obtained.

Conclusion

These results shown that the non-destructive test of X-ray imaging can be used with a suitable approximation to determine some quality properties of apple products.

Keywords: Apple, CT number, Physicochemical properties, Storage, X-ray

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۳، ص. ۴۸۵-۴۹۸

بررسی تغییرات کیفی سیب رقم گلدن دلشز در شرایط انبارداری با استفاده از تصویربرداری اشعه ایکس

بهشاد طحانی^{۱*} - بابک بهشتی^{۲*} - محسن حیدری سلطان آبادی^۳ - احسان حکمتیان^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

چکیده

سیب از جمله میوه‌هایی است که برای مدت زمان نسبتاً طولانی در شرایط انبارداری نگهداری می‌شود. تغییرات فیزیولوژیکی ایجاد شده در محصول، موجب تغییر در خصوصیات کیفی میوه می‌گردد. از این رو ارزیابی‌های کیفی و انتخاب شرایط مناسب برای نگهداری، ضروری به نظر می‌رسد. در تحقیق حاضر، سیب رقم گلدن دلشز در دو دمای انبار صفر و ۴ درجه سلسیوس طی بازه‌های زمانی صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ روز انبار گردید و در پایان هر بازه، خصوصیات کیفی سیب شامل عدد سی‌تی، pH، سفتی، رطوبت، چگالی و مواد جامد محلول سیب اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج، مقدار متوسط عدد سی‌تی، pH، سفتی، رطوبت، چگالی و مواد جامد محلول سیب در دو دمای صفر و ۴ درجه سلسیوس به ترتیب ۱۱۵/۰۲-، ۱۶۶/۸۶-، ۳/۸۵ و ۳/۸۶، ۳۷/۷۶ و ۳۳/۳۶ نیوتن، ۸۲ و ۸۰/۶۰ در صد، ۰/۷۶ و ۰/۷۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۱۵/۳۰ و ۱۵/۷۹ در صد بریکس به دست آمد. نتایج نشان داد که عدد سی‌تی با میزان pH و مواد جامد محلول، همبستگی خطی منفی و با خواص سفتی سیب، رطوبت و چگالی میوه همبستگی خطی مثبت دارد. بر این اساس در دو دمای انبارداری صفر و ۴ درجه سلسیوس، ضرایب تبیین (R^2) به دست آمده از مدل رگرسیون خطی، برای ارتباط عدد سی‌تی با میزان pH ۰/۷۵ و ۰/۵۵، سفتی سیب ۰/۳۲ و ۰/۵۷، رطوبت ۰/۷۸ و ۰/۸۵، چگالی میوه ۰/۸۲ و ۰/۸۴ و مواد جامد محلول ۰/۸۵ و ۰/۶۲ به دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که با تقریب مناسبی می‌توان از آزمون غیر مخرب تصویربرداری اشعه ایکس در تعیین برخی خواص کیفی محصول سیب استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اشعه ایکس، انبارداری، خواص فیزیکی شیمیایی، سیب، عدد سی‌تی

مقدمه

کل میزان تولیدات محصولات باغی را به خود اختصاص داده است. استان‌های آذربایجان غربی با سهم ۲۹/۶ درصد، آذربایجان شرقی با سهم ۱۶/۷ درصد، تهران با سهم ۸/۰۷ درصد، فارس با سهم ۸/۰۶ درصد و همدان با سهم ۵/۹ درصد در رتبه‌های اول تا پنجم تولید کنندگان سیب کشور هستند. استان اصفهان با سطح زیر کشت باغات سیب در حدود ۱۷۲۷۴ هکتار و تولید ۱۲۰ هزار تن سیب درختی یکی از ده استان برتر تولیدکننده سیب محسوب می‌شود (Anon, 2023).

میوه سیب سهم قابل ملاحظه‌ای در بخش تجارت محصولات کشاورزی در ایران را به خود اختصاص می‌دهد. ایران به دلیل داشتن شرایط آب و هوایی مناسب برای کشت محصولات سردسیری، از جایگاه ممتازی برای تولید سیب درختی برخوردار است. سطح (بارور) زیر کشت باغ‌های سیب ایران، حدود ۲۳۷ هزار هکتار بوده که از این سطح حدود ۴ میلیون تن سیب تولید می‌شود و سهم ۱۵/۱ درصدی از

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
(*) نویسنده مسئول: Email: beheshti-b@srbiau.ac.ir

۳- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۴- دانشیار گروه آموزش شی رادیولوژی دهان، فک و صورت، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، ایران؛ عضو مرکز تحقیقات ایمپلنت‌های دندان، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، ایران

ارقام سیب درختی تولیدی در استان اصفهان شامل رقم رد، گلدن، سیب گلاب و سایر ارقام جدید مانند فوجی و گالا است.

تعیین پارامترهای کیفی محصولات کشاورزی مستلزم استفاده از روش‌های متنوعی است، که با توجه به ماهیت و ویژگی‌های هر محصول متفاوت می‌باشد. دو دسته اصلی برای تقسیم‌بندی این روش‌ها شامل روش‌های تحلیلی (عینی) و روش‌های حسی (ذاتی) هستند. هر دو روش ارزیابی کیفی را می‌توان به صورت مخرب و غیر مخرب به کار برد. محصول سیب از جمله میوه‌هایی است که برای مدت زمان نسبتاً طولانی در شرایط انبارداری نگهداری می‌شود. تغییرات فیزیولوژیکی در طول دوره نگهداری، امری اجتناب‌ناپذیر بوده و موجب تغییر برخی از ویژگی‌های کیفی میوه نظیر سفتی، محتوای رطوبت، چگالی، pH و مواد جامد محلول می‌گردد (Azadshahraki & Kafashan, 2016).

استفاده از روش‌های تعیین و استخراج خصوصیات کیفی میوه در حین انبارداری و رصد تغییرات ایجاد شده، معیار مناسبی را جهت انتخاب و مهیاسازی شرایط لازم برای انبارداری و ذخیره‌سازی در اختیار بهره‌برداران و تولیدکنندگان قرار می‌دهد. از جمله روش‌های مورد استفاده، تکنیک تصویربرداری پرتو ایکس و توموگرافی محاسباتی است که در حال حاضر در زمینه‌های مختلف کشاورزی و ارزیابی کیفیت مواد غذایی به شهرت رسیده‌اند. پرتوهای ایکس، امواج الکترومغناطیسی با طول موج کم (0.01 تا 10 نانومتر) و انرژی بالا (از 120 الکترون ولت تا 120 کیلو الکترون ولت) هستند که می‌توانند به درون مواد متعددی نفوذ کنند. فوتون‌ها انرژی خود را در حین عبور از ماده از دست می‌دهند و این تضعیف به ایجاد تصویر انتقالی کمک می‌کند. مقدار تضعیف انرژی پرتو، علاوه بر ویژگی ماده، به شدت آن نیز وابستگی دارد. در حوزه توموگرافی محاسباتی، تضعیف پرتو ایکس توسط عدد سی‌تی (CT) بیان می‌شود. با بهبود مداوم در ابزارها و قدرت محاسباتی، انتظار می‌رود که این تکنیک در آینده در زمینه کشاورزی بیشتر قابل استفاده شود (Kotwaliwale et al., 2014). تحقیقات متعددی در زمینه استفاده از تصویربرداری اشعه ایکس برای ارزیابی کیفی محصولات غذایی به ثبت رسیده است. در پژوهشی به‌طور موفقیت‌آمیز وابستگی مقدار سی‌تی به ترکیبات شیمیایی گوشت مشخص گردید همچنین روابط بین کلرید سدیم (نمک طعام) و مقدار سی‌تی مدل‌سازی گردید (Haseeth et al., 2007). در تحقیقی از توموگرافی اشعه ایکس (X-ray micro-CT) برای تجسم ساختارهای کریستالی یخ تشکیل شده در هنگام انجماد و حفره‌های ایجاد شده پس از خشک کردن تعدادی از مواد غذایی شامل گوشت، ماهی، مرغ، سیب‌زمینی، پنیر و هویج استفاده شد. نتایج مطالعه، توانایی تکنیک توموگرافی اشعه ایکس را برای توصیف ریزساختار کریستال یخ داخلی مواد منجمد نشان داد. کاربرد این روش می‌تواند در تجزیه و تحلیل غذاهای منجمد مفید باشد

(Mousavi et al., 2007). محققان دیگر از جذب اشعه ایکس به‌عنوان شاخصی برای تشخیص کیفیت انبه بر اساس ارتباط آن با چگالی، رطوبت، مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون و pH استفاده کردند. آنها یک معادله رگرسیون بین عدد توموگرافی کامپیوتری (CT) و خواص فیزیکوشیمیایی میوه به‌دست آوردند. بر اساس نتایج، عدد سی‌تی انبه سالم همبستگی مثبت با چگالی، محتوای رطوبت و اسیدیته قابل تیتراسیون و همچنین همبستگی منفی با مواد جامد محلول و pH داشت. نتایج آنها نشان داد که اندازه‌گیری عدد سی‌تی میوه سالم می‌تواند به‌عنوان یک شاخص غیر مخرب در تعیین کیفیت انبه استفاده شود (Barcelon et al., 1999). در تحقیقی از تصویربرداری سی‌تی اسکن به‌عنوان یک روش غیر مخرب برای تخمین برخی شاخص‌های کیفی میوه انار استفاده شد. رابطه مقادیر شاخص‌های کیفی و عدد سی‌تی که بیان‌گر مقدار جذب اشعه ایکس است در قالب مدل‌های رگرسیون خطی بررسی گردید. مطابق نتایج، همبستگی بین عدد سی‌تی و شاخص‌های کیفی در تمامی مدل‌ها بیش از 0.9 به‌دست آمد. عدد سی‌تی همبستگی مثبتی با اسیدیته قابل تیتراسیون و همبستگی منفی با میزان آنتوسیانین‌ها، pH و مواد جامد محلول نشان داد (Salmanizade et al., 2013). در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر توموگرافی کامپیوتری با اشعه ایکس به ترسیم تخلخل سیب فوجی و کمک به تعیین میزان تأثیر ویژگی‌های مختلف مورفولوژیکی و ریزساختاری میوه بر حساسیت به قهوه‌ای شدن داخلی ناشی از تنش CO_2 پرداخته شد (Chigwaya et al., 2021). محققان یک روش غیر مخرب برای تشخیص خودکار و تعیین کمیت حجم کوفتگی میوه سیب با استفاده از تصاویر اشعه ایکس اجرا کردند. مقایسه بین تخمین‌های حجم کوفتگی مبتنی بر تصاویر اشعه ایکس و اندازه‌گیری‌های مخرب نشان داد که کوفتگی‌های ناشی از ضربه جسم کروی، می‌توانند به‌طور بسیار نامنظمی شکل گیرند و برآورد حجم کوفتگی بر اساس فرضیات هندسی ساده نمی‌توانند نتایج دقیقی ارائه دهند (Diels et al., 2017). در تحقیقی یک روش تصویربرداری غیر مخرب با استفاده از اشعه ایکس برای تجسم، توصیف و تعیین کمیت ریزساختار سه بعدی و توزیع اندازه کریستال یخ در بافت سیب در طول دوره انجماد با سه نرخ سردسازی تند، متوسط و کند ارائه شد. تجزیه و تحلیل کمی نشان داد که کریستال‌های بزرگ‌تر یخ منجر به آسیب بیشتر به ساختار بافت می‌شوند و متعاقباً اثرات نامطلوبی بر کیفیت میوه ایجاد می‌کنند (Vicent et al., 2017). در پژوهشی با استفاده از تصاویر اشعه ایکس به بررسی و تشخیص لکه‌های ایجاد شده بر روی سیب‌های مناطق مختلف در روزهای ۰، ۷، ۱۴، ۲۱، ۳۵ و ۶۳ پس از برداشت پرداخته شد. نتایج نشان داد که سرعت پیشرفت لکه‌ها در نمونه‌های جمع‌آوری شده از مناطق مختلف متفاوت بود و بیشترین مقدار

سیب‌های موجود بر روی درخت‌ها انتخاب شد. نمونه سیب‌های انبار شده، در ۴ مرحله و براساس مدت زمان انبارداری به ترتیب در روزهای صفر (آغاز انبارداری)، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ روز برداشت و آزمایش‌های مورد نظر روی نمونه‌ها انجام گردید. این آزمایش‌ها شامل آزمون غیرمخرب تصاویربرداری سی‌تی اسکن و آزمون‌های مخرب استخراج خواص فیزیکوشیمیایی سیب شامل عدد سی‌تی، pH، سفتی یا مقاومت به نفوذ، رطوبت، چگالی یا جرم حجمی و مواد جامد محلول بودند. به منظور تهیه تصاویر سی‌تی اسکن از نمونه‌های سیب (آزمون غیر مخرب X-ray) از دستگاه سی‌تی اسکن مولتی اسلایس GE Healthcare مدل 5122080-12 با ولتاژ ۸۰ کیلوولت و جریان ۱۰ میلی‌آمپر در مرکز سی تی اسکن بیمارستان الزهراء اصفهان استفاده شد (شکل ۱). به این منظور نمونه‌های سیب در داخل دستگاه قرار گرفته و عملیات تصویربرداری با اشعه ایکس انجام و تصاویر در حافظه دستگاه ذخیره گردید. تعداد نمونه‌های سیب در هر آزمایش ۳۵ عدد انتخاب شد. این تعداد علاوه بر پر کردن کامل سکوی دستگاه سی‌تی اسکن (قسمت قرارگیری بیمار)، موجب افزایش دقت آزمایش می‌شد. در قدم بعدی، تصاویر در محیط نرم‌افزار OnDemand فراخوانی شدند. سپس با توجه به آناتومی و سطوح حرکتی، ۳ نما از هر تصویر شامل (سطح Sagittal, Coronal و Axial استخراج گردید. در ادامه، هیستوگرام اعداد سی‌تی رسم گردید (شکل ۱). در هیستوگرام رسم شده از هر نمونه، با انتخاب ۳۰ نقطه و قرائت اعداد سی‌تی، میانگین آنها به عنوان عدد سی‌تی نمونه ثبت شد.

تعیین درصد رطوبت با استفاده از توزین نمونه‌ها و ثبت تغییرات رطوبت آنها قبل و بعد از خشک کردن در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت با استفاده از رابطه (۱) انجام گرفت (AOAC, 2005).

$$(m_1 - m_2) / m_0 \times 100 \quad (1)$$

که در آن m_0 وزن نمونه اولیه، m_1 وزن ظرف و نمونه قبل از خشک کردن و m_2 وزن ظرف و نمونه بعد از خشک کردن می‌باشد.



توزیع لکه‌ها در قسمت کاسبرگ سیب بود (Jarolmasjed et al., 2016).

در برخی از تحقیقات دیگر نیز اثرات عوامل مختلف بر تغییرات عدد سی‌تی محصول مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال در مطالعه‌ای اثر زمان رسیدگی بر تغییرات عدد سی‌تی و خواص فیزیکوشیمیایی میوه هلو بررسی شد. طبق نتایج، عدد سی‌تی هلو پس از دو هفته رسیدگی به طور قابل توجهی از مقدار اولیه ۲۴/۸ به ۴۵/۵- کاهش یافت. عدد سی‌تی منفی احتمالاً می‌تواند ناشی از وجود فضای خالی، محتوای رطوبت کمتر و بافت میوه با چگالی کمتر در اثر گذر زمان رسیدگی باشد. واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی در زمان‌های مختلف رسیدن ممکن است با سرعت‌های متفاوتی تغییر کند که در نتیجه تغییرات عدد سی‌تی برای میوه متفاوت است. با گذشت زمان رسیدگی میوه، محتوای رطوبت و چگالی از روند کاهشی مشابه با عدد سی‌تی پیروی کرد (Barcelon et al., 1999). در مطالعه‌ای فرآیند خشک کردن سیب با استفاده از تصویربرداری اشعه ایکس و محاسبه عدد سی‌تی انجام شد. نتایج آزمایش‌ها وجود همبستگی رطوبت میوه سیب با مقدار عدد سی‌تی ($R^2 = 0.64$) نشان داد (Jingping et al., 2003).

تحقیق حاضر با هدف تعیین روابط بین عدد سی‌تی حاصل از تصویربرداری با اشعه ایکس و خواص فیزیکوشیمیایی سیب رقم گلدن دلشیز طی شرایط انبارداری انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین روابط بین خواص فیزیکوشیمیایی و عدد سی‌تی سیب رقم گلدن دلشیز، تعداد ۲۸۰ عدد سیب رقم گلدن دلشیز از باغی واقع در شهرستان سمیرم اصفهان تهیه و در شرایط دمایی ۴ و صفر درجه سلسیوس و رطوبت 85 ± 5 درصد در سردخانه انبار گردید. این سیب‌ها پس از رسیدگی کامل میوه و از چند درخت، برداشت و جمع‌آوری گردید. وزن و حجم سیب‌ها به صورت تصادفی و بر اساس



شکل ۱- تصویربرداری سیب با دستگاه سی‌تی اسکن
Fig. 1. Apple imaging with a CT scan machine

درصد املاح جامد محلول است، به دست آمد. در پایان با مشخص شدن مقادیر عدد سی تی، pH، سفتی، رطوبت، چگالی و مواد جامد محلول نمونه های سیب، ضرایب همبستگی پیرسون بین عدد سی تی و سایر خصوصیات فیزیکی شیمیایی تعیین گردید. همچنین با ترسیم مقادیر یاد شده، مناسب ترین معادلات رگرسیون با بیشترین مقدار ضریب تبیین به دست آمد.

نتایج و بحث

نتایج اندازه گیری خواص فیزیکی شیمیایی سیب شامل عدد سی تی، میزان pH، سفتی سیب، رطوبت، چگالی و مواد جامد محلول طی نگهداری در دو دمای انبار صفر و ۴ درجه سلسیوس و طی ۱۳۵ روز انبارداری در **جدول ۱** ارائه شده است. همچنین در **جدول ۲** میزان همبستگی (ضریب همبستگی پیرسون) خواص سیب طی انبارداری و در **جدول ۳** خلاصه معادلات رگرسیون خطی و ضرایب تبیین (R^2) ارائه شده است. در ادامه به بررسی روند تغییرات خواص کیفی میوه سیب بر حسب عدد سی تی پرداخته می شود.

برای اندازه گیری pH، ۱۰ میلی لیتر از عصاره استخراج شده میوه، توسط کاغذ صافی صاف شده و به وسیله آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. سپس با قرار دادن پروب دستگاه pH متر دیجیتالی داخل آن، pH اندازه گیری شد (AOAC, 1999). برای اندازه گیری سفتی سیب ها لایه نازکی از پوست در دو سمت مقابل هم کمی بالاتر از خط استوایی با قطر ۱ سانتی متر مربع جدا و سپس با استفاده از پنترومتر با قطر ۱۱ میلی متر مربع و فشار عمود به گوشت میوه، میزان سفتی بافت بر حسب نیوتن تعیین گردید (Azadshahraki & Kafashan, 2016). به منظور اندازه گیری چگالی میوه ها ابتدا وزن هر میوه با استفاده از یک ترازوی دقیق دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه گیری شد. سپس حجم هر میوه از طریق میزان جابجایی آب یک استوانه مدرج در حین غوطه ور شدن سیب در آن ثبت گردید. با تقسیم وزن هر میوه بر حجم آن، چگالی میوه به دست آمد. مواد جامد محلول توسط دستگاه رفرنکتومتر دستی مدل آتاگو ۱۲، ساخت ژاپن اندازه گیری و بر حسب درصد بریکس گزارش گرفته گردید (Anon, 2004). به این صورت که چند قطره از عصاره حاصل بر روی منشور دستگاه قرار داده شد و جلوی نور گرفته شد تا شکست نور و عدد حاصل از آن که معرف

جدول ۱- مقادیر متوسط خواص سیب طی ۱۳۵ روز نگهداری در انبار
Table 1- Average values of apple properties during 135 days of storage

خواص فیزیکی شیمیایی سیب Apple physicochemical property						
دمای انبارداری Storage temperature (°C)	عدد سی تی CT number	pH	سفتی سیب Flesh firmness (N)	رطوبت Moisture (%)	چگالی Density (gcm ⁻³)	مواد جامد محلول Soluble solids (%brix)
0	-115.02	3.85	37.76	82	0.76	15.30
4	-166.86	3.86	33.36	80.60	0.72	15.79

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شده برای خواص فیزیکی شیمیایی سیب
Table 2- Pearson's correlation coefficient calculated for apple physicochemical property

	عدد سی تی CT number	pH	سفتی سیب Flesh firmness	رطوبت Moisture	چگالی Density	مواد جامد محلول Soluble solids
عدد سی تی CT number	1	-0.688**	0.813**	0.928**	0.904**	-0.830**
pH		1	0.691**	-0.745**	-0.794**	0.869**
سفتی سیب Flesh firmness			1	0.853**	0.817**	-0.859**
رطوبت Moisture				1	0.945**	-0.888**
چگالی Density					1	-0.884**
مواد جامد محلول Soluble solids						1

n.s, *, ** و *** به ترتیب بدون اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

n.s, * and ** respectively non-significant and significant difference at 1% and 5% probably level.

جدول ۳- مشخصات معادلات رگرسیون خطی در پیش‌بینی خصوصیات سیب برحسب عدد سی‌تی

Table 3- Specifications of linear regression equations in predicting apple characteristics according to CT number

شکل معادله Equation form	ضریب تبیین (R ²) Coefficient of determination	دمای انبارداری Storage temperature (°C)	نوع معادله Equation type	خصوصیات سیب Apple characteristics
$y = -0.0067x + 3.0746$	0.7528	0	خطی	pH
$y = -0.0031x + 3.3679$	0.5527	4	Linear	
$y = 0.0301x + 40.746$	0.3241	0	خطی	سفتی سیب
$y = 0.0812x + 46.437$	0.5748	4	Linear	Flesh firmness
$y = 0.0004x + 0.8615$	0.786	0	خطی	رطوبت
$y = 0.0004x + 0.8641$	0.8515	4	Linear	Moisture content
$y = 0.0017x + 0.9668$	0.8284	0	خطی	چگالی
$y = 0.0012x + 0.9219$	0.8488	4	Linear	Density
$y = -0.0144x + 13.697$	0.8563	0	خطی	مواد جامد محلول
$y = -0.014x + 13.457$	0.6267	4	Linear	Soluble solids

بالاتر، موجب کاهش دقت در پیش‌بینی pH شده است. در تحقیق مشابه بر روی ارتباط جذب اشعه ایکس و تشخیص کیفیت انبه نیز عدد سی‌تی همبستگی معکوس با pH میوه داشت (Barcelon *et al.*, 1999). نتایج پژوهشی نشان داد که در میوه انبه عدد سی‌تی به‌طور قابل‌توجهی با زمان رسیدگی کاهش یافت درحالی‌که pH با زمان رسیدگی افزایش نشان داد (Kotwaliwale *et al.*, 2012). به‌طور مشابه در میوه انار، عدد سی‌تی همبستگی منفی با میزان آنتوسیانین‌ها و pH محلول داشت (Salmanizade *et al.*, 2013).

طبق نتایج جدول ۲ عدد سی‌تی با میزان pH رابطه خطی منفی با ضریب همبستگی ۰/۶۸۸- دارد که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. بر اساس نتایج شکل ۲ و شکل ۳ میزان ضریب تبیین (R²) در معادله رگرسیون خطی، در دمای صفر و ۴ درجه سلسیوس به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۵۵ به‌دست آمد. این موضوع نشان می‌دهد که در دمای انبارداری صفر درجه سلسیوس با دقت بالاتری از طریق عدد سی‌تی می‌توان تغییرات pH سیب را تخمین زد. در دمای ۴ درجه سلسیوس، افزایش پراکندگی تغییرات عدد سی‌تی به‌خصوص در مقادیر

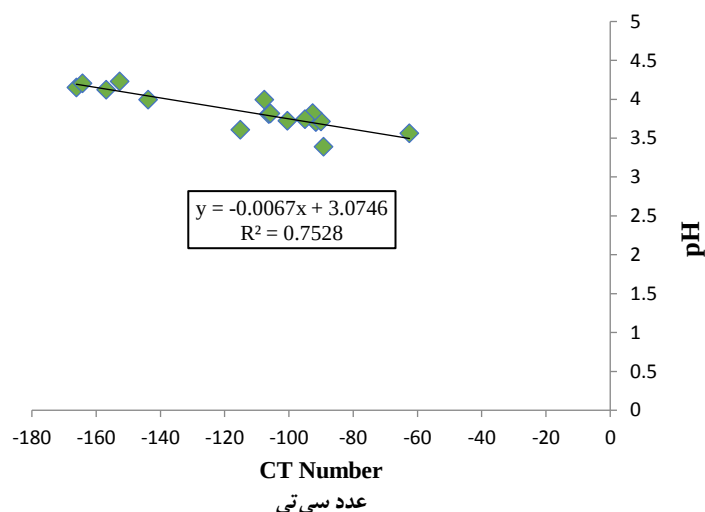
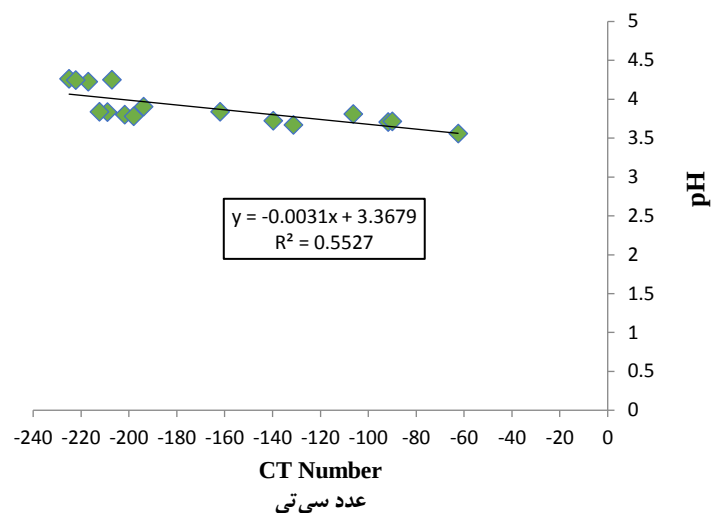


Fig. 2. Changes in pH value in terms of CT number at the storage temperature of 0 degrees Celsius



شکل ۳- تغییرات مقدار pH بر حسب عدد سی تی در دمای انبارداری ۴ درجه سلسیوس
Fig. 3. Changes in pH value in terms of CT number at the storage temperature of 4 degrees Celsius

تغییرات عدد سی تی و رطوبت میوه سیب طی زمان انبارداری، رابطه مستقیم معنی دار در سطح یک درصد و با ضریب همبستگی ۰/۹۲۸ نشان داد (جدول ۲). طبق نتایج شکل ۶ و شکل ۷ و بر اساس معادله رگرسیون خطی، میزان رطوبت میوه در فرآیند انبارداری با ضرایب تبیین (R^2) به ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۸۵ برای دمای نگهداری صفر و ۴ درجه سلسیوس از طریق تغییرات اعداد سی تی قابل پیش بینی است.

نتایج مشابهی در میوه انبه گزارش شده است (Barcelon et al., 2012, Kotwaliwale et al., 1999). همچنین نتایج تحقیقی وجود همبستگی رطوبت با مقدار عدد سی تی را در میوه سیب ($R^2 = 0/64$) نشان داد (Jingping et al., 2003). اثر زمان رسیدگی بر تغییرات عدد سی تی و خواص فیزیکوشیمیایی میوه هلو نشان داد که با پیشرفت زمان رسیدگی میوه، محتوای رطوبت روند کاهشی مشابه با عدد سی تی پیدا کرد (Barcelon et al., 1999). نتایج اندازه گیری رطوبت سیب در شرایط نگهداری در دماهای ۷، ۱۶ و ۲۵ درجه سلسیوس و در دوره های صفر، ۷ و ۱۴ روز نشان داد که در دمای ۷ درجه سلسیوس، رطوبت سیب به ترتیب به مقادیر ۸۶/۰۴، ۸۵/۲۲ و ۸۰/۵۶ درصد رسید. این رطوبت در دمای نگهداری ۱۶ درجه سلسیوس و در دوره نگهداری صفر، ۷ و ۱۴ روز به ترتیب ۸۵/۰۶، ۸۲/۵۱ و ۸۲/۴۲ درصد به دست آمد. در دمای ۲۵ درجه سلسیوس میزان رطوبت در دوره نگهداری صفر، ۷ و ۱۴ روز به ترتیب ۸۵/۰۳، ۷۶/۸۰ و ۷۴ درصد اندازه گیری شد (Khan et al., 2017).

طبق نتایج جدول ۲ میزان عدد سی تی میوه سیب و خاصیت سفتی آن ارتباط مستقیم (خطی مثبت) معنی دار در سطح احتمال یک درصد نشان می دهد. در این حالت ضریب همبستگی مقدار ۰/۸۱۳ به دست آمد. طبق نتایج مندرج در شکل ۴ و شکل ۵، پیش بینی مقادیر سفتی میوه سیب در فرآیند انبارداری در دو دمای صفر و ۴ درجه سلسیوس به ترتیب با ضرایب تبیین (R^2) ۰/۳۲ و ۰/۵۷ امکان پذیر است. در دمای نگهداری ۴ درجه سلسیوس با توجه به بیشتر بودن ضریب تبیین، پیش بینی مقادیر سفتی سیب با دقت بیشتری انجام می شود. با وجود رابطه مستقیم معنی دار بین تغییرات عدد سی تی و مقدار سفتی بافت سیب در فرآیند انبارداری، ضرایب تبیین چندان بزرگ نیستند و دقت پیش بینی سفتی از روی اعداد سی تی کم خواهد بود. به نظر می رسد در این حالت، داده ها دارای پراکندگی زیادی بوده اند یا یک رابطه غیرخطی بین این دو صفت برقرار بوده است، که باعث کاهش ضریب تبیین شده است. جمشیدی و همکاران (Jamshidi et al., 2017) با استفاده از تصاویر نقطه ای دینامیکی به عنوان یک روش نوری نوین در ارزیابی غیر مخرب سفتی سیب پرداختند. در این تحقیق تصاویر نقطه ای دینامیکی از نمونه های سیب در دو طول موج ۶۸۰ و ۷۸۰ نانومتر به طور جداگانه و در طی دوره انبارداری در محیط نرم افزار MATLAB پردازش شد. توانایی این روش در پیش بینی سفتی میوه سیب با تدوین مدل های رگرسیون خطی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد روش مذکور قادر به پیش بینی غیر مخرب ویژگی های سفتی سیب شد. بهترین مدل واسنجی تدوین شده توانست ضریب همبستگی ۰/۸۱ در طول موج ۶۸۰ نانومتر و ضریب همبستگی ۰/۸۳ در طول موج ۷۸۰ نانومتر، ویژگی سفتی سیب را پیش بینی کند (Jamshidi et al., 2017).

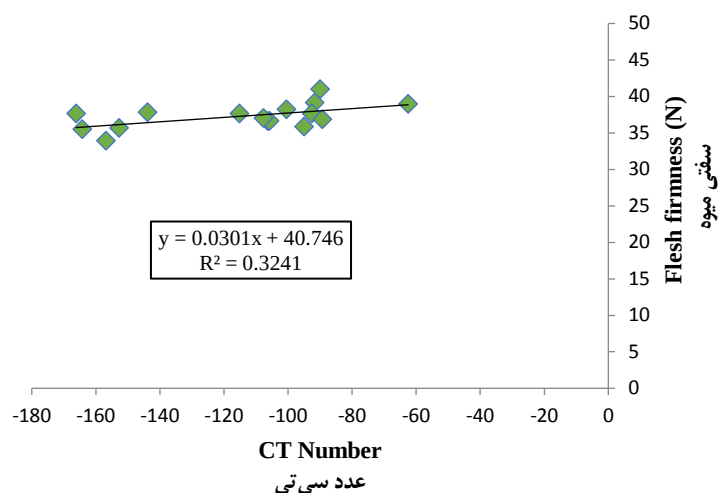


Fig. 4. Changes in apple flesh firmness in terms of CT number at the storage temperature of 0 degrees Celsius

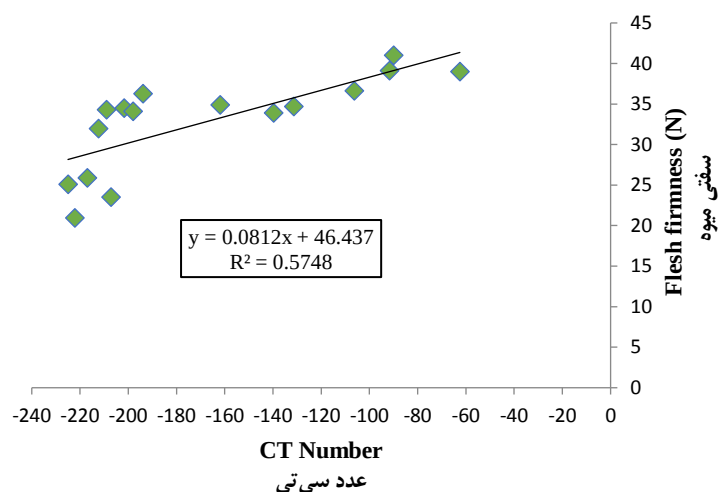


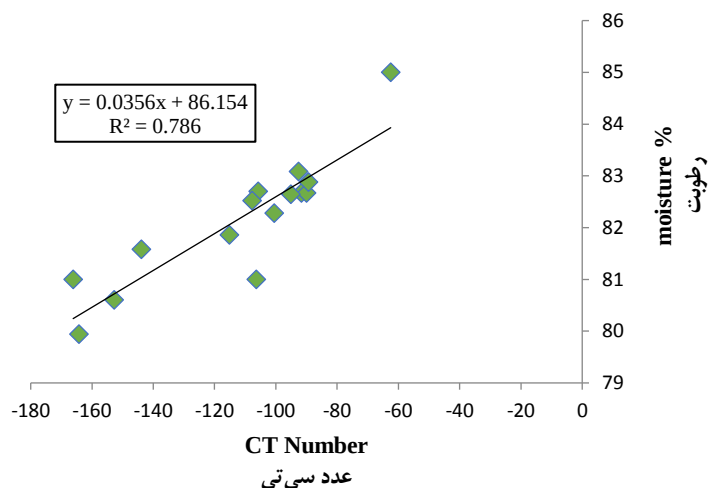
Fig. 5. Changes in apple flesh firmness in terms of CT number at the storage temperature of 4 degrees Celsius

چگالی از جمله خصوصیات میوه است که تحت تأثیر صفات ذاتی و نیز شرایط نگهداری میوه می باشد. از جمله عوامل تغییر چگالی میوه، تغییرات وزن آن است. شرایط نگهداری شامل دما و مدت زمان نگهداری سیب می تواند کاهش وزن میوه و در نتیجه کاهش چگالی آن را به همراه داشته باشد. طبق تحقیقات صورت گرفته، میوه پس از برداشت همچنان آب خود را از دست می دهد و در نتیجه کاهش وزن افزایش می یابد (Al- Obeed & Harhash, 2006). طبق نتایج تحقیقی همبستگی مثبت بین عدد سی تی و چگالی میوه انبه به دست آمد (Barcelon et al., 1999).

تغییرات چگالی میوه سیب طی انبارداری، رابطه خطی مثبت با عدد سی تی نشان داد که این روابط در سطح احتمال یک درصد معنی دار و دارای ضریب همبستگی با مقدار ۰/۹۰۴ شد (جدول ۲). نتایج شکل ۸ و شکل ۹ نشان می دهد که در دمای نگهداری صفر و ۴ درجه سلسیوس تغییرات چگالی میوه را می توان با ضرایب تبیین (R^2) به ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۸۴ پیش بینی نمود. همسو بودن کاهش عدد سی تی (به سمت منفی) و چگالی میوه احتمالاً می تواند ناشی از وجود فضای خالی، محتوای رطوبت کمتر و بافت میوه با چگالی کمتر در اثر گذر زمان رسیدگی و انبارداری باشد (Barcelon et al., 1999).

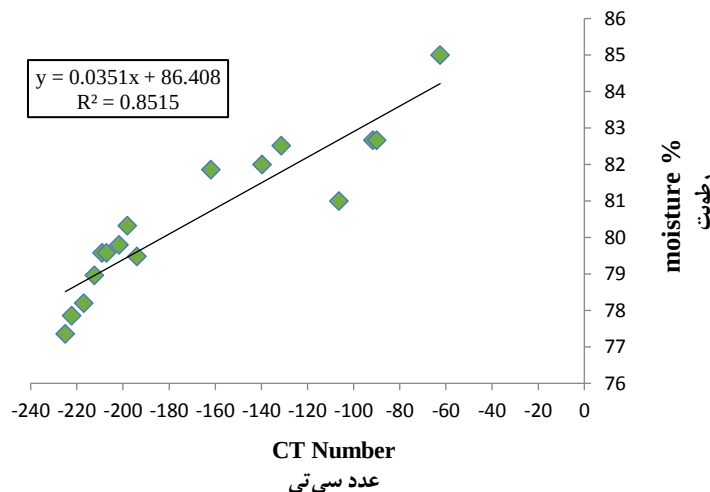
همسوتر بوده است و با ضریب اطمینان بیشتری می‌توان تغییرات مواد جامد محلول را از روی اعداد سی‌تی تخمین زد. میزان مواد جامد محلول یکی از شاخص‌های اصلی رسیدگی میوه‌ها به شمار می‌آید. افزایش مواد جامد محلول به دلیل تبدیل نشاسته به قندهای محلول رخ می‌دهد. نشاسته از ترکیبات ذخیره‌ای سیب به شمار می‌آید که طی رشد میوه انباشته می‌شود و تجزیه آن پیش از بلوغ میوه، منبع عمده قندهای میوه است که منجر به شیرینی میوه می‌شود (Hadian-Deljou & Sarikhani, 2013).

طبق نتایج جدول ۲ بین عدد سی‌تی و مقدار مواد جامد محلول رابطه خطی منفی با ضریب همبستگی -0.83 برقرار است که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. شکل ۱۰ و شکل ۱۱ تغییرات مقدار مواد جامد محلول سیب برحسب عدد سی‌تی در دو دمای صفر و ۴ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. ضریب تبیین (R^2) در رگرسیون خطی در این دو دما به ترتیب 0.85 و 0.62 به دست آمد. بر این اساس تغییرات میزان مواد جامد محلول سیب در طول انبارداری در دمای صفر درجه نسبت به ۴ درجه دمای سلسیوس با تغییرات عدد سی‌تی کمی



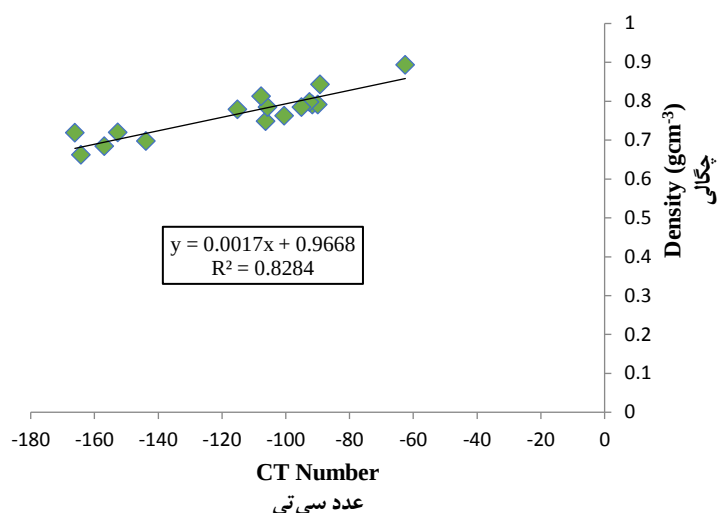
شکل ۶- تغییرات مقدار رطوبت سیب برحسب عدد سی‌تی در دمای انبارداری صفر درجه سلسیوس

Fig. 6. Changes in apple moisture in terms of CT number at the storage temperature of 0 degrees Celsius

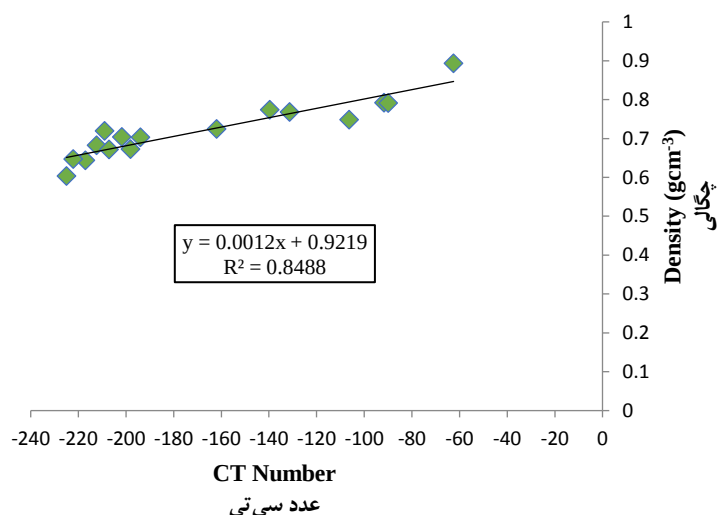


شکل ۷- تغییرات مقدار رطوبت سیب برحسب عدد سی‌تی در دمای انبارداری ۴ درجه سلسیوس

Fig. 7. Changes in apple moisture in terms of CT number at the storage temperature of 4 degrees Celsius



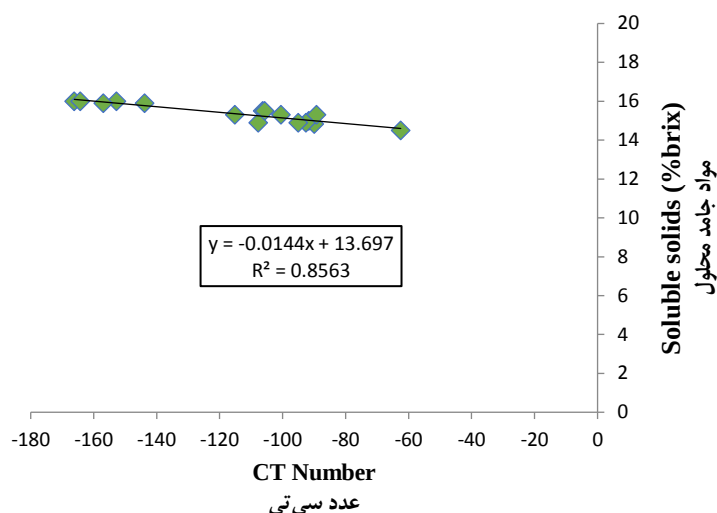
شکل ۸- تغییرات مقدار چگالی سیب برحسب عدد سی تی در دمای انبارداری صفر درجه سلسیوس
Fig. 8. Changes in apple density in terms of CT number at the storage temperature of 0 degrees Celsius



شکل ۹- تغییرات مقدار چگالی سیب برحسب عدد سی تی در دمای انبارداری صفر درجه سلسیوس
Fig. 9. Changes in apple density in terms of CT number at the storage temperature of 4 degrees Celsius

در جدول ۴ خلاصه‌ای از مقایسه ضریب تبیین (R^2) ارتباط عدد سی تی و خصوصیات کیفی برخی مواد غذایی نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد استفاده از تکنیک تصویربرداری اشعه ایکس و استخراج خصوصیات کیفی مواد غذایی از آن، روش مناسبی برای پیش‌بینی این خصوصیات است.

نتایج تحقیقی نشان داد که میزان مواد جامد محلول طی دوره انبارداری سیب باگذشت زمان، ۱۳/۹ درصد افزایش یافته است (Mohammadpour et al., 2022). تحقیقات دیگران نیز همبستگی معکوس بین اعداد سی تی به‌دست آمده در پردازش تصاویر اشعه ایکس و مقدار مواد جامد حلال در محصول انبه را نشان داد (Barcelon et al., 1999). همچنین محققان اظهار کردند که با نزدیک شدن به زمان رسیدگی میوه انبه، عدد سی تی کاهش و محتوای مواد جامد محلول میوه افزایش یافت (Kotwaliwale et al., 2012).

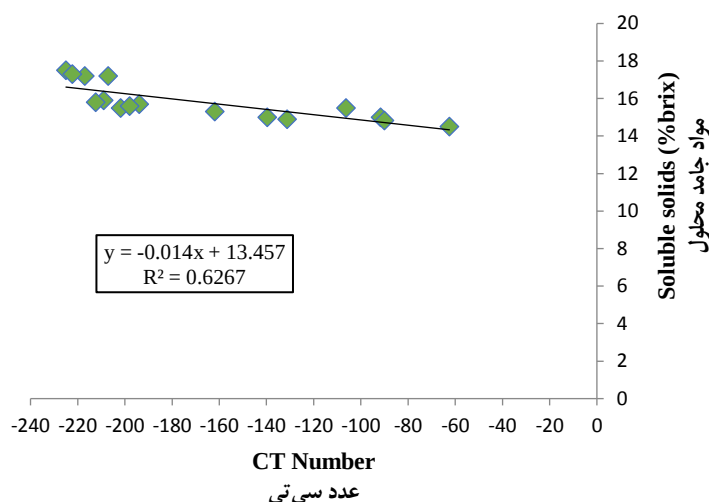


شکل ۱۰- تغییرات مقدار مواد جامد محلول بر حسب عدد سی تی در دمای انبارداری صفر درجه سلسیوس
Fig. 10. Changes in soluble solids in terms of CT number at the storage temperature of 0 degrees Celsius

جدول ۴- ضریب تبیین ارتباط عدد سی تی و خصوصیات کیفی برخی مواد غذایی

Table 4- Coefficient determination of the relationship between CT number and quality characteristics of some food items

مرجع Reference	ضریب تبیین (R ²) Coefficient determination	خصوصیت کیفی Qualitative characteristic	نوع ماده غذایی Type of food
Haseth <i>et al.</i> , 2007	0.97	مقدار نمک Salt	گوشت Meat
Mousavi <i>et al.</i> , 2007	0.87	کریستال های یخ در زمان انجماد Ice crystals during freezing	گوشت-ماهی-سیب زمینی-هویج Meat-fish-potato-carrot
Salmanizade <i>et al.</i> , 2013	0.9<	اسیدیته قابل تیتراسیون، میزان آنتوسیانین ها، pH و مواد جامد محلول Titratable acidity, anthocyanins, pH and soluble solids	انار Pomegranate
Chigwaya <i>et al.</i> , 2021	0.76-0.99	قهوه ای شدن داخلی Internal browning	سیب Apple
Jingping <i>et al.</i> , 2003	0.64	رطوبت Moisture	سیب Apple
تحقیق حاضر Present research	0.55-0.75	pH	سیب Apple
تحقیق حاضر Present research	0.32-0.57	سفتی Firmness	سیب Apple
تحقیق حاضر Present research	0.78-0.85	رطوبت Moisture	سیب Apple
تحقیق حاضر Present research	0.82-0.84	چگالی Density	سیب Apple
تحقیق حاضر Present research	0.62-0.85	مواد جامد محلول Soluble solids	سیب Apple



شکل ۱۱- تغییرات مقدار مواد جامد محلول برحسب عدد سی تی در دمای انبارداری ۴ درجه سلسیوس
Fig. 11. Changes in soluble solids in terms of CT number at the storage temperature of 4 degrees Celsius

نتیجه گیری

محصول سیب از جمله میوه‌هایی است که برای مدت زمان نسبتاً طولانی در شرایط انبارداری نگهداری می‌شود. تغییرات فیزیولوژیکی ایجاد شده در محصول، موجب تغییر در خصوصیات کیفی میوه شده و ارزیابی‌های کیفی و انتخاب شرایط مناسب برای نگهداری را ضروری می‌سازد. تحقیق حاضر باهدف امکان استفاده از روابط احتمالی بین عدد سی تی حاصل از تصویربرداری با اشعه ایکس و خواص فیزیوشیمیایی سیب رقم گلدن دلشیز انجام شد. نتایج نشان داد که عدد سی تی با میزان pH و مواد جامد محلول رابطه خطی منفی و با خواص سفتی سیب، رطوبت و چگالی میوه رابطه خطی مثبت دارد. بر این اساس در دو دمای انبارداری صفر و ۴ درجه سلسیوس، ضرایب تبیین (R^2) به دست آمده از مدل رگرسیون خطی، برای ارتباط عدد سی تی با میزان pH ۰/۷۵ و ۰/۵۵، سفتی سیب ۰/۳۲ و ۰/۵۷، رطوبت ۰/۷۸ و ۰/۸۵، چگالی میوه ۰/۸۲ و ۰/۸۴ و مواد جامد محلول ۰/۸۵ و ۰/۶۲ به دست

آمد. این نتایج نشان می‌دهد که با تقریب مناسبی می‌توان از آزمون غیر مخرب تصویربرداری اشعه ایکس در تعیین برخی خواص کیفی محصول سیب که در قیمت‌گذاری و ارزش اقتصادی آن مهم است، استفاده کرد.

میزان مشارکت

بهشاد طحانی: جمع‌آوری داده‌ها، تحقیق و بررسی، بابک بهشتی: روش‌شناسی، مدیریت تحقیق، محسن حیدری سلطان‌آبادی: نرم‌افزار، نظارت، احسان حکمتیان: نرم‌افزار.

منابع تأمین مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرد.

References

- Al- Obeed, R.S., & Harhash, M.M. (2006). Impact of postharvest treatments on storage life and quality of "Mexican" Lime. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 11(3), 533-549.
- Anon. (2004). Fruits and vegetable products – determination of soluble solids content–refractometric method. International Standard 217.
- Anon. (2023). Agricultural statistics. The third volume: Report on garden, mushroom and greenhouse products. Ministry of Agricultural Jihad, Center for Statistics, Information and Communication Technology.
- AOAC. (1999). Official Methods of Analysis. 16th Edition, 5th Revision, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- AOAC. (2005). Association of Analytical Chemists. Method 923.03. In: Official Methods of Analysis, 21st Edition, AOAC International Publisher and Gaithersburg.
- Azadshahraki, F., & Kafashan, J. (2016). Quality indicators of garden products and their measurement methods. Agricultural Engineering Research Institute. Knowledge Network and Promotional Media Office. Publication of Agricultural Education. Iran. 24 p.

7. Barcelon, E.G., Tojo, S., & Watanabe, K. (1999). X-ray computed tomography for internal quality evaluation of peaches. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73(4), 323-330. <https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0409>
8. Barcelon, E.G., Tojo, S., & Watanabe, K. (1999). X-ray absorption and some quality characteristics of mango fruit (*Mangifera indica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(9), 3822-5. <https://doi.org/10.1021/jf980690e>
9. Chigwaya, K., Karuppanapandian, T., Schoeman, L., Viljoen, D.W., Crouch, I.J., Nugraha, B., Verboven, P., Nicolai, B.M., & Crouch, E.M. (2021). X-ray CT and porosity mapping to determine the effect of 'Fuji' apple morphological and microstructural properties on the incidence of CO₂ induced internal browning. *Postharvest Biology and Technology*, 174, 111464. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111464>
10. Diels, E., Van Dael, M., Keresztes, J., Vanmaercke, S., Verboven, P., Nicolai, B., Saeys, W., Ramon, H., & Smeets, B. (2017). Assessment of bruise volumes in apples using X-ray computed tomography. *Postharvest Biology and Technology*, 128, 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.01.013>
11. Hadian-Deljou, M., & Sarikhani, H. (2013). Effect of salicylic acid on maintaining post-harvest quality of apple cv. 'Golabe-Kohanz'. *Journal of Crops Improvement*, 14(2), 71-82. <https://doi.org/10.22059/jci.2013.29502>
12. Haseth, T.T., Egelandsdal, B., Bjerke, F., & Sorheim, O. (2007). Computed tomography for quantitative determination of sodium chloride in ground pork and dry cured hams. *Journal of food science*, 72(8), 420-427. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00492.x>
13. Jamshidi, B., Arefi, A., & Minaei, S. (2017). Non-destructive prediction of apple firmness during storage based on dynamic speckle patterns. *Journal of Agricultural Machinery*, 7(1), 140-151. <https://doi.org/10.22067/jam.v7i1.49413>
14. Jarolmasjed, S., Espinoza, C.Z., Sankaran, S., & Khot, L.R. (2016). Postharvest bitter pit detection and progression evaluation in 'Honeycrisp' apples using computed tomography images. *Postharvest Biology and Technology*, 118, 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.03.014>
15. Jingping, Z., Zheng, P., & Jian, W. (2003). Correlation between moisture of apples and values of CT[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 19(2), 180-182.
16. Khan, B., Syed Zulfiqar, A., Shahzad, S., Basharat, M., Ali, J., Jabeen, Z., Waris, M., & Fahmid, S. (2017). Postharvest quality of apple (*Malus domestica* Borkh) as influenced by storage conditions. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 4(7), 154-163. <https://doi.org/10.22192/ijarbs.2017.04.07.019>
17. Kotwaliwale, N., Kalne, A., & Singh, K. (2012). Monitoring of mango (*Mangifera indica* L.) (Cv.: Chousa) ripening using X-ray computed tomography, 2012 Sixth International Conference on Sensing Technology (ICST), Kolkata, India, 2012, pp. 326-330. <https://doi.org/10.1109/ICSensT.2012.6461696>
18. Kotwaliwale, N., Singh, K., Kalne, A., Jha, S.N., Seth, N., & Kar, A. (2014). X-ray imaging methods for internal quality evaluation of agricultural produce. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0485-y>
19. Mohammadpour, H., Selahvarzi, Y., Oraee, A., & Tehranifar, A. (2022). Evaluation of rootstock and scion interactions on apple storage characteristics (*Malus domestica* Borkh). *Plant Process and Function*, 11(48), 4.
20. Mousavi, R., Miri, T., Cox, P.W., & Fryer, P. (2007). Imaging food freezing using X-ray microtomography. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 714-727. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01514.x>
21. Salmanizade, F., Nassiri, S., rahemi, M., & Jafari, A. (2013). Feasibility study of X-ray absorption application as a non-destructive method for determining some qualitative parameters of pomegranate fruit. *Journal of Horticultural Science*, 27(3), 335-341. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.26391>
22. Vicent, V., Verboven, P., Ndoye, F.T., Alvarez, G., & Nicolai, B. (2017). A new method developed to characterize the 3D microstructure of frozen apple using X-ray micro-CT. *Journal of Food Engineering*, 212, 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.028>

Contents

Research Articles

- Comparison of the Effect of Sodium Nitrite and Nanocapsules Carrying Astaxanthin from *Haematococcus pluvisialis* with Maltodextrin-sodium Caseinate Combined Coating in Controlling Oxidative and Microbial Spoilage of Common Sausage** 351
S. Reyhani Poul, S. Yeganeh, R. Safari
- Production of Reduced Fat Mayonnaise Using Stabilized Nano Emulsion with Casein Complex Pickering and Shirazi Gadomeh Gum** 369
A. Modiri-dovom, A. Arianfar, S. Naji-Tabasi, V. Hakimzadeh
- Optimization of Pigment Extraction from Red Beet** 381
M. Lavarestagh, N. Zamindar, Y. Esmaeili
- The Effect of Extrusion Technology on the Quality Characteristics of Gluten-free Cookies Based on Whole Chickpea Flour-xanthan Gum-broken Rice** 395
Z. Dehghan, E. Milani, N. Hashemi
- 409

Short Research Article

- Investigation of Physicochemical and Antioxidant Properties of Shahani and Khassui Date's Palm and Kernel from Zarrin Dasht Region in Fars Province** 417
Z. Khodakaramifard, H. Lashkari

Research Articles

- Production of Whey Protein Concentrate Smart Film Containing Pomegranate and Red Grape Anthocyanin and Zinc Oxide Nanoparticles: Physicochemical and Structural Characteristics** 433
E. Taghizadeh, M. Alizadeh Khaled abad, H. Hassanzadeh
- Effect of the Controlled Fermented Sprouted Lentil Containing Fennel Extract on the Characteristics of Wheat Bread** 447
M. Rasoulifar, A. Sadeghi, F. Hajinia, M. Ebrahimi, M. Ghorbani
- Investigating the Effect of Chitosan Coating Along with Ginger Essential oil on Shelf life of Salmon Fish in Refrigerator Temperature** 465
E. Mehrabi, M. Bonyadian, A. Fallah
- The Effect of Edible Coating with Alginate and Shirazi Thyme Essential Oil on the Qualitative Characteristics of Ber Fruit (*Ziziphus mauritiana* Lam.) during Storage** 485
A. Rafaathaghighi, L. Jafari, A. Mirzaalian Dastjerdi, F. Abdollahi
- Investigating the Qualitative Changes of Golden Delicious Apple Variety during Storage Using X-ray Imaging** 485
B. Tahani, B. Beheshti, M. Heidarisoltanabadi, E. Hekmatian

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Vol. 20

No. 4

2024

Published by:	Ferdowsi University of Mashhad, (College of Agriculture), Iran
Executive Manager:	N. Shahnoushi, Department of Agricultural Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Editor-in-Chief:	M. Yavarmanesh, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Editorial Board:	
Mortazavi, Seyed A.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Shahidi, F.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Habibi najafi, M.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Razavi, Seyed M. A.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Kashaninejad, M.	Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences & Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran
Khomeiri, M.	Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences & Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran
Farhoosh, R.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Fazli Bazzaz, S.	Professor, Department of Pharmaceutical Chemistry, School of Pharmacy, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran
Koocheki, A.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Mohebbi, M.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Ghanbarzadeh, B.	Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran
Alemzadeh, I.	Professor, Department of Food Chemical Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
Rajabzadeh, GH.	Associate Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran
Heydarpour, M.	Associate Professor, Brigham and Women's Hospital, Boston, Massachusetts. United States America
Ghoddusi, H. B.	Associate Professor, School of Human Sciences, London Metropolitan University, England
Khosravidarani, K.	Professor, Department of Food Industry, School of Nutrition Sciences & Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
Abbaszadegan, M.	Professor, Director Water & Environmental Technology Center, Arizona State University, United States of America
Mohammadifar, M. A.	Associate Professor, Research Group for Food Production Engineering, Technical University of Denmark, Denmark
Vosoughi, M.	Professor, Department of Food Chemical Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
Almasi, H.	Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Urmia University, Urmia , Iran
Fathi, M.	Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan University of Technology Isfahan, Iran
Abbasi, S.	Professor, Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Borges, N.	Professor, Faculty of Nutrition and Food Sciences, University of Porto; Portugal
Moazzami, Ali A.	Doctor of Philosophy, Department of Molecular Sciences, Swedish University, Sweden
Dr. Nkemnaso Obi C.	Department of Microbiology, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, Abia State, Nigeria
Dr, Olalekan Adeyeye S.A.	Department of Food Technology, Hindustan Institute of Technology and Science, Chennai, Tamil Nadu, India
Publisher	Ferdowsi University of Mashhad
Address:	College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
P.O.BOX:	91775- 1163
Fax:	(98)051-38787430
E-Mail:	ifstrj@um.ac.ir
Web Site:	https://ifstrj.um.ac.ir

Contents

Comparison of the Effect of Sodium Nitrite and Nanocapsules Carrying Astaxanthin from <i>Haematococcus pluvialis</i> with Maltodextrin-sodium Caseinate Combined Coating in Controlling Oxidative and Microbial Spoilage of Common Sausage	351
S. Reyhani Poul, S. Yeganeh, R. Safari	
Production of Reduced Fat Mayonnaise Using Stabilized Nano Emulsion with Casein Complex Pickerings and Shirazi Gadomeh Gum	369
A. Modiri-dovom, A. Arianfar, S. Naji-Tabasi, V. Hakimzadeh	
Optimization of Pigment Extraction from Red Beet	381
M. Lavarestagh, N. Zamindar, Y. Esmaeili	
The Effect of Extrusion Technology on the Quality Characteristics of Gluten-free Cookies Based on Whole Chickpea Flour-xanthan Gum-broken Rice	395
Z. Dehghan, E. Milani, N. Hashemi	
Investigation of Physicochemical and Antioxidant Properties of Shahani and Khassui Date's Palm and Kernel from Zarrin Dasht Region in Fars Province	409
Z. Khodakaramifard, H. Lashkari	
Production of Whey Protein Concentrate Smart Film Containing Pomegranate and Red Grape Anthocyanin and Zinc Oxide Nanoparticles: Physicochemical and Structural Characteristics	417
E. Taghizadeh, M. Alizadeh Khaled abad, H. Hassanzadeh	
Effect of the Controlled Fermented Sprouted Lentil Containing Fennel Extract on the Characteristics of Wheat Bread	433
M. Rasoulifar, A. Sadeghi, F. Hajinia, M. Ebrahimi, M. Ghorbani	
Investigating the Effect of Chitosan Coating Along with Ginger Essential oil on Shelf life of Salmon Fish in Refrigerator Temperature	447
E. Mehrabi, M. Bonyadian, A. Fallah	
The Effect of Edible Coating with Alginate and Shirazi Thyme Essential Oil on the Qualitative Characteristics of Ber Fruit (<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.) during Storage	465
A. Rafaathaghighi, L. Jafari, A. Mirzaalian Dastjerdi, F. Abdollahi	
Investigating the Qualitative Changes of Golden Delicious Apple Variety during Storage Using X-ray Imaging	485
B. Tahani, B. Beheshti, M. Heidarisoltanabadi, E. Hekmatian	